

# Duroplastschäume nach Maß

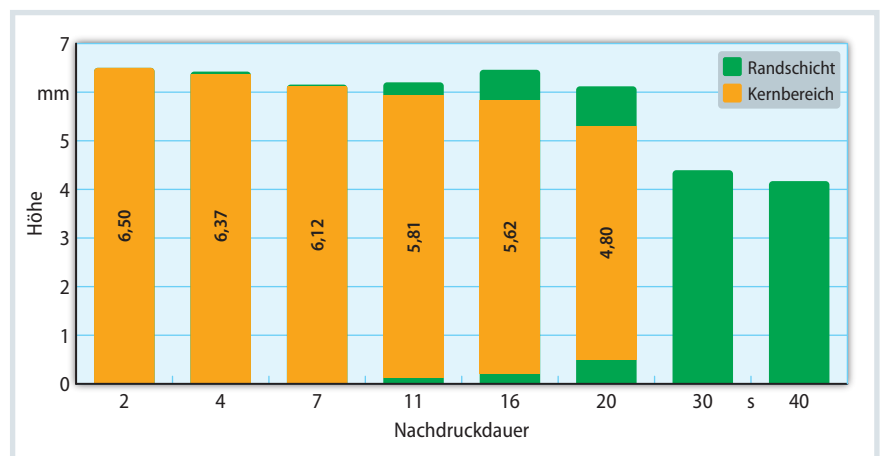
*Teil 2 des Artikels beschäftigt sich mit Designparametern für das Schaumspritzgießen von Duroplasten*

Im Gegensatz zu Thermoplasten werden Duroplaste selten geschäumt. Das liegt unter anderem daran, dass bisher noch wenige serienreife Verfahren zur Herstellung von Duroplastschäumen existieren. Auch beim Schaumspritzgießen fehlt ein solches bisher. In einem Forschungsprojekt wurde nun ein derartiges Verfahren entwickelt und auch untersucht, wie sich die Struktur des Schaums gezielt einstellen lässt.

Für das Schaumspritzgießen von Duroplasten existieren zwei Varianten. Die einfachere Methode des Schaumspritzgießens ist die untermetrische Füllung mit dem Niederdruckverfahren. Außerdem ist es möglich, mit einem atmenden Werkzeug eine kompakte Randschicht mit geschäumtem Kern im Hochdruckverfahren herzustellen. Die beiden Methoden wurden ausführlich im ersten Teil des Fachartikels vorgestellt (*Kunststoffe* 7/2020, S. 48-51).

Das Hochdruckverfahren mit einem atmenden Werkzeug ist besonders vielversprechend. Zum Einsatz kommt dabei ein mit chemischem Treibmittel beladenes Duroplastgranulat. Die Zersetzungstemperatur des Treibmittels ist so gewählt, dass ein Zerfall erst bei den erhöhten Temperaturen in der Kavität und nicht bei den niedrigeren Temperaturen im Zylinder stattfindet [1]. Das verhindert effektiv einen vorzeitigen Gasverlust. Beim Hochdruckverfahren wird die mit dem chemischen Treibmittel durchsetzte Schmelze in die Kavität eingespritzt und mit Nachdruck beaufschlagt. Nach einer gewissen Haltezeit wird dieser unterbrochen und die Kavität um einen kleinen Öffnungshub erweitert. Dadurch erhält das Material Platz zum Schäumen. Nach Ablauf einer Restheizzeit kann das geschäumte Bauteil ausgeworfen werden.

Für den industriellen Einsatz der Technologie sind Designparameter notwendig, die es ermöglichen, Schaumstrukturen gezielt einstellen zu können. Als erste Schritte in diese Richtung wurden im Projekt FoamSet (**Kasten**) mehrere Versuchsreihen an einer Spritzgießanlage durch-



**Bild 1.** Plattenhöhe von Probekörpern, die mit unterschiedlich langen Nachdruckzeiten hergestellt wurden: Zusätzlich eingetragen ist der geschäumte und kompakte Anteil der Proben

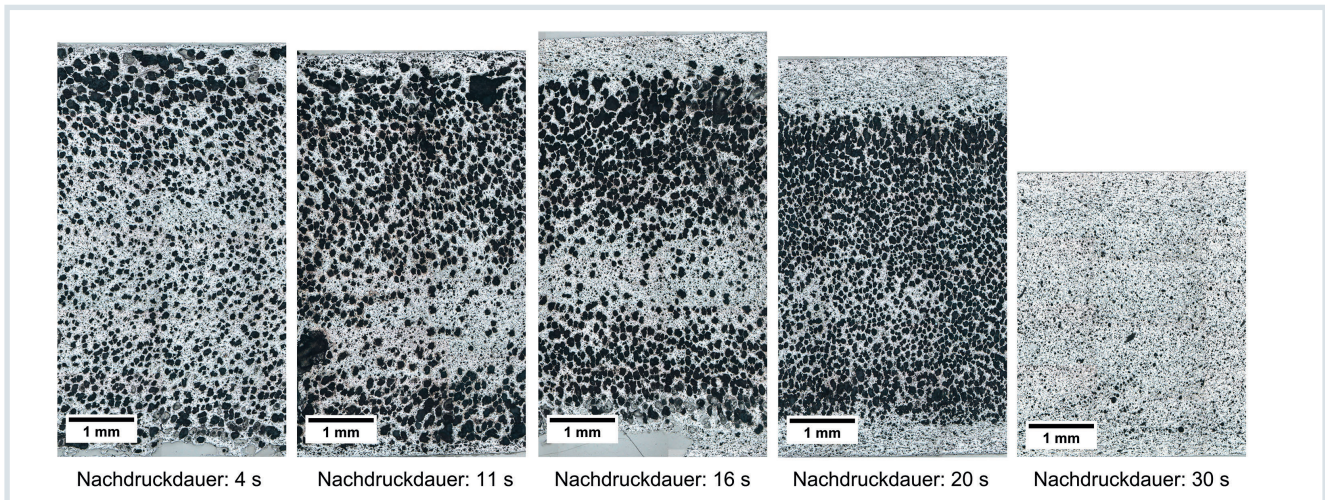
Quelle: Robert Bosch; Grafik: © Hanser

geführt und die Auswirkungen unterschiedlicher Parameter auf die Schaumstrukturen ausgewertet. Für die Versuche kam eine Spritzgießmaschine mit Duroplast-Aggregat (Schneckendurchmesser 30 mm) des Typs Allrounder 370S der Arburg GmbH+Co KG, Loßburg, zum Einsatz. Als Probekörper wurde eine in einem Tauchkantenwerkzeug hergestellte Plattengeometrie (80 mm x 100 mm x 4 mm) gewählt. Als Kunststoffgranulat wurde das im Rahmen des Projekts entwickelte Phenolharzcompound Bakelite FoamSet 18135 der Hexion GmbH, Iserlohn, mit eincompoundiertem Treibmittel verwendet.

Eine der wichtigsten Einflussgrößen beim Schäumen von Duroplasten nach dem Hochdruckverfahren ist der Zeitpunkt, an dem die Nachdruckphase beendet und die Kavität um einen Öff-

nungshub aufgeföhren wird. Da der hohe Forminnendruck in der Kavität während der Nachdruckdauer ein Aufschäumen verhindert, härtet das Bauteil in dieser Phase ohne Blasenbildung aus. Das geschieht zuerst im Bereich höherer Temperaturen nahe der Werkzeugwand. Je nach Öffnungszeitpunkt der Kavität schäumt in Folge dessen nur noch der viskose Bereich der Bauteilmitte auf, wohingegen der Rand in seiner kompakten Form bestehen bleibt. Für 160 °C Werkzeugtemperatur ist das in **Bild 1** für verschieden lange Nachdruckphasen dargestellt. Das Balkendiagramm zeigt die kompakten und geschäumten Bereiche der jeweiligen Probekörper.

In **Bild 2** sind zudem einige Schliffbilder der entstandenen Schaumstrukturen zu sehen. Die Poren sind in diesen Auflichtmikroskopie-Aufnahmen in schwarz



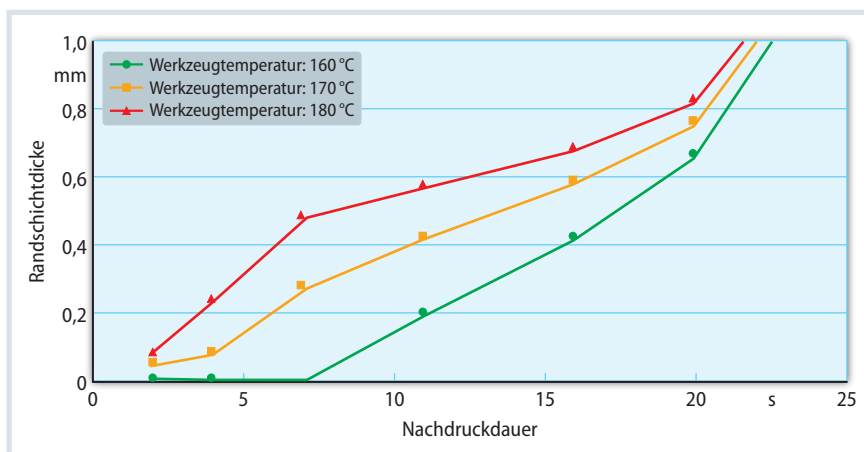
**Bild 2.** Schliffbilder geschäumter Probekörper, hergestellt mit unterschiedlich langen Nachdruckzeiten: Die Poren treten in schwarz hervor, die Kunststoffmatrix in weiß. Gut zu erkennen ist die Ausbildung der ungeschäumten Randschicht mit zunehmender Zeit. Ab 30 s Nachdruckdauer kann keine Schaumbildung mehr beobachtet werden © Robert Bosch

zu erkennen, die Kunststoffmatrix erscheint in hellgrau bis weiß. Es zeigt sich, dass bei einer geringen Haltezeit des Nachdrucks der gesamte Probekörper ausgeschäumt wird. Ab ungefähr 11 s bildet sich eine erste kompakte Randschicht aus, die im weiteren zeitlichen Verlauf in die Bauteilmitte hineinwächst. Ab ca. 30 s Nachdruckdauer kann keine Schaumbildung mehr beobachtet werden. Die Nachdruckdauer bzw. der Zeitpunkt, an dem die Kavität geöffnet wird, eignet sich damit als Einstellgröße für die Höhe der kompakten Randschicht des Bauteils.

Da die chemische Vernetzungsreaktion von Duroplasten bei erhöhten Temperaturen schneller abläuft, kann auf die Ausbildung der Randschicht auch durch die Werkzeugtemperatur Einfluss genom-

men werden. Das zeigt eine Versuchsreihe mit Probekörpern, die mit gleicher Nachdruckdauer, aber unterschiedlicher Werkzeugtemperatur hergestellt wurden. Die unterschiedliche Höhe der Randschicht ist in **Bild 3** zu sehen. Es zeigt sich eine konstant ansteigende Randschichtdicke mit zunehmender Nachdruckdauer bei allen Werkzeugtemperaturen. Bei hohen Temperaturen ist dieser Effekt stärker ausgeprägt und setzt früher ein als bei niedrigeren.

Ein Vergleich der geschäumten Bauteilkerne zeigt allerdings, dass die Temperatur auch Auswirkungen auf die Porenstruktur hat. Da der Zerfall des Treibmittels mit zunehmender Temperatur schneller verläuft, kommt es bei hohen Werkzeugtemperaturen zu einer schnelleren »



**Bild 3.** Höhe der kompakten Randschicht geschäumter Probekörper: Mit zunehmender Nachdruckdauer steigt die Randschichtdicke an. Dieser Effekt ist bei höheren Temperaturen stärker ausgeprägt Quelle: Robert Bosch; Grafik: © Hanser

## Die Autoren

**Martin Bayer** ist Doktorand bei der Robert Bosch GmbH im Bereich Materials and Manufacturing Technologies Polymers im Zentralbereich Forschung und Vorausbildung. Er promoviert an der TU Chemnitz bei Prof. Michael Gehde; martin.bayer2@de.bosch.com

**Dr. Torsten Maenz** arbeitet als Forschungsingenieur bei der Robert Bosch GmbH im Bereich Materials and Manufacturing Technologies Polymers im Zentralbereich Forschung und Vorausbildung.

**Dr. Gerrit Hülдер** ist Gruppenleiter bei der Robert Bosch GmbH im Bereich Materials and Manufacturing Technologies Polymers im Zentralbereich Forschung und Vorausbildung.

**Prof. Dr. Michael Gehde** leitet seit 2005 die Professur Kunststoffe an der TU Chemnitz.

## Dank

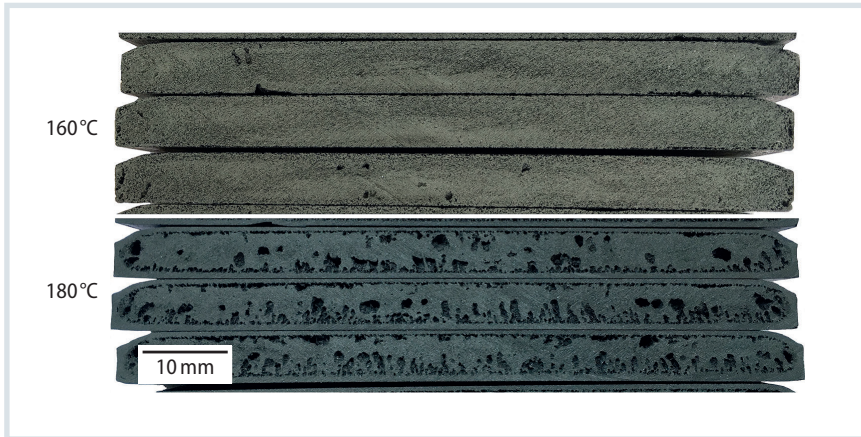
Die Autoren bedanken sich für die Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags im Rahmen des Projekts FoamSet (03ET1424C).

## Service

### Literatur & Digitalversion

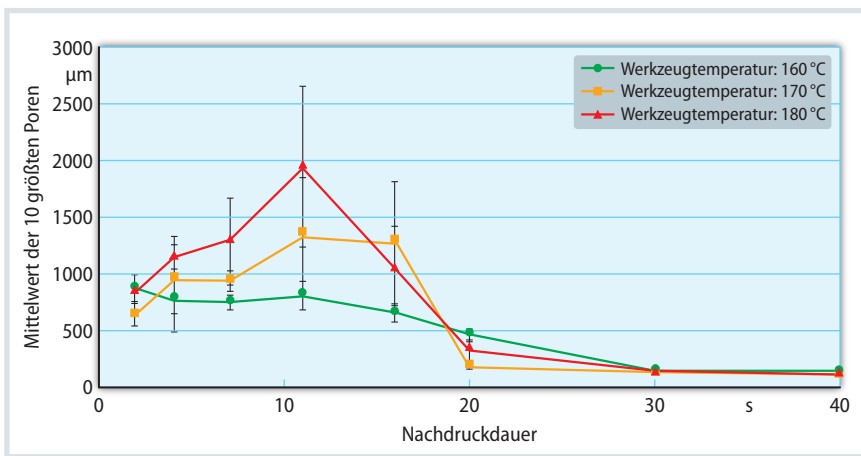
» Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter

[www.kunststoffe.de/2020-09](http://www.kunststoffe.de/2020-09)



**Bild 4.** Querschnitt geschäumter Probekörper: Im oberen Teil ist eine feinporige Schaumstruktur zu sehen, wie sie bei geringeren Werkzeugtemperaturen von ca. 160 °C erreicht wird. Eine hohe Werkzeugtemperatur von etwa 180 °C führt zu großen Poren im Bauteil (unten im Bild)

© Robert Bosch



**Bild 5.** Maximale Porengröße der Probekörper über die Nachdruckdauer: Bei hohen Temperaturen entstehen größere Poren. Ab ca. 16 s Nachdruckdauer unterdrückt die fortschreitende Aushärtreaktion des Phenolharzes die Schaumbildung und verringert die Porengröße

Quelle: Robert Bosch; Grafik: © Hanser

Expansion des Treibmittels nach Ende der Nachdruckphase als bei niedrigen Temperaturen. Die Folge sind geschäumte Probekörper, die mit großen agglomerierten Blasen durchsetzt sind (Bild 4).

### **Porengröße über die Temperatur und den Öffnungshub einstellen**

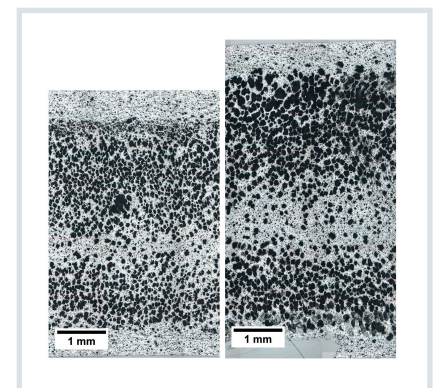
Da die Temperatur der Kunststoffschmelze in der Kavität mit zunehmender Nachdruckdauer durch Wärmeleitung von der beheizten Werkzeugwand zunimmt, ist dieser Effekt auch bei späterem Öffnungshub zu beobachten. Er ist in diesem Fall allerdings nicht so stark ausgeprägt, wie bei erhöhter Werkzeugtemperatur. Sehr gut verdeutlicht das Bild 5. In diesem werden die maximalen Porengrößen (Mittelwerte der zehn größten Poren

der Schliffbilder) miteinander verglichen. Sie steigen mit zunehmender Nachdruckdauer an und erreichen bei ungefähr 11 bis 16 s Nachdruckdauer ein Maximum. Bei hohen Werkzeugtemperaturen ist das stärker ausgeprägt. Bei längeren Nachdruckzeiten erschwert die zunehmende Aushärtung des Phenolharzes ein Aufschäumen. In der Folge nehmen die maximalen Porenradien ab, bis schließlich bei ca. 25 bis 30 s Nachdruckdauer keine Schaumbildung mehr möglich ist.

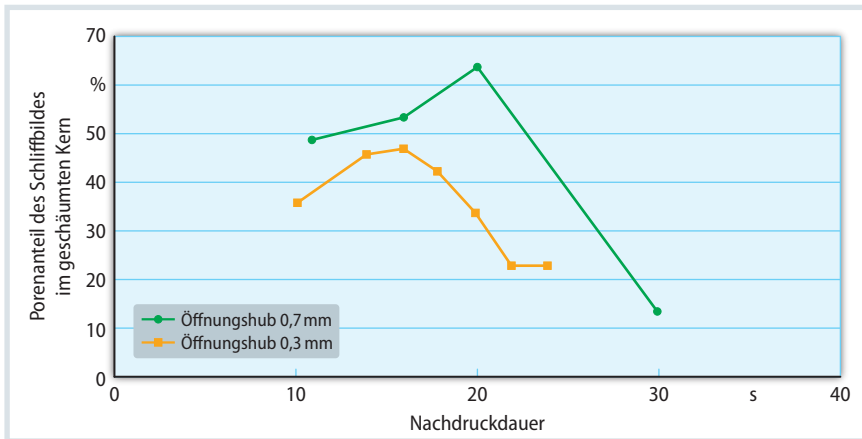
Neben der Temperatur kann auch der Öffnungshub genutzt werden, um die Porengröße bzw. den Schaumgrad einzustellen. In Bild 6 sind zwei Schliffbilder von Probekörpern zu sehen, die mit unterschiedlichem Öffnungshub hergestellt wurden. Bei geringerem Öffnungshub von 0,3 mm nimmt die Porengröße leicht

ab, da das Material weniger Platz zum Schäumen hat. Die Schaumstruktur ändert sich dabei nicht stark, jedoch ist eine geringe Abnahme der Randschichthöhe zu beobachten. In Folge des geringeren Hubes ändert sich zudem der Schaumgrad der Proben im geschäumten Kern, also das Volumen, das durch Luft eingenommen wird. Bild 7 verdeutlicht das. Dort ist der Porenanteil der Schliffbilder gegen die Nachdruckdauer für einen Öffnungshub von 0,3 und 0,7 mm aufgetragen. Auffällig ist, dass beide Kurven zunächst einen Anstieg des Porenanteils mit zunehmender Nachdruckdauer zeigen und ein Maximum durchlaufen, bevor der Porenanteil im Probekörper wieder abnimmt. Wie auch bei den maximalen Porenradien ergibt sich das aus gegenläufigen Effekten des Prozesses. Die zunehmende Zerfallsreaktion des Treibmittels bei späterem Öffnungshub begünstigt die Blasenbildung, während der fortschreitenden Aushärtreaktion des Phenolharzes diese wiederum unterdrückt. Darüber hinaus ergibt sich ein konstant höherer Porenanteil in den Schliffbildern mit größerem Öffnungshub, da mehr schäumbares Volumen zur Verfügung steht. In gewissen Grenzen kann die durchschnittliche Porengröße damit durch die Anpassung des Öffnungshubes variiert werden. Dabei ist zu beachten, dass sich gleichzeitig auch die Dicke des Bauteils ändert.

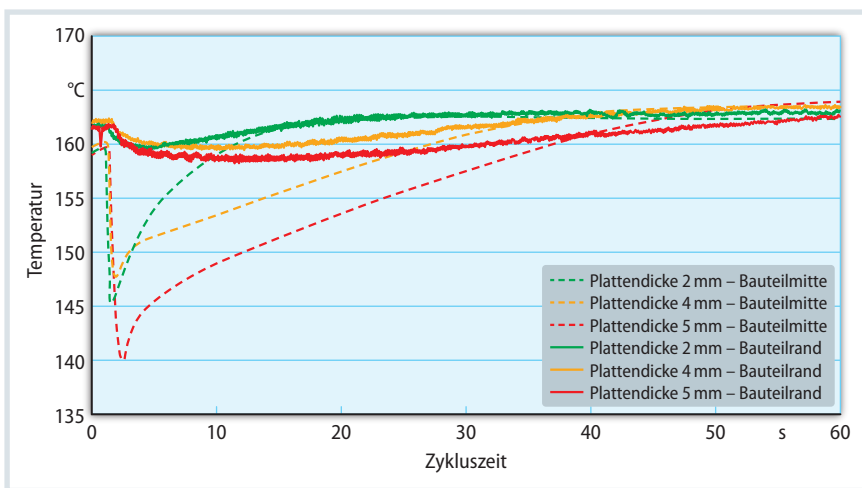
Versuchsreihen mit unterschiedlichen Ausgangsdicken der Probekörper zeigen, dass das Verfahren besonders bei dickwandigen Bauteilen ab ca. 4 mm Wanddicke vorteilhaft ist. Da bei dünnwandigen



**Bild 6.** Schliffbilder geschäumter Probekörper mit unterschiedlichem Öffnungshub (links 0,3 mm, rechts 0,7 mm): Ein größerer Hub führt zu einer höheren Bauteildicke und größeren Poren © Robert Bosch



**Bild 7.** Auftragung des Porenanteils im geschäumten Kern der Schlibbilder: Ein größerer Öffnungshub führt zu einem höheren Porenanteil der Probekörper Quelle: Robert Bosch; Grafik: © Hanser



**Bild 8.** Die Temperaturen in der Kavität am Bauteilrand (durchgezogen) und in der Bauteilmitte (gestrichelt) bei unterschiedlicher Plattendicke: Je höher die Plattendicke, umso länger dauert es, bis die Temperatur in der Bauteilmitte sich der Temperatur am Bauteilrand angleicht. Der Probekörper ist in der Bauteilmitte daher länger schäumbar Quelle: Robert Bosch; Grafik: © Hanser

gen Bauteilen der Temperaturunterschied der Schmelze zwischen der Bauteilmitte und dem Bauteilrand relativ gering ausfällt, ist auch die Zeitspanne sehr kurz, in der der Randbereich ausgehärtet vorliegt und der Kernbereich schäumbar ist.

### Randschichtdicke gezielt bestimmen

Eine sehr dünne Randschicht ist zudem nicht stark genug, um Verformungen durch den Treibmitteldruck aus der Bauteilmitte zu widerstehen. Deshalb kommt es zur Ausbildung von Blasen an der Oberfläche der Probekörper. Bei ausreichend langer Nachdruckdauer und damit Randschichtdicke wird das effektiv verhindert. **Bild 8** zeigt diesen Effekt. Dort sind die Temperatur am Bauteilrand, gemessen mit einem Thermogradientensensor, und die Temperatur in der Bauteilmitte,

gemessen mit einem umspritzten Einstechtemperaturfühler, für unterschiedliche Plattendicken gegen die Zykluszeit aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass die Bauteilmitte bei größerer Plattendicke mehr Zeit benötigt, um die Temperatur des Bauteilrands bzw. der Werkzeugtemperatur anzunehmen. Daraus ergibt sich eine geringere Aushärtegeschwindigkeit und längere Schaumfähigkeit des Bauteilkerns. Der maximale Porenanteil des Kerns kann bei größeren Plattendicken dadurch noch einmal leicht gesteigert werden. Bei 5 mm Ausgangsdicke der Platten ist es möglich, Probekörper mit 7,5 mm Wanddicke herzustellen. Der Kernbereich besitzt in diesem Fall einen Porenanteil von ungefähr 64 % und fungiert als isolierende Schicht. Die Randschichtdicke ist mit ca. 1 mm dick genug, um mechanischen Belastungen standzuhalten.

Mit dem Hochdruckverfahren beim Duroplast-Schaumspritzgießen ist es möglich, Skin-Core-Strukturen mit kompakter Randschicht und geschäumtem Kern herzustellen. Die Randschichtdicke ist eine Funktion der Zeit, bis der Öffnungshub ausgeführt wird, und kann daher gezielt über die Dauer der Nachdruckphase eingestellt werden. Eine Erhöhung der Werkzeugtemperatur führt dazu, dass die Aushärtung des Phenolharzes, wie auch der Zerfall des Treibmittels beschleunigt stattfinden, und kann helfen, die Zykluszeit zu verkürzen. Gleichzeitig ändert sich jedoch auch die Porenstruktur in der Bauteilmitte. Die ansonsten homogene Porenverteilung wird durch einzelne große Blasen durchsetzt. Die durchschnittlichen Blasengrößen lassen sich in moderatem Maße durch den Öffnungshub einstellen. Ein geringerer Hub erzeugt ebenfalls eine etwas verringerte Blasengröße. Besonders geeignet ist das Verfahren bei Wanddicken ab ca. 4 mm, was für Isolationsbauteile eine sinnvolle Dimensionierung darstellt. Zukünftige Forschungen zielen darauf ab, die Erkenntnisse dieser Grundlagenforschungen an Probekörpergeometrien auf ein Demonstratorbauteil bzw. Produkt zu übertragen, um die Eigenschaften des Duroplast-Schaums unter realen Bedingungen zu erproben. ■

## Das FoamSet-Projekt

Das öffentlich geförderte Projekt „FoamSet“ untersucht die energieeffiziente Fertigung naturbasierter duroplastischer Phenol-Hartschäume zur Reduktion von Endenergieverlusten im Hochbau und in technischen Anlagen. Neben dem Schaumspritzgießen wird auch an einem kontinuierlichen Extrusionsprozess von Phenolharzschäumen gearbeitet. Die Forschungskoordination erfolgt durch die Professur Kunststoffe der TU Chemnitz. Projektträger ist das Forschungszentrum Jülich. Neben diesen beiden Institutionen sind aus der Industrie die Robert Bosch GmbH, die Hexion GmbH, die KraussMaffei Technologies GmbH, die KraussMaffei Extrusion GmbH, die Ejot Baubefestigungen GmbH und die Schöck Bauteile GmbH Teil des Forschungsvorhabens. Das Projekt läuft noch bis zum 31.10.2020.