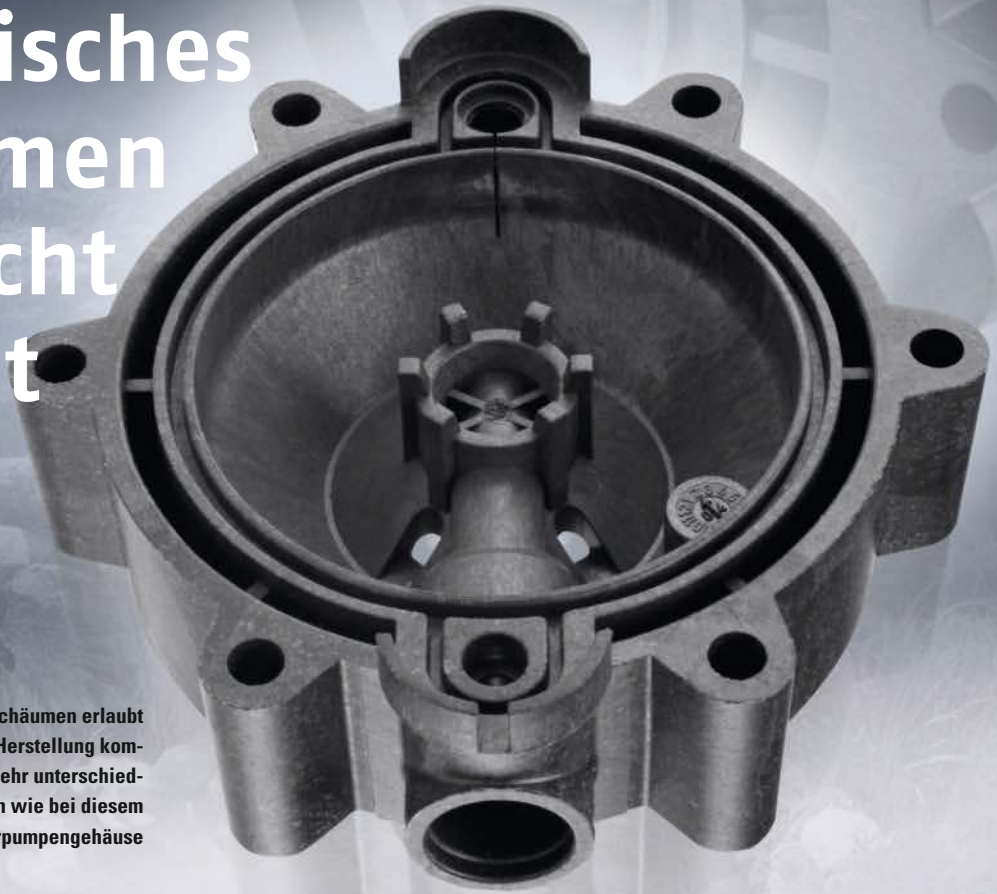


Physikalisches Schäumen ganz leicht gemacht

Das physikalische Schäumen erlaubt die verzugsfreie Herstellung komplexer Formteile mit sehr unterschiedlichen Wanddicken wie bei diesem Wasserpumpengehäuse



Thermoplast-Schaumspritzgießen. Gewichts- und Materialeinsparungen, Dimensionsstabilität sowie eine höhere Produktivität sind Aspekte, die die Fantasie von Entwicklern beflügeln. Umso erstaunlicher, dass sich die Spritzgießspezialisten in der Vergangenheit nur zögerlich mit dem physikalischen Schäumen von Thermoplasten befassten. Dabei bietet gerade das MuCell-Verfahren beim Leichtbau ein enormes Potenzial.

**ANDREAS HANDSCHKE
JOCHEN MITZLER**

Kommt die Rede aufs Schäumen, denken viele Fachleute spontan an die Reaktionstechnik. Zugegeben, in diesem Jahr jährt sich die Entdeckung von Polyurethan zum 75sten Mal. Weit aus jünger ist hingegen das Thermoplast-Schaumspritzgießen (TSG), das erst seit den 1960er-Jahren bekannt ist. Ohne an dieser Stelle näher auf das vielseitige Eigenschafts- und Anwendungsspektrum der beiden ansonsten sehr unterschiedlichen Werkstoffgruppen PUR und Ther-

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU111163

moplastschaum einzugehen, sei das beiden gemeinsame Leichtbaupotenzial erwähnt. Während die Polyurethane zahlreiche Anwendungen eroberten, blieb dem Thermoplast-Schaumspritzgießen, obschon eines der ältesten Sonderverfahren der Kunststoffverarbeitung, ein vergleichbarer Erfolg bislang versagt.

Die Anfänge des Schaumspritzgießens liegen in den 50er-Jahren. Damals setzten „erfahrene Spritzgießer dem Granulat eine kleine Prise Backpulver (bis etwa 0,05 %) zu, wenn Einfallstellen am Spritzgießprodukt auftraten“ [1]. Ein anfangs noch wenig beachteter Effekt war die damit verbundene Gewichtseinsparung. Die Schaumstruktur sowie die daraus resultierende geringere Dichte wurden erst

Jahre später interessant, zumal dafür neue Materialien und passende Treibmittel entwickelt werden mussten.

Anfang der 70er-Jahre startete die Serienproduktion der ersten thermoplastischen Strukturschaumteile, damals noch mit chemischen Treibmitteln initiiert. Bereits zu jener Zeit verfolgte KraussMaffei das Entwicklungsziel, eine feinere und definierte Schaumstruktur zu erreichen [2, 3] und mit reduzierten Schließkräften Formteile ohne Einfallstellen und mit Dichten zwischen 0,3 und 0,6 g/cm³ zu erzeugen. Praktikabel schien der Einsatz physikalischer Treibmittel zu sein und damit das sogenannte Direktbegasen als Variante des TSG. Das Prinzip beruhte darauf, Treibmittel unter hohem Druck



direkt in die schmelzeführenden Schneckengänge zu leiten. Seinerzeit bekannte Anwendungen aus dem Fahrzeugbau waren dekorierte Verkleidungen, Gehäuseteile sowie Steckverbindungen. Da die verwendeten Treibgase aus Umweltschutzgründen nicht länger zulässig waren, wurde das Projekt schließlich zugunsten der chemischen Verfahren zurückgestellt.

Die anfänglichen strategischen Defizite sind abgestellt

Modifiziert und mit verbesserter Technologie gelang der Trexel Inc., Wilmington, Massachusetts/USA, Ende der 1990er-Jahre mit dem MuCell-Verfahren ein erster Durchbruch. Erfunden wurde das Verfahren ursprünglich Ende der 80er-Jahre am Massachusetts Institute of Technology (MIT) mit Fokus auf die Extrusion. Erst Anfang 2000 rückte das Spritzgießen in den Mittelpunkt des Interesses. Allerdings behinderten einige strategische Fehler zunächst eine erfolgreiche Verbreitung. So verlangte Trexel von den Anwendern neben den Kosten für die technische Ausrüstung zusätzliche Lizenzgebühren, deren Höhe, jährlich ermittelt, vom Durchsatz abhing. Seit Ende 2005 verlangt das Unternehmen keine Lizenzgebühren mehr, doch hat sich diese wichtige Information in der Kunststoffbranche noch nicht überall herumgesprochen.

Als weiteres Hindernis erwies sich die Vermarktungsstrategie. Abgesehen von der anfänglichen Fokussierung auf die Extrusion sprach Trexel anfangs weniger die potenziellen Anwender und OEMs an. Vielmehr konzentrierte sich das Unternehmen auf die Verarbeiter und Werkzeugbauer, die allerdings erfahrungsgemäß weniger Einfluss auf die projektbezogene Verfahrenstechnik haben. Das Resultat war, dass sich der Bekanntheitsgrad des Verfahrens vorwiegend auf einen kleinen Insiderkreis beschränkte. In-

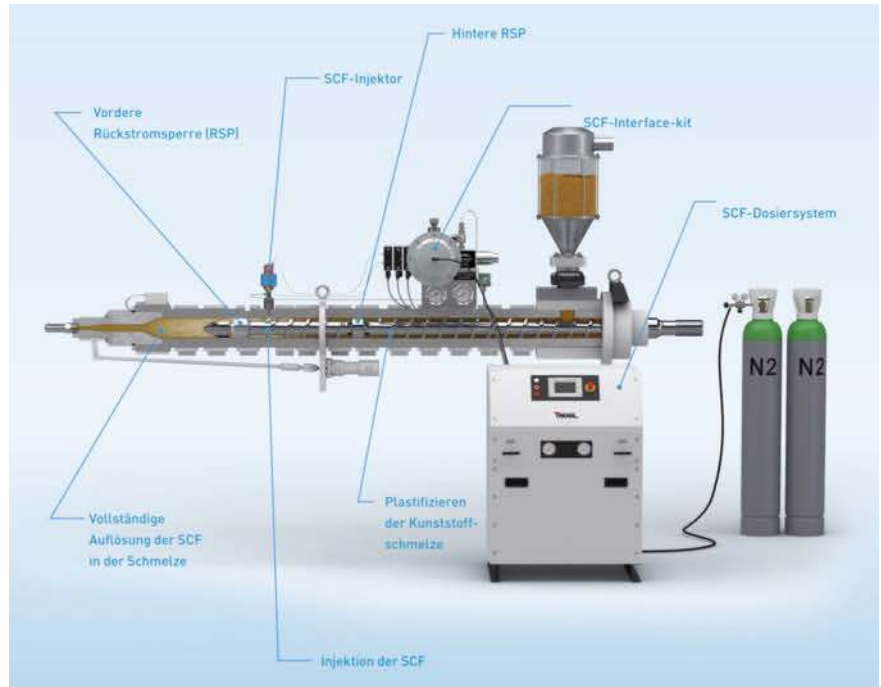


Bild 1. Anlagenkonzeption für das MuCell-Verfahren: Auch Bestandsmaschinen können einfach nachgerüstet werden. Seit Ende 2005 müssen Anwender für die Nutzung dieser Technik keine Lizenzgebühren mehr bezahlen (Bilder: KraussMaffei)

zwischen hat der Hersteller seine Strategie geändert und das Interesse der Anwender und OEMs geweckt [4].

Als einer der ersten Maschinenhersteller arbeitete KraussMaffei von Beginn an mit Trexel zusammen. Nach der gemeinsamen Entwicklung eines maschinenseitig standardisierten Equipments nahm der Münchener Maschinenhersteller Anfang 2001 komplette MuCell-Systempakete in sein Programm auf.

i Kontakt

KraussMaffei Technologies GmbH
D-80997 München
TEL + 49 89 8899-0
→ www.kraussmaffei.com

Plastifiziereinheit mit Gasinjektor

Vereinfacht gesagt, handelt es sich bei dieser Art des physikalischen Schäumens um Spritzgießen mit Gasbeladung. Voraussetzung ist eine voll geregelte Spritzgießmaschine mit Schneckenlagerregelung und erhöhter Einspritzleistung. Herzstück ist eine Plastifiziereinheit mit einer eigens dafür gefertigten Schnecke. Das Gas wird in einem überkritischen Zustand (SCF, Super Critical Fluid) direkt in die Kunststoffschmelze injiziert. Die Schnecke erzeugt daraus eine homogene Einphasenlösung. Eine zusätzliche Rückstromsperre im Mittelteil der Schnecke verhindert, dass das Gas-Schmelze-Gemisch vorzeitig in Richtung Einzug expandiert; nach vorne riegelt die Maschinenverschlussdüse die Schmelze ab. Als Treibmittel werden Stickstoff oder CO₂ eingesetzt (**Bild 1**).

Wichtig ist, dass der Schmelzedruck in der Plastifizierung, gegebenenfalls auch im Heißkanalsystem, über den gesamten Zyklus hinweg nicht unter den kritischen SCF-Massedruck fallen darf. Dafür ist die Schnecken-Lagepunkt-Regelung („aktiver Staudruck“) nötig, die auch dafür sorgt, dass der Druck selbst bei geöffneter Schutztüre aufrecht erhalten bleibt. Aus demselben Grund wird mit einer Maschinenverschlussdüse, bei Heißkanalwerkzeugen mit anliegender Düse, gefahren, wobei während des Öffnens der



Bild 2. Durch das physikalische Schäumen kann dieses Türschlossgehäuse mit 30% weniger Schließkraft und 25% schneller (Zykluszeitverkürzung) hergestellt werden

(Foto: Schröder Kunststofftechnik)

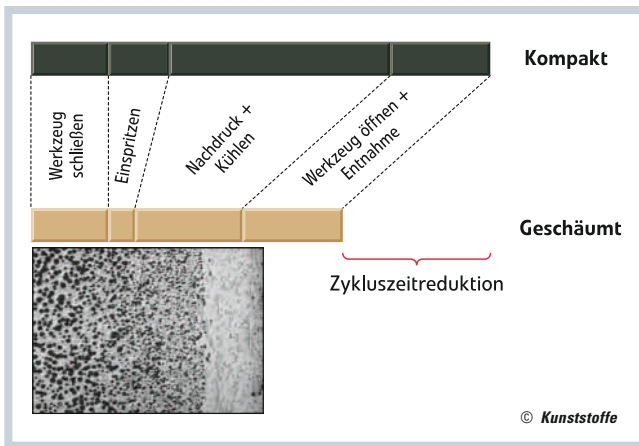


Bild 3. Die höhere Viskosität der Schmelze (schnelles Einspritzen) und der geringere Nachdruck- und Kühlzeitbedarf verkürzen die Zykluszeiten beim Schäumen

Schließeinheit die Düsenanlagekraft reduziert ist. Um den Druckabfall und damit den Beginn des Schäumprozesses möglichst an das Ende des Füllvorgangs zu legen, und um das Aufschäumen auch am Fließwegende sicherzustellen, muss schnell eingespritzt werden. Deshalb ist es notwendig, dass die Maschine eine hohe Einspritzleistung bietet.

Als physikalisches Treibmittel senkt das Gas die Schmelzeviskosität, was das schnelle Einspritzen erleichtert. Ausgelöst vom Druckabfall beim Einspritzen in die Kavität bilden sich Gasbläschen, die schließlich das Aufschäumen der Schmelze bewirken. Anders als beim chemischen Schäumen sind es beim MuCell-Verfahren sehr viele fein verteilte Keime. Die feine Verteilung gewährleistet, dass sich viele kleine, gleich große und geschlossene Zellen unter 100 µm Durchmesser entwickeln. Im Querschnitt eines Bauteils entsteht eine sogenannte Integralschaumstruktur: ein geschäumter Kern mit niedriger Dichte, umhüllt von einer dünnen kompakten Deckschicht mit höherer Dichte. Die Oberfläche ist zwar geschlossen, weist jedoch nicht die Qualität eines kompakt gespritzten Bauteils auf.

Aufschäumen der Schmelze gleicht Schwindung aus

Das Aufschäumen der Schmelze gleicht schließlich die Schwindung an der Werkzeugwand aus. Somit kann mit wesentlich geringerem Nachdruck geschäumt werden – im Idealfall entfällt er komplett. Der Werkzeuginnendruck ist deutlich geringer als beim Kompakt-Spritzgießen. Auch können die Schmelze- und Werkzeugtemperaturen niedriger gewählt werden.

All dies – kein oder nur kurzer Nachdruck- sowie geringerer Kühlzeitbedarf – reduziert die erforderliche Schließkraft um 30 bis 50 % und verkürzt die Zykluszeit um etwa 20 % (Bilder 2 und 3). Zugleich sind die Bauteile sehr verzugsarm. Einfallstellen und Lunken entfallen in den meisten Fällen komplett. Der Schäumprozess wirkt auch am Fließwegende, wo dem Nachdruck oft durch das Einfrieren der plastischen Seele der Weg versperrt ist. Hergestellt auf Grundlage bestehender Artikelgeometrien sind so geschäumte Formteile zwischen 7 und 10 % leichter als ihre kompakt gespritzten Pendanten. Bei MuCell-gerechter Bauteilgestaltung sind je nach Geometrie sogar bis zu →



Bild 4. Die Ölwanne aus geschäumtem Kunststoff punkten gegenüber Metallölvannen mit ihrem erheblich geringeren Gewicht und ihrer Verzugsfreiheit, die eine problemlose Montage erlaubt

20 % Gewichtseinsparung möglich (Bild 4). Insofern ist das Verfahren gerade für neue Leichtbauprojekte interessant.

Eine spezielle Software vereinfacht die Bedienung. Integriert in die KraussMaffei-Steuerung MC5 oder die neue MC6 können alle wichtigen Parameter zentral eingestellt, überwacht und angezeigt werden. Die für die Berechnung des Gasanteils notwendigen Werte wie SCF-Flussrate, Injektoröffnungszeit und Gewichtsreduktion lassen sich mit einem in die Software integrierten Rechner ermitteln und einfach in die Parametereinstellungen der MuCell-Seiten übernehmen.

Die Software ist übersichtlich aufgebaut. Es gibt eine Bedienerseite, in der nur die wichtigsten Parameter angezeigt und eingestellt werden können. Für die in der Regel nur einmal einzustellenden Basiswerte stehen gesonderte Seiten zur Verfügung.

Chemisches und physikalisches Schäumen im Vergleich

Über den Vergleich zwischen dem chemischen und dem physikalischen Schäumen gab es in der Vergangenheit viele Ausarbeitungen, mit teilweise unterschiedlichen Interpretationen. Abgesehen von der Oberflächenqualität schnitt das physikalische Schäumen tendenziell etwas besser ab. Was die Homogenität der Zellengröße und -verteilung betrifft, so verzeichnet das MuCell-Verfahren ein eindeutiges Plus. Der Prozess ist zwar etwas komplexer, durch die direkte Begasung aber klar definiert und daher absolut reproduzierbar. Ein weiterer Vorteil sind die um mindestens 80 % niedrigeren Treibmittelkosten.

Hingegen ist das chemische Schäumen aufgrund der indirekten Zuführung des Treibmittels über ein Dosiergerät sehr

Verfahren		Standard	MuCell
Maschine		CX 650 - 4300	CX 650 - 4300
Mehrinvestition MuCell-Ausrüstung	%		35
Kavitätenanzahl		1	1
Schussgewicht	kg	1	0,85
Gewichtersparnis	%		15
Zykluszeit	s	45	38
Optimierung Zykluszeit	%		18
Materialpreis, Beispiel PA	EUR/kg	2,80	2,80
Materialkosten pro Teil	EUR/Teil	2,80	2,38
Materialkostensparnis	EUR/Teil		0,42
Treibmittelanteil	%	0	0,5
Treibmittelkosten (Stickstoff)	EUR/kg		0,3
Treibmittelkosten pro Teil	EUR/Teil		0,001275
Jahresproduktionsstunden	h	6000	6000
Anzahl Teile pro Jahr		480 000	568 421
Treibmittelkosten pro Jahr	EUR		724,73
Materialkostensparnis pro Jahr	EUR		238 736,84
Gesamteinsparung pro Jahr	EUR		238 012,11

Tabelle 1. Kostenvergleich Kompakt-Spritzgießen vs. MuCell-Verfahren: Allein aus den Materialeinsparungen und der höheren Produktivität ergibt sich für die MuCell-Zusatzausrüstung zum Schäumen je nach Einzelfall ein Return on Investment (ROI) zwischen sechs Monaten und einem Jahr

einfach. Allerdings gibt es keine direkte Möglichkeit, den Prozess zu beeinflussen. Lediglich indirekt über die Temperaturführung und die Schneckendrehzahl lässt sich Einfluss nehmen.

Ein Nachteil der MuCell-Plastifizierung ist der wegen der mittleren Rückströmsperre verkürzte Plastifizierbereich, der sich je nach Material auf das benötigte Schussgewicht auswirken kann. Andererseits ist das Verfahren hinsichtlich der

Materialauswahl sehr flexibel. Etwa 90 % aller Anwendungen werden übrigens mit Stickstoff als Treibmittel betrieben. Daher eignet sich das Verfahren ideal für Anwendungen, bei denen spätere Ausgasungen (Fogging) unerwünscht sind.

Investitionskosten rechnen sich

Auf der Kostenseite ist die Sachlage eindeutig: Zwar schlagen für die MuCell-Ausrüstung höhere Investitionskosten zu Buche, doch sind demgegenüber die laufenden Kosten deutlich niedriger (Tabelle 1). Die aufgrund der reduzierten Treibmittelkosten und des geringeren Materialverbrauchs erzielbaren Einsparungen ergeben einen ROI von durchschnittlich sechs Monaten bis zu einem Jahr (ermittelt auf Basis einer Maschine mit 6500 kN Schließkraft). Zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang natürlich, dass das Volumen der Materialeinsparung von der Bauteilgröße abhängt. Als Richtwert kann eine Größenordnung von rund 10 bis nahezu 20 % angenommen werden. Hinzu kommt eine deutlich höhere Produktivität, die auf den um bis zu 20 % kürzeren Zykluszeiten beruht.

! Schäumen und Spritzprägen

Die Verfahrenskombination aus Schäumen und Spritzprägen wurde erstmals 2007 unter der Bezeichnung **Spritzguss-Integralverfahren (SGI)** vorgestellt. Das SGI-Verfahren, eine Gemeinschaftsentwicklung von KraussMaffei und einem Automobilhersteller, basiert auf dem Prinzip des chemischen Schäumens. Das Treibmittel ist in diesem Fall dem Granulat beigemischt. Während die Schmelze ins Werkzeug eingespritzt wird, ist die Wanddicke über das gesamte Bauteil konstant. Nach dem Einspritzen erkaltet die Außenhaut, die Maschine baut die Schließkraft ab und öffnet um einen sogenannten Schäumhub. In der noch plastifizierten Kunststoffseele schäumt nun das Treibmittel die Schmelze auf. Auf diese Weise lassen sich gezielt gleichmäßige Wanddicken von 2 bis 4 mm erzielen.

Mit dem Ziel, den Materialeinsatz weiter zu senken, wurde das Verfahren mittlerweile weiterentwickelt, wie anlässlich der VDI-Automobiltagung 2012 berichtet wurde. Durch das neue Konzept lassen sich Fehlstellen wie eine inhomogene Schaumstruktur oder unaufgeschäumte Bereiche verhindern. Zudem verbessert sich die Maßhaltigkeit [6].

Bild 5. Jürgen Wabersich (Mürdter), Andreas Handschke (KraussMaffei) und Dr. Hartmut Traut (Trexel, v. l. n. r.) begutachten die größte MuCell-Spritzgießmaschine der Welt. Die MC 5400-17.200 mit 54 000 kN Schließkraft eignet sich für das Kompakt-Spritzgießen, das MuCell- sowie das SGI-Verfahren (siehe Infokasten) gleichermaßen, ...



Insofern rentiert sich das physikalische Schäumen wie fast alle Sonderverfahren insbesondere für große Stückzahlen bzw. bei einer hohen Maschinenauslastung. Für Letzteres spricht die etwas eingeschränkte Einsatzflexibilität der Plastifiziereinheit. Zwar lassen sich mit der Sonderausrüstung auch kompakte Formteile herstellen, doch ist dabei die kürzere Plastifizierstrecke zu berücksichtigen. Zweckmäßiger ist es, bei entsprechendem Bedarf die MuCell-Plastifizierung gegen eine Standard-Plastifizierung auszutauschen.

Aktuelle Projekte

Die mit dem Schaumspritzgießen erzielbaren Material- und damit Gewichtseinsparungen wirken sich naturgemäß besonders bei sehr großen Bauteilen aus. Um potenzielle wie bereits aktive Anwender zu unterstützen, vereinbarten der Kunststoffverarbeiter Mürdter sowie die Anlagenausrüster Trexel und KraussMaffei eine Kooperation. Dazu nahm Ende 2011 die weltweit größte Spritzgießmaschine für das MuCell-Verfahren, eine MC 5400-17.200 mit 54 000 kN Schließ-

kraft, im Mürdter-Technikum in Mutlangen den Betrieb auf (Bild 5). Mit der Maschine ist es erstmals möglich, kompakt gespritzte und geschäumte Großbauteile direkt miteinander zu vergleichen. Überdies lassen sich die aus den Versuchen gewonnenen Erkenntnisse im nebenan gelegenen Werkzeugbau direkt umsetzen, was Zeit und Geld spart. Auf der Anlage kann auch das SGI-Verfahren getestet werden (siehe Infokasten Seite 154). Eine ähnliche, jedoch kleinere Anlage steht beim US-Verarbeiter Proper Group.

Bereits seit zwei Jahren setzt die Kunststofftechnik Wiesmayer GmbH, Neustadt an der Donau, das MuCell-Verfahren auf einer Großspritzgießmaschine mit 16 000 kN Schließkraft (Typ: MX; Hersteller: KraussMaffei) ein. Der Verarbeiter fertigt damit Innenträger für Türen der Mercedes E-Klasse in Tandemtechnik. Da der Prozess ohne Nachdruck auskommt, sind die Teile wesentlich verzugsärmer als kompakt gespritzte. Überdies hat sich durch den Einsatz der Tandemtechnik die Produktivität um den Faktor 1,6 verbessert, da während der Kühlphase des einen Teils das andere bereits ausgeformt wird [5]. →



... und auch in den USA gibt es die Möglichkeit, „echte“ geschäumte Großbauteile zu mustern. Die MX 2700 mit MuCell-Equipment, die bei Proper Mold bereitsteht, hat allerdings nicht die beeindruckenden Dimensionen wie die Anlage bei Mürdter (oben)

Unabhängig davon befasst sich KraussMaffei weiterhin mit den chemischen Schäumverfahren und vermarktet diese zusammen mit den physikalischen unter dem Namen CellForm.

Ausblick

Aktuelle Entwicklungen konzentrieren sich darauf, die Oberflächenqualität geschäumter Bauteile zu verbessern. Insbesondere die Fahrzeughersteller erhoffen sich hier Fortschritte. Die Rohstoff-

LITERATUR

- 1 Altstädt, V.; Mantey, A.: Thermoplast-Schaumspritzgießen. Carl-Hanser Verlag, München 2010
- 2 Bürkle, E.: Verfahren und Trends beim Spritzgießen. Kunststoffe 90 (2000) 1, S. 40-45
- 3 Bürkle, E.; Mitzler, J.: Spritzgießverfahren gestern, heute und morgen. Kunststoffe 95 (2005) 5, S. 51-56
- 4 Goldsberry, C.: Trexel pushes MuCell into the mainstream. www.plasticstoday.com/articles/trexel-pushes-mucell-mainstream-0106201204
- 5 Betsche, M.: Immer offen für neue Technologien. Kundenmagazin „Made by KraussMaffei“, Ausgabe 1/2010, S. 16

Bild 6. Verfahrenskombinationen aus Schäumen und Mehrkomponententechnik gewinnen an Bedeutung. Das Beispiel zeigt eine Abdeckung im Motorraum mit geschäumter Hart/Weich-Kombination für verbesserte Dimensionsstabilität



hersteller sind bereits dabei, geeignete Materialien zu entwickeln. Alternativ dazu können Narbungen oder erodierte Strukturen als erste Schritte infrage kommen. Für einwandfreie, möglicherweise hoch glänzende Sichtflächen eignet sich die Kombination mit einer dynamischen Werkzeugtemperierung, beispielsweise einer Impulskühlung, wie sie KraussMaffei auf der Fakuma 2012 vorstellt.

Denkbar sind zudem Verfahrenskombinationen, etwa mit dem Folien- oder mit dem Dekorhinterspritzen. Von Vorteil sind dabei die niedrigen Drücke beim MuCell-Verfahren. Um multifunktionale Bauteile herzustellen, lässt sich das physikalische Schäumen ebenso mit der Mehrkomponententechnik kombinieren (Bild 6).

Für die Herstellung von Strukturbauteilen sind Sandwichstrukturen mit Organoblechen ein Lösungsansatz. Grundsätzlich gilt jedoch, dass dem MuCell-Verfahren nicht nur wegen seiner technischen Vorteile, sondern vor allem wegen des ressourcenschonenden Materialeinsatzes eine große Zukunft vorhergesagt werden kann. ■

- 6 Reisch, T.; Pflamm-Jonas, T.; Radlewitz, T.; Steiger, R.: Cockpitkonzept der Zukunft am Beispiel der BMW 1-er und 3-er Reihe. In: Tagungshandbuch „Kunststoffe im Automobilbau“, VDI Verlag, Düsseldorf 2012, S. 71-81

DIE AUTOREN

ANDREAS HANDSCHKE, geb. 1968, ist Technologiemanager für MuCell und die Mehrkomponententechnik bei der KraussMaffei Technologies GmbH, München.

DIPL.-ING. (FH) JOCHEN MITZLER, geb. 1973, ist Leiter des Strategischen Produktmanagements der KraussMaffei Technologies GmbH, München.

SUMMARY

PHYSICAL FOAMING MADE EASY

THERMOPLASTIC FOAM INJECTION MOLDING. Savings in weight and material, dimensional stability plus higher productivity are aspects that fire the imagination of developers. All the more surprising is the fact that injection molding specialists have dealt with the physical foaming of thermoplastics rather hesitantly in the past. Especially in lightweight construction, the MuCell process offers great potential.

Read the complete article in our magazine

Kunststoffe international and on

www.kunststoffe-international.com