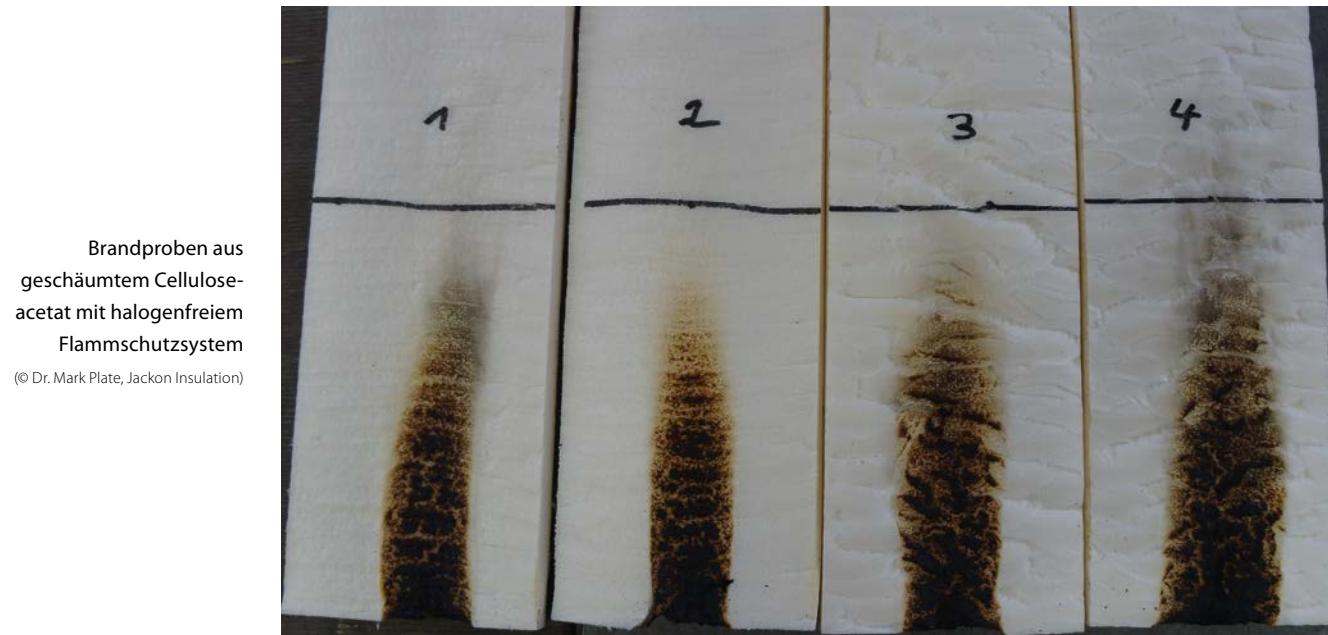


# Biokunststoff mit halogenfreiem Flammschutz

*Geschäumte Platten und Spritzgießbauteile aus Celluloseacetat mit halogenfreiem Flammschutzsystem und umweltfreundlichen Treibmitteln*

Geschäumte Platten aus Polystyrol (XPS) werden seit Generationen zur thermischen Isolierung von Gebäuden eingesetzt. Aufgrund vergleichbarer mechanischer und thermischer Eigenschaften stellt das biobasierte Celluloseacetat (CA) eine vielversprechende, nachhaltige Alternative dar und ist aufgrund seiner Wärmeformbeständigkeit auch ein interessanter Werkstoff für technische Bauteile. Solche extrudierten oder spritzgegossenen Produkte mit halogenfreien Flammschutzsystemen und umweltfreundlichen Treibmitteln herzustellen, ist jedoch eine Herausforderung.

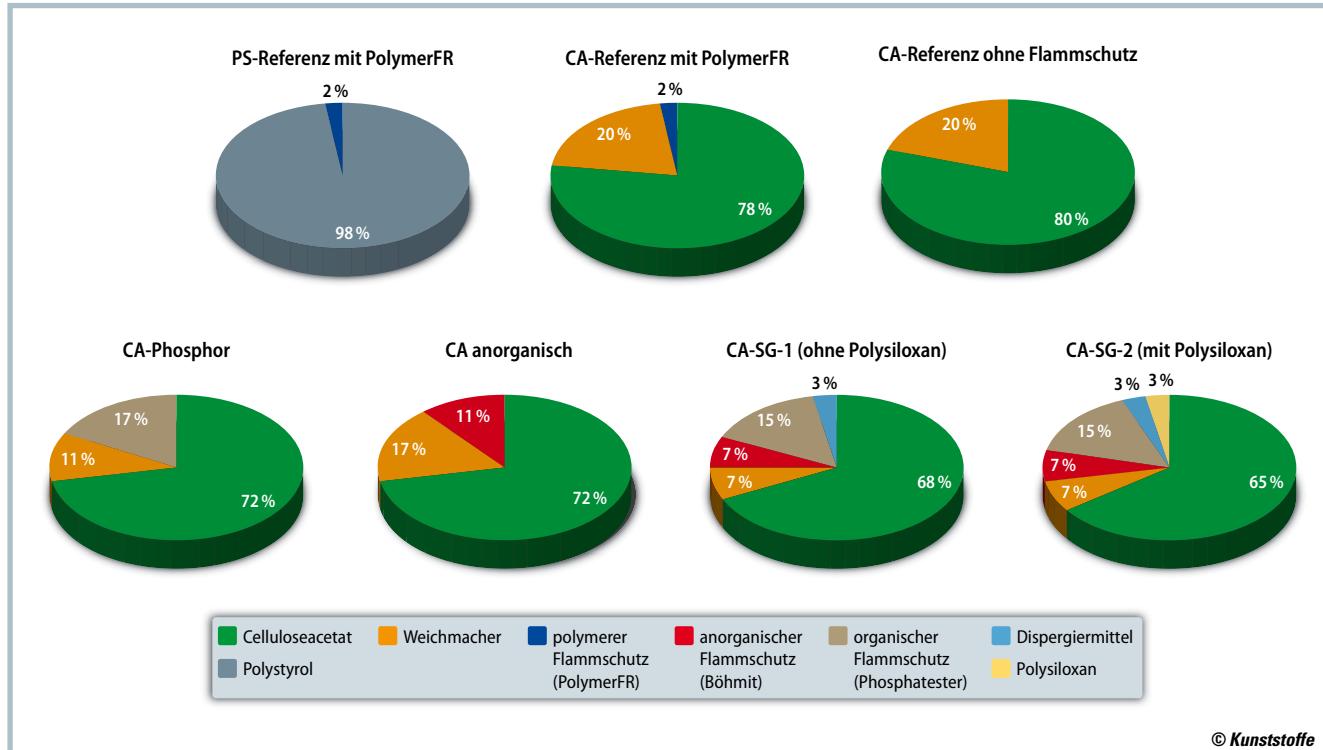


**E**xtrudierte Schaumplatten werden oft für Dämmanwendungen verwendet. Der europäische Markt für Dämmstoffe wird 2024 voraussichtlich auf ein Volumen von 205 Mio. m<sup>3</sup> anwachsen; einen großen Anteil daran haben Schaumplatten aus extrudiertem Polystyrol (XPS) [1]. Mit Celluloseacetat (CA) steht ein biobasierter Kunststoff bereit, der ähnliche Eigenschaften aufweist und als Substituent für PS in Dämmanwendungen in Frage kommt [2, 3]. Schaumprodukte müssen in diesen An-

wendungen hohe Anforderungen an den Brandschutz erfüllen. Ebenso muss CA mit Flammschutz ausgestattet werden, wenn das Material in technischen Anwendungen, etwa in der Unterhaltungselektronik-Branche, eingesetzt werden soll. Auch diese Branche wächst stetig und übersteigt das durchschnittliche gesamtwirtschaftliche Wachstum [1, 4]. Für die breitere Anwendbarkeit von CA ist es daher notwendig, sowohl für die Schaumextrusion als auch für das Schaumspritzgießen

flammgeschützte Compounds zur Verfügung zu stellen.

Flammschutzmittel werden zugesetzt, um die Ausbreitung von Feuer zu verhindern oder zu verzögern. Aufgrund zunehmender Bedenken hinsichtlich der Umweltverträglichkeit ist der Zusatz konventioneller Flammschutzadditive auf Basis von halogenierten oder bromierten Flammschutzmitteln wie Hexabromcyclododecan (HBCD) für Schaumanwendungen von CA nicht förderlich [5, 6]. Ge-



**Bild 1.** Rezepturzusammensetzung der untersuchten CA-Compounds und der Polystyrol-Referenz (Quelle: IKV)

eignete Alternativen sind sowohl anorganische als auch organische Flammenschutzmittel. Diese Additive müssen jedoch in vergleichsweise hoher Konzentration eingesetzt werden. Um Schaumprodukte mit gleichmäßig feinzelligen Schaumstrukturen und glatten Oberflächen herstellen zu können, ist es deshalb notwendig, Rezepturen zu entwickeln, die Materialeigenschaften für eine gute Schaummorphologie gewährleisten.

Da während des Zellwachstums eine multiaxiale Verstreckung der Zellwände stattfindet, sind ausreichende Schmelzfestigkeit und Schmelzdehnbarkeit erforderlich, um das Material im Schäumprozess erfolgreich verarbeiten zu können [7, 8]. Mit der Entwicklung von entsprechend angepassten, flammgeschützten CA-Compounds beschäftigt sich ein ak-

tuelles BMBF-Forschungsprojekt, das gemeinsam von den Projektpartnern FKuR Kunststoff GmbH, Willich, Fraunhofer Umsicht, Oberhausen, Jackon Insulation GmbH, Mechau, und dem Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen durchgeführt wird. Ziel dieser Untersuchungen ist, einerseits die Verarbeitbarkeit der flammgeschützten Compounds im Schaumextrusions- und Schaumspritzgießprozess zu bewerten und andererseits die Flammenschutzwirkung der hergestellten Bauteile zu analysieren.

### Verwendete Materialien

Um die Verarbeitbarkeit und die Flammenschutzwirkung der CA-Compounds zu untersuchen, werden unterschiedliche

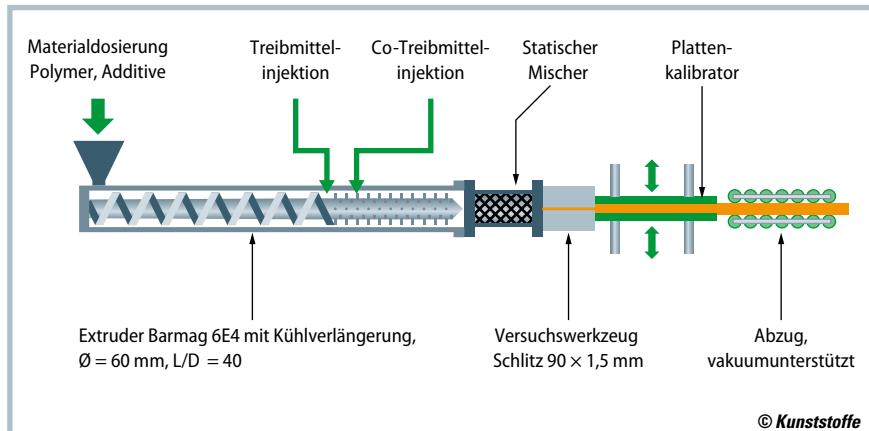
Compoundzusammensetzungen betrachtet. Als Grundmaterial und Referenz dient eine in einem Vorprojekt entwickelte schäumbare, nicht flammgeschützte CA-Type (Biograde V2844 bzw. V2845, Hersteller: FKuR GmbH, Willich).

Um die Glasübergangstemperatur abzusenken und eine thermoplastische Verarbeitbarkeit zu erreichen, wird dabei ein biobasierter Weichmacher eingesetzt, der vom Projektpartner Fraunhofer Umsicht auf Basis von Polyglycerin entwickelt wurde und für Lebensmittelkontakt zugelassen ist [9, 10]. Die Flammenschutzmittel werden gemäß Rezeptur (Tabelle 1 und Bild 1) hinzucompoundiert.

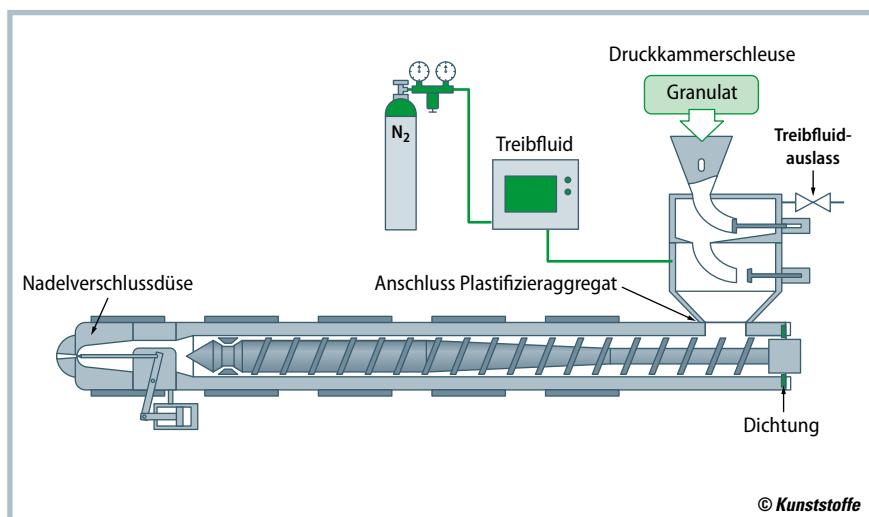
Als Referenz für die Flammenschutzwirkung wird ein kommerziell verfügbares Polystyrol (Typ: Styron 660, Hersteller: Trieso Deutschland GmbH, Schkopau) in Kombination mit einem herkömmlichen polymeren Flammenschutzmittel (PolymerFR) verwendet. Dieses polymere Flammenschutzmittel wird auch in der CA-Referenz (Grundmaterial CA V2844) eingesetzt. Zusätzlich wird je eine halogenfreie flammgeschützte CA-Rezeptur mit phosphorbasierten und anorganischen Flammenschutzmitteln hergestellt. Für die Versuche im Spritzgießen werden je eine Type mit und ohne Polysiloxan als Synergist untersucht.

Typenbezeichnung	Grundmaterial	Flammenschutzmittel	Hinweise
PS-Referenz	PS Styron 660	PolymerFR	halogenhaltig
CA-Referenz	CA V2844	PolymerFR	halogenhaltig
CA-Phosphor	CA V2844	Phosphatester	halogenfrei
CA anorganisch	CA V2844	Böhmit	halogenfrei
CA-SG-1	CA V2845	Böhmit, Phosphatester	halogenfrei
CA-SG-2	CA V2845	Böhmit, Phosphatester, Polysiloxan	halogenfrei

**Tabelle 1.** Typenbezeichnungen und Rezepturbestandteile der für die Extrusion und das Spritzgießen (SG) untersuchten CA-Compounds (Quelle: IKV)



**Bild 2.** Die im Rahmen des Projekts am IKV genutzte Schaumextrusionslinie (Quelle: IKV)



**Bild 3.** ProFoam-Prozess zum Einbringen des Treibmittels in das Celluloseacetat (Quelle: IKV)

### Anlagentechnik für die Schaumextrusion

Die Versuche zur Schaumextrusion von CA werden am IKV auf einem 60 mm Einschneckenextruder (Typ: Barmag 6E4, Hersteller: Oerlikon Textile GmbH & Co. KG, Remscheid) mit einem L/D-Verhältnis von 40 durchgeführt. **Bild 2** zeigt den schematischen Anlagenaufbau. Die Treibmittelinjektion erfolgt bei 15D (Haupttreibmittel) und 19D (Co-Treibmittel). Die letzten 13D der Extruderschnecke sind als Kühlverlängerung ausgeführt und flüssigtemperiert. Für die thermische und stoffliche Homogenisierung des Schmelze-Treibmittel-Gemischs wird ein öltemperierter statischer Mischer (Typ: SMB-plus, Hersteller: Promix Solutions AG, Winterthur/Schweiz) zwischen Extruder und Schäumdüse installiert. Das Schäumwerkzeug hat einen Schlitzquerschnitt mit einem einstellbaren Düsenspalt von 0,8 mm bis 1,5 mm und eine Schlitzbreite

von 80 mm. Eine Schaumplattenkalibrierseinheit (Typ: IW-KVHO-600, Hersteller: IWI-GmbH, Untermeitingen) wird verwendet, um Schaumplatten definierter Dicke zu bilden (**Bild 2**). Mehrere Druckaufnehmer und Temperatursensoren ermöglichen eine Überwachung der Schmelz- und Schäumparameter von der Aufschmelzzone bis zur Düse.

Als Treibmittel kommt HFO-1234ze der Honeywell Deutschland GmbH, Offenbach, zum Einsatz. Es handelt sich dabei um ein klimafreundliches Isolergas (1,3,3,3-Tetrafluorpropen) mit einem relativen Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP) von etwa 7 bezogen auf CO<sub>2</sub> (berechnet auf 100 Jahre) [11].

Als Co-Treibmittel kommt Ethanol (Hersteller: Julius Hoesch GmbH & Co. KG, Düren) zum Einsatz. Die Injektion der Treibmittel erfolgt mittels Doppelkolbenpumpen (Typ: EK-2, Hersteller: Lewa GmbH, Leonberg) bzw. HPLC-Pumpen (Typ: S1050, Hersteller: Knauer Wissen-

schaftliche Geräte GmbH, Berlin), zur Trocknung und Dosierung der Materialien und Additive werden Trockenlufttrockner und eine gravimetrische Dosiereinrichtung (Typ: Gravicolor 60, Hersteller: Motan GmbH, Isny) eingesetzt.

### Anlagentechnik für die Schaumspritzgießversuche

Für die Untersuchung der Einsatzfähigkeit des entwickelten flammschutzadditivierten CA-Compounds für den Schaumspritzgießprozess wurden ausgewählte Rezepturen auf einer Spritzgießmaschine des Typs Allrounder 520A alldrive der Arburg GmbH & Co. KG, Loßburg, eingesetzt. Diese Maschine verfügt über eine Spritzeinheit mit einer Standardschnecke, die einen Durchmesser von 35 mm und ein L/D-Verhältnis von 23 aufweist. Das Treibmittel wird in das Celluloseacetat mithilfe des am Institut für Kunststoffverarbeitung entwickelten ProFoam-Systems eingebracht. Es basiert auf einem Schleusensystem, das zwischen dem Trichter und der Materialversorgung der Maschine montiert ist (**Bild 3**) [12].

Die Schleuse besteht aus zwei durch gasdichte Kegeldichtungen voneinander getrennten Kammern. Die Dichtungen werden pneumatisch bewegt und über ein zusätzliches Bedienfeld gesteuert. Die untere Gaskammer wird ständig unter Gasdruck gehalten, während der Druck in der oberen Kammer zyklisch auf Atmosphärendruck reduziert wird, um Material in die Schleuse zu fördern. Das System lässt sich variabel für die Begasung mit unterschiedlichen Treibmitteln nutzen, weil das Treibmittel im gasförmigen Zustand zugeführt wird. Der maximale Kammerdruck für die Schleusenkammern beträgt 50 bar. Da die Gaszuführung durch die Schleuse mit einer herkömmlichen Spritzgießschnecke möglich ist, reduziert sich im Vergleich zum konventionellen Spritzgießen die in den Kunststoff eingebrachte Scherung nachweislich [13]. So mit bietet sich das Verfahren zur Verarbeitung von CA und anderen scherempfindlichen Materialien an.

### Schaumextrusion von CA-Bauteilen mit Flammschutzsystem

Die unterschiedlichen flammgeschützten CA-Compounds wurden bei den Projekt-partnern FKuR sowie Fraunhofer Umsicht

compoundiert und am IKV im Schaumextrusionsverfahren zu Schaumplatten verarbeitet. Als Nukleierungsmittel für Polystyrol wird ein 50%iges Talkum-Masterbatch verwendet (Typ: Hydrocerol Nuc 5510, Hersteller: Clariant Plastics & Coatings (Deutschland) GmbH, Ahrensburg). Für die CA-Compounds kommt als Nukleierungsmittel das 20%ige Masterbatch Biograde Nuc der FKuR zum Einsatz, bei dem es sich um ein Talkum in einer CA-Polymermatrix handelt. Talkum senkt die Energiebarriere für die Zellentstehung in der Polymerschmelze [7, 10, 14]. Die Masterbatch-Dosierung wird so eingestellt, dass sich ein Nukleierungsmittelanteil von 0,2 Gew.-% im Compound ergibt.

Durch Anpassung der Anlagenparameter (Temperaturen in den Heizzonen, in der Kühlverlängerung, im statischen Mischer und im Werkzeug; Anlagendrehzahl und Spaltweite) wurde für jedes Compound ein geeignetes Verarbeitungsfenster ermittelt. Dies ist nötig, um die für das Verschäumen notwendige Schmelzefestigkeit und einen ausreichend hohen Düsendruck zu erreichen. Limitierungen hinsichtlich des Druckes bestehen dabei im maximal zulässigen Schmelzefestigkeit und Dehnfähigkeit der Polymermatrix. So ergeben sich gegensätzliche

Eine der großen Herausforderungen bei der Verarbeitung von Compounds mit Flammschutzmitteln als Additiv ist die hohe Viskosität der Schmelze aufgrund des hohen notwendigen Füllstoffgehalts. Der Füllstoffgehalt beträgt insbesondere bei anorganischen Füllstoffen z.T. bis zu 60%. Die hohe Füllstoffbeladung verringert jedoch die zum Schäumen unbedingt erforderliche Schmelzefestigkeit und Dehnfähigkeit der Polymermatrix. So ergeben sich gegensätzliche

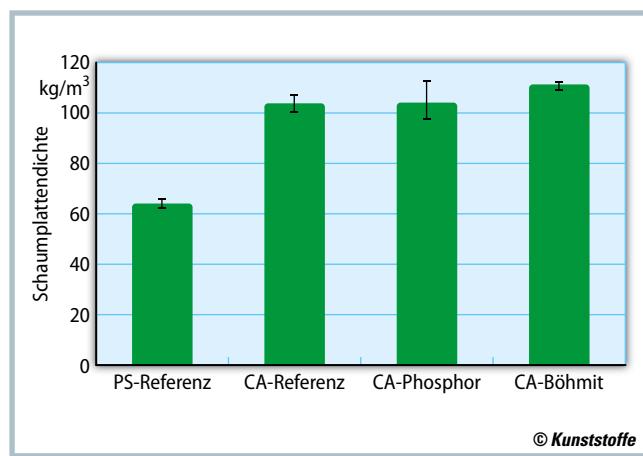
Anforderungen bezüglich Verarbeitbarkeit (möglichst geringer Füllstoffanteil) und Flammschutzwirkung (notwendiger hoher Füllstoffanteil) der verarbeiteten Compounds. Da etwa Phosphatester neben der Flammschutzwirkung auch eine weichmachende Wirkung zeigt, sind die Rezepturen hinsichtlich ihrer jeweiligen Flammschutzmittelanteile an die Anforderungen der Verarbeitbarkeit (Schäumfähigkeit, Schmelzefestigkeit, Fließfähigkeit) angepasst.

Aufgrund der unterschiedlichen Compounds-eigenschaften musste für jede Rezeptur ein individuelles Prozessfenster (Treibmittelrezeptur, Schmelztemperatur, Werkzeugdruck) zum Aufschäumen ermittelt werden. **Tabelle 3** listet die gewählten Prozessparameter auf.

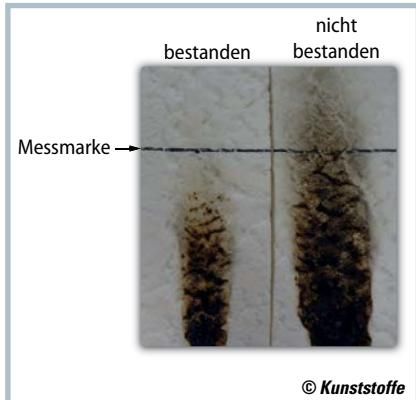
### Schaumspritzgießversuche

Auch für den Schaumspritzgießprozess müssen Material und Anlagenparameter aufeinander abgestimmt sein. Da flammgeschützte Spritzgießbauteile meist nach der weltweit verbreiteten Norm UL-94 hinsichtlich ihrer Flammschutzeigenschaften qualifiziert werden, muss für eine V0-Klassifizierung die Flamme innerhalb von 10 s verlöschen. Daher ist es nötig, anorganische Flammschutzmittel einzubringen, damit ein Brand durch die Abspaltung von Wasser aus dem Flammschutzmittel von selbst verlöschen kann. Die Rezepturen für die Verarbeitung im Schaumspritzgießverfahren unterscheiden sich im Anteil des Polysiloxans, das nicht nur flammschützend, sondern als Synergist wirkt, d.h. die Flammschutzwirkung steigert.

Die Additivierung mit anorganischen Flammschutzmitteln führt bei dem »



**Bild 4.** Schaum-dichten der untersuchten Compounds  
(Quelle: IKV)



**Bild 5.** Exemplarische Schaumproben nach dem Flammtest: Wird die Messmarke nicht erreicht (links), gilt die Prüfung als bestanden. Die Probe rechts hat die Prüfung nicht bestanden (© IKV)

bereits vergleichsweise hochviskosen Celluloseacetat zu einer weiteren Steigerung der Viskosität. Während das Referenzmaterial vollständig in die gewählte Form eingespritzt werden kann, lassen sich die flammgeschützten Compounds nicht ohne Treibmittelbeladung verarbeiten. Die Spritzgießform kann nicht vollständig mit Schmelze gefüllt werden, da die hohe Viskosität des Materials eine Füllung der Kavität mit dem maximalen Einspritzdruck der Maschine auch bei niedrigen Einspritzgeschwindigkeiten verhindert. Da das Treibmittel einen plastifizierenden Effekt auf die Schmelze ausübt, muss das Werkzeug daher mit gasbeladenem Kunststoff gefüllt werden. Daher wird der maximale Treibmittelbeladungsdruck von 50 bar gewählt, um die Schmelzviskosität durch die Treibmittelzugabe zu senken. Es ist zu erwarten, dass aufgrund der unterschiedlichen Diffusions- und Sorptionseigenschaften unterschiedlicher Treibmittel auch ein anderes Schäumverhalten auftritt; daher wurden für die Versuche sowohl Stickstoff als auch Kohlenstoffdioxid sowie ein Mischgas aus beiden Gasen eingesetzt.

Um die Viskosität möglichst niedrig zu halten, wurde die vom Hersteller empfohlene maximale Schmelztemperatur von 230 °C eingestellt. Eine Temperaturerhöhung auf über 230 °C Düsentemperatur führt zu einer Degradation des Materials. So ergibt sich für die entwickelten Compounds nur ein schmales Verarbeitungsfenster. Zur Herstellung geschäumter Plattenkörper wurde das Negativprägeverfahren eingesetzt und als Probe-

körper eine Plattengeometrie mit den Maßen 90 mm x 140 mm x 3 mm gewählt.

### Resultierende Dichte der extrudierten Schaumplatten

Im Vergleich zur nicht flammgeschützten CA-Referenztype weisen die flammgeschützten Typen ein ähnliches Prozessfenster und ein vergleichbares Aufschäumverhalten auf. Die resultierenden Dichten der Schaumplatten hängen vom Aufschäumgrad, der Treibmittelrezeptur sowie den Verarbeitungsparametern ab. Das Gewicht der Proben wurde mit einer Feinwaage (Typ: ABS 220-4, Hersteller: Kern & Sohn GmbH, Balingen-Frommern) ermittelt, ihr Volumen mit einem Gaspyknometer (Typ: Accupyc1330, Hersteller: Micrometrics GmbH, Aachen). Die Schaumdichten (Bild 4) ergeben sich daraus als Quotient.

Die Dichte der PS-Referenzprobe liegt mit etwa 60 kg/m<sup>3</sup> in einem für XPS-Schaumplatten üblichen Bereich. Die Dichte der Schaumplatten aus CA beträgt sowohl mit als auch ohne Flammenschutz etwa 100 bis 110 kg/m<sup>3</sup>. Es zeigt sich somit, dass die Schaumplatten aus CA noch nicht im Dichtebereich der PS-Referenz hergestellt werden können. Dies ist insbesondere auf die ausgeprägte Randschicht zurückzuführen, in der deformier-

te und kollabierte Schaumzellen für eine lokal höhere Dichte sorgen. Kann die kompakte Randschicht durch geeignete Anlagen- und Prozesseinstellungen vermieden werden, können Schaumdichten im Bereich der PS-Referenz erreicht werden. Es muss jedoch beachtet werden, dass auch die Rohdichte der CA-Compounds etwa 20% höher ist als die der PS-Referenz und somit ein höherer Expansionsgrad nötig ist, um die gleiche Schaumdichte zu erreichen.

### Brandverhalten der extrudierten Schaumplatten

Um die Flammenschutzwirkung zu bewerten, wurde das Brandverhalten der Schaumplattenproben bei der Jackon Insulation GmbH, Mechau, gemäß Euroklasse E untersucht. Dabei darf die vertikale Flammausbreitung (Bild 5) innerhalb von 20 s nach Beginn der Beflammlung eine Messmarke 150 mm oberhalb des Beflammungspunkts nicht überschreiten [15, 16]. Die Ergebnisse der Entflammbarkeitstests fasst Tabelle 3 zusammen.

Die Referenzprobe aus Polystyrol besteht den Brandtest nach Euroklasse E, zeigt also, dass die im Technikumsmaßstab hergestellten Schaumplattenproben grundsätzlich geeignet sind, als Bewertungsgrundlage für die Entflammbarkeit

Material	HFO [Gew.-%]	EtOH [Gew.-%]	T <sub>Prozess</sub> [°C]	P <sub>Wkz</sub> [bar]
PS-Referenz	3,9	1,6	119	103
CA-Referenz	3,2	1,1	170	68
CA-Phosphor	4,2	1,5	162	106
CA anorganisch	2,7	1,1	171	78

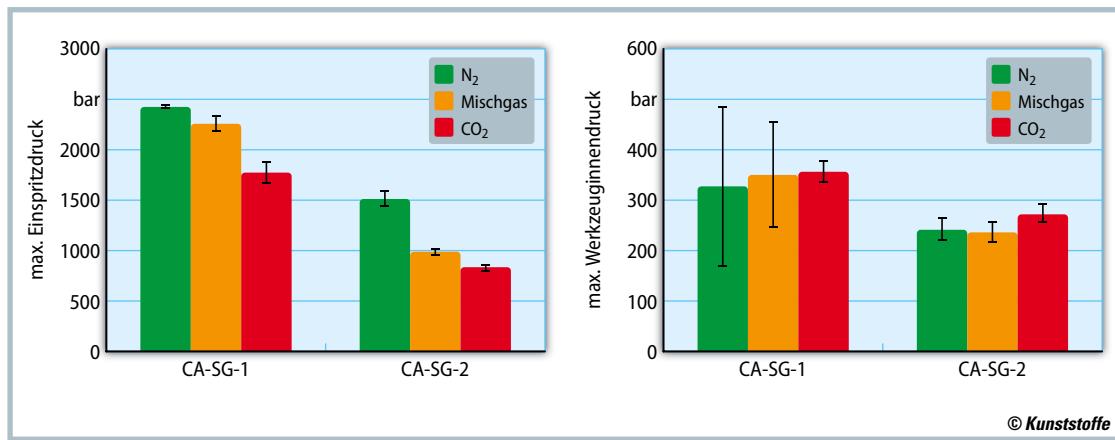
**Tabelle 2.** Prozessparameter der untersuchten CA-Compounds für Extrusionsanwendungen  
(Quelle: IKV)

Material	Flammeschutzmittel	Erreichen der Messmarke	Euroklasse E bestanden
PS-Referenz	PolyFR	Nein	Ja
CA-Referenz	PolyFR	Ja, nach 12 s	Nein
CA-Phosphor	Phosphatester	Ja, nach 9 s	Nein
CA anorganisch	Böhmit	Ja, nach 16 s	Nein

**Tabelle 3.** Ergebnisse der Brandprüfung nach Euroklasse E (Quelle: IKV)

	minimale Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]		maximale Dichtereduktion [%]	
	CO <sub>2</sub>	Mischgas	CO <sub>2</sub>	Mischgas
CA-SG-1	0,63	0,62	52	52
CA-SG-2	0,58	0,57	55	57

**Tabelle 4.** Gemessene Dichte der geschäumten Spritzgießbauteile sowie die im Vergleich zu den ungeschäumten Referenzbauteilen erzielten Dichtereduktionen (Quelle: IKV)



herangezogen zu werden. Die CA-Referenz mit dem polymeren Flammschutzmittel besteht den Test nicht. Es ist demzufolge nicht ausreichend, für PS funktionierende Flammschutzmittel wie PolymerFR in gleicher Weise für CA-Schaumprodukte einzusetzen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, eine CA-spezifische Flammschutzrezeptur zu entwickeln. Die CA-Probe mit dem phosphorhaltigen Flammschutzmittel erreicht die Messmarke am schnellsten, hat also die geringste Flammschutzwirkung. Die Flammhemmung der CA-Type mit anorganischem Flammschutz ist etwas besser, die Probe besteht den Test gemäß Euroklasse E dennoch nicht. Somit ist die Flammenschutzwirkung der entwickelten Compounds für Schaumplattenanwendungen noch nicht ausreichend.

#### Einspritzdrücke und Schaumstrukturen der spritzgegossenen Probekörper

Trotz der prozesseitigen Maßnahmen zur Reduktion der Schmelzeviskosität

stellt die Verarbeitung der gewählten Rezepturen eine Herausforderung dar. **Bild 6** zeigt die maximalen Einspritzdrücke, die ein Maß für die Verarbeitbarkeit der Compounds sind. So liegen die maximalen Einspritzdrücke mit der Type1 (ohne Polysiloxan) mit N<sub>2</sub> bei nahezu 2500bar und damit nahezu am Anlagenlimit; durch die Verwendung von CO<sub>2</sub> und dem Mischgas aus 50% CO<sub>2</sub> und 50% N<sub>2</sub> lässt sich der Druckbedarf jedoch signifikant senken. Ungeschäumte Referenzbauteile ohne Treibmittelbeladung können aufgrund der hohen Schmelzeviskosität allerdings nicht hergestellt werden. Im Vergleich zur Type1 ist der Druckbedarf bei Type2 deutlich geringer; hier zeigt sich auch der positive Einfluss des Treibmittels auf den maximalen Einspritzdruck. Es ist zu erkennen, dass CO<sub>2</sub> eine höhere viskositätsverringernde Wirkung aufweist als N<sub>2</sub> und das Mischgas.

Während die erzielte maximale Dichtereduktion bei beiden Rezepturen mit über 50% vielversprechend ist (**Tabelle 2**) weisen die Schaumstrukturen im Bauteil-

inneren je nach Treibmittel und Rezeptur deutliche Unterschiede auf (**Bild 7**). Die mit CO<sub>2</sub> als Treibmittel hergestellten Schaumstrukturen sind hinsichtlich Zellgröße und -verteilung homogener als bei der Verwendung von N<sub>2</sub> (**Bild 7 oben**). Zudem weist die Zellstruktur der mit N<sub>2</sub> geschäumten Proben auch mehr zusammenhängende Bereiche auf. Die mit Mischgas geschäumte Struktur (**Bild 7 unten links**) ist grobzelliger als die mit N<sub>2</sub> geschäumte Probe (**Bild 7 oben links**), jedoch feiner als die mit CO<sub>2</sub> geschäumte Probe (**Bild 7 oben rechts**).

Die SG-2-Type (mit Polysiloxan), die hinsichtlich des Verarbeitungsverhaltens vielversprechend ist, weist jedoch eine deutlich gröbere Schaumstruktur auf (**Bild 7 unten rechts**) als die SG-1-Proben ohne Polysiloxan. Die beispielhafte Gegenüberstellung der beiden unteren Bilder zeigt, dass die SG-1-Type eine deutlich feinere Zellstruktur mit annähernd elliptischen Zellen aufweist, während für den gewählten Maßstab bei der SG-2-Type keine zusammenhängende Schaum- »

## Die Autoren

**Robert Breuer, M.Sc.**, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) im Bereich Schaumextrusion; [robert.breuer@ikv.rwth-aachen.de](mailto:robert.breuer@ikv.rwth-aachen.de)

**Yuxiao Zhang, M.Sc.**, ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) im Bereich Schaumspritzgießen; [yuxiao.zhang@ikv.rwth-aachen.de](mailto:yuxiao.zhang@ikv.rwth-aachen.de)

**Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann** ist Inhaber des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen und Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV).

## Dank

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03SF0485E gefördert. Dem BMBF gilt unser Dank. Ebenfalls gilt unser Dank der Honeywell Deutschland GmbH, Offenbach, für die Bereitstellung von Treibmittel.

## IKV-Seminare

Das Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) bietet eintägige Seminare zu den Themen Schaumextrusion und Schaumspritzgießen an:

- Das Seminar „Schaumextrusion thermoplastischer Kunststoffe – Grundlagen, Anlagentechnik und Praxis“ findet am 4.6.2019 in Aachen statt.
- Das Seminar „Thermoplast-Schaumspritzgießen – Einführung in Grundlagen und Fertigungstechnik“ findet am 22.5.2019 in Aachen statt.

Weitere Informationen:

➤ [www.ikv-aachen.de/veranstaltungen](http://www.ikv-aachen.de/veranstaltungen)

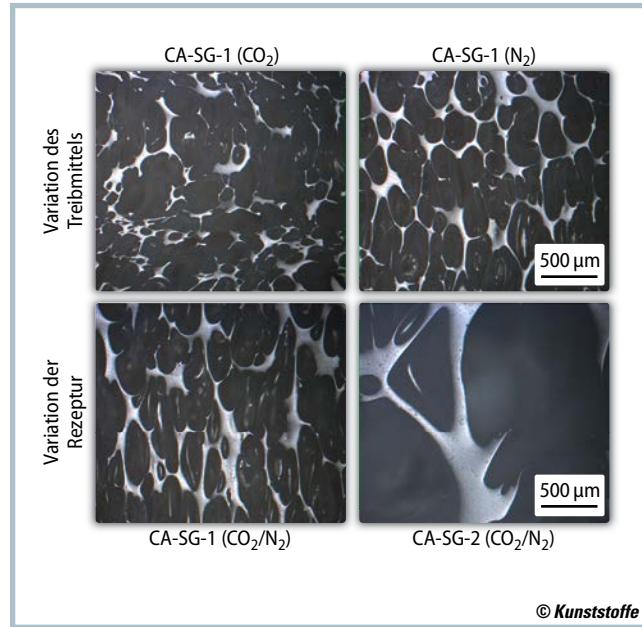
## Service

### Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/7682978](http://www.kunststoffe.de/7682978)

### English Version

- Read the English version of the article in our magazine **Kunststoffe international** or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)



**Bild 7.** Schaumstruktur der spritzgegossenen Bauteile: Die Mikroskopieaufnahmen lassen eine unterschiedliche Homogenität bei Zellgröße und -verteilung je nach Treibmittel und Rezeptur erkennen (© IKV)

struktur erkennbar ist. Diese Beobachtung bestätigt sich auch für die Proben mit den anderen Treibmitteln N<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>.

### Brandverhalten der spritzgegossenen Probekörper

Die ersten Tests mit den geschäumten Probekörpern zeigen bereits signifikant verbessertes Brandverhalten gegenüber der nicht flammgeschützten Referenz. So brennt die Probe nach der Beflammlung nicht komplett ab und die Nachbrennzeit nach der Beflammlung liegt unter dem für UL94V1 angegebenen Wert von 30 s. Jedoch kommt es zum brennenden Abtropfen, sodass lediglich die Klassifizierung nach UL94V2 erreicht werden kann.

### Fazit

Es wurde gezeigt, dass flammgeschützte CA-Compounds sich auf Einschneckenextrusionsanlagen zu Schaumplatten verarbeiten lassen. Dabei beeinflussen die Flammenschutzmittel sowohl die Prozessparameter als auch die resultierende Schaumstruktur und den Aufschäumgrad. Aufgrund des Einflusses der Rezepturbestandteile auf die Verarbeitungseigenschaften der Compounds muss für jede CA-Type ein eigenes Prozessfenster ermittelt werden. Es wird damit gerechnet, dass sowohl die Schaumstruktur als auch die Additive zum flammhemmenden Verhalten von Schaumplatten aus CA beitragen. Untersuchungen der Abhän-

gigkeit zwischen Ergebnis des Brandtests und der Schaumstruktur sollten folgen. Da das Verarbeitungsverhalten jedoch die Schaumoberfläche und Zellmorphologie beeinflusst, müssen weitere, iterative Materialentwicklungsschritte zur Optimierung der Verarbeitbarkeit und Schaumeigenschaften durchgeführt werden. Ein ausreichender Flammenschutz der CA-Schaumplatten zur Erreichung der Klassifizierung gemäß Euroklasse E konnte weder mit kommerziellen PS-Flammenschutzmitteln (PolymerFR), noch mit den verwendeten anorganischen oder phosphathaltigen Flammenschutzmitteln erreicht werden. Es sind demnach weitere Rezepturmodifikationen nötig.

Auch im Schaumspritzgießen konnten erfolgreich Bauteile aus den flammgeschützten CA-Compounds hergestellt werden, die die Klassifizierung nach UL94V2 erfüllen. Zur Erreichung der V0-Klassifizierung muss jedoch brennendes Abtropfen vermieden werden, so dass noch eine weitere Verbesserung der Rezeptur nötig ist: Einerseits hinsichtlich der Schmelzfestigkeit, um das brennende Abtropfen zu vermeiden, andererseits um die Verarbeitungsviskosität weiter zu senken, da sich mit der derzeitigen Rezeptur komplexe Bauteile für technische Anwendungen nicht realisieren lassen. Aussichtsreiche Rezepturmodifikationen ergeben sich durch eine Kombination unterschiedlicher organischer und anorganischer Flammenschutzmittel sowie das Nutzen von Synergieeffekten. ■