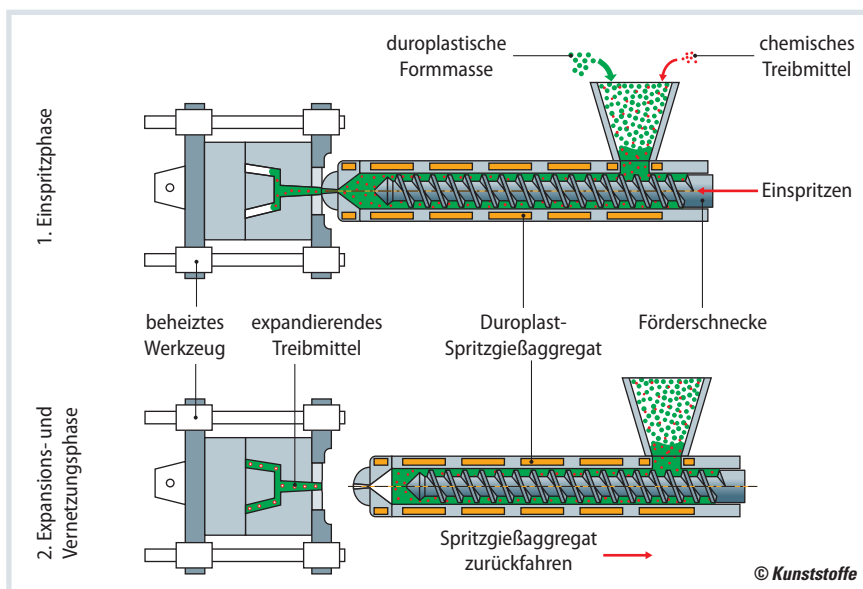


# Ausgezeichnete Beständigkeit bei reduziertem Gewicht

## Die Qualifizierung geeigneter Schaumspritzgießverfahren ermöglicht den Einsatz von Duroplasten in Leichtbauanwendungen

Die Übertragung des Schaumspritzgießens von der Thermoplast- auf die Duroplastverarbeitung ist in der industriellen Praxis bisher noch nicht umgesetzt. Das IKV in Aachen hat diesen Transfer untersucht und dabei die Wirtschaftlichkeit des Prozesses und das Leichtbaupotenzial genau analysiert.



**Bild 1.** Die Expansion des chemischen Treibmittels erfolgt beim Duroplast-Schäumen ähnlich wie beim Thermoplast-Schaumspritzgießen im Werkzeug, allerdings wird die Reaktion thermisch initiiert (Quelle: IKV)

Seit Jahren drängt die Politik die Automobilindustrie dazu, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß ihrer Flotten – und damit vor allem das Fahrzeuggewicht – zu reduzieren [1–3]. Gleichzeitig zeichnet sich ein Trend zu erhöhter Temperaturbeständigkeit der Materialien im Motorraum ab, weshalb hochtemperaturbeständige oder stabilisierte Kunststoffe immer wichtiger werden [4]. Diese können die höheren Anforderungen an die Temperaturbeständigkeit erfüllen und weisen gleichzeitig eine deutlich geringere Dichte als Metalle auf (z. B. PA66-GF30: ~1,4 g/cm<sup>3</sup>, Stahl: 7,9 g/cm<sup>3</sup>).

Im Vergleich zu Hochtemperaturthermoplasten, wie Polyphenylensulfid (PPS) oder Polyetheretherketon (PEEK), die hohe Einsatztemperaturen mit guten mechani-

schon Eigenschaften vereinen [4], sind duroplastische Formmassen mit ähnlichen Eigenschaften wesentlich preiswerter. Sie rücken daher vermehrt in den Fokus technischer Serienanwendungen [5–7]. Allerdings weisen duroplastische Formmassen eine höhere Dichte auf (EP ~1,9 g/cm<sup>3</sup>) als ihre hochtemperaturbeständigen thermoplastischen Pendanten [8]. Für den Einsatz in Leichtbauanwendungen ist die hohe Dichte ein wesentlicher Nachteil. Dabei sprechen insbesondere die ausgezeichneten thermischen und chemischen Eigenschaften sowie die niedrige Verarbeitungsschwindigkeit dafür, Duroplaste in motornahen Anwendungen einzusetzen.

Um das Formteilgewicht zu verringern, ist es möglich, Kunststoffe zu schäu-

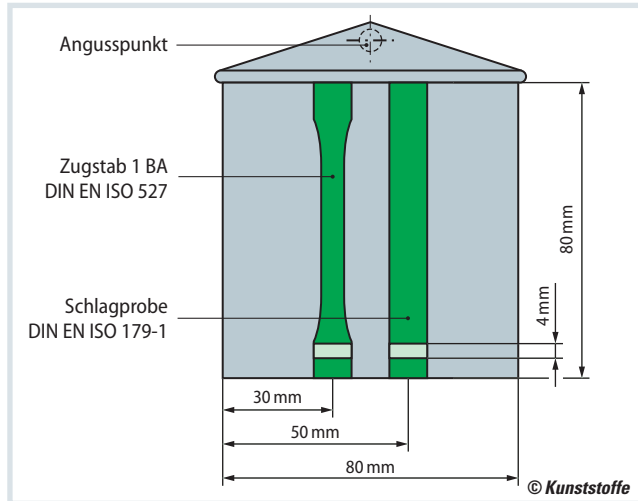
men. Das Thermoplast-Schaumspritzgießen (TSG) ist ein etabliertes Verfahren in der Industrie. Dabei wird durch Druckentspannung eines in der Kunststoffschmelze gelösten Treibgases während der Formgebung eine Schaumstruktur im Formteil erzeugt. Neben der Gewichtsreduzierung bietet dieses Verfahren weitere Vorteile. So wird durch das Schäumen eine homogene Nachdruckwirkung erzielt, da die Ausbildung von Gasblasen einen Druck direkt im entstehenden Bauteil erzeugt. Weiterhin reduziert sich durch die Zugabe des Treibmittels die Viskosität des Gemisches; dies wiederum ermöglicht geringere Einspritzdrücke und größere Fließweglängen.

### Welche Schäumverfahren sind geeignet?

Trotz dieses Potenzials ist eine Übertragung des TSG auf das Duroplast-Spritzgießen in der industriellen Praxis bisher noch nicht umgesetzt und wissenschaftlich kaum untersucht. Aus diesem Grund ist das Ziel der Forschung, geeignete Verfahren für das Schäumen duroplastischer Formmassen zu qualifizieren und zu analysieren.

Das physikalische Schäumen beruht auf Stofftransportvorgängen des Treibfluids im Kunststoff. Diese werden durch Konzentrations- bzw. Partialdruckgefälle angeregt [9]. Um das Sorptionsverhalten von Duroplasten zu überprüfen, hat das Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Aachen Hochdrucksorptionsmessungen zur Beladung von Epoxidharzformmassen (EP) mit CO<sub>2</sub> durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass nach einer Beladungszeit, die deutlich über wirtschaftlich sinn-

**Bild 2.** Die Probekörpergeometrie erlaubt die Analyse unterschiedlicher Materialeigenschaften (Quelle: IKV)



**Glashohlkugeln als Alternative zur Dichtereduktion**

Ein alternativer Ansatz zur Dichtereduktion ist der Einsatz von Glashohlkugeln (GHK). Diese weisen eine geringere Dichte als die Formmasse auf und reduzieren dadurch die Dichte der Bauteile. Ein Vorteil beim Einsatz von Glashohlkugeln besteht (wie beim chemischen Schäumen) darin, dass weder die Anlage noch der Prozess modifiziert werden muss. Die Dichtereduktion kann über den Mengengehalt an Glashohlkugeln eingestellt werden. Für die Prozessführung ist wichtig, dass die Scherung im Spritzgießprozess nicht die Druckfestigkeit der Glashohlkugeln übersteigt.

Aus diesem Grund werden bei den Verarbeitungsparametern neben dem Anteil an Glashohlkugeln (GHK, Typ: iM30k; Hersteller: 3M Deutschland GmbH, Neuss) die Schneckendrehzahl, der Einspritzvolumenstrom und die Düsentemperatur variiert. Als Matrixmaterial dient eine Phenolharzformmasse (Typ: Bakelite X22; Hersteller: Hexion GmbH, Iserlohn), die sich durch einen höheren Harzanteil für das Zudosieren zusätzlicher Füllstoffe eignet.

Die Versuchsreihe wurde auf einer Spritzgießmaschine des Typs Allrounder 370A – 600 (Hersteller: Arburg GmbH + Co KG, Loßburg) durchgeführt, die mit einem Duroplastaggregat (kompressionslose Förderschnecke, D = 30 mm, L/D = 15) ausgestattet ist. Als Probekörper dient eine Platte mit den Maßen 80 x 80 x 4 mm, aus der Probekörper für die Zugprüfung und ungekerbte Probekörper zur Bestimmung der Schlagzähigkeit ausgefräst werden (Bild 2).

**Vorteile auf einen Blick**

Die Reduzierung des Bauteilgewichts von Duroplasten ist für Spritzgießer von hoher praktischer und wirtschaftlicher Relevanz. Durch das Schäumen von Duroplasten lässt sich der Nachteil ihrer hohen Dichte kompensieren und die exzellenten thermischen und chemischen Eigenschaften können nutzbar gemacht werden – ohne aufwendige Modifikation der Anlagentechnik. Zur Verbesserung der Oberflächenqualität bietet es sich an, eine variotherme Prozessführung zu erproben.

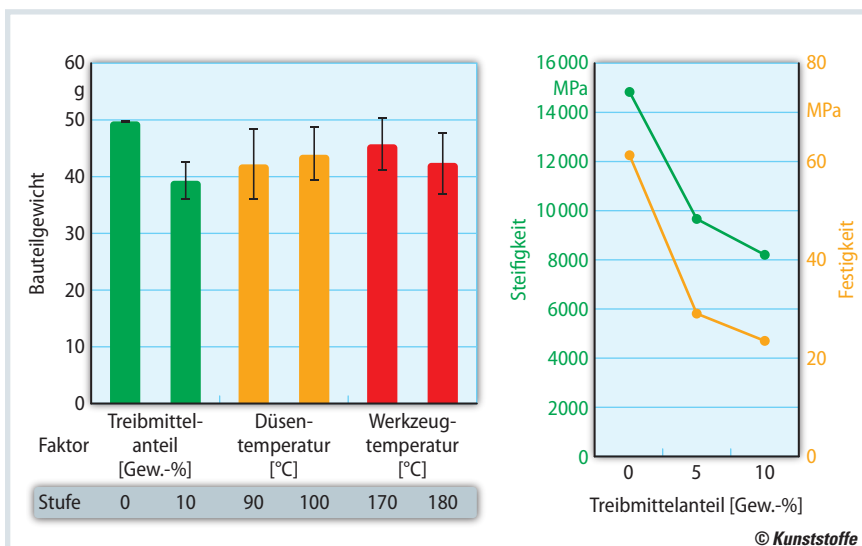
vollen Zykluszeiten liegt (> 60 min.), nur eine unzureichende Gasbeladung von < 1% erzielt wird.

Der Grund hierfür liegt in den hohen Füllstoffgehalten von Duroplasten, die Diffusionshindernisse darstellen und somit nur langsame Sorptionsgeschwindigkeiten sowie geringe Sorptionsfähigkeiten erlauben. Somit lässt sich das physikalische Schäumen nicht sinnvoll auf die Duroplastverarbeitung übertragen.

Im Gegensatz dazu können Duroplaste chemisch geschäumt werden, weil es dazu keiner wesentlichen Modifikation des Anlagenkonzepts bedarf. Das chemische Treibmittel wird als Pulver mit der duroplastischen Formmasse vermischt und der Spritzgießmaschine zugeführt. Beim Einspritzen in das heiße Werkzeug wird die Reaktionstemperatur des Treib-

mittels erreicht und dieses freigesetzt, sodass sich eine Schaumstruktur bildet. Diese wird durch die parallel ablaufende Vernetzungsreaktion fixiert (Bild 1).

Da sowohl die Vernetzungs- als auch die Treibmittelreaktion thermisch aktiviert werden, gilt es, die Temperaturführung bei der Versuchsplanung besonders zu beachten. Neben der Temperatur des Werkzeugs und der Düse des Spritzgießaggregats werden zusätzlich der Treibmittelanteil und der Einspritzvolumenstrom variiert. Als Materialien werden eine Epoxidharzformmasse (Typ: Epoxidur EP 3582; Hersteller: Raschig GmbH, Ludwigshafen) und ein endothermes chemisches Treibmittel (BIH, Typ: Hydrocerol BIH; Hersteller: Clariant Plastics & Coatings (Deutschland) GmbH, Lahnstein) verwendet.



**Bild 3.** Einfluss der Prozessparameter: Mit steigendem Treibmittelanteil wird das Bauteilgewicht reduziert. Die Ergebnisse der mechanischen Analyse sind rechts dargestellt (Quelle: IKV)

### Untersuchungen mit chemischen Treibmitteln

Die Schäumwirkung des chemischen Treibmittels auf die duroplastische Formmasse ergibt sich aus dem Gewicht der Prüfkörper. Um die Einflüsse und Wechselwirkungen der Prozessparameter zu analysieren, werden die Prüfkörpergewichte statistisch ausgewertet (**Bild 3, links**).

## Die Autoren

### Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann

ist Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen

**Maximilian Kramer, M.Sc.**, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am IKV und Leiter der Arbeitsgruppe Sonderwerkstoffe / Fluidinjektionstechnik; maximilian.kramer@ikv.rwth-aachen.de

**Dipl.-Ing. Stefan Haase** war bis 2018 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IKV und Leiter der Arbeitsgruppe Sonderwerkstoffe.

## Dank

Das IGF-Forschungsvorhaben 19501 N der Forschungsvereinigung Kunststoffverarbeitung wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Autoren danken außerdem den Unternehmen 3M Deutschland GmbH, Neuss, Arburg GmbH + Co KG, Loßburg, Clariant Plastics & Coatings GmbH, Ahrensburg, Hexion GmbH, Iserlohn, und Raschig GmbH, Ludwigshafen, für die Unterstützung und die Bereitstellung von Materialien und Anlagentechnik.

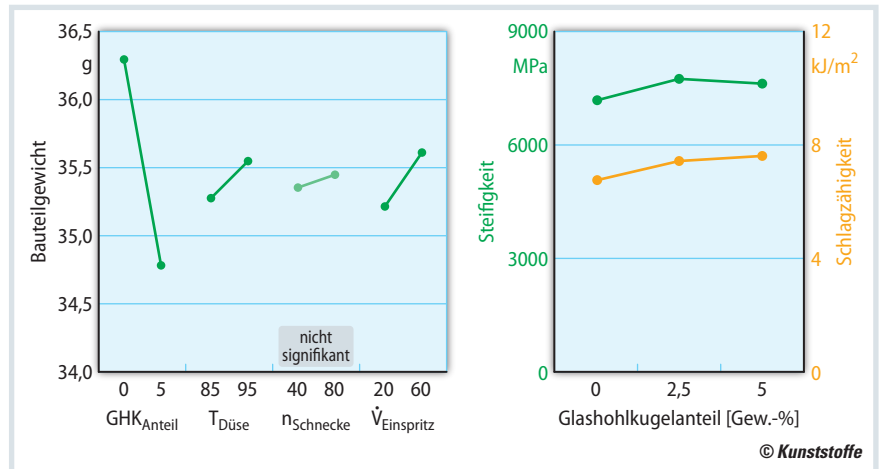
## Service

### Literatur & Digitalversion

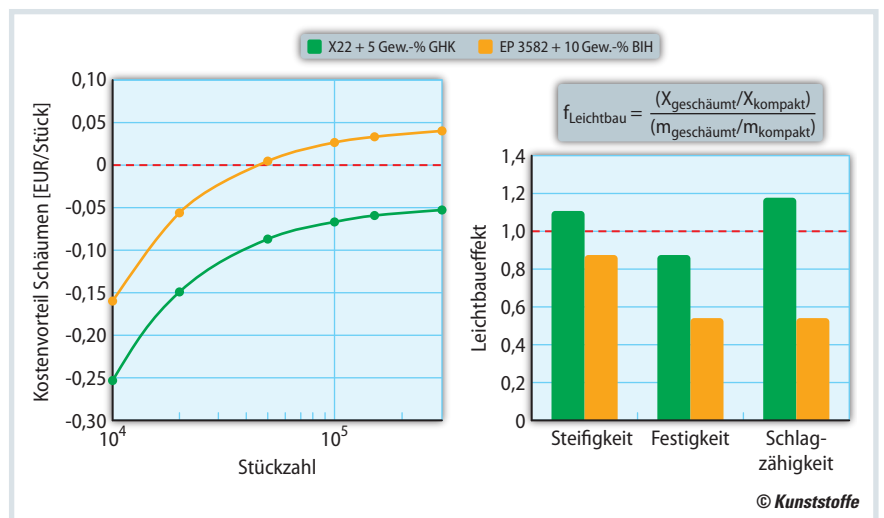
- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2019-11](http://www.kunststoffe.de/2019-11)

### 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 4.** Neben dem steigenden Anteil an Glashohlkugeln (GHK) führen sinkende Massetemperaturen und Einspritzgeschwindigkeiten zu geringeren Bauteilgewichten. Die Steifigkeit und Schlagzähigkeit können sogar verbessert werden (Quelle: IKV)



**Bild 5.** Die Kostenvergleichsrechnung zeigt, dass bei hoher Stückzahl durch den Einsatz chemischer Treibmittel ein wirtschaftlicher Vorteil entsteht. Demgegenüber verbessern Glashohlkugeln die mechanischen Eigenschaften (Quelle: IKV)

Bei der Zugabe von 10 Gew.-% Treibmittel ist, trotz einer zunehmenden Standardabweichung, eine signifikante Gewichtsreduzierung von bis zu 21 % (bezogen auf kompakte Prüfkörper) zu erkennen. Die Auswertung zeigt darüber hinaus keine weiteren statistisch signifikanten Effekte oder Wechselwirkungen der variierten Prozessparameter.

Aus der Analyse der mechanischen Eigenschaften geht hervor, dass durch die Schaumstruktur die Eigenschaften überproportional zur erzielten Gewichtsreduzierung abfallen (**Bild 3, rechts**). So verringert sich die Steifigkeit, verglichen mit den kompakten Referenzproben, um bis zu 25%, Festigkeit und Schlagzähigkeit der geschäumten Proben betragen lediglich die Hälfte des Ausgangswerts.

### Vor- und Nachteile von Glashohlkugeln

Nach mikroskopischer Untersuchung der Bruchflächen haben sich inhomogene Schaumstrukturen im Querschnitt der Probekörper als Hauptursache herausgestellt. Die inhomogene Verteilung des Treibmittels führt zu Bereichen mit agglomerierten Gasbläschen, die als Fehlstellen im Werkstoff wirken und damit das Versagen der Prüfkörper erklären. Die Abnahme der mechanischen Eigenschaften ist kritisch zu bewerten, stellt jedoch nicht unmittelbar ein K.o.-Kriterium dar.

Bei der Analyse, wie stark die Glashohlkugeln das Gewicht der Prüfkörper beeinflussen, zeigt sich eine statistische Signifikanz der Prozessparameter Glas-

hohlkugelanteil, Düsentemperatur sowie Einspritzgeschwindigkeit (Bild 4, links). Der Einsatz von 5 Gew.-% Glashohlkugeln verringert das Gewicht um ca. 5% (verglichen mit den kompakten Referenzproben). Weiterhin bewirken sowohl eine Erhöhung des Einspritzvolumenstroms als auch der Düsentemperatur eine Zunahme des Bauteilgewichts. Dies ist auf eine stärkere Scherung durch den zunehmenden Geschwindigkeitsgradienten bei steigendem Volumenstrom zurückzuführen, die die Glashohlkugeln schädigt. Eine höhere Massetemperatur verringert die Viskosität – aus der resultierenden verstärkten Scherung der Formmasse im Bereich der Blockströmung erklären sich die größeren Bauteilgewichte.

Zusätzlich zu den Formteilgewichten werden die mechanischen Eigenschaften untersucht (Bild 4, rechts). Durch den Einsatz von Füllstoffen werden Eigenschaften wie die Steifigkeit und Festigkeit beeinflusst. Füllstoffe wie Glashohlkugeln, die eine größere Steifigkeit als das Grundmaterial besitzen, erhöhen die Steifigkeit insgesamt. Diesen Einfluss bestätigen die mechanischen Untersuchungen.

Die Untersuchungen zeigen darüber hinaus, dass mit höheren Anteilen an Glashohlkugeln die Festigkeit abnimmt. Zur Beeinflussung der Festigkeit ist das Aspektverhältnis des Füllstoffs entscheidend. Da Glashohlkugeln ein Aspektverhältnis von 1 besitzen, sind diese nur bedingt dazu geeignet, die Festigkeit zu verbessern. Zudem zeigt sich eine Verbesserung der Schlagzähigkeit mit steigendem Glasanteil. Dies ist auf eine gute Haftung zwischen duroplastischer Formmasse und Glashohlkugeln zurückzuführen.

### Kostenvergleich erleichtert Verfahrensauswahl

Zu einer Einschätzung, welches Schäumverfahren für Duroplaste besser geeignet ist, gelangt man durch eine Analyse der Wirtschaftlichkeit. Dazu führte das IKV eine statische Kostenvergleichsrechnung für beide Verfahrensalternativen durch (Bild 5). In dieser Rechnung werden

- die Kosten der Werkstoffe,
  - die Abschreibungskosten für Werkzeug und Spritzgießmaschine,
  - die Betriebskosten aller verwendeten Anlagen sowie
  - die Personalkosten
- berücksichtigt. Die Kostendifferenz, je-

weils zum kompakten Bauteil, ist über einer Stückzahl pro Jahr von 10000 bis 300000 angegeben.

Durch Erzeugen einer Schaumstruktur mit Glashohlkugeln lässt sich kein Kostenvorteil gegenüber kompakten Probekörpern erzielen. Mit steigender Stückzahl sinkt die Differenz zwar, läuft aber gegen einen Grenzwert von ca. 0,05 EUR pro Bauteil – um diesen Betrag sind die kompakten Probekörper günstiger in der Produktion. Dies kann durch die im Vergleich zum Duroplasten hohen Materialkosten der Glashohlkugeln und die geringere Gewichtsreduktion erklärt werden.

Im Gegensatz dazu führt der Einsatz chemischer Treibmittel ab einer Stückzahl von 50000 zu einem Kostenvorteil gegenüber kompakten Bauteilen. Die höheren Materialkosten des Treibmittels werden hierbei durch die Materialeinsparung des Duroplasts (ca. 20%) übertroffen.

Daneben kann der Leichtbaueffekt zur Bewertung der Verfahrensalternativen genutzt werden (Bild 5, rechts). Dieser berücksichtigt neben der Gewichtsreduktion zusätzlich die Änderung der mechanischen Eigenschaften. Ist der Leichtbaueffekt größer als eins, bedeutet dies eine Verbesserung der gewichtsspezifischen mechanischen Eigenschaften. Die Auswertung zeigt keinen Leichtbaueffekt für das chemische Schaumspritzgießen. Bei der Verwendung von Glashohlkugeln wird allerdings ein Leichtbaueffekt im Hinblick auf die Steifigkeit und die Schlagzähigkeit erzielt.

### Fazit

Beim chemischen Duroplast-Schaumspritzgießen lässt sich das Bauteilgewicht erheblich verringern, woraus bereits bei geringen Stückzahlen ein Preisvorteil resultiert. Allerdings gehen damit schlechtere mechanische Eigenschaften einher. Im Vergleich dazu können mit dem Einsatz von Glashohlkugeln die mechanischen Eigenschaften bei reduziertem Gewicht verbessert werden. Diesem Leichtbaueffekt stehen jedoch höhere Materialkosten gegenüber. Somit bieten beide Verfahrensvarianten bereits zum jetzigen Entwicklungsstand ein großes Potenzial, leichtbauoptimierte Bauteile aus duroplastischen Formmassen herzustellen, die sich durch ihre hervorragende thermische und chemische Beständigkeit auszeichnen. ■

## Überzeugende Unternehmenskommunikation!



KUNDENJOURNALE  
JUBILÄUMS-  
MAGAZINE  
FACHBÜCHER  
UNTER-  
NEHMENS-  
BERICHTE

CHRONIKEN  
IMAGEBROSCHÜREN



### Jetzt kostenlose Beratung sichern!

Vereinbaren Sie einen Termin unter Telefon +49 89 99 830-508 (Dr. Maria Platte) oder senden Sie uns eine E-Mail an cp@hanser.de. Stichwort: ETAR