

# Leichter als Wasser

## Polyamid-Blends mit geringem Gewicht und gleichzeitig hoher Steifigkeit

Das Thema Gewichtsreduzierung steht bei zahlreichen Produktentwicklungen zunehmend auf der Tagesordnung. Beispielsweise kann ein neu entwickeltes (Polyamid+Polypropylen)-Blend durch seine geringe Dichte in Kombination mit einem speziellen Verarbeitungsprozess bis zu 30 % an Gewicht einsparen.

Die Industrie gelangt auf der Suche nach Einsparpotenzialen hinsichtlich Gewichtsreduktion kontinuierlich zu neuen Lösungswegen. Beispielsweise weist ein von der Akro-Plastic GmbH, Niederzissen, neu entwickeltes Polyamid-Blend (PA+PP) durch Zugabe von chemisch gekoppeltem Polypropylen nach Aufnahme von Wasser die gleichen Festigkeiten auf wie ein Standard-Polyamid. Die Blends sparen – je nach Anwendungsfall und Verstärkungsgrad – bereits 7 bis 10 % an Gewicht im Vergleich zum Standard-Polyamid ein und weisen eine verbesserte Fließfähigkeit auf (Tabelle 1). Um das Gewicht von Bauteilen weiter zu senken, bietet sich das Beladen der Schmelze durch chemische oder physikalische Treibmittel an.

### Weitere Gewichtsersparnis durch Schäumen

Eine Möglichkeit, das Gewicht weiter zu senken, eröffnet die Verarbeitung im Schaumspritzgießen. Dazu wird der Schmelze unter Druck ein Treibgas zugesetzt, das den Kunststoff nach bzw. während der Formfüllung aufschäumt. Bei diesem sogenannten physikalischen Schäumen wird das Gas mit sehr hohem Druck mittels aufwendiger Prozesstechnik direkt in die Schmelze injiziert. Das Verfahren gewann insbesondere durch die Lockerung der Patentsituation deutlich an Beliebtheit. In der Regel werden hierbei Gewichtsreduktionen um 6 bis 7 % erreicht.

Beim chemischen Schäumen wird ein chemisches Treibmittel mittels Masterbatch zum Kunststoff hinzudosiert. Im Verarbeitungsprozess bildet sich das Treibgas



Bauteile aus einem neu entwickelten (Polyamid+Polypropylen)-Blend sind mit einer Dichte kleiner als Eins leichter als Wasser (Bilder: Akro-Plastic)

unter den Bedingungen des Aufschmelzens in der Plastifiziereinheit. Es löst sich in der Schmelze und schäumt den Kunststoff nach Druckentlastung während der Verarbeitung auf. Der Vorteil dieser Masterbatchlösung liegt – neben der Flexibilität – in der Option, durch die Formulierung des Masterbatches weitere Komponenten in den Prozess zu bringen. Diese wirken sich zusätzlich positiv auf die Schaumbildung und den Verarbeitungsprozess aus und können je nach Polymer und Verarbeitungsprozess optimiert werden.

Die Auswahl an chemischen Treibmittelsystemen für technische Kunststoffe beschränkte sich bislang weitestgehend auf exotherme Treibmittel. Diese energiefreisetzen Systeme bewirken einerseits eine Verlängerung der Kühlzeiten, andererseits ist die toxikologische Einstu-

fung exothermer Treibmittelsysteme unangenehm.

Der Entwicklungsstand bei marktgängigen endothermen Treibmitteln (energieabsorbierende Systeme) blieb – durch die absehbare nachteilige Wirkung auf die mechanischen Eigenschaften – nahezu auf dem Niveau der späten 1990er-Jahre stehen. Für Strukturschaum galt im Spritzgießen eine Bauteildicke unter 3 mm als nicht empfehlenswert. Der Erfolg physikalischer Schaumprozesse wie MuCell (Hersteller: Trexel, Inc., Wilmington, MA/USA) und Cellmould (Hersteller: Wittmann Battenfeld GmbH & Co. KG, Meinerzhagen) begründete sich teilweise auf dem Fehlen eines geeigneten Treibmittel-Masterbatchsystems.

Mikrozelluläre Schaumstrukturen werden maßgeblich durch die enorme

Druckdifferenz und die hohe Gasbeladung des Kunststoffs im Verarbeitungsprozess erzielt. Aufwendige Prozesstechnik, Einbußen bei der Oberflächenqualität und in der Prozessflexibilität bei geringeren Stückzahlen sind dabei Kollateraleffekte.

### Masterbatches ohne schädliche Einflüsse

Neue Masterbatch-Formulierungen tragen nun jedoch dazu bei, diese nachteiligen Effekte zu reduzieren. Die Auswertung grundlegender [1] und aktueller Forschungsergebnisse legte die Basis zur Entwicklung neuer Masterbatchsysteme, die in der Formulierung den schädlichen Einfluss der Treibmittel eliminieren und gleichzeitig die Förderung mikrozellulärer Schäume in sich vereinigen.

Für die Größe und Anzahl von Schaumzellen ist maßgeblich die Nukleierungsrate  $N_{het}$  verantwortlich. Sie lässt sich nach Colton [1] ableiten zu [2]:

$$N_{het} = C_1 \cdot f_1 \cdot e^{\frac{\Delta G^*}{kT}} \text{ mit } \Delta G_{het}^* = \frac{16\pi[\gamma]^3}{3[\Delta p]^2}$$

Wobei:  $C_1$  = Konzentration der Nukleierungskeime,  $f_1$  = Kontaktwahrscheinlichkeit,  $\Delta G_{het}^*$  = freie Energie der Nukleierung,  $\Delta p$  = Druckabfall,  $\gamma$  = Oberflächenspannung der Schmelze

Aus diesem Zusammenhang lassen sich die notwendigen Parameter und Einflussmöglichkeiten zur Erzeugung einer feinzelligen Schaumstruktur ableiten. Die Möglichkeiten beschränken sich nicht auf die Realisierung eines maximalen Druckabfalls wie bei rein physikalischen Schaumprozessen. Moderne Treibmittelmasterbatches kombinieren die Vorteile



**Bild 1.** Effekt der Erhöhung der heterogenen Nukleierung (Bauteil oben: nukleiert, Bauteil unten: nicht nukleiert)



**Bild 2.** Der Zugstab aus dem (PA+PP)-Blend Akromid B3 ICF 20 1 L schwarz (5296) besitzt eine Dichte unterhalb der von Wasser

des staubfreien, sicheren Handlings mit der Bereitstellung von Nukleierungskeimen und Additiven, die im Prozess die Realisierung eines optimal abgestimmten Produkts ermöglichen. Der Einfluss der Maximierung der Nukleierungsrate wird in **Bild 1** deutlich. Der Fokus der Entwicklung von technischen Compounds für den Leichtbau lag weniger in der Realisierung absoluter Gewichtsreduktion als vielmehr in der Kombination maximaler Gewichtsersparnis unter bestmöglicher

Beibehaltung mechanischer Eigenschaften, die technische Kunststoffe auszeichnen, wie

- Erhaltung der Steifigkeit,
- gute Festigkeit,
- gute Oberfläche und
- mikrozelluläre Schaumstruktur.

Die Balance zwischen Oberfläche, Mechanik (Steifigkeit und Biegefestigkeit) und Gewichtsreduzierung ist bei aufeinander abgestimmten Systemen maßgeblich durch den Prozess steuerbar. Die »

Eigenschaften	Akromid B3 GF 30 (kond.)	Akromid B3 GF30 1 L (kond.)	Akromid B3 GF 30 1 XL (kond.)
E-Modul [MPa]	6200	6800	6800
Zugfestigkeit [MPa]	110	105	100
HDT/A [°C]	210	200	160
Fließweglänge [mm]	660	715	785
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	1,36	1,26	1,22

**Tabelle 1.** Gewichtsvorteil von Polyamiden mit chemisch gekoppeltem Polypropylen gegenüber einem Standard-Polyamid

		Nullwert	Short Shot	Full Shot
	Akromid B3 ICF 20 L 1 mit Nachdruck	Akromid B3 ICF 20 1 L mit Nachdruck	Akromid B3 ICF 20 1 L ohne Nachdruck	Akromid B3 ICF 20 1 L ohne Nachdruck Teilfüllung
Treibmittel [%]	0	3,5 AF Complex TM		
Zug-E-Modul [MPa]	12 980	12 510 [100 %]	10 660 [85 %]	12 200 [97 %]
Biege-Modul [MPa]	12 260	12 100 [100 %]	12 240 [101 %]	12 260 [101 %]
Biegefestigkeit [MPa]	216	202 [100 %]	185 [92 %]	198 [98 %]
Biegedehnung [%]	2,7	2,7	2,4	2,6
Gewichtsreduktion [%]			13	4
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	1,10	1,10	0,96	1,06

**Tabelle 2.** Vergleich des Standardprozesses (mit und ohne Treibmittel) zu Short-Shot- und Full-Shot-Verfahren

zugrunde liegenden Versuche wurden mit einer Zugprüfstabform durchgeführt, die – aufgrund des langen Fließwegs und des sehr hohen Aspektverhältnisses – für eine gute Oberflächenqualität und eine gleichmäßige mikrozelluläre Schaumverteilung äußerst ungünstige Voraussetzungen aufweist. Im Ergebnis konnten jedoch Bauteile hergestellt werden, die eine vorzeigbare Oberfläche mit einer signifikanten Gewichtsersparnis kombinieren und gleichzeitig ausgezeichnete mechanische Kennwerte liefern.

Bei der Prozessführung gibt es zwei unterschiedliche Ansätze, die in **Tabelle 2** anhand von 4 mm-Schulterstäben an einem mit 20% kohlenstofffaserverstärktem (PA+PP)-Blend, beladen mit 3,5% Masterbatch AF-Complex PE 990310 TM der AF-Color, miteinander verglichen werden. Als Nullwert dient das jeweilige Compound, beladen mit Treibmittel und produziert im Standardprozess. Durch die Zugabe von Masterbatch reduziert sich im finalen Compound der Anteil der Kohlenstofffaser analog zur Dosierung.

### Herstellung des Bauteils

**Full Shot:** Das Bauteil wird komplett gefüllt, verdichtet und die Verschlussdüse ohne eine Nachdruckphase (energiespa-

rend) geschlossen, sodass die Maschine bereits wieder mit der Dosierung starten kann. Bei dieser Variante wird bereits eine Gewichtsreduktion um 4% gegenüber dem Standardprozess ohne Treibmittel realisiert. Die mechanischen Werte bleiben dabei nahezu identisch. Der Vorteil dieser Variante ist, dass die Bauteile hierbei nahezu verzugsfrei produziert werden können, da der Nachdruck vom Compound selbst gehalten wird und daher ohne Gradient überall wirksam ist. Das Treibmittel wirkt fließverbessernd und reduziert das Gewicht nur moderat, wobei sich die Reduktion auf den wärmsten Punkt konzentriert. Dadurch wird die notwendige Kühlleistung im Kern des Bauteils herabgesetzt und damit bauteilabhängig die Kühlzeit um ca. 10% verringert. Bei dieser Verfahrensvariante ist die Bauteiloberfläche ebenso gut wie die im Standardprozess erzeugte Oberfläche.

**Short Shot:** Das Bauteil wird nahezu gefüllt, jedoch ohne die Schmelze zu verdichten. Auch diese Variante wird ohne Nachdruck gefahren und erreicht eine Gewichtsreduktion von 13% im Vergleich zum Nullwert. Der Zug-E-Modul reduziert sich um 15%, also in etwa um den Betrag, um den sich das Gewicht reduziert hat. Der Biege-E-Modul bleibt hingegen oberhalb des Nullwerts. Die Begründung dazu

erschließt sich aus dem Steinerschen Satz: Die äußere Fläche geht mit  $x^3$  in die Steifigkeit ein. Hier betrifft das die niedrigere Schwindung des mit Treibmittel beladenen Systems. In Zugrichtung hingegen fehlen 13% des Matrixmaterials, was folglich in einer Reduktion der Steifigkeit resultiert.

### Fazit

Neue Treibmittelsysteme führen zur Gewichtsreduktion bei technischen Kunststoffen, ohne deren Eigenschaften signifikant zu verschlechtern. Der Einsatz von aufeinander abgestimmten Systemen, z. B. das (PA+PP)-Blend Akromid Lite und das Treibmittel-Masterbatch AF-Complex PE 990310 TM, ist empfehlenswert. In dem beschriebenen Fall konnte die Dichte des Akromid B3 ICF 20 1 Lite schwarz (5296) durch Zugabe von Treibmittel um 13% gesenkt werden. Eine weitere Reduktion des Gewichts um 8% ergibt sich aus der Blend-Technologie (PA+PP). Durch Verwendung der innovativen Kohlenstofffaser ICF von Akro-Plastic wird insgesamt eine Gewichtsreduktion von 30% im Vergleich zu Polyamid 6 GF 30 erreicht – und dies bei einer höheren Zug- und Biegesteifigkeit. Die Dichte dieses geschäumten Compounds liegt dabei deutlich unterhalb der Dichte von Wasser (**Titelbild**) bei einem Biege-E-Modul von über 12 000 MPa (**Bild 2**). ■

## Die Autoren

**Thilo Stier** ist als Bereichsleiter Vertrieb und Innovation bei der Akro-Plastic GmbH, Niederrissen, tätig; [thilo.stier@akro-plastic.com](mailto:thilo.stier@akro-plastic.com)

**Dr. Inno Gaul** ist als Bereichsleiter Forschung & Entwicklung bei der AF-Color, Zweigniederlassung der Akro-Plastic GmbH, Niederrissen, tätig; [inno.gaul@af-color.com](mailto:inno.gaul@af-color.com)

## Service

### Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/969262](http://www.kunststoffe.de/969262)

### 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)