

Coextrusion von PVC mit modifiziertem PBT-Blend verbessert die Mechanik von Profilen

## Die Grenzen von PVC erweitern

Profile aus Hart-PVC haben viele Vorteile: Sie sind gut extrudierbar, preiswert und verfügen bei geeigneter Additivierung über eine hohe UV-Beständigkeit. Bei den erforderlichen mechanischen und thermischen Eigenschaften stößt PVC jedoch gelegentlich an seine Grenzen. Umgehen lassen sich diese Schwächen durch Coextrusion mit einem PBT-Blend.



Reichen die Eigenschaften von reinen PVC-Rohren nicht mehr aus, bieten sich mit PBT coextrudierte Varianten an. Bei ihnen fallen etwa die thermische Ausdehnung und der Nachschumpf bei Erhitzung geringer aus.

© BASF

**P**VVC ist ein weit verbreiteter Kunststoff bei Extrusionsprofilen. Typische Anwendungen sind Fenster-, Rollläden- und Kabelkanalprofile und andere technische Profile. In einigen Fällen reichen

bei diesen Anwendungen jedoch die mechanischen und thermischen Eigenschaften von PVC nicht aus. Eine mögliche Lösung ist eine Aussteifung der Profile mit Metall. Wünschenswerter wäre jedoch ein Werkstoff, der die positiven Eigenschaften eines PVC hinsichtlich Extrudierbarkeit, UV-Beständigkeit, Schweißbarkeit, Flexibilität im Profildesign und Kosten mit den hervorragenden mechanischen Eigenschaften eines hochversteiften technischen Kunststoffes verbindet.

Erreichen lässt sich das durch die Coextrusion von PVC mit technischen Kunststoffen. In der Vergangenheit war das jedoch nicht möglich, da die Verarbeitungstemperaturen von technischen Kunststoffen deutlich höher sind als die von PVC. Beide Polymere konnten deshalb nicht gleichzeitig in Schmelze durch ein Werkzeug geführt werden.

BASF hat deshalb mit Ultradur B4040 G11 HMG HP dafür ein neues Material entwickelt. Ultradur ist der Handelsname des Unternehmens für teilkristalline thermoplastische Polyester auf Basis von Polybutylenterephthalat (PBT). PBT ist ein etablierter Werkstoff für hochwertige und hochbelastete technische Teile in zahlreichen industriellen Bereichen. Neben einer sehr guten Wärmeformbeständigkeit, einer geringen Wasseraufnahme und guten Widerstandsfähigkeit gegenüber vielen Chemikalien zeichnet sich PBT durch eine hohe Steifigkeit aus. Der Schmelzpunkt von PBT beträgt gewöhnlich 223 °C. Im Gegensatz dazu liegt der Schmelzpunkt der von BASF entwickelten Type bei 198 °C und somit um 25 °C niedriger. Das ermöglicht eine Coextrusion mit PVC im klassischen Verarbeitungsfenster und bietet dadurch

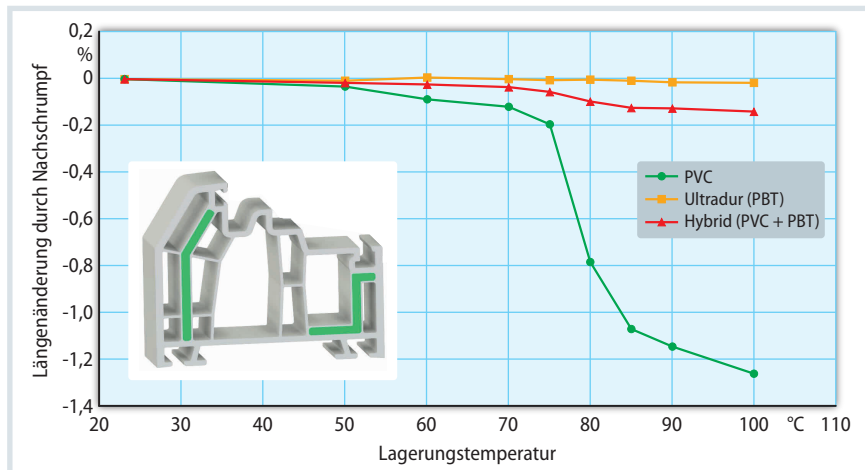
ein neues, sehr interessantes Anwendungsfeld.

### *Maßgeschneiderter Schmelzpunkt bei hoher Steifigkeit*

Ziel der Entwicklung war ein Produkt, das neben dem maßgeschneiderten Schmelzpunkt auch weiterhin über eine sehr hohe Steifigkeit verfügt. Der hohe E-Modul und der geringe Ausdehnungskoeffizient sind notwendig, um die Anforderungen an die Versteifungseigenschaften des Profils zu erreichen. Durch ein spezifisches PBT-Blend sowie durch einen Anteil an Kurzglasfasern von 55 Gew.-% konnten die gewünschten Eigenschaften erreicht werden.

Technisch verbirgt sich hinter den mechanischen und thermischen Grenzen von PVC oft Folgendes:

- Nachschumpf, sobald das Material einmalig wärmer als 60 °C wird: Bei einseitiger Erwärmung führt das zu einer verbleibenden Krümmung des Profils.
  - Hoher Wärmeausdehnungskoeffizient: Bei ungleichmäßiger Wärmebelastung führt das ebenfalls zu einer Krümmung.
  - Temperaturabhängigkeit der Steifigkeit (E-Modul): Schon bei leicht erhöhten Temperaturen nimmt der E-Modul von PVC stark ab.
  - Kriechneigung des Werkstoffs.
- Die Eigenschaften eines klassischen Hart-PVC und der neu entwickelten Ultradur-Type sind einander in der **Tabelle** gegenübergestellt. Die Werte für Steifigkeit und Zugfestigkeit wurden gemäß der Norm ISO 527 an Spritzgussproben gemessen. In der Extrusion werden geringere Werte erreicht, da die



**Bild 1.** Permanent verbleibender Nachschumpf von Profilen aus Hart-PVC und dem PBT Ultradur von BASF sowie von Hybridprofilen aus PVC und PBT nach Erwärmung auf eine bestimmte Temperatur: Die Schumpfung fällt bei den Hybridprofilen deutlich geringer aus als bei denen nur aus PVC. Die hybriden Profile beinhalten etwa 18 % PBT im Querschnitt. Quelle: BASF; Grafik: © Hanser

Fasern im dabei hergestellten Produkt weniger ausgerichtet sind. Durch ein gut ausgelegtes Werkzeug lassen sich jedoch 70 % des Ausgangswerts erreichen.

### PBT übernimmt die Hauptlast

Im coextrudierten Produkt tragen PVC und PBT mit ihren jeweiligen Querschnitten gemeinsam die mechanischen oder thermischen Lasten ab. Dabei dominiert oft PBT. Das illustrieren sehr gut Analysen zum verbleibenden Nachschumpf von verschiedenen Profilen. Dazu wurden sowohl reine PVC-Profile, reine PBT-Profile als auch coextrudierte Hybridprofile untersucht. Die Temperatur wurde dabei für 16 Stunden auf 50 °C gehalten, danach auf 23 °C gesenkt und der verbleibende Schumpf gemessen. Anschließend wurde mit den Profilen der Zyklus

wiederholt, jedoch mit immer höheren Haltetemperaturen bis maximal 100 °C (Bild 1).

Das PVC-Profil weist eine sehr starke Nachschumpfung von bis zu 1,2 % aus. Der Nachschumpf des reinen PBT-Profils ist über den gesamten Temperaturbereich mit 0,015 % vergleichbar gering. Das coextrudierte Profil zeigt bei Maximaltemperatur einen Schumpf von nur 0,13 %, was wesentlich geringer ist als der des reinen PVC-Profils. Dieses bei coextrudierten Profilen deutlich verbesserte Verhalten kann genutzt werden, um dauerhafte Krümmungen, beispielsweise von dunklen Fenstern unter intensiver Sonneneinstrahlung, deutlich zu reduzieren, ohne auf einen Metalleinleger zurückgreifen zu müssen. Analog dazu reduziert die Coextrusion mit PBT auch deutlich die thermische Längenausdeh-

nung von PVC, beziehungsweise eine dadurch entstehende Krümmung.

Das dafür von BASF entwickelte PBT kann sowohl in der Mono- als auch in der Coextrusion verarbeitet werden. Wichtig für die Verarbeitung ist ein geringer Feuchtegehalt, der unter 0,03 % liegen sollte. Falls der Feuchtewert, beispielsweise bei offenen Gebinden, darüber liegt, empfiehlt sich die Vortrocknung des Materials. Unter den verschiedenen Trocknersystemen hat sich der Trockenlufttrockner technisch wie wirtschaftlich als überlegen erwiesen. Die Trockenzeiten betragen typischerweise zwei bis vier Stunden bei 80 bis 120 °C.

### Verarbeitung mit Ein- oder Doppelschneckenextrudern?

Für die Verarbeitung des Ultradurs können sowohl Einschneckenextruder als auch gegenläufige Doppelschneckenextruder verwendet werden. Bei Einschneckenextrudern sollten bevorzugt eingängige, flachgeschnittene Dreizonenschnecken mit einer Länge von 22 bis 25 D eingesetzt werden. Dabei empfiehlt sich ein Kompressionsverhältnis von 2,5 bis 3. Die Kompressionszone sollte ungefähr 4 bis 5 D lang sein. Barrierschnecken und Scher-Misch-Teile sind weniger empfehlenswert, da sie Glasfaserschädigungen verursachen können. Bei dem Einschneckenextruder sollte es sich um einen Glatthrextruder ohne Nutbuchse handeln. Für die Masstemperatur »

	getestet nach Norm	Einheit	Hart-PVC	Ultradur B4040G11 HMG HP
Polymer	-	-	PVC	PBT-Blend
Kurzglasfaseranteil	-	%	0	55
Schmelzpunkt	ISO 11357	°C		198
Vicat-Erweichungstemperatur VST/B/50	ISO 306	°C	81	134
E-Modul (bei 23 °C)	ISO 527	MPa	2800	20000
E-Modul (bei 80 °C)	ISO 527	MPa	180	4800
Zugfestigkeit (bei 23 °C)	ISO 527	MPa	45	160
Zugfestigkeit (bei 80 °C)	ISO 527	MPa	11	41
Ausdehnungskoeffizient längs/quer (bei 23 °C)	ISO 11359	10 <sup>-6</sup> /K	70	15/65
Nachschumpf	Methode von BASF	%	0,9	0,03

**Tabelle.** Eigenschaften eines klassischen Hart-PVC und einer Ultradur-PBT-Type Quelle: BASF

## Info

### Autoren

**Dr. Wenke Wollny** ist in der Produktentwicklung im Bereich PBT bei BASF tätig. **Dr. Norbert Effen** ist Spezialist für Extrusion, Compoundierung und Schnecken und arbeitet bei BASF im Bereich Technische Kunststoffe.

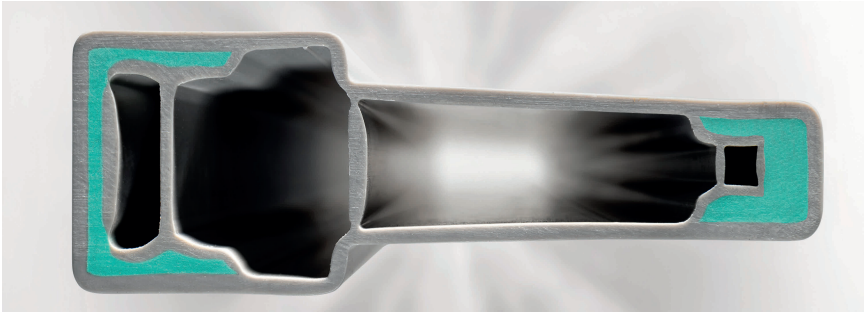
**Dr. Kay Brockmüller** unterstützt Kunden von BASF in der Entwicklung neuer Anwendungen; kay.brockmueller@basf.com

### Digitalversion

Ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/onlinearchiv](http://www.kunststoffe.de/onlinearchiv)

### 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 2.** Dieses coextrudierte Profil ersetzt ein Stahlprofil in bestimmten Fenstern. Die geringere thermische Leitfähigkeit erhöht die Energieeffizienz. © Profine

wird ein Bereich von 210 bis 220 °C angestrebt bei möglichst moderaten Schnecken-drehzahlen.

### Wichtige Parameter für die Verarbeitung

Gegenläufige Doppelschneckenextruder, sowohl parallel als auch konisch, werden in der PVC-Industrie bevorzugt eingesetzt. Sie lassen sich auch für die Verarbeitung von PBT verwenden. Nachteilig ist der höhere Anschaffungspreis im Vergleich zu Einschneckenextrudern. Die oftmals vorhandene Entgasung und der Druckaufbau (Kammerförderung) können jedoch von Vorteil sein. Auf entsprechenden Verschleißschutz (Zylinder und Schnecke) ist sowohl beim Ein-

als auch Doppelschneckenextruder zu achten.

Generell gilt für die Verarbeitung von Ultradur, wie bei allen glasfaserverstärkten Polymeren, dass die Scherung so gering wie möglich gehalten werden sollte, um eine Schädigung und Kürzung der Glasfasern zu verhindern. Die Herausforderung besteht darin, das Material bei möglichst niedriger Schmelzetemperatur komplett aufzuschmelzen, um das PVC beim Zusammenfließen nicht negativ zu beeinflussen. Die Temperaturen im Coextrusionswerkzeug müssen so gewählt werden, dass das PBT fließen kann, jedoch nicht zum Einfrieren kommt und dass gleichzeitig das PVC nicht geschädigt wird.

### Der schnelle und sichere Weg zum guten Werkzeug

Ein gutes Werkzeug, kombiniert mit einem funktionierenden Extrusionsprozess muss folgende Eigenschaften generieren:

- Wirksame Einbringung der mechanischen Eigenschaften des PBT (geeignete Positionen und Querschnitte)
- Hohe Vorwärtsorientierung der Glasfasern im PBT: Diese führt zu einem hohen E-Modul, höherer Festigkeit, einem geringeren Ausdehnungskoeffizienten und einem noch geringeren Kriechverhalten.
- Gewünschte Wanddicken in allen Bereichen der Geometrie
- Keine Krümmung des extrudierten Profils
- Hohe Abzugsgeschwindigkeit
- Dauerbetriebstauglichkeit
- Planbare Zeit von Bestellung bis zur Auslieferung des Werkzeugs

Die Entwicklung erfordert jedoch mehr Expertise als bei klassischen Coextrusionswerkzeugen, bei denen meist Materialien mit vergleichbaren Eigenschaften verarbeitet werden.

Im vorliegenden Fall müssen die Fließkanäle des Werkzeugs für zwei Materialien mit unterschiedlichem Fließverhalten (PVC: wandgleitend, PBT: wandhaftend) ausgelegt werden. Die beiden Materialien unterscheiden sich auch in der Viskosität und dem Geschwindigkeitsprofil im Kanal. Ferner ist es von Vorteil, wenn die Glasfasern so wenig wie möglich gekürzt werden und maximal in Vorwärtsrichtung ausgerichtet werden. Schließlich soll das PBT gezielt an geeigneter Position erstarren.

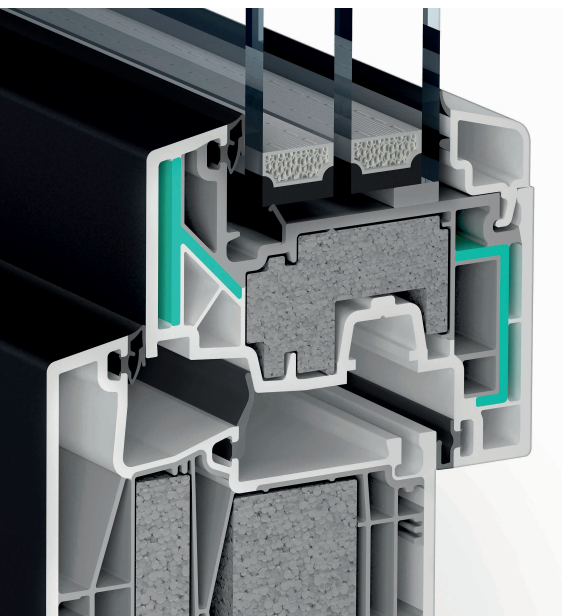
Bei der Werkzeugauslegung ist zu beachten, dass es beim PVC zu einem deutlichen Schwellen kommt. Die Dicke der Ultradurprofile sollte möglichst 1,5 mm nicht unterschreiten, um die Glasfaserschädigung zu minimieren. Es sind bereits mehrere Werkzeuge für diese Materialkombination entwickelt und in den Serienbetrieb genommen worden. Der österreichische Werkzeugbauer Greiner Extrusion hat dafür bereits erfolgreich mehrere Werkzeuge gebaut.

### Schweißbarkeit bei coextrudierten Profilen gegeben

In einigen Anwendungen, beispielsweise bei PVC-Fenstern, werden die Profile im 45°-Winkel geschnitten und dann verschweißt. Das gleichzeitige Verschweißen ist auch bei coextrudierten Profilen aus PVC und Ultradur möglich, da sich beide Materialien im gleichen Temperaturfenster verarbeiten lassen. Um eine hohe Festigkeit zu erreichen, sollte darauf geachtet werden, dass beim Verbinden PVC gegen PVC-Schmelze stößt, sich also keine PBT-Schmelze dazwischen befindet. Beim Spiegelschweißen ist wegen der Glasfasern im Ultradur ein erhöhter Verschleiß von Schweißfolien zu beobachten. Die Zykluszeit bleibt jedoch nahezu unverändert.

### Recycling: PVC und PBT gut trennbar

Recycling gewinnt zunehmend an Bedeutung und ist in der PVC-Fensterindustrie seit Jahren verbindlich etabliert. Auch coextrudierte Profile aus PVC und PBT lassen sich gut recyceln. Hilfreich bei der Aufbereitung ist die Farbgebung der Kunststoffe. Ultradur B4040 G11 HMG HP ist in einer ungefärbten Version und in einem Grünton erhältlich, der die Sortierung im Recyclingprozess der Fenster-



**Bild 3.** Ultradur B4040 G11 HMG HP kann anstatt Stahl zur Versteifung von Hart-PVC-Profilen verwendet werden. Dadurch kommt es zu einer geringeren permanenten Durchbiegung nach einseitiger Erwärmung. © Profine

profile am Ende des Lebenszyklus erleichtert.

Ultradur kann vom PVC, nachdem das Profil in Mühlen zu kleinen Partikeln zerschlagen wurde, über verschiedene

Verfahren separiert werden. Das funktioniert am effektivsten mit Farbsortierern, da andere grün eingefärbte Kunststoffe in der Fensterbranche nicht genutzt werden. Bei ähnlicher Farbgebung von

PVC und Ultradur könnte auch ein NIR- oder ein elektrostatischer Sortierer zum Einsatz kommen. Sollten Ultradur-Spuren im PVC verbleiben, lassen sich diese mit einer Schmelzefiltration aus dem PVC entfernen. Die rezyklierten PVC- und Ultradur-Fractionen können dann jeweils erneut verwendet werden. Die Recyclingtauglichkeit wurde auf branchenüblichen Anlagen bestätigt.

**Bild 4.** Türprofil von Gefriertruhen: Ultradur ersetzt dabei eine Metallverstärkung und macht eine im Profil enthaltene elektrische Heizung, die Kondenswasser auf der Außenseite verhindert, überflüssig. Das verbessert die Energieeffizienz des Gefrierschranks.

© Greiner Extrusion



### Fazit

Wenn ein PVC-Profil die mechanischen Anforderungen nicht erfüllt, kann die Coextrusion mit Ultradur B4040 G11 HMG HP eine intelligente Alternative sein. Das zeigen verschiedene, gemeinsam mit BASF entwickelte Anwendungsbeispiele (**Bilder 2, 3 und 4**). Mögliche weitere Anwendungen sind etwa Klappläden, Rollläden und deren Kästen, Regenrinnen, Zaun- und Balkonprofile, Beplankungen für Häuser und Stangen für den Agrarbereich. ■