

Extrudieren und Schäumen in einem Schritt

Verfahren zur kombinierten Extrusion von Fensterprofilen mit Schaumkern

Geschäumtes Polystyrol (PS) in Fensterprofilen und Fassadenelementen verbessert deren Wärmedämmung und damit ihre ökologische Effizienz. Eine simultane Extrusion von Polyvinylchlorid-Profilen mit PS-Schaumkern ist aufgrund der unterschiedlichen Verarbeitungsbedingungen herausfordernd und wurde bisher nicht durchgeführt. Eine Versuchsanlage zur Erforschung dieses Verfahrens wurde nun am Kunststoff-Zentrum SKZ aufgebaut.

Durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) von 2014 hat im Bausektor die Minimierung des Wärmeverlusts und damit verbunden der CO₂-Emissionen zusätzliche Bedeutung erhalten [1]. Große Einsparungen beim Energieverbrauch sind durch eine gute Wärmedämmung der Gebäude möglich. Besondere Bedeutung kommt dabei den Fenstern zu, denn bei diesen ist bei einem konventionellen Haus der Energieverlust mit 47 % am höchsten [2].

Fassadenelemente und Fensterprofile aus Polyvinylchlorid (PVC) mit Hohlkammern weisen gegenüber Vollprofilen deutlich bessere Wärmedämmeigenschaften auf. Innerhalb der Hohlkammer findet je-

doch weiterhin ein Wärmefluss statt. Dieser Wärmeaustausch basiert auf Luftzirkulation in der Hohlkammer, hervorgerufen durch unterschiedliche Temperaturen z.B. an der Gebäudeaußenseite und dem Innenraum. Ein Ansatz zur Senkung der Wärmeleitfähigkeit eines Fensterrahmens ist das Ausschäumen, beispielsweise mit Polyurethan (PUR). Die Profilverstellung und das Ausschäumen erfolgen jedoch meist in zwei separaten Schritten unter hohem Arbeits-, Konfektionierungs- und Platzbedarf. Alternativ können Schaumkerne z.B. aus Polystyrol (PS) nachträglich unter hohem Aufwand in die Hohlkammern des PVC-Profiles eingebracht werden. Besser wäre ein einstufiger Prozess, bei

dem die Profile direkt bei der Extrusion mit Schaum gefüllt werden.

Das Kunststoff-Zentrum SKZ, Würzburg, untersuchte deshalb in einem Projekt ein Verfahren zur Herstellung von PVC-Kunststoffprofilen mit physikalisch geschäumtem PS-Kern in einem Prozessschritt. Im Rahmen des Projekts wurde eine geeignete PS-Schaumrezeptur entwickelt und parallel dazu eine Versuchsanlage zur Verfahrensentwicklung von schaumgefüllten Profilen im Technikumsmaßstab aufgebaut und erprobt. Begleitend dazu erfolgte eine Untersuchung zur Verbindungstechnik sowie eine anwendungsbezogene Nachhaltigkeitsanalyse.

Für die Zielanwendung eines PS-Schaums als Dämmmaterial in einem PVC-Fensterprofil wurde zuerst eine Laboranlage zum Schäumen von PS (**Bild 1**) aufgebaut. Sie besteht aus einem gleichläufigen Doppelschneckenextruder vom Typ ZSE 18 HPe der Leistritz Extrusionstechnik GmbH, Nürnberg, einer Zahnradpumpe vom Typ BKG BlueFlowTM GP22/22-01 der Nordson PPS GmbH, Münster, sowie zwei Kühlmischern vom Typ P1 und einer Gasdosieranlage des Typs Z400 der Promix Solutions GmbH, Wetzlar. Mit der Anlage kann das Schäumen für verschiedene Werkzeuge, wie Rundlochdüsen mit variablen Durchmessern oder Foliendüsen, untersucht werden. Zudem lässt sich das Druckniveau in der Anlage über eine vor dem Werkzeug platzierte Drossel einstellen. Das ist besonders beim Anfahren hilfreich.

Auf dieser Anlage wurden Schäumversuche unter Variation von Materialrezeptur und Düsendurchmesser durchgeführt. Als Materialien kamen das PS 153F,

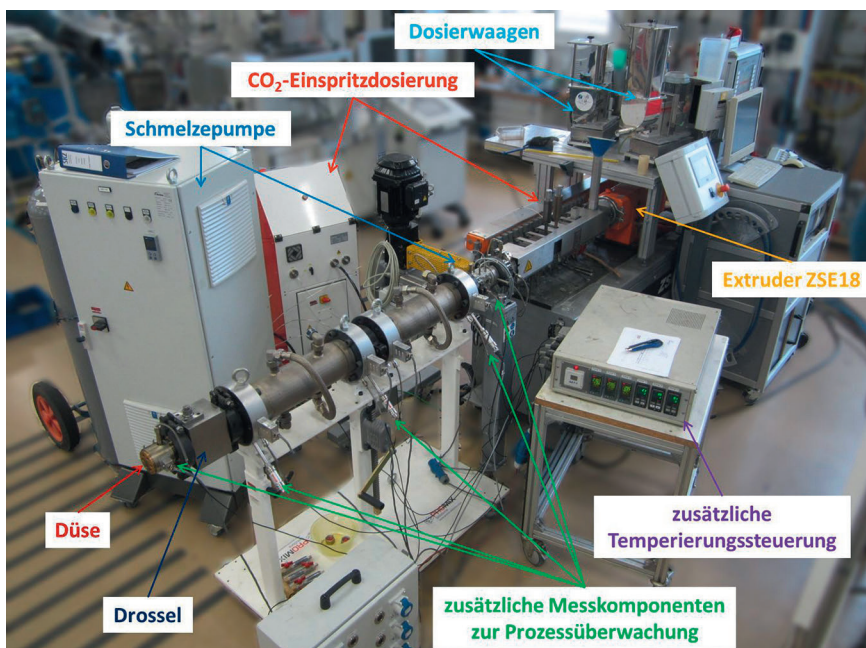


Bild 1. In einer Versuchsanlage wurde zunächst das Schäumen von PS untersucht © SKZ

mit einem Schmelzflussindex (engl. Melt Volume Rate; MVR) von $7,5 \text{ cm}^3/10 \text{ min}$ bei 200 °C und 5 kg , und das PS 158N, mit einem MVR von $3,3 \text{ cm}^3/10 \text{ min}$ bei 200 °C und 5 kg , von Ineos Styrolution, Frankfurt am Main, sowie Kombinationen daraus zum Einsatz. Als Nukleierungsmittel wurde Talkum vom Typ Jetfine 3 C A der Luzenac Group, Toulouse/Frankreich, mit Anteilen von 1 und 10 % verwendet. Außerdem wurde der Einsatz von Graphit vom Typ UF1 98 C der Graphit Kropfmühl GmbH, Hauzenberg, mit Anteilen von 1 und 10 % untersucht. Aus den Komponenten wurden in einem vorgelagerten Schritt Compounds hergestellt.

Schäumversuche mit den Compounds zeigten, dass eine Konzentration von 6 % CO_2 ausreichend für gute Schaumstruktur und geringe Schaumdichte ist. Dabei muss nach der CO_2 -Einspritzung ein Druckniveau oberhalb von 80 bar gehalten werden, damit das CO_2 sicher in der Schmelze gelöst bleibt. Eingestellte Temperaturen an der Zahnradschneckenpumpe von 195 °C sowie am ersten Kühlmischer von 130 °C und am zweiten Kühlmischer von 120 °C erwiesen sich als optimal. Die Düsentemperatur musste je nach Rezeptur auf Werte zwischen 140 und 160 °C angepasst werden, um ein gutes Ergebnis hinsichtlich der Schaumqualität zu erhalten.

Kombinierte Verarbeitung auf Tandem-Extrusionsanlage

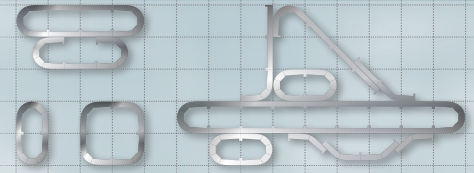
Die extrudierten Proben wurden optisch und über Aufnahmen mittels eines Rasterelektronenmikroskops charakterisiert. Dabei zeigte sich, dass die Schäume eine geschlossenzellige, sehr homogene und feinzellige Struktur besitzen. Zudem wurde die Schaumdichte in Anlehnung an die Norm DIN EN ISO 1183-1 Verfahren A – Eintauchverfahren ermittelt. Die Untersuchungen ergaben, dass sich für alle Materialkombinationen konstant extrudierte Schäume mit Schaumdichten um $0,06 \text{ g/cm}^3$ bei guter Zellmorphologie nachweisen lassen.

Um die Dämmeigenschaften des Schaums zu bestimmen, wurde die Wärmeleitfähigkeit ermittelt. Diese wurde aus Temperaturleitfähigkeit, spezifischer Wärmekapazität und Schaumdichte berechnet. Für die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit kam eine Lichtblitz-Apparatur vom Typ LFA447 NanoFlash der Netzsch Gerätebau GmbH, Selb, zum Einsatz. Die spezifische Wärmekapazität wurde mittels dynamischer Differenzkalorimetrie (engl. Differential Scanning Calorimetry, DSC) mit einem Messgerät des Typs DSC 204 F1 Phoenix ebenfalls von Netzsch Gerätebau ermittelt. Alle untersuchten Proben zeigten eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit im Bereich zwischen $0,0175$ und $0,0255 \text{ W/mK}$, wobei die Rezepturen mit dem höherviskosen PS 158N geringfügig höhere Wärmeleitfähigkeiten aufwiesen. Das eingesetzte Nukleierungsmittel und der eingebrachte Graphit haben nur einen geringen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit.

Zur Untersuchung des Extrusionsprozesses von PVC-Profilen mit ausgeschäumtem PS-Kern wurde danach eine Tandem-Extrusionsanlage ausgelegt, aufgebaut und getestet (Bild 2). Die PVC-Verarbeitung erfolgt auf einem konischen gegenläufigen Doppelschneckenextruder vom Typ KMKK 40 der KraussMaffei Extrusion GmbH, Hannover. Das PS wird in der Laboranlage aus Bild 1 verarbeitet. Für die Versuchsanlage wurde ein spezielles Extrusionswerkzeug entworfen und gebaut, das die PVC-Profilextrusion mit der PS-Schaumextrusion vereint (Bild 3). Die Auslegung erfolgte auf Basis umfangreicher Fließsimulationen der lanus Simulation GmbH, Dortmund, die bei ersten Testläufen am realen Extruder bestätigt werden konnten. Dabei wurde eine typische Fens- »

Shuttlewechsel im Betrieb

Absolute Gestaltungsfreiheit



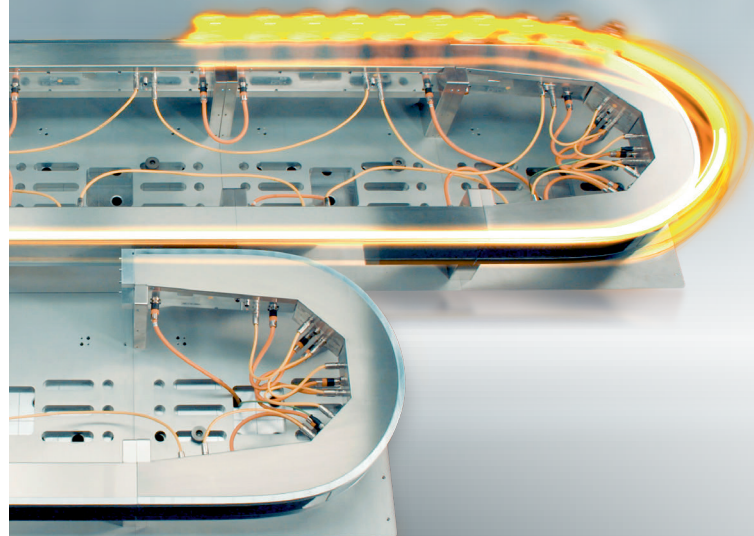
Hochgeschwindigkeitsweiche



ACOPOStrak

Höchste Effektivität in der Produktion

www.br-automation.com/ACOPOStrak



Antriebstechnik für die adaptive Maschine.

Flexibler. Schneller. Produktiver.



Die Autoren

Dipl.-Ing. Christina Hoffmann ist seit 2009 wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Gruppe Compoundieren und Extrudieren am Kunststoff-Zentrum (SKZ) in Würzburg; c.hoffmann@skz.de

Dipl.-Ing. Johannes Rudloff leitet seit 2016 die Gruppe Compoundieren und Extrudieren am SKZ.

M.Sc. Christian Eck ist seit 2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Gruppe Forschung Fügen und Oberflächentechnik am SKZ.

Dr. Eduard Kraus leitet seit 2017 die Gruppe Forschung Fügen und Oberflächentechnik am SKZ.

Dr. Thomas Hochrein ist seit 2017 Geschäftsführer der Forschung und Weiterbildung des SKZ.

Dr. Hermann Achenbach leitet seit 2019 die Gruppe Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft am SKZ.

Dr. Marieluise Lang leitet seit 2015 den Bereich Materialien, Compoundieren, Extrudieren am SKZ.

Prof. Dr. Martin Bastian ist seit 2006 Institutsdirektor des SKZ.

Dank

Das IGF-Vorhaben 19 EWN der Forschungsvereinigung FSKZ e.V. wurde über die AIF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Autoren bedanken sich für die Förderung.

Service

Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-11

English Version

- Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

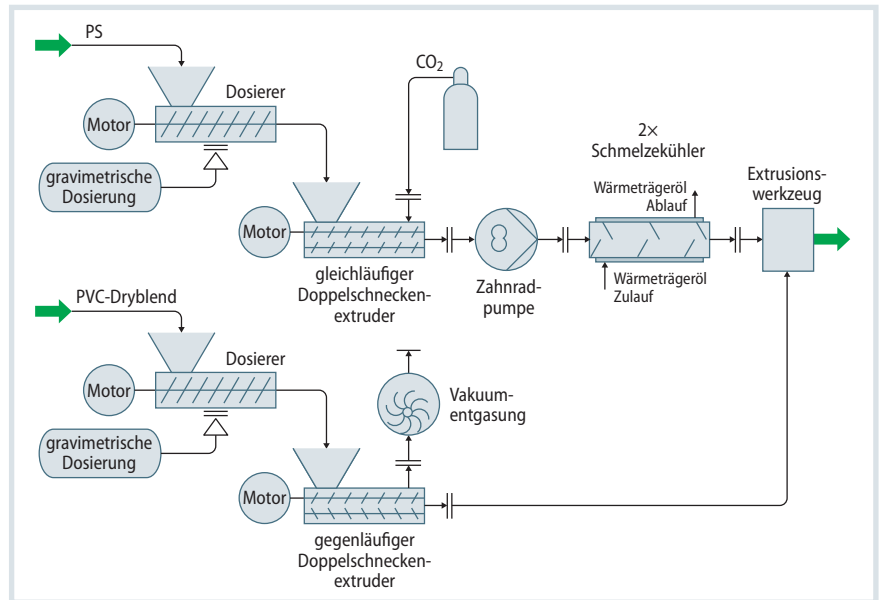


Bild 2. Die Tandem-Extrusionsanlage ermöglicht eine Extrusion von PVC-Profilen mit geschäumtem PS-Kern Quelle: SKZ; Grafik: © Hanser

terprofil-Rezeptur aus PVC-Pulver und Additiven, wie Thermo- und Lichtstabilisatoren, Gleitmitteln, Acryl-Schlagzähmodifikatoren und Füllstoffen, verwendet.

Problemfeld Düse

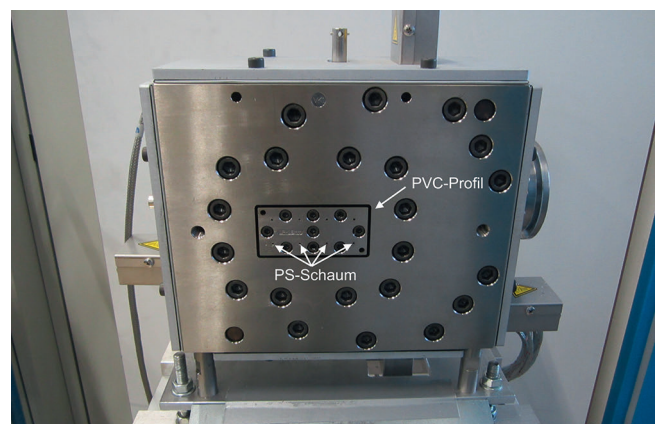
Die PVC-Hülle und der PS-Schaum ließen sich bei ersten Untersuchungen im separaten Betrieb sehr gut extrudieren. Da sich die Düse jedoch im Coextrusionsprozess auf etwa 190 °C aufheizte, wurde die Bildung eines stabilen Schaums im Profil gehemmt. Die hergestellten Profile waren somit nur teilweise ausgeschäumt. Dennoch ergaben sich aus den Versuchen wichtige Erkenntnisse für die finale Prozessgestaltung. Im nächsten Schritt können daher die thermische Trennung zwischen PS- und PVC-Materialstrom optimiert und die Materialsysteme besser auf die Tempera-

turanforderungen abgestimmt werden. Die hergestellten Schäume konnten außerdem für weitere Untersuchungen zur Schweißbarkeit und Bewertung der Nachhaltigkeit genutzt werden.

Das Schweißen von ausgeschäumten Profilen ist ein wichtiger Schritt für die Übertragung des Coextrusionsverfahrens in die industrielle Praxis. Um dafür frühzeitig Erkenntnisse zu generieren, wurden Profil-Schaum-Verbunde manuell mit Kastenprofilen und Schaumsträngen präpariert und anschließend für Schweißversuche verwendet. Zum Einsatz kam eine servoelektrisch betriebene Schweißmaschine vom Typ Widos 2500 S CNC 3.0 der Wilhelm Dommer Söhne GmbH, Ditzingen. Die Schweißparameter waren an übliche Parameter des Schweißleitfadens der EPPA (European Trade Association of PVC Window System Suppliers) angelehnt.

Bild 3. Frontalansicht des Extrusionswerkzeugs mit Rahmenheizkörper: Das Werkzeug kombiniert die PVC-Profil- extrusion mit der PS-Schaumextrusion

© SKZ



Es zeigte sich, dass der PS-Schaum im Profilkern durch die Wärmeeinwirkung am Heizelement lokal kollabiert und sich aus der direkten Fügezone während des Anwärmvorgangs zurückzieht. Das ist insofern positiv für spätere Anwendungen, da dadurch kein PS in die lastübertragende PVC-Struktur eindringen kann. Insbesondere bei langlebigen Bauprodukten wie Kunststofffenstern wären mögliche Auswirkungen auf die mechanischen Langzeiteigenschaften nicht tolerierbar. Außerdem löst sich der PS-Schaum rückstandsfrei vom mit Polytetrafluorethylen (PTFE) beschichteten Heizelement, sodass kein zusätzlicher Reinigungsaufwand besteht.

Wie nachhaltig ist das Verfahren?

Analysen zur Nachhaltigkeit sind besonders für Produkte zur Energieeinsparung obligatorisch. Daher wurden im laufenden Prozess Messungen durchgeführt, um den Gesamtenergieverbrauch und den Energieverbrauch der Einzelkomponenten zu bestimmen. Als Teilverbräuche konnten die Profilextrusion sowie die Verbräuche des Extruders, der Heizung und der Schmelzpumpe bei der Schaumextrusion differenziert erfasst werden. Der Gesamtenergieverbrauch für die Extrusion eines Meters ausgeschäumten Profils beträgt 0,722 kWh. Die Herstellung eines Kilogramms ausgeschäumten Profils benötigt 1,565 kWh. Bei einem Profilextrusionsprozess ohne Ausschäumen unter industriellen Bedingungen liegt der durchschnittliche Energiebedarf bei ca. 0,2 bis 0,25 kWh/kg. Er ist somit bei den ausgeschäumten Profilen zunächst deutlich höher. Unter industrienahen Bedingungen, also bei Erhöhung der Abzugsgeschwindigkeit und mit energieeffizient ausgelegten Extrudern, kann jedoch von deutlich verringerten spezifischen Energieverbräuchen ausgegangen werden.

Durchgeführt wurde außerdem eine vergleichende ökologische Lebenszyklusanalyse für ein PVC-Fenster mit den Standardmaßen 1,23 m x 1,48 m und einer angenommenen Nutzungsdauer von 30 Jahren. Dabei wurde davon ausgegangen, dass durch die PS-Schaumfüllung eines Standard-PVC-Profils im Co-Extrusionsverfahren der Wärmedurchgangskoeffizient (Gesamt-U-Wert) des Fensters von 1,0 auf 0,9 W/m²K verringert werden kann. Die Berechnungen zeigten, dass die Energieeinsparungen in der Nutzungsphase den Mehraufwand in der Herstellung ökobilanziell deutlich

übersteigen. In die Berechnung der Umwelteinwirkungen der thermischen Verwertung des PS-Schaums floss die Substitution thermischer Energie ein, wodurch eine Verringerung des Primärenergiebedarfs und des Treibhauspotenzials eintritt.

Ziel des Projekts war die Entwicklung einer Verfahrenstechnik zur Herstellung von wärmeisolierenden Fassadenelementen aus PVC mit PS-Schaumkern in einem einzigen Produktionsschritt. Mit der genutzten Anlage ist für PS eine Schaumdichte von bis zu 0,06 g/cm³ möglich. Die erreichte Wärmeleitfähigkeit des Schaums

von 0,0215 W/(m·K) entspricht einem guten Wärmedämmbereich. Trotz der positiven Ergebnisse blieb die Schaumbildung beim direkten Ausschäumen des Profils hinter den Erwartungen zurück. Die Temperatur des Dorns zur Führung der mit Treibmittel beladenen PS-Schmelze wird durch die umfließende PVC-Schmelze zu stark erhöht. Die Anlage stellt jedoch einen guten Ausgangspunkt für weitere Entwicklungen im SKZ-Technikum dar, wie eine direkte Temperaturregelung des Werkzeugdorns und die Suche nach geeigneten Materialkombinationen. ■

ZOTEFOAMS

Näher bei unseren Kunden

In Kürze
50.000 m³ zusätzliche Produktionskapazität für AZOTE®.
Speziell für Kontinentaleuropa.

kundennaher Service mehr Kapazität

Brzeg POLEN

AZOTE®
Global führendes Sortiment von Polyolefin-Blockschäumen

Weitere Informationen zu unseren Materialien und Kontakt zu AZOTE®-Vertriebspartnern: www.azote.de

LinkedIn