

Rohr- und Profilextrusion. Der Anlagenbau setzt derzeit überwiegend auf die zwei Themenkomplexe Energieeffizienz und Rohstoffersparnis. Das soll nicht heißen, dass die Jagd nach mehr Durchsatz, preiswerteren Anlagen und hoher Produktqualität vorbei ist. Diese Aspekte zählen aber inzwischen scheinbar zur Selbstverständlichkeit.

Nachhaltigkeit der Endlosproduktion

Die Entwicklung von Extrusionsanlagen wird stets durch eine Reihe unterschiedlicher Märkte beeinflusst. Hier fordern die immer schneller drehenden Rohstoff- und Energiekostenspiralen ihren Tribut. So werden vermehrt Anlagen für Coexp-Produkte mit hohem Rezyklat-Anteil oder Schaumkernen nachgefragt. Zur Material- und somit Kostenreduzierung kann auch, neben den ökonomisch sinnvollen Rohstoffkombinationen, Maschinenteknik in Form von innovativer Werkzeugtechnik oder höherem Automatisierungsgrad beitragen. Weiterhin gewinnt die energetische Analyse und Verbesserung der Anlagen zunehmend an Bedeutung. Durch unterschiedliche Ansätze gelingt es, den Energieeinsatz zu minimieren oder die entstehende (Ab-)Wärme sinnvoll auszunutzen.

Extruder-Entwicklung

Ausstoßleistungen in der Rohrextrusion oberhalb der 1000 kg/h-Marke gehören heutzutage zum alltäglichen Erscheinungsbild. Trotzdem kann eine Pressemitteilung mit solch einer Meldung für viel Aufmerksamkeit sorgen, und zwar, wenn die erreichte Leis-

tung aus einem Einschnckenextruder mit gerade 60 mm Schneckendurchmesser und 37D Verfahrenseinheit stammt (Bild 1) [1]. Dies ist nur mit einer enormen Steigerung der Schneckendrehzahl bei gleichzeitig beherrschbarer Entwicklung der Massetemperatur möglich. Solche Schnellläuferkonzepte werden von mehreren Herstellern in den Größen 60 bis 90 mm angeboten und erfreuen sich immer größerer Beliebtheit. Vor etwa einem Jahr waren bereits mehr als 100 Einheiten von dieser relativ neuen Technik installiert [2]. Hierbei gehören zwar die Rohrextrusionsanwendungen noch zur Minderheit, können aber aufgrund der fortlaufenden Verbesserungen immer stärker überzeugen. Neben der permanenten Weiterentwicklung der vorhandenen Schnellläufergrößen wird derzeit

auch intensiv an kleineren Einheiten (z. B. 35 mm-Einheiten) für neue Anwendungsfelder geforscht [3].

Nicht nur kleinere, schnelllaufende Einheiten erfreuen sich bei der Rohrerstellung immer größerer Beliebtheit. Höhere Effizienz verspricht auch die Direktextrusion. Hier werden die Rohstoffe in einem Schritt compounding und zum fertigen Halbzeug ausgeformt. Mit dem Wegfall eines vollständigen Produktionsschrittes bietet der Direktextrusionsprozess Vorteile hinsichtlich Energieverbrauch, Produktionskapazität und Handlingaufwand. Zudem schon der einstufige Prozess das Rohmaterial, da dieses nur einmal aufgeschmolzen wird.

Beispielsweise lässt sich mit diesem Verfahren die Mittelschicht von Abwasserrohren für

den Einsatz im Hochbau mit mineralischen Stoffen füllen, um ihnen schalldämmende Eigenschaften zu verleihen [4].

Ausstoßleistungen oberhalb der oben genannten Marke von 1000 kg/h sind auch für die Profilextrusion realisierbar. Für diese hohen Leistungen werden z. B. 135er-Doppelschneckenextruder eingesetzt. Durch Weiterentwicklung des Schnecken-Designs sowie Anpassung der Doppelstrangwerkzeuge und der Peripherie, sind solche Durchsätze bei der Extrusion von 5-Kammer-Profilen möglich geworden [5]. Für eine Leistungssteigerung kann auch die richtige Wahl der Entgasungseinheit sorgen. Bei einer Einfachentgasung wird durch den Entfall der atmosphärischen Entlüftung bei den parallelen Doppelschneckenextrudern die gesamte Länge von 36L/D

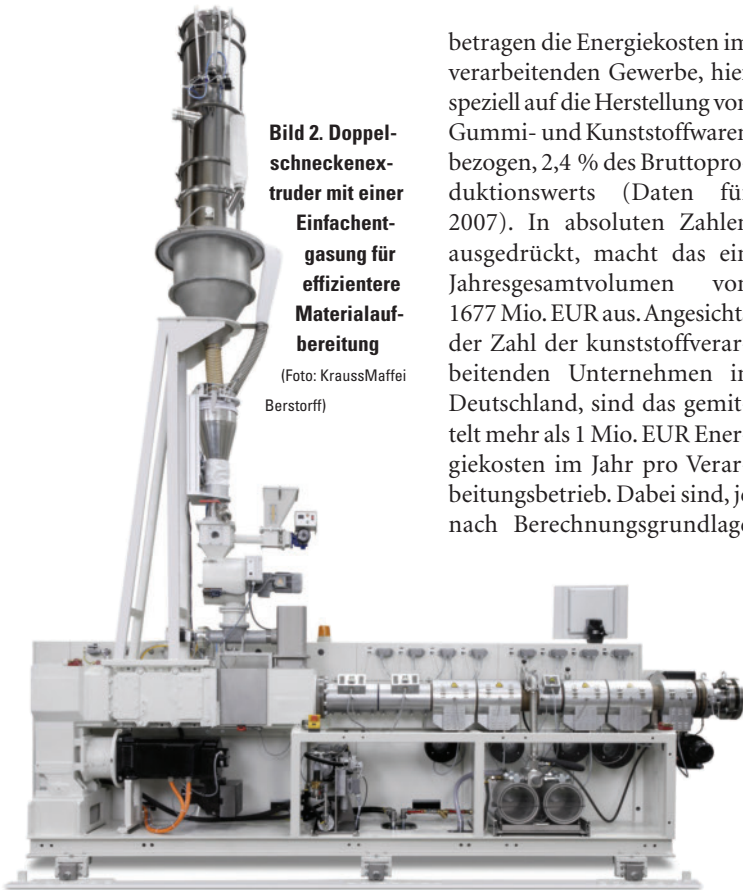


Bild 1. Der schnell laufende 60 mm-Einschnckenextruder Rapidex 1000 ermöglicht bis zu 1000 kg/h Ausstoß (Foto: Cincinnati)

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU110230

Bild 2. Doppelschneckenextruder mit einer Einfachentgasung für effizientere Materialaufbereitung

(Foto: KraussMaffei Berstorff)



betragen die Energiekosten im verarbeitenden Gewerbe, hier speziell auf die Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren bezogen, 2,4 % des Bruttoproduktionswerts (Daten für 2007). In absoluten Zahlen ausgedrückt, macht das ein Jahresgesamtvolumen von 1677 Mio. EUR aus. Angesichts der Zahl der kunststoffverarbeitenden Unternehmen in Deutschland, sind das gemittelt mehr als 1 Mio. EUR Energiekosten im Jahr pro Verarbeitungsbetrieb. Dabei sind, je nach Berechnungsgrundlage

für die verfahrenstechnische Aufbereitung des Rohmaterials (PVC-Rohrrezepturen) genutzt (**Bild 2**). Gegenüber Doppelentgasungsextrudern ergibt sich eine um bis zu 10 % erhöhte Durchsatzleistung. Eine längere Meteringzone gewährleistet zudem ein höheres Druckaufbauvermögen, eine höhere Prozessstabilität und Kontrolle der Massetemperatur über den gesamten Ausstoßbereich [6].

Nicht immer werden von den potenziellen Kunden solche „High End“-Lösungen angefragt. Speziell für die Herstellung von typischen Massenprodukten, wie Fenster- und Bauprofile, gibt es existierende, technisch ausgereifte Standardlösungen (**Bild 3**). Solche Linien werden neben den maßgeschneiderten Lösungen zu einem um bis zu 30 % günstigeren Preis angeboten [7].

Energieeffizient extrudieren

Laut einer Veröffentlichung vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

(abhängig vom Standort, Jahresverbrauch), die Energiekosten in den vergangenen fünf Jahren um mehr als 35 % gestiegen. Zusammengefasst also Grund genug für die Anlagenbauer und Verarbeiter, nach neuen energieeffizienteren Lösungen zu suchen [8, 9, 10].

Hierbei ist bereits die Aufnahme des Ist-Zustands, also eine energetische Analyse eines Produktionsbetriebs sehr anspruchsvoll und aufwendig – jedoch unabdingbar –, will man einen Überblick über das energetische Gesamtbild der Verarbeitungsstätte erhalten und Potenziale für Verbesserungsmöglichkeiten aufzeigen. Es werden „Energiefresser“ und optimale Betriebspunkte ermittelt und Wirkungsgrade von Extrudern, Heizungen und der Peripherie beleuchtet. Solche Energieanalysen werden in Extrusionsbetrieben aufgrund des hohen Nutzfaktors immer gefragter [11]. In fast jedem Betrieb eröffnen sich so Einsparpotenziale. Es wird geschätzt, dass 90 % aller Betriebe im Bereich der →



Bild 3. BaseBEX-Standard-Profillinien: Produktivität zum attraktiven Preis
(Foto: Battenfeld)

kunststoffverarbeitenden Industrie ihre Heizkosten auf nahezu Null reduzieren könnten [12]. So steht z.B. warmes Wasser als Abwärme aus den Kühlstrecken oder Hydraulikeinheiten zur Verfügung. Üblicherweise wird dieses Wasser

Kosten für die Entsorgung der Abwärme über Rückkühlwerke [12].

Auch die Extruderbauer bieten vermehrt Möglichkeiten zur Wärmerückgewinnung an. So kann die Energie, die zur Rohrkühlung über das Werk-

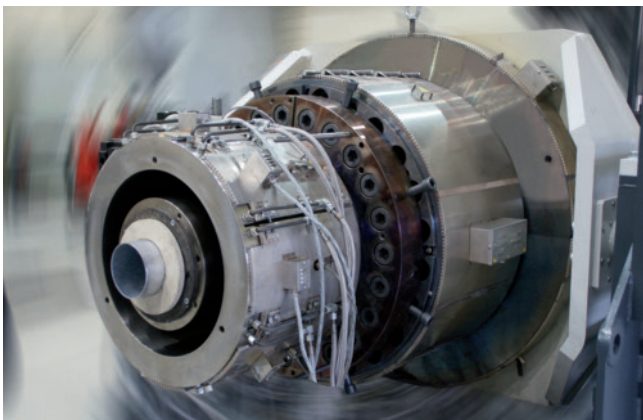


Bild 4. Der Rohrkopf KryoS verfügt über ein System zur Schmelzekühlung bereits im Rohrkopf (Foto: Cincinnati)

durch Rückkühlwerke wie Kältemaschinen, Kühltürme oder Freikühler kostenintensiv heruntergekühlt. Diese Abwärme wäre jedoch auch für Heizzwecke einsetzbar. Spezialwärmeaustauscher können diese Abwärme aus den Produktionsmaschinen durch Wärmerückgewinnung für Heizzwecke nutzbar machen. Diese Art der Abwärmenutzung hat dazu auch noch einen weiteren kostensparenden Effekt. Der Betreiber spart sich die

zeug abgeführt wird, zur Materialvorwärmung genutzt werden. Dadurch wird das notwendige Drehmoment des Extruders reduziert und eine Energieersparnis von bis zu 95 kW erzielt, sodass hier mit Einsparpotenzialen von bis zu 100 t EUR/a geworben wird [13]. Wird bei der Antriebswahl dann noch auf die energieeffizienteren Wechselstromantriebe zurückgegriffen, führt dies nicht selten zu einer Effizienzsteigerung von 5–

12 % gegenüber Gleichstromantrieben [14].

Trotz der vielfältigen Innovationen ist die heutige Plastifiziereinheit, der heutige Extruder, nach über 50 Jahren in seinen Wirkprinzipien und der Erscheinungsform fast gleich geblieben. Hier wird derzeit auf der Forschungsebene die Frage gestellt, ob das praktizierende System nicht durch ein effektiveres ersetzt werden kann. So gibt es Ansätze, die über die konservative Umsetzung der elektrischen Energie in mechanische und der damit verbundenen dissipativen Energieeinbringung zur Schmelzezeugung hinausgehen. Ein in der Erprobung befindlicher Prototyp ermöglicht die Einbindung alternativer Energien, in Form des Energieträgers Erdgas zur Plastifizierung von Kunststoffschmelzen. Die direkte Nutzung von Erdgas zur Bereitstellung der bei der Kunststoffverarbeitung notwendigen Energie in Form von Wärme, ohne Umwege über die elektrische Energie, vermeidet Wandlungsverluste. Die Vorteile spiegeln sich ebenfalls in den Kosten für Erdgas wider, die nur ca. 25 bis 30 % einer vergleichbaren Energiemenge an elektrischem Strom betragen. Es ist davon auszugehen, dass auch bei veränderlichen Strompreisen Erdgas ein wirtschaftlicherer Energieträger sein wird [15].

Der Ansatz, Erdgas als Energieträger zu nutzen, ist nicht neu. Einige Gerätehersteller (Kunststofftrockner mit Trockenluft, Kunststoffthermoformmaschinen etc.) haben das Potenzial einer erdgasbetriebenen Variante erkannt und erfolgreich umgesetzt. Bereits auf der K'01 wurde eine Erdgasheizung für Extrusionszylinder auf der Basis der modernen Brennertechnik vorgestellt.

Darüber hinaus kann weitere Energie durch die Isolierung der Verfahrenseinheit und der damit verbundenen Absenkung der Oberflächentempe-

ratur und Wärmeabstrahlung nach außen eingespart werden [16]. Zusätzlich ist durch eine optimierte Regelung der Temperaturprofile, die das Aufheizen der Kunststoffe auf das jeweils notwendige Minimum reduzieren, sowohl in der Aufheiz- als auch späteren Abkühlphase eine deutliche Effizienzsteigerung zu verzeichnen [17].

Energieeffizienzlabel für Extruder

Angesichts der vielen Detailverbesserungen, neuer Konzepte sowie verfahrenstechnischer Merkmale, fällt es dem potenziellen Maschinenkäufer schwer, einen direkten Vergleich zwischen den einzelnen Anlagen zu ziehen. Hier sollen standardisierte Rahmenbedingungen und Verfahren zur Beurteilung der Energieeffizienz Abhilfe leisten. Dazu werden Initiativen ins Leben gerufen, die genau das zur Aufgabe haben [18]. Eine solche Einordnung der Extrusionsanlagen in Effizienzklassen muss allerdings mit Vorsicht betrachtet werden. Aufgrund der enorm hohen Differenzierung in den Verarbeitungsbetrieben tragen solche Maßnahmen zwar zur Entscheidung bei, die Ergebnisse des Labelings können aber nicht ohne Weiteres auf

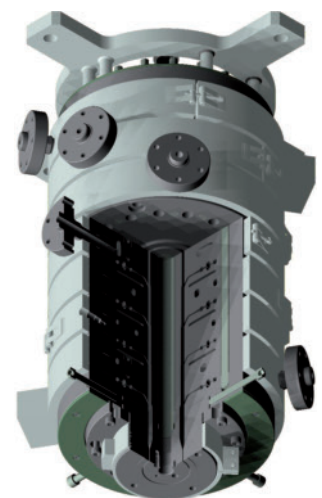


Bild 5. Sieben-schichtige Circularverteiler-Systeme für Rohre und Schläuche mit kleinen Durchmessern (Bild: Eta)

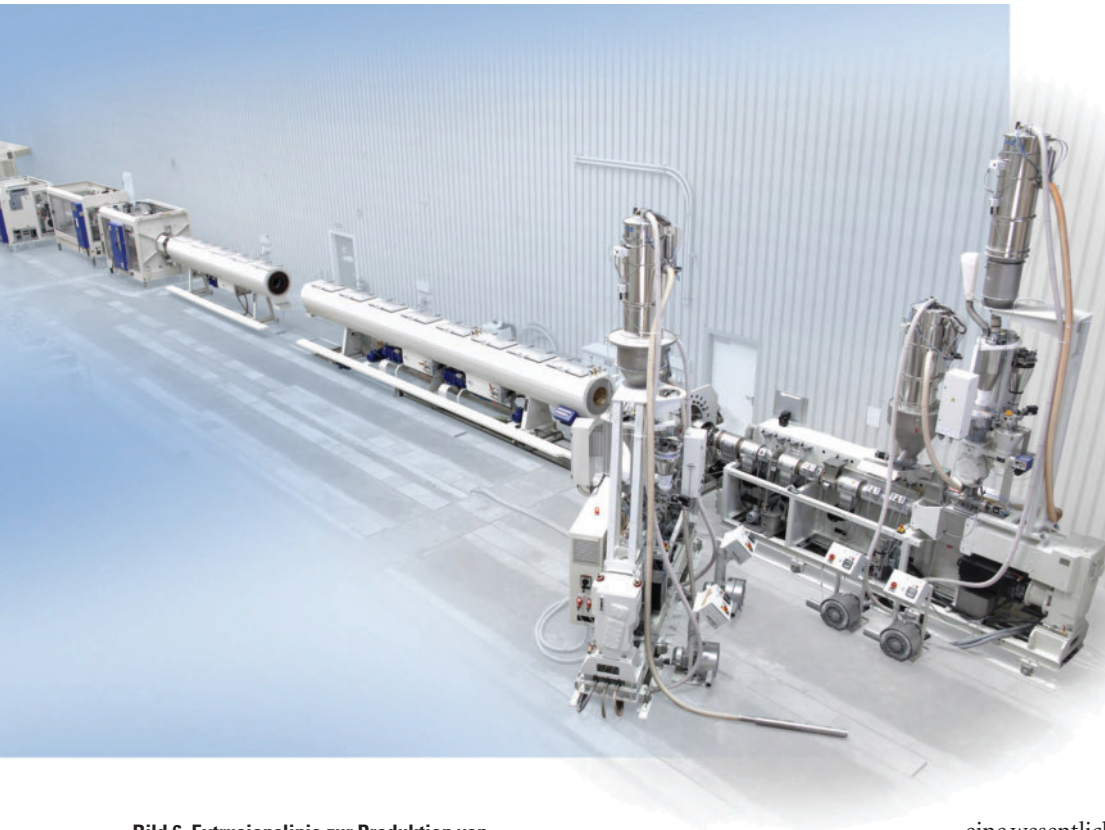


Bild 6. Extrusionslinie zur Produktion von PVC-Schaumkernrohren (Foto: KraussMaffei Berstorff)

die konkreten Anwendungsfälle im Verarbeitungsbetrieb übertragen werden.

Werkzeugtechnik

Bei der Beschreibung der Anlageneffizienz wird meistens auf die Leistungsmerkmale des Extruders oder der Peripherie eingegangen. Dass hierbei

auch das Werkzeug eine signifikante Rolle spielen kann, zeigen einige Entwicklungen im Bereich der Rohrextrusion. So können Rohrköpfe auf Basis eines Wendelverteilerkonzeptes mit einem System zur Schmelzekühlung bereits im Werkzeug die Kühlstrecke verringern. Die reduzierte Schmelzetemperatur bewirkt

eine wesentlich höhere Viskosität am Werkzeugaustritt, wodurch vor allem bei dickwandigen Rohren dem Sagging entgegen gewirkt wird (**Bild 4**). Ein großer Innendurchlass ermöglicht die Luftkühlung der extrudierten Schmelze. Das Rohr wird gleichzeitig von außen und von innen durch eine Wasser- und Luftkombination gekühlt, wodurch eine Verkürzung der Kühlstrecke erreicht wird [19].

Generell haben sich bei der Wahl des Rohrkopfwerkzeugs in den meisten Anwendungen Wendelverteiler durchgesetzt. Trotz der möglichen Werkzeugvielfalt dominiert der Einsatz des Wendelverteilers gerade aufgrund der verfahrenstechnischen Vorteile. Dabei wird neben den zylindrischen und konischen Ausführungen bei Rohren und Schläuchen mit kleinen Durchmessern auch der Spiralverteiler oder auch Circularverteiler (CV) verwendet. Die mittlerweile bis zu 7-schichtigen CV-Systeme (**Bild 5**) zeichnen sich durch kurze Verweilzeiten und schnelle Produktwechsel aus. Weiterhin sind CV durch geringe Druckverluste, mögliche Einzelschichttemperierung und Variabilität in der Schichtstruktur charakterisiert [20].

Im Bereich der Profilextrusion setzen Hochleistungs-Trockenkalibriereinheiten und neue Werkzeugkonzeptionen Maßstäbe. Abzugsgeschwindigkeiten bis 7 m/min bei 3-Kammer-Profilen sowie von über 5 m/min bei gängigen 5-Kammer-Profilen sind möglich [21].

Rohstoffersparnis immer wichtiger

Bei der Produktion von Kunststoffrohren und Profilen ent- →

fallen bis zu 90 % der Herstellungskosten auf das Rohmaterial. Dabei steigen die Rohstoffpreise seit Jahren an. Erst in der zweiten Jahreshälfte 2008 sind die Preise krisenbedingt auf ein Rekordtief gesunken, haben allerdings die Talfahrt hinter sich. So zeigt der Plastixx ST (Polymerpreisindex für Standard-Thermoplaste) [22] seit Anfang 2009 wieder stetig nach oben und hat seitdem um über 10 % zugelegt. So wundert es nicht, dass die Verarbeiter ständig nach ökonomisch sinnvollen Rohstoffkombinationen suchen, ihre Anlagen mit immer höheren Rezyklatanteilen fahren und nach neuester Werkzeug- und Automatisierungstechnik Ausschau halten. Linien für die Herstellung von Schaumkernrohren (Bild 6) oder Coex-Produkten mit hohem Regeneratanteil können dabei erheblich die Materialkosten reduzieren. Weiterhin werden Anfahr- und Materialwechselläufe, bei denen viel Ausschuss produziert wird, gesondert unter die Lupe genommen.

Material-, Produkt- und Dimensionswechsel

Auch wenn die Rohr- und Profilextrusion durch die Herstellung von Massenartikeln gekennzeichnet ist, bleibt die Branche nicht von den häufigen Produktwechseln verschont. Der Verarbeiter steht dabei jedes Mal vor der Herausforderung, geeignete Maßnahmen zu einer wirtschaftlichen Produktumstellung einzuleiten. Grundsätzlich muss bei jeder Produktumstellung die spezifische Entscheidung gefällt werden, ob eine vollständige Abschaltung und Reinigung der Anlage (Personalkosten, Anlagenstillstand) im Vergleich zu einer Verdrängung des Ausgangsmaterials im laufenden Betrieb (Material- und Energieverbrauch) wirtschaftlich sinnvoll ist. Solche Themenstellungen der effizienten Material- und Betriebspunktwechselvorgängen

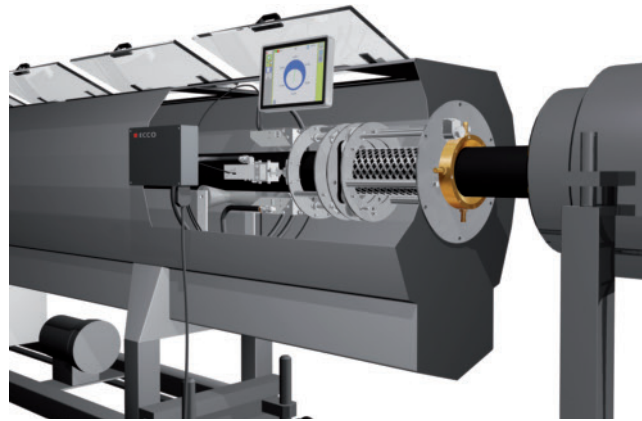


Bild 7. Unkomplizierte Lösung zur schnellen Rohrzentrierung für Großrohre (Bild: Inoex)

ge werden derzeit intensiv gemeinsam von den Verbänden, Anlagenherstellern, Verarbeitern und Instituten beleuchtet [23].

Vor diesem Hintergrund werden dem Verarbeiter aber auch bereits einige Lösungen angeboten. Rohrdimensionswechselsysteme ohne Produktionsunterbrechung gehören bereits seit einigen Jahren zum Stand der Technik. Muss die Anlage aufgrund von Produktumstellung doch gestoppt werden, helfen Anfahrhilfen bei der schnellen Wiederaufnahme der Produktion. Gerade bei Großrohrproduktionen ist der Anfahrprozess aufwendig und zeitintensiv. Schwierig ist vor allem die Zentrierung. Die ungleichmäßige Temperaturverteilung im Werkzeug beeinflusst bei der Rohrproduktion das Fließverhalten der Schmelze und führt zu einer ungleichmäßigen Wanddickenverteilung im Rohr. Das betrifft insbesondere dickwandige Großrohre. Bis das

fertige Rohr vermessen und das Werkzeug zentriert werden kann, dauert es eine ganze Weile, denn die Liniengeschwindigkeit ist niedrig und der Massedurchsatz hoch. Viel Rohmaterial wird in dieser Zeit verbraucht. Es entstehen Kosten, die durch eine frühzeitig eingesetzte Zentrierhilfe vermieden werden können. Hier leisten Ultraschallmessverfahren Hilfe (Bild 7). Solche Zentrierhilfen geben unmittelbar nach Produktionsstart Auskunft über die Wanddickenverteilung und schaffen so die Voraussetzungen für eine zügige Rohrkopfzentrierung [24].

Messtechnik

Die Branche stellt immer höhere Anforderungen an mehrschichtige Produkte. Entsprechend komplex gestaltet sich der Produktionsprozess. Das betrifft z. B. Bremsschläuche oder Fußbodenheizungsrohre. Häufig sind Barriere-

und Funktionsschichten erforderlich, die Rohre und Schläuche mit speziellen mechanischen und chemischen Eigenschaften versehen. Um Kosten zu senken, versucht man diese Schichten so dünn wie möglich, aber so dick wie nötig zu fertigen. Neben der exakt abgestimmten Werkzeugtechnik, die für die gleichmäßige Schichtdicke sorgen muss, ist eine Kontrolle der Wanddicken im Produktionsprozess zwingend nötig. Nur so kann bei vertretbaren Kosten die Funktion gewährleistet werden. Mit der Weiterentwicklung der bewährten Ultraschallmesstechnik sind sogar Schichtdicken von bis zu 0,05 mm exakt messbar (bisherige Auflösung lag bei etwa 0,2 mm). Dünnstste, bislang nicht messbare Funktions- und Barrierschichten können durch intelligente Ultraschallsensorik, kombiniert mit neuen Rechenalgorithmen und digitaler Messtechnik genau bestimmt werden [25].

Rezyklatverarbeitung

Die Kunststoffabfallmenge stieg im Zeitraum von 1994 bis 2007 von 2,8 auf ca. 4,86 Mio. t. Dies bedeutet einen Anstieg um ca. 4,3 % p.a. Von den ermittelten rund 4,86 Mio. t Kunststoffabfällen in Deutschland im Jahr 2007 wurden 43 % einer werkstofflichen Verwertung zugeführt. Die werkstoffliche Verwertung erreichte ihren höchsten Wert 2007 und liegt heute mit ca. 2,1 Mio. t 70 % über dem Wert von 1994. Die durchschnittliche Steigerung von 1994 bis 2007 betrug 4,1 %. Das werkstoffliche Recycling wuchs jedoch im Zeitraum von 2005 bis 2007 um ca. 13,5 % p.a [26].

Diese überproportional starke Entwicklung der letzten Jahre wurde sowohl von den Maschinenbauern als auch Verarbeitern vorangetrieben. In engen Kooperationen wurden Technologien weiterentwickelt, die zum einen die Herstellung qualitativ hochwertiger

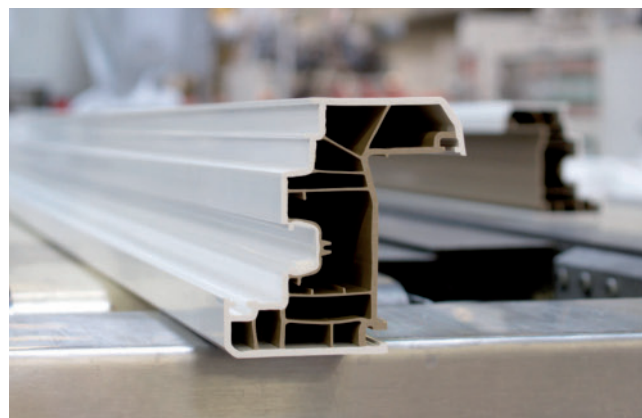


Bild 8. 88 mm-Profil mit 50 %igem Recyclinganteil (Foto: Battenfeld)

ger Produkte gewährleisten, zum anderen aber die Besonderheiten der Rezyklatverarbeitung berücksichtigen. Dazu gehören z. B. die unterschiedlichen Schüttguteigenschaften des Rezyklats wie eine geringere Schüttdichte und andere Rieselfähigkeit als Neuware-Granulate. Die an solche Gegebenheiten angepasste Anlagentechnik ermöglicht die Herstellung von Produkten mit hohen Rezyklatanteilen wie z. B. PVC-Fensterprofilen mit 50 %iger Regeneratschicht [27]. Solche Profile sind von einem herkömmlichen nicht zu unterscheiden, da die Außenschicht komplett aus Neuware hergestellt wird und die innen liegende Recyclingschicht so eingebunden ist, dass beim eingebauten Fenster nichts davon zu sehen ist (Bild 8).

Die besonderen Schüttguteigenschaften (wie geringere Schüttdichte) haben bei der Verarbeitung von Rezyklat auf einem Nutbuchsenextruder geringere spezifische Durchsätze und somit höhere Masstemperatur zur Folge. Da dies in den meisten Fällen nicht erwünscht ist, kann in bestimmten Grenzen der Einfluss der Schüttdichte durch Änderungen im Gangtiefenprofil der Schnecke im Einzugsbereich minimiert werden [28]. Dieser Nachteil lässt sich durch Systeme vermeiden, die eine direkte Beeinflussung der Förderrate erlauben.

Der KoAx-Extruder besitzt im Einzugsbereich eine zusätzliche, koaxial um die Hauptschnecke angeordnete Einzugschnecke, die unabhängig von der Hauptschnecke angetrieben wird. Über die unabhängig von der Hauptschnecke einstellbare Drehzahl der Einzugschnecke besteht ein zusätzlich nutzbarer Freiheitsgrad, aus dem sich elementare Vorteile ableiten. Bei Materialien mit einer geringen Schüttdichte kann die Förderrate angehoben werden, indem die Einzugschnecke wie eine Stopfmaschine betrieben wird. Bei Materialmischungen, die

zu Förderschwankungen neigen, können diese über die Einzugschneckendrehzahl ausgeregelt werden, während das Aufschmelzen und Mischen in der Hauptschnecke davon abgekoppelt bei einer konstanten Drehzahl erfolgt. Damit kommt man dem Schüttdichte-bedingten Abfall des spezifischen Massedurchsatzes über die Drehzahl und somit dem Anstieg der Masstemperatur entgegen [29].

Fazit

Eine Vielzahl der Neu- und Weiterentwicklungen in der Rohr- und Profilextrusion stehen im Sinne der Nachhaltigkeit. Auch wenn hierbei die treibende Kraft eher ökonomischer als ökologischer Natur ist, bleibt der umweltschonende Aspekt erhalten. Den energieeffizienten und materialsparenden Lösungen wird derzeit so viel Aufmerksamkeit geschenkt, wie nie zuvor. Dabei geht man teils neue, unkonventionelle Wege. Diese Entwicklungstendenzen werden sich wohl auch auf absehbare Zeit nicht ändern. Denn nach Aussage vieler Wirtschaftsexperten, ist ein Ende des Preisanstiegs von natürlichen Ressourcen nicht in Sicht. ■

Paul Gorczyca

LITERATUR

Die umfangreiche Literatur- und Quellenliste finden Sie unter:
www.kunststoffe.de/A027

SUMMARY

SUSTAINABILITY OF CONTINUOUS PRODUCTION

PIPE AND PROFILE EXTRUSION. Plant constructors are currently concentrating on two topical areas, energy efficiency and raw materials economy. That does not mean that the pursuit of higher throughput, lower cost plants and higher productivity is a thing of the past. These aspects are apparently now taken for granted.

Read the complete article in our magazine *Kunststoffe international* and on www.kunststoffe-international.com