

G Barrierschnecken

Dipl.-Ing. Robert Michels

ETA Kunststofftechnologie GmbH, Troisdorf

Beitrag zur

6. Fachtagung 'Neuigkeiten in der Extrusion', 09.-10. Mai 2001

Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, Würzburg

Barrierschnecken

Unter den bei Einschneckenextrudern verwendeten Schneckenentypen nehmen die Barrierschnecken eine immer bedeutendere Stellung ein. Das gilt für den gesamten Bereich der Extrudergrößen und ebenso für praktisch alle zu verarbeitenden thermoplastischen Rohstoffe - außer PVC-U. In Verbindung mit Nutbuchsenzylindern ist die Barrierschnecke zum Standard der Hochleistungsextrusion von Polyolefinen zu Rohren, Platten, Folien und Blasformteilen geworden. Hohe Durchsatzleistung, homogene Schmelze, große Verarbeitungsbreite und gute Beherrschung der Schmelztemperatur sind Vorteile, die auch zu einem zunehmenden Einsatz bei technischen Thermoplasten führen.

1. Funktionsprinzip, Historie und Eigenschaften moderner Barrierschneckenkonzepte

Das charakteristische Merkmal der Barrierschnecke findet sich in der Plastifizierzone. Hier trennt ein zusätzlich eingefügter Steg, der Barrieresteg, den Feststoff von der Schmelze (Bild 1). Das durch Wärmeleitung von der Zylinderbeheizung und durch Friktion frisch aufgeschmolzene Material kann aus dem Feststoffkanal über den Barrieresteg in den Schmelzekanal fließen. Die Barrierspaltweite ist so bemessen, dass der Feststoff zurückgehalten wird. Damit wird grundsätzlich und insbesondere bei hohen spezifischen Durchsätzen und hohen Schneckendrehzahlen, die für hohe Gesamtdurchsätze notwendig sind, eine gut aufgeschlossene Schmelze gewährleistet und der Austritt von unaufgeschmolzenen Feststoffpartikeln aus der Plastifizierzone verhindert. Die praktisch vollständige Plastifizierung erleichtert die thermische Homogenisierung sowie die gleichmäßige Einmischung von Füllstoffen und Additiven in den nachfolgenden Mischteilen der Schnecke. Eine notwendige Voraussetzung für qualitativ hochwertige Extrusionsprodukte.

Ein weiterer Vorteil gegenüber konventionellen Schnecken besteht in der Möglichkeit, Breiten- und Tiefenverlauf von Feststoffkanal und Schmelzekanal unabhängig voneinander an die jeweiligen Funktionen 'Aufschmelzen' und 'Schmelzeförderung/Druckaufbau' anzupassen. Bei bevorzugten Ausführungsformen beginnt der Feststoffkanal breit und tief und läuft entsprechend dem Aufschmelzverlauf schmal und flach aus. Mit dem zunehmenden Schmelzeanteil nehmen Tiefe und Breite des Schmelzekanals zu.

Die Grundidee der Trennung von Feststoff und Schmelze durch einen Barrieresteg geht zurück auf *Maillefer*, zum Patent angemeldet 1959 in der Schweiz. Nahezu gleichzeitig, Anfang 1961, beantragte und erhielt *Geyer* (Uniroyal) in den USA ein Patent für eine fast gleiche Konstruktion. In der Folgezeit sind – zunächst vor allem in den USA – eine Vielzahl von

Weiterentwicklungen entstanden, für die kontinuierliche Extrusion mit Glattrohrzylindern und auch für Spritzgießmaschinen. Eine Charakterisierung und Beurteilung dieser Barriere-schneckenausführungen kann anhand ihrer geometrischen Merkmale erfolgen (Steigungen von Hauptsteg und Barriesteg, Gangbreiten- und Tiefenverläufe für Feststoffkanal und Schmelzkanal, Gestaltung der Übergangszonen an Beginn und Ende der Barrierezone (Länge, offener/geschlossener Barriesteg, Steigungsverläufe der Stege) [2, 3].

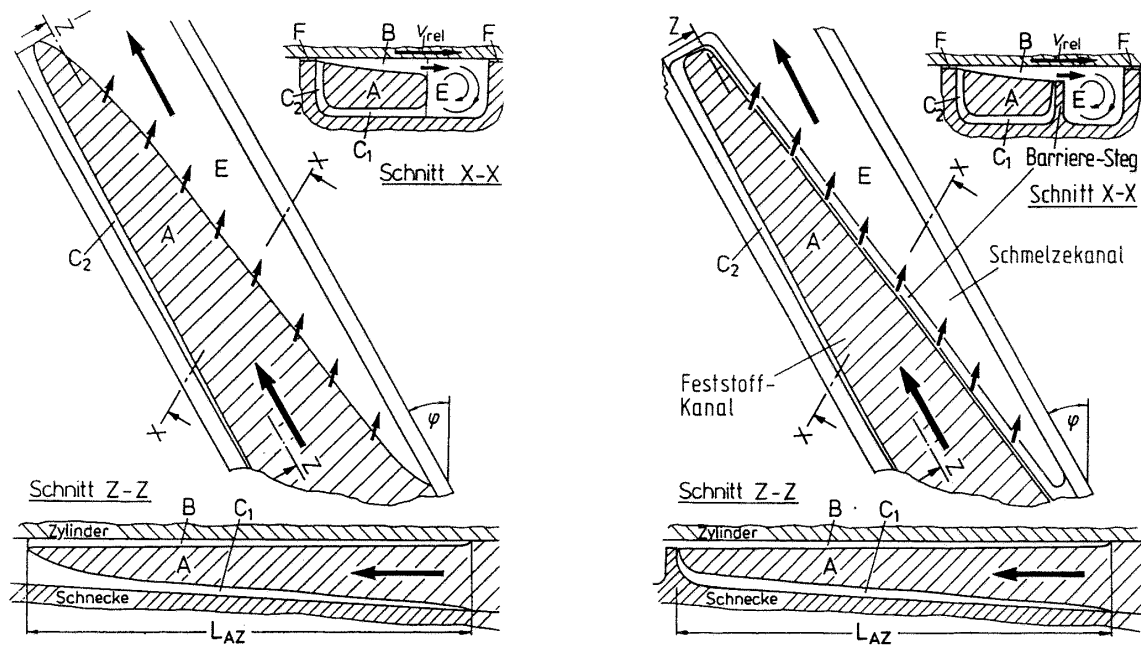


Bild 1: Aufschmelzvorgang in einer konventionellen Schnecke (links) und in einer Barriere-Plastifizierzone (rechts) [1] A = Feststoffbett; B, C1, C2 = Schmelzefilme an Zylinderwand, Kanalgrund, Stegflanke; E = Schmelzkanal / Schmelzewirbel

In Deutschland erfolgte der Durchbruch, nachdem man erkannt hatte, wie Nutbuchsenzylinder und Barrierschnecke vorteilhaft zu einem universell einsetzbaren Hochleistungs-Extruderkonzept kombiniert werden können [4, 5]. Im wesentlichen bestehen diese Barrierschnecken aus vier Funktionszonen (Bild 2):

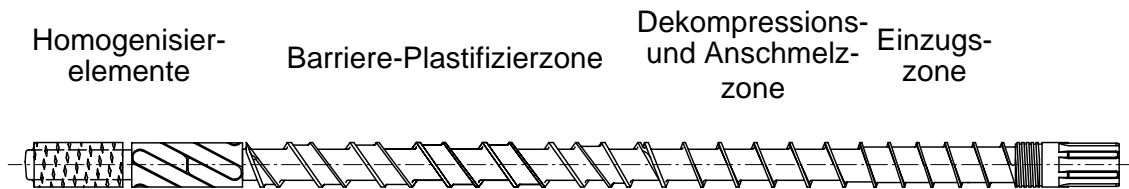


Bild 2: Barrierschnecke für Nutbuchsenextruder (ETA Kunststofftechnologie GmbH)

1. **Einzugszone**, flach geschnitten und mit verringerter Steigung ($0,7 D < S < 1,0 D$) in der Nutbuchse. Die Feststoffförderleistung dieser Zone ist auf die Aufschmelzkapazität der Barrierezone und die Homogenisierleistung der Mischelemente abgestimmt.
2. **Dekompressions- und Anschmelzzone** mit großer Gangtiefe und gegenüber der Einzugszone vergrößerter Gangsteigung. Aufgaben sind Kompaktierung des Granulats, Anschmelzen und Druckaufbau zur Druckentlastung der Nutbuchse.
3. **Barriere-Plastifizierzone**. Gangbreiten und -tiefenverlauf von Feststoff- und Schmelzekanal sowie die Steigungen der Stege sind materialspezifisch an den benötigten Aufschmelzverlauf und das gewünschte Druck-/Durchsatzverhalten angepaßt.
4. **Homogenisier-elemente / Mischteile** zum dispersiven (zerteilendem) und distributiven (verteilemendem) Einmischen von Additiven und Füllstoffen sowie zur thermischen Homogenisierung der Schmelze. In der Regel werden hier ein mehrstufiges, mehrpaariges Wendelscherteil und ein Rautenmischer hintereinander geschaltet. Diese Mischteiltypen zeichnen sich durch hohe Mischwirkung, gutes Selbstreinigungsvermögen, niedrigen Druckverlust und geringe Schmelzeerwärmung aus.

Durch ständige Weiterentwicklung und Detailoptimierung und Abstimmung der Funktionszonen aufeinander zeichnet sich das Schneckenkonzept heute aus durch:

- Hohe Aufschmelzleistung für hohe spezifische Durchsätze. Eine wesentliche Voraussetzung für hohe Gesamtdurchsätze und niedrige Schmelzetemperaturen.
- Vermeidung von Verschleiß und unnötigem Kühlbedarf im Einzugsbereich durch niedrigen Gegendruck am Ende der Nutbuchse und ein ausgeglichenes Druckprofil über der Schneckenlänge. Zugleich ermöglicht das geringe Druckniveau ein Anfahren aus vollem Trichter ohne Drehmomentüberlastung, da ein 'Losbrechen' der Schnecke nicht erforderlich ist.

- Weitgehend konstante spezifische Durchsätze, unabhängig vom Werkzeuggedruck, bis zu hohen Schneckendrehzahlen aufgrund des niedrigen Druckniveaus innerhalb der Nutbuchse, welches eine zuverlässige Feststoffförderung ohne Schmelzefilmbildung in den Nuten ermöglicht.
- Gute Beherrschung der Schmelzetemperaturen bei hohen Schneckendrehzahlen durch die geringe Dissipation im tief geschnittenen Schmelzekanal der Barrierezone und den guten Wärmeübergang zum Zylinder-Heiz-/Kühl-System in der Wendelscherzone. Dies ermöglicht eine Drehzahlanhebung zur weiteren Steigerung des Gesamtdurchsatzes.
- Große Verarbeitungsbandbreite, d.h. Eignung zur Verarbeitung einer Vielzahl verschiedener Rohstoffe mit derselben Schnecke.
- Gute thermische und stoffliche Homogenität der Schmelze. Aufgrund der wirksamen Mischelemente, die eine ausgezeichnete Zerteilung und Einmischung von Additiven und Füllstoffen gewährleisten.

Barriereschnecken für Nutbuchsenextruder finden sich heute im Sortiment aller bedeutenden Maschinenhersteller. Das Grundkonzept ist i.d.R. ähnlich dem oben vorgestellten. Durch unterschiedliche Auslegungsphilosophien und Fertigungserfordernisse haben sich jedoch charakteristische Unterschiede herausgebildet. Augenfällig sind andere Mischteilbauformen, weniger leicht erkennbar – aber oft bedeutender – Unterschiede in Gangtiefenprofil, Kanalbreiten- und Steigungsverläufen der Barrierezone sowie an Beginn und Ende der Barrierezone (z.B. offener oder geschlossener Barriertesteg). Diese Unterschiede haben großen Einfluß auf Aufschmelzleistung, Beherrschung der Schmelzetemperatur, Verarbeitungsbandbreite und Schmelzehomogenität.

‘Barriereschnecke’ ist daher nicht gleich ‘Barriereschnecke’! Sich widersprechende Erfahrungen mit Barriereschnecken erklären sich aus diesen Unterschieden.

Das Konzept bietet eine sehr große Anzahl geometrischer Freiheitsgrade. Bei der ETA-Barriereschnecke werden beispielsweise rund 25 Maße und Merkmale anwendungs- und materialspezifisch festgelegt. Im Vergleich dazu bietet die konventionelle 3-Zonen-Schnecke (ohne Mischteile) nur 6 Freiheitsgrade, moderne Mehr-Stufen-Schnecken mit Mischteilen für Nutbuchsenextruder haben 10-15. Hinzu kommen die Gestaltungsmöglichkeiten für die Nutbuchse (Länge, Anzahl und Querschnitt der Nuten, Nuten und/oder Tasche unter der Einfüllöffnung, etc.).

Die große Anzahl der geometrischen Freiheitsgrade erfordert eine sorgfältige Abstimmung auf den jeweiligen Anwendungsfall und das zu verarbeitende Materialspektrum. Das steht

nicht im Widerspruch zur postulierten 'großen Verarbeitungsbandbreite' und 'universellen Einsetzbarkeit'. Das richtige Grundkonzept zeichnet sich durch diese Eigenschaften aus. Das Optimum des Verarbeitungsfensters muß aber mit der jeweiligen Aufgabenstellung in Übereinstimmung gebracht werden.

2. Anwendungsspezifische Auslegung und Optimierung

Barrierschnecken können sowohl bei neuen Extrudern als auch zur Leistungssteigerung vorhandener Anlagen eingesetzt werden. In der Polyolefin-Rohrextrusion sind heute wirksame Schneckenlängen von 30-33 D ein weit verbreiteter Standard für neue Hochleistungsextruder. Bei der Nachrüstung vorhandener Maschinen erfolgt die Anpassung an vorgegebene Zylinderlängen (L/D-Verhältnis) durch Abstimmung der Längen, Gangsteigungen und Gangtiefen der einzelnen Schneckenzone (Bild 3). Bei großen Durchmessern können die Schnecken in Einzugs- und Dekompressionszone auch 2-gängig sowie in der Barrierezone 2-paarig ausgeführt werden. Auch Entgasungsschnecken lassen sich mit Barriere-Plastifizierzonen ausrüsten.

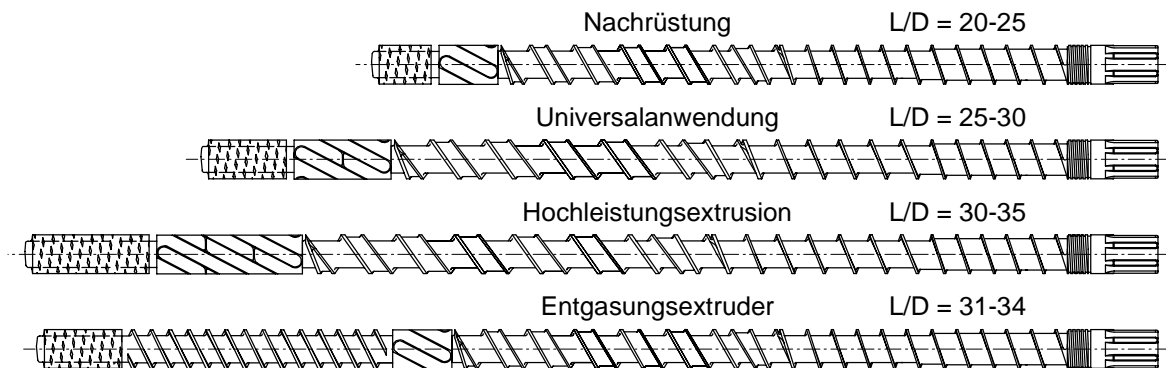


Bild 3: Aufbau von Barrierschnecken für verschiedene Anwendungsbereiche

Bei der Nachrüstung ist in vielen Fällen ein zusätzlicher Austausch des Zylinders und der Umbau auf ein modernes Nutbuchsensystem der bessere Weg, weil damit höhere spezifische Durchsätze und niedrigere Schmelzetemperaturen erreichbar sind. Das dafür benötigte höhere Schneckendrehmoment kann von den vorhandenen Getrieben und Antriebsmotoren in der Regel problemlos bereitgestellt werden, manchmal ist dazu das Untersetzungsverhältnis des Riementriebs zu ändern.

Für ein optimales Extrusionsergebnis hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Produktqualität gilt es, das Gesamtsystem der Plastifiziereinheit bestehend aus

- Funktionszonen der Barrierschnecke
- Nutbuchse
- Heiz-/Kühl-System von Zylinder und Nutbuchse sowie Temperaturführung

für den jeweiligen Anwendungsfall optimal zu gestalten.

2.1 Auslegungs- und Berechnungsmethoden

Die Auslegung von Barrierschnecken erfolgt auf der Basis von Versuchen, Modellrechnungen und Simulationen. Berechnungen mit der Modelltheorie ermöglichen die schnelle Geometriefestlegung neuer Schnecken, wenn für eine konzeptionell gleiche Schnecke anderer Größe Ergebnisse aus Produktion oder Versuch mit demselben oder ähnlichen Rohstoffen vorliegen. Anhand von Simulationsrechnungen lassen sich Druck-, Temperatur- und Aufschmelzverlauf über der Schneckenlänge ermitteln und optimieren. Als Beispiel zeigt Bild 4 den berechneten Druckverlauf in Feststoffkanal und Schmelzkanal über der Länge einer ETA-Barrierschnecke mit den für dieses Konzept charakteristischen Merkmalen (niedriges Druckniveau in der Nutbuchse, Druckaufbau in Dekompressions- und Barrierezone, geringer Druckverlust in den Mischteilen).

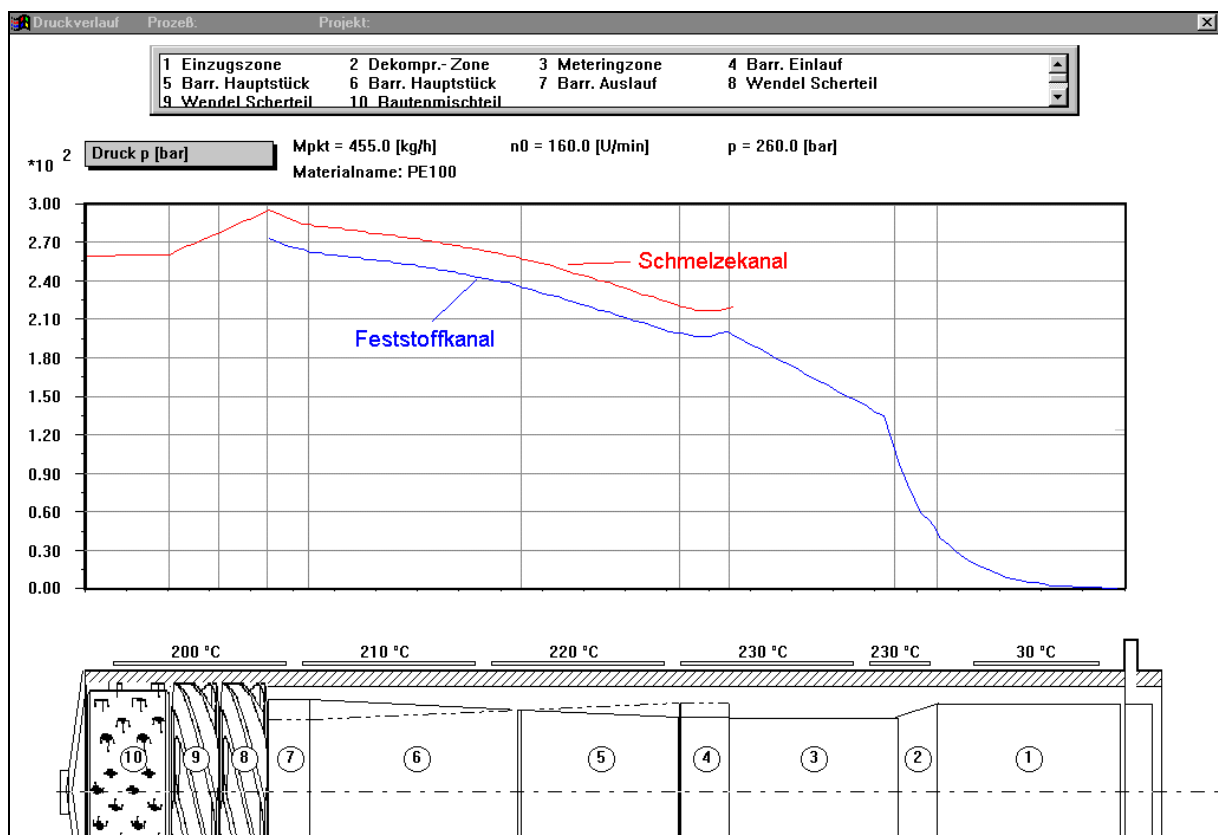


Bild 4: Simulation des Druckverlaufs für eine ETA-Barrierschnecke der Größe 75 / 30 D

Häufig verwendet werden Programme auf der Basis von physikalisch-mathematischen Berechnungsmodellen, die die Ermittlung von Druck-, Temperatur, Schmelzeanteil, etc. über der gesamten Schneckenlänge mittels einer gekoppelten Berechnung der einzelnen Funktionszonen der Schnecke ermöglichen [6]. Zwei- und dreidimensionale Simulationen (Differenzenverfahren, FEM, BEM) haben aufgrund des hohen Zeitaufwandes zur Eingabe der Geometrie und Erstellung der Berechnungsnetze noch keinen Eingang in die tägliche Praxis gefunden. Berechnungen von Teilzonen konnten aber sehr interessante Detaileinblicke in die Strömungsvorgänge aufzeigen, aus denen sich Optimierungsmöglichkeiten ableiten lassen [7, 8]. Eine zunehmende Verbreitung dieser Berechnungsmethoden ist zu erwarten.

Auf Dauer wird man bei der Schneckenauslegung jedoch nicht auf Versuche verzichten können, da einige bedeutende 'Qualitätsmerkmale' einer Auslegung, z.B. die thermische und stoffliche Homogenität der Schmelze, Druckpulsationen und einige Eigenschaften des Extrusionsproduktes, so komplexe Ursachen haben, dass sie auf absehbare Zeit nicht für die gesamte Bandbreite der Rohstoffe ausreichend genau berechenbar sein dürften. Auch ist zu bedenken, dass die Ermittlung aller Materialdaten, die für eine Berechnung benötigt werden, sehr aufwendig ist. Bei einem neuen, unbekanntem Rohstoff ist die vollständige Messung dieser Daten aufwendiger und teurer als Extrusionsversuche.

2.2 Optimierungsbeispiel: Luftgekühlte Nutbuchse

Eine wesentliche Eigenschaft des ETA-Barriereschneckenkonzepts ist das niedrige Druckniveau in der Nutbuchse. Durch die gute Förderleistung in Dekompressions- und Barrierezone wird der am Werkzeugeintritt benötigte Druck zum großen Teil in diesen Schneckenabschnitten generiert (s. Bild 4). Von der Nutbuchse ist nur noch ein moderater Druck von bis zu maximal ca. 300 bar aufzubauen, abhängig von Rohstoff, Werkzeugegendruck und weiteren Betriebsparametern. Bei einzelnen Extrusionsversuchen mit einer Barriereschnecke der Größe 50/28D wurde in niedrigen und mittleren Drehzahlbereichen sogar keinerlei Druck unmittelbar nach der Nutbuchse gemessen [9], d.h. der Werkzeugegendruck wird vollständig von den nachfolgenden Schneckenzonen erzeugt. Dieser Extremfall ist jedoch bei der Schneckenauslegung nicht anzustreben, denn er bedeutet, dass am Beginn der Dekompressionszone eine Teilfüllung vorliegt. Ein teilgefüllter Bereich ist nutzlos und die Schnecke für den Anwendungsfall eigentlich zu lang, also unwirtschaftlich gewählt. Verfahrenstechnisch verhält sich diese Teilfüllung i.d.R. neutral, bei einzelnen Rohstoffen konnten aber Druck- und Durchsatzschwankungen auf eine instabile Länge des Bereichs zurückgeführt werden.

Neben reduziertem Verschleiß, der in den meisten Fällen den Einsatz von Nitrierstahl statt Hartmetall für die Nutbuchse ermöglicht, und der Fähigkeit zum Anfahren aus vollem Trichter ohne Drehmomentüberhöhung hat das niedrige Druckniveau eine verringerte Reibungserwärmung des Granulats an der Wand der Nutbuchse zur Folge. Mit einer geringen Kühlleistung wird auch bei hohen Drehzahlen und hohen Werkzeuggedrücken eine durchsatzmindernde Schmelzefilmbildung in den Nuten verhindert. In vielen Fällen kann sogar auf eine Kühlung verzichtet und die Nutbuchse beheizt werden. Das ist energetisch sinnvoll und senkt Drehmoment und Antriebsleistung. Eine Temperatureinstellung auf 10-20°C unterhalb der Schmelztemperatur des Rohstoffs hat sich als guter Richtwert erwiesen.

Für den niedrigen Kühlleistungsbedarf sind die heute verwendeten Nutbuchsen mit Hochleistungskühlssystemen, basierend auf wasserdurchströmten wendelförmig gefrästen Kühlkanälen, zu aufwendig und nicht notwendig. Das gilt noch mehr, wenn ein Temperiergerät zur Beheizung angeschlossen wird. Die konsequente konstruktive Umsetzung der wärmetechnischen Anforderungen führt zu einer wesentlich einfacheren und kostengünstigeren Lösung: Der elektrisch beheizbaren und mittels Luft kühlbaren Nutbuchse (Bild 5). Hierbei wird ein spezielles Heizband eingesetzt, dessen Keramiksteine eine hohe Wärmeleitfähigkeit und rückseitige Rippen aufweisen [10]. Dadurch wird eine wirksame Wärmeabgabe von der Nutbuchse über die Keramiksteine an die Kühlluft möglich.

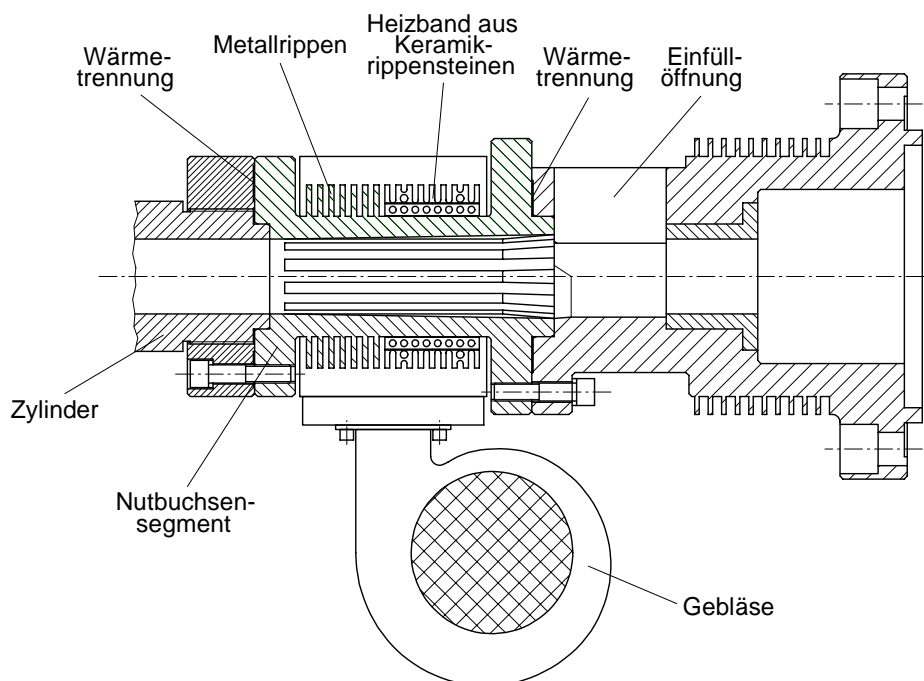


Bild 5: Luftgekühltes Nutbuchsensegment

Im vorderen, entsprechend dem Druckverlauf intensiver zu kühlenden Bereich können umlaufend in den Metallmantel der Nutbuchse gedrehte Kühlrippen die Kühlleistung verstärken. Durch Wärmetrennungen wird das Nutbuchsensegment thermisch vom Einfüllbereich und dem beheizten Zylinder entkoppelt. Der wärmetechnisch wünschenswerten möglichst geringen Wanddicke der Nutbuchse sind Grenzen durch die notwendige Festigkeit für die auftretenden mechanischen Belastungen (Innendruck, Torsion infolge Schneckendrehmoment, Zugbelastung durch Druck vor der Schneckenspitze, evtl. auch Biegung) gesetzt. Nitrierstahl ist aufgrund der geringen Verschleißgefahr in den meisten Fällen ausreichend, besonders verschleißgeschützte Ausführungen (Bimetall, eingepresste Hartmetallbuchse, Pulvermetall-HIP-Inliner) sind konstruktiv ebenfalls möglich.

Bild 6 zeigt Ergebnisse der Erprobung mit einem PP-Homopolymer. Die Temperatur in der Wand der Nutbuchse (an der Meßstelle des Fühlers für die Temperaturregelung, 5 mm von der Innenwand entfernt) steigt bei unregelmäßigem Betrieb mit maximaler Kühlleistung (Gebläse ständig eingeschaltet) mit zunehmender Schneckendrehzahl selbst bei 400 1/min nur auf 145 °C an und liegt damit unter der Schmelztemperatur des PP. Ein Abknicken des spezifischen Durchsatzes aufgrund einer Schmelzefilmbildung tritt nicht auf. Die leichte Abnahme der Förderrate mit steigender Drehzahl ist auf dynamische Effekte (geringere effektive Schüttdichte beim Füllen der Schneckengänge bei hohen Drehzahlen) zurückzuführen.

Luftgekühlte Nutbuchsen für Extruder mit Schneckendurchmesser 35 und 50 mm sind in der Erprobung bzw. im Produktionseinsatz. Der Einsatz für Durchmesser 60 und 70 mm steht bevor. Weitere und größere Einheiten sind geplant. Bei allen bisher verarbeiteten Materialien wurde eine Schmelzefilmbildung aufgrund zu starker Erwärmung noch nicht festgestellt.

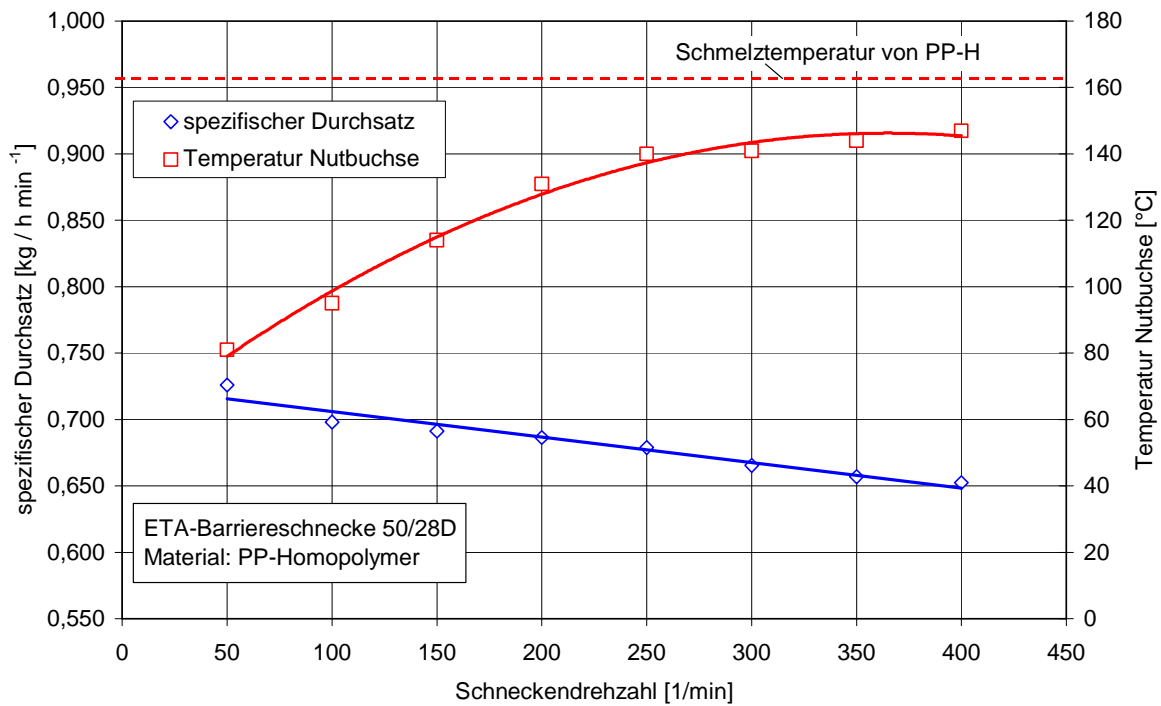


Bild 6: Spezifischer Durchsatz und Nutbuchsentemperatur bei einer luftgekühlten Nutbuchse

3. Beispiele für die Verarbeitung von Rohstoffen mit Barriereschnecken

3.1 Bimodales PE 100

Bei der Einführung bimodaler PE-HD-Typen für Rohre der Leistungsklasse PE 80 und PE 100 wurde ein um ungefähr 10% höherer spezifischer Durchsatz als bei den bisher eingesetzten monomodalen PE 80-Typen festgestellt [11]. Ein durchaus erwünschter Effekt, denn dadurch wird der durch die höheren Viskositäten hervorgerufene Anstieg der Schmelztemperatur teilweise kompensiert. Benötigt werden jedoch ein um 10-15% höheres Drehmoment und eine höhere Aufschmelzkapazität der Schnecke. Mit einer Barriereschnecke lässt sich diese Aufgabenstellung gut lösen. Bild 7 zeigt Versuchsergebnisse für ein bimodales PE-HD der PE 100-Klasse. Die gute Beherrschung der Schmelztemperatur bei hohen Schneckendrehzahlen resultiert aus der geringen Dissipation in den tief geschnittenen Schmelzkanälen der Barriereschnecke und aus dem stabilen Verlauf des spezifischen Durchsatzes, der nur aufgrund der unvermeidbaren dynamischen Effekte auf die Füllung der Schnecke im Einzugsbereich mit steigender Drehzahl leicht zurückgeht.

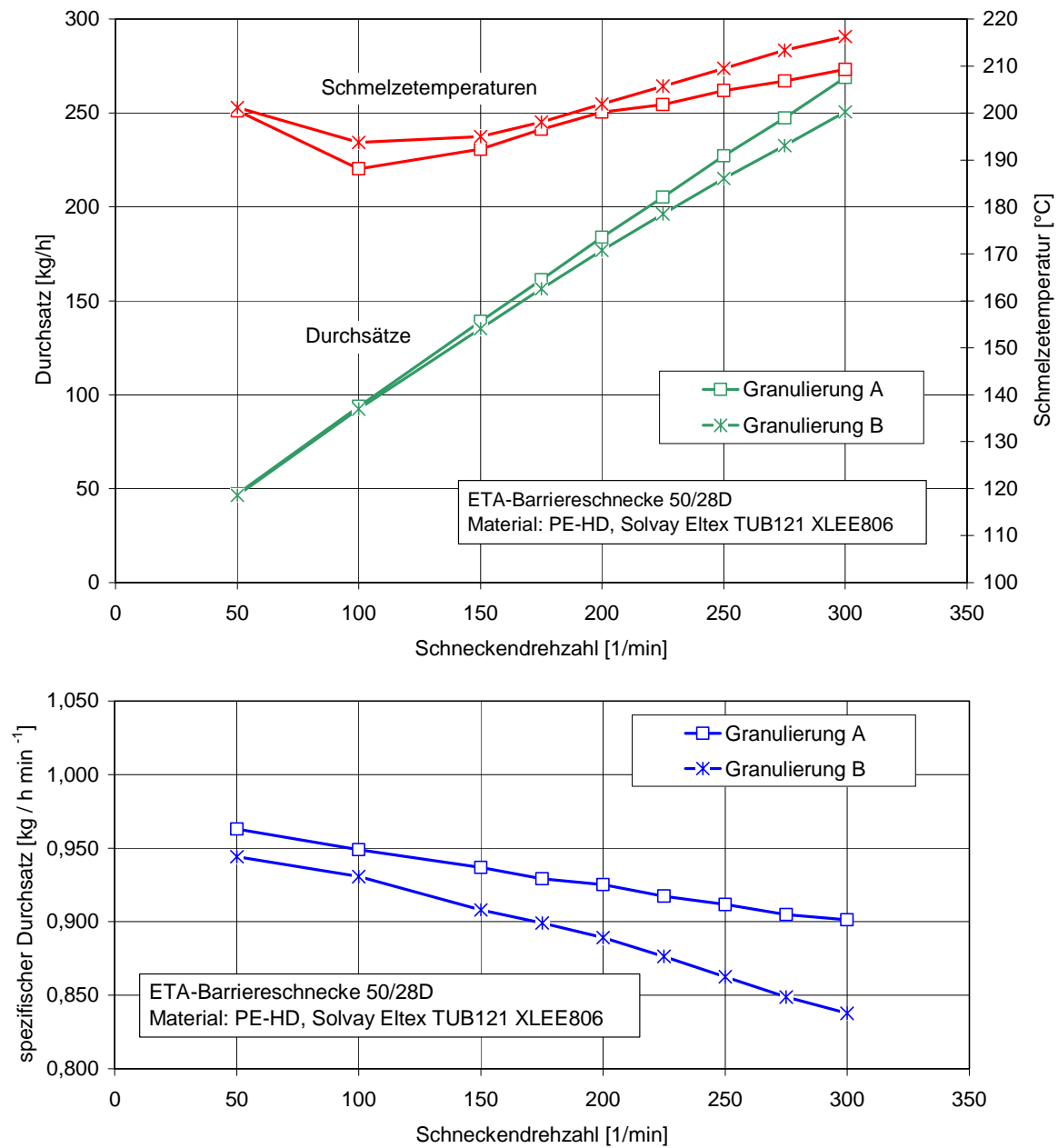


Bild 7: Versuchsergebnisse für ein PE-HD der PE 100-Klasse

Die unter Technikumsbedingungen mit einem Extruder der Größe 50/28D ermittelten Werte werden von Erfahrungen mit größeren Barrierschnecken, die zur Umrüstung bestehender Anlagen geliefert wurden, bestätigt. Leider liegen hier nur Werte von einzelnen Betriebspunkten vor, für die aufwendige Ermittlung von Kennlinien sind diese Produktionsanlagen leider nicht instrumentiert und nicht für ausreichende Zeit verfügbar.

Bild 7 zeigt Kennlinien für zwei unterschiedliche Granulierungen desselben Rohstoffs. Beide Typen besitzen annähernd die gleiche Schüttdichte (gemessen nach DIN 53468), jedoch unterschiedliche Granulatformen (Korndurchmesser, -länge, -form), deren dynamisches Verhalten beim Füllen der Schneckengänge in der Einfüllzone unterschiedliche spezifische Durchsatzverläufe zur Folge haben. Daraus resultieren – bei gleicher Zylindertemperatureinstellung – unterschiedliche Schmelzetemperaturen. Über die Granulatform besteht somit die Möglichkeit, Durchsatz und Schmelzetemperatur – in gewissen Grenzen – zu beeinflussen. Bei der Einführung der PE 100-Typen wurde auf diese Weise das Verarbeitungsverhalten optimiert, damit auf vorhandenen, für ältere PE-Typen ausgelegten Extrudern ein gutes Ergebnis erzielt wird. Aufgrund unterschiedlicher Nutbuchsengeometrien (Anzahl der Nuten, Breite, Querschnittsform, etc.) sind die Ergebnisse für die einzelnen Extruderfabrikate jedoch leider uneinheitlich.

3.2 Rohrummantelung

Ein Beispiel zum Einsatz einer Barrierschnecke im oberen Leistungsbereich betrifft die nachträgliche Ausstattung eines vorhanden Extruders der Größe 150/33D für die Verarbeitung von PE-MD und PE-LD zur Ummantelung von Stahlrohren [12]. Die Aufgabenstellung ist in diesem Fall geprägt von einem maximalen Masseausstoß bei möglichst niedriger Schmelzetemperatur und einer über Referenzmuster vorgegebenen Produkthomogenität. Darüber hinaus muß das System bei Farb- und/oder Materialwechseln ein hervorragendes Selbstreinigungsverhalten aufweisen.

In Bild 8 sind exemplarisch einige Ergebnisse - mit und ohne nachgeschaltete Zahnradpumpe - dargestellt. Mit dem realisierten Konzept konnten die gesteckten Ziele sicher erreicht werden, so dass die installierte Antriebsleistung für das vorgegebene Rohstoffspektrum fast vollständig ausgenutzt wird. Weitere Durchsatzsteigerungen sind denkbar, wenn der Extruderantrieb entsprechend angepasst wird (höhere Antriebsleistung und proportionale Anhebung der Schneckendrehzahl).

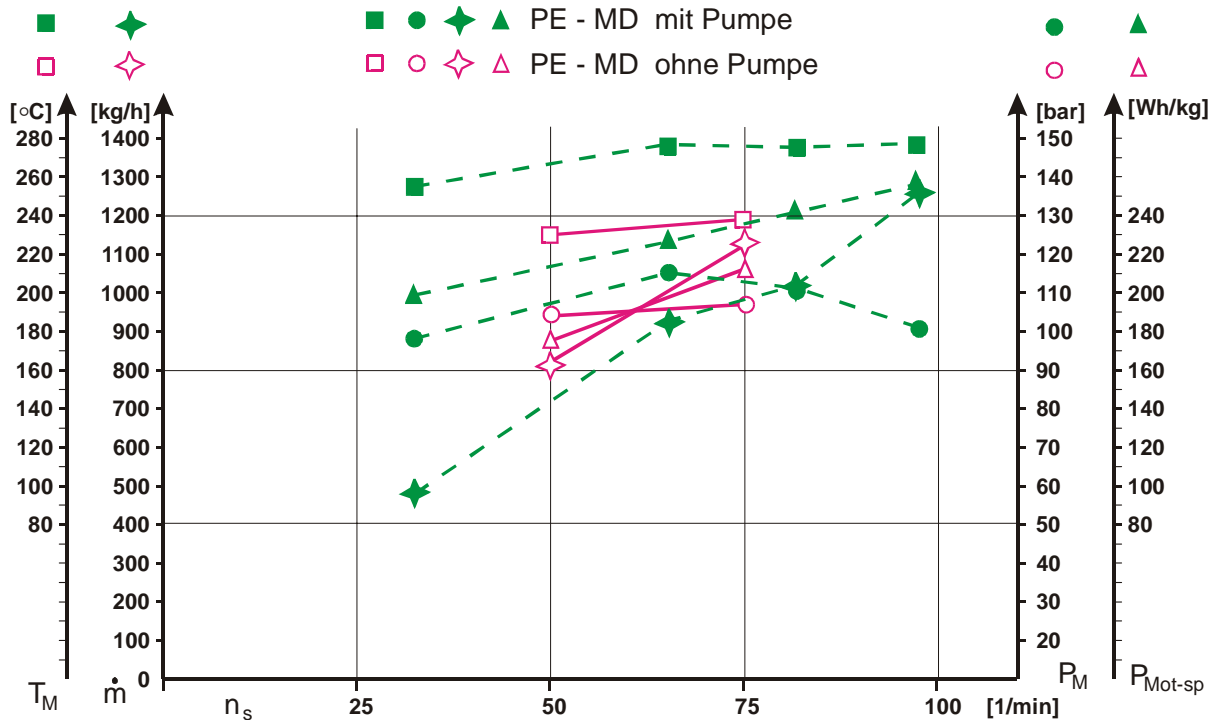


Bild 8: Produktionsergebnisse mit einem Extruder 150/33D für die Rohrummantelung

3.3 Technische Kunststoffe für Rohre und Schläuche

Außer für die bei großen Rohrdimensionen und mit entsprechend hohen Durchsätzen verarbeiteten Polyolefine ist die Kombination von Barrierschnecke und Nutbuchsenextruder auch für die gesamte Palette der bevorzugt in niedrigeren und mittleren Durchsatzbereichen zu Rohren und Schläuchen extrudierten technischen Kunststoffe geeignet.

Als Beispiel sollen hier Versuche mit PVDF, PA 11 und PA 12 angeführt werden [13]. Es wurden in Relation zur Schneckengröße sehr hohe Durchsätze erreicht (Bild 9), bei geringen Druckschwankungen und ausgezeichneter Schmelzehomogenität. Diese Ergebnisse unterstreichen die große Verarbeitungsbandbreite, die das Barrierschneckenkonzept bietet - insbesondere, wenn man berücksichtigt, dass für diese Polymere dieselbe Barrierschnecke verwendet wurde wie für das oben gezeigte PE100!

Bei technischen Kunststoffen wird der Einsatz eines Nutbuchsensystems immer noch kontrovers diskutiert. Das beruht auf schlechten Erfahrungen mit Schneckenauslegungen, die einen zu hohen Druckaufbau am Ende der Nutbuchse aufweisen, wodurch – wie oben bereits geschildert – erhebliche Verschleißprobleme auftreten können und hohe Drehmomente

beim Anfahren aus vollem Trichter benötigt werden. Diese Effekte sind besonders destruktiv

bei harten Granulaten und sehr hohen Reibwerten, die einige technische Kunststoffe besitzen. Die Lösung besteht auch in diesem Fall in einer Druckentlastung der Nutbuchse durch hohe Förderleistung in den nachfolgenden Schneckenzone, was sich am besten mit einer Barrierschnecke realisieren lässt [9]. Aufgrund der hohen Schmelztemperaturen vieler technischer Thermoplaste kann i.d.R. auf eine Kühlung der Nutbuchse verzichtet werden. Eine geregelte Beheizung auf eine konstante Temperatur ist sinnvoll und ausreichend. Dafür bietet sich eine noch weiter vereinfachte Nutbuchsenkonstruktion an als in Bild 3 gezeigt. Auf Kühlrippen, Gebläse und Luftführung kann verzichtet werden.

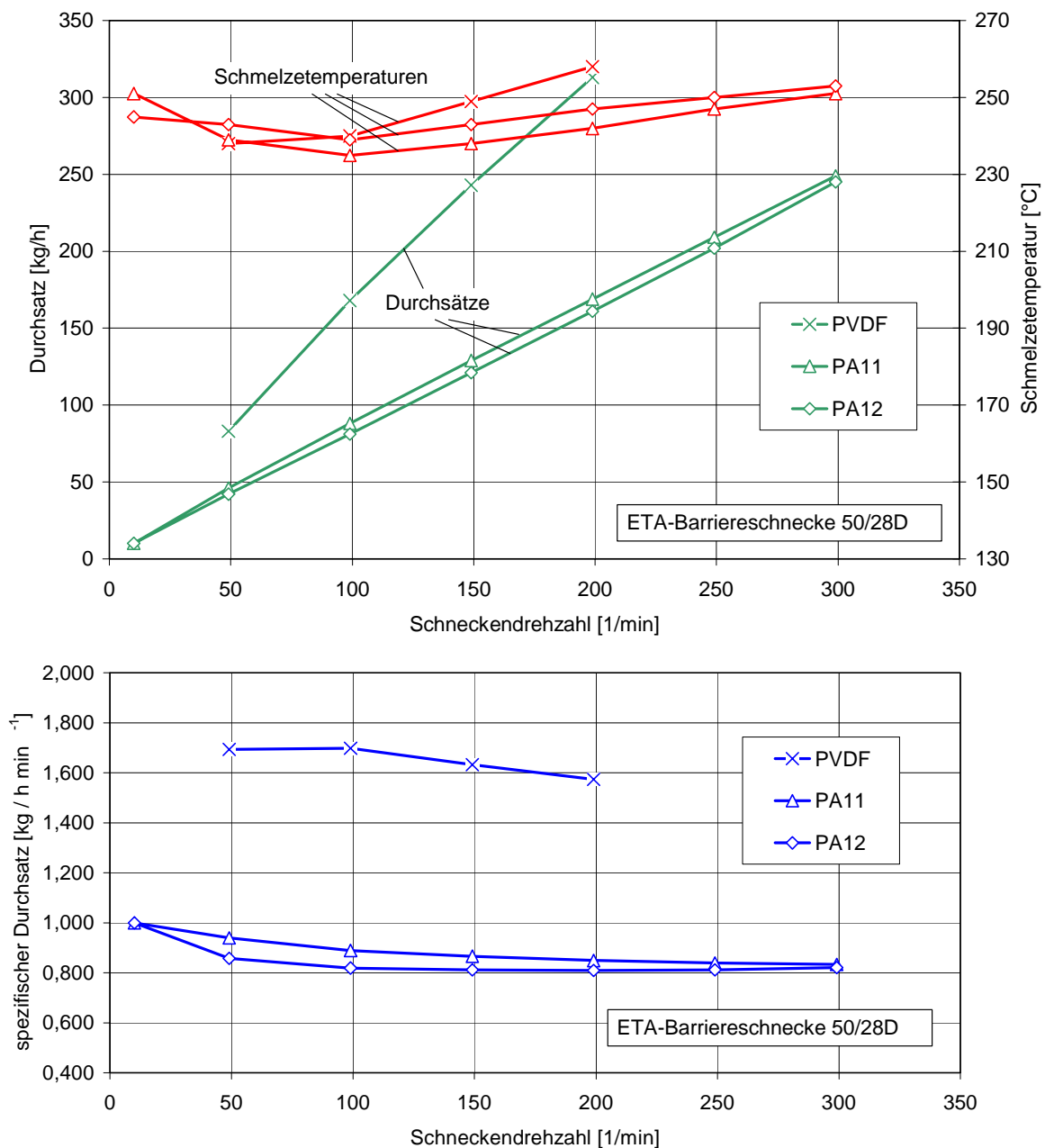


Bild 9: Extrusionsergebnisse für PVDF, PA11 und PA 12

Die Barrierschnecke kann jedoch auch mit einem glatten Zylindereinzugsbereich kombiniert werden. Bei Nachrüstungen von Glattrohreextrudern und nicht zu hohen Durchsatzzielen ist dies kostengünstiger als der zusätzliche Umbau auf einen Nutbuchsenzylinder und ermöglicht höhere Durchsatzleistungen, besser beherrschbare Schmelzetemperaturen und eine größere Verarbeitungsbandbreite als mit üblichen 3-Zonen-Schnecken. Fallweise sehr nachteilig sind bei diesem Kompromiß jedoch die Auswirkungen des Werkzeuggedrucks und niedriger Feststoffreibwerte auf den Durchsatz. Der Nutbuchsenextruder ist daher die überlegene Lösung bei höheren Durchsatzzielen, großem oder schwankendem Fließwiderstand im Werkzeug und hohen Ansprüchen an die Kontrolle der Schmelzetemperatur und die Verarbeitungsbandbreite.

4. Ausblick – Leistungssteigerungen und Leistungsgrenzen

Eine Durchsatzsteigerung kann bei Einschneckenextrudern mittels Anheben der Schneckendrehzahlen und/oder über höhere spezifische Durchsätze erfolgen. Auf diese Weise sind in der Vergangenheit bereits erhebliche Verbesserungen erreicht worden. An beiden Wegen wird auch heute noch gearbeitet.

Bei höheren Schneckendrehzahlen besteht vor allem das Problem, die dissipative Erwärmung der Schmelze zu beherrschen - insbesondere bei höher viskosen Polymeren. Die Barrierschnecke bietet hierfür gute Voraussetzungen, da der Schmelzekanal unabhängig vom Aufschmelzvorgang im Feststoffkanal mit einer temperatursenkenden großen Tiefe ausgeführt werden kann. Materialabhängig (Polyolefine und Polystyrol mit mittleren Viskositäten für Blasfolien, Flachfolien und Platten) sind auf diese Weise kontrollierte Schmelzetemperaturen bei sehr hohen Schneckendrehzahlen und entsprechend hohen Durchsätzen bereits erreicht worden (z.B. 400 1/min für die Extruderbaugröße 50/28D, und 600-900 1/min für die Baugröße 35/27D) [9, 14]. Potential für weitere Steigerungen ist noch immer erkennbar. Aufgrund der höheren Viskositäten werden die Schmelzetemperaturgrenzen bei Rohrwerkstoffen eher erreicht, die Barrierschnecke bietet aber auch hier Leistungsvorteile.

Höhere spezifische Durchsätze bewirken per se eine niedrigere Schmelzetemperatur. Die Aufschmelz- und Homogenisierungskapazität der Schnecke muß diesen Materialstrom jedoch bewältigen können. Die Entwicklungsanstrengungen gehen hier zur Zeit in unterschiedliche Richtungen.

Ein Beispiel ist das Konzept, mittels eines zusätzlichen Steges und über der Länge wechselnder Gangtiefe im Feststoffkanal der Barrierschnecke das Feststoffbett zusätzlich erheb-

lich plastisch zu deformieren, um die Energieeinleitung und damit die Aufschmelzleistung zu steigern [15].

Ein anderer Ansatz wird für konventionelle Schnecken wie auch für Barrierschnecken verfolgt [16, 17]. Durch ein kontrolliertes Aufreißen des Feststoffbetts durch Stifte im Schneckenkanal der konventionellen Schnecke oder durch bewußtes 'Überfahren' des Barrieresteigs der Barrierschnecke werden angeschmolzene oder nur teilweise aufgeschmolzene Feststoffpartikel in die Schmelze geleitet. Anschließend nehmen die Partikel durch Wärmeleitung Energie aus der Schmelze auf, schmelzen dabei vollständig auf und 'kühlen' durch den Energieaustausch die Schmelze. Der Effekt ist eigentlich nicht neu, da er bei vielen der im Einsatz befindlichen Barrierschnecken zu niedrigen Schmelzetemperaturen beiträgt. Die bewußte Nutzung und Optimierung findet aber erst seit kurzer Zeit statt. Das Überleiten der Feststoffpartikel in den Schmelzekanal kann durch sichelförmige Nuten im Zylinder gesteuert und intensiviert werden [17]. Der Aufschmelzvorgang wird somit zum Teil vom Feststoffbett bzw. dem Feststoffkanal in Schmelzpool und Schmelzekanal verlegt, was eine höhere Aufschmelzleistung bei niedriger Schmelzetemperatur ermöglicht. Jedoch gefährden die Feststoffpartikel die Schmelzehomogenität. Nur vollständig aufgeschmolzenes Material kann in den Mischteilen der Schnecke gleichmäßig mit Farb- und/oder Füllstoffen vermischt werden. Bei vorcompoundierten Rohstoffen, die im Granulat bereits sehr homogen sind, ist das nicht problematisch. Schwieriger werden jedoch Einfärbung und Füllung von naturfarbenen Material, insbesondere von teilkristallinen Polymeren mit hoher Aufschmelzenthalpie (z.B. PP-Homopolymere). Bei Rohren aus PP-Homopolymeren äußern sich derartige Inhomogenitäten in Schlieren bzw. glasigen Bereichen im Querschnitt der Rohrwand und einer unruhigen Rohrinneoberfläche. Der Auswahl und Auslegung der Schnecke und der Mischteile ist daher bei diesen Rohstoffen besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Fallweise werden deshalb aufwendige aber hochwirksame dynamische Mischteile (u.a. bekannt unter den Bezeichnungen CTM, TMR, Staromix, 3DD) notwendig und eingesetzt.

Die Grundidee der Trennung von Feststoff und Schmelze, die mit der Barrierschnecke erfolgreich umgesetzt wurde, kann auch mit gänzlich anderen Schnecken- und Extruderbauarten realisiert werden. Hierzu seien noch zwei neue Ansätze erwähnt, mit denen zugleich wesentlich kleinere Baugrößen bzw. Schneckenlängen verfolgt werden. Bei dem einen Konzept wird die an der Zylinderwand frisch gebildete Schmelze vom Schneckensteg in eine Bohrung im Schneckenkern geleitet [18], bei dem anderen durch Bohrungen in der Zylinderwand in äußere Kanäle [19]. In beiden Fällen besteht der Vorteil darin, dass gegenüber der 'normalen' Barrierschnecke an der rotierenden Schnecke kein Schmelzekanal mehr vorhanden ist, sondern nur noch ein Feststoffkanal bzw. mehrere Feststoffkanäle. In der Plasti-

fizierzone wird somit die gesamte Zylinderoberfläche als Aufschmelzfläche genutzt, was eine wesentlich kürzere Bauweise - oder bei gleicher Baugröße höhere Durchsätze - ermöglicht. Beide Konzepte befinden sich noch in der Entwicklungsphase.

5. Schlußbetrachtung

Barriereschnecken bieten – insbesondere in der Kombination mit Nutbuchsenzylindern – große verfahrenstechnische Vorteile hinsichtlich Durchsatzleistung, homogener Schmelze, kontrollierter Schmelztemperatur und Verarbeitungsbandbreite, die von keinem anderen Schneckenkonzept erreicht werden. Diese Qualitäten haben bereits zu einem breiten Einsatz in der Verarbeitung von Polyolefinen geführt. Der Einsatz bei technischen Thermoplasten wird zunehmen. Das belegen die hier bevorzugt aus dem Bereich der Rohrextrusion angeführten Beispiele.

Durch die andauernde Weiterentwicklung und Detailoptimierung können vermutlich noch weit höhere Leistungsbereiche erschlossen werden. Weiterhin ist die Entwicklung von vielversprechenden Abwandlungen des Grundkonzepts begonnen worden.

Literatur

- [1] Grünschloß, E. Aufschmelzen im Einschneckenextruder, in: Der Einschneckenextruder - Grundlagen und Systemoptimierung, Handbuch zur Fachtagung der VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik, 1997
- [2] Rauwendaal, C. Polymer Extrusion, Hanser Publishers Munich, Vienna, New York, 1994
- [3] Wortberg, J. Schneckenkonzepte für die Hochleistungsextrusion – Barrierschnecken, in: Einschneckenextruder – Grundlagen und Systemoptimierung, Handbuch zur Fachtagung der VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik, 1991
- [4] Wortberg, J. Entwicklungen bei der Blasfolienextrusion, Kunststoffe 78 (1988) 10, S. 952-956
- [5] Potente, H. Das Konzept der nächsten Hochleistungs-Extrudergeneration? Plastverarbeiter 41 (1990) 10, S. 114-120
- [6] N.N. REX – Rechnergestützte Extruderauslegung, PSI – Paderborner Simulationsprogramm für Spritzgießplastifiziereinheiten, Institut für Kunststofftechnik (KTP) der Universität-GH Paderborn
- [7] Michaeli, W. Zweidimensionale Simulation des Aufschmelzverhaltens, Peterjohann, H. Kunststoffe 87 (1997) 2, S. 166-168
- [8] Pöhler, F., Baur, E. Rechnerunterstützte Optimierung der Geometrie, Schiffer, M. Plastics Special 3/2000, S. 26-28
- [9] Wortberg, J. Möglichkeiten und Grenzen der Hochleistungsextrusion, in: Der Michels, R. Einschneckenextruder - Grundlagen und Systemoptimierung, Handbuch zur Fachtagung der VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik, 1997
- [10] N.N. Heiz-/Kühl-Einheit HK214 mit Keramikrippensteinen, Firmenschrift, Wema Beheizungstechnik GmbH, Lüdenscheid
- [11] Lackner, V. Bimodales PE-HD zu Rohren extrudieren – Verarbeitungsverhalten neuer Typen der Leistungsklassen PE 80 und PE 100, Weinlein, R. Plastics Special 11/1997, S. 4-10

- [12] Fischer, P. Übersicht über die Extruder- und Schneckenentwicklung, in: Der Einschneckenextruder - Grundlagen und Systemoptimierung, Handbuch zur Fachtagung der VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik, 1997
- [13] Wortberg, J. Persönliche Mitteilung, Lehrstuhl für Konstruktionslehre und
Kaczmarek, D. Kunststoffmaschinen, Gerhard-Mercator-Universität Duisburg,
Ghamri, N. April 2001
- [14] Wortberg, J. Effizienzsteigerung durch innovative Maschinenteknik, KU
Kunststoffe 89 (1999) 1, S. 54-58
- [15] Christiano, J.P., A new barrier screw design utilizing solid bed deformation with
Thomson, M.R. forced melt removal, Annual Technical Conference of the Society of Plastics Engineers (ANTEC), Orlando, 2000, pp. 78-82
- [16] Martin, G.A. Extruder für die Rohrextrusion, in: Erfolgreiche Strategien in der
Rohrextrusion, Handbuch zur Fachtagung der VDI-Gesellschaft
Kunststofftechnik, 2001
- [17] Grünschloß, E. Helibar – Ein neuartiger Einschnecken-Extruder mit verbesserter
Plastifizier- und Förderleistung, Handbuch zum 17. Stuttgarter Kunststoffkolloquium, 2001, Abschnitt 3/V3
- [18] Barr, R.A. New screw concept maximizes melting, TAPPI Proceedings,
Polymers, Laminations & Coatings Conference, 1998, pp. 469-474
- [19] Wortberg, J. Persönliche Mitteilung, Lehrstuhl für Konstruktionslehre und
Kaczmarek, D. Kunststoffmaschinen, Gerhard-Mercator-Universität Duisburg,
2001