

Neuentwicklungen bei Einschneckenextrudern

Dipl.-Ing. Hassan Rahal
Institut für Produkt Engineering
Universität Duisburg-Essen

Dipl.-Ing. Robert Michels
ETA Kunststofftechnologie GmbH
Troisdorf

Einleitung und Ziele

Die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit steht seit langem und gerade auch in der jüngsten Zeit im Mittelpunkt der Entwicklungsanstrengungen der Hersteller von Einschneckenextrudern. Dabei ist die Wirtschaftlichkeit eng mit einer kontinuierlichen Steigerung des Massedurchsatzes bei gleichzeitiger Gewährleistung einer hohen Schmelzequalität und der Verwendung derselben Schnecke für die Verarbeitung eines breiten Materialspektrums verbunden. Darüber hinaus werden weitere wirtschaftliche Verbesserungen durch optimierte Antriebskonzepte erreicht.

Sofern der Schneckendurchmesser unverändert bleiben soll, kann eine Steigerung des Massedurchsatzes nur auf zwei Wegen erfolgen: Durch eine Vergrößerung des spezifischen Durchsatzes oder durch eine höhere Schneckendrehzahl. Die Vergrößerung des spezifischen Durchsatzes kann über eine tiefer geschnittene Einzugszone oder eine größere Gangsteigung realisiert werden. Diesen Maßnahmen sind jedoch aus verfahrenstechnischen und konstruktiven Gründen Grenzen gesetzt.

Dagegen bietet die Erhöhung der Schneckendrehzahlen noch ein großes Potential. Die Idee der schnelllaufenden Einschneckenextruder wurde schon in den 60/70er Jahren diskutiert [1, 2] und in den letzten Jahren wieder verstärkt aufgegriffen [3, 4, 5, 9, 11]. Die Trennungslinie zwischen konventionellen und schnelldrehenden Einschneckenextrudern wird bei Schneckenumfangsgeschwindigkeiten von 1 m/s gezogen [8].

Das Konzept des Schnellläufers ist aus wirtschaftlicher Sicht sehr interessant, da es für den gleichen Massedurchsatz geringere Investitionskosten erfordert als ein größerer Extruder. Hier sind speziell die Kosten für den Extruderzylinder und das Getriebe (geringere Rückdruckkraft, niedrigeres Antriebsmoment und kleineres Untersetzungsverhältnis) zu nennen. Weitere Vorteile von Schnellläufern sind die Energieeinsparung [6] und die kompakte Bauweise, die eine kürzere Verweilzeit der Schmelze im System zur Folge hat. Dadurch werden einerseits Verbesserungen der Folieneigenschaften ermöglicht [6, 7], andererseits aber auch die Spül- und Umstellzeiten bei Farb- und Materialwechseln verkürzt.

Der Einsatz von Einschneckenextrudern bei hohen Schneckendrehzahlen erfordert Weiterentwicklungen in vielen Bereichen der Schnecken- und Maschinentechologie.

Ein wichtiger Aspekt ist die Aufrechterhaltung des spezifischen Durchsatzes bei hohen Drehzahlen. Bei den ersten nach diesem Konzept betriebenen Maschinen war noch eine deutliche Abnahme des spezifischen Durchsatzes mit der Zunahme der Schneckendrehzahl festzustellen, welche einen nachteiligen zusätzlichen Anstieg der Schmelzetemperatur zur Folge hatte [3]. Dieses Problem lässt sich durch eine geeignete Gestaltung der Einfüllzone des Extruders lösen [9, 11].

Bei der Diskussion des Schnellläuferkonzepts werden häufig aber auch Bedenken dahingehend geäußert, dass die kürzeren Verweilzeiten ein vollständiges Aufschmelzen von teilkristallinen Strukturen, die eine hohe Enthalpieänderung benötigen, z. B. bei PP, behindern. Weiterhin wird diskutiert, ob die höheren Schergeschwindigkeiten und zum Teil auch höheren Schmelzetemperaturen zu einem unerwünschten molekularem Abbau der Polymere und/oder Veränderungen an Additiven und Pigmenten führen. Die bisherigen praktischen Erfahrungen und ergänzende theoretische Überlegungen zeigen jedoch, dass diese Bedenken weitgehend unbegründet sind [5, 6, 7, 9].

Getriebelose Extruder

Bei einem getriebelosen Extruder wird die Extruderschnecke direkt mit der Welle des elektrischen Antriebsmotors (mit oder ohne Integration der Schneckenlagerung) unter Verzicht auf ein Getriebe verbunden. Für diese Antriebsart eignen sich aufgrund ihres Drehzahl- und Drehmomentbereichs besonders schnelllaufende Extruder. Der mit dem Schneckendurchmesser steigende Drehmomentbedarf begrenzt die Anwendbarkeit dieses Antriebskonzepts auf kleine Schneckendurchmesser. Durch die ständige Weiterentwicklung der Antriebsmotoren verschiebt sich diese Grenze jedoch immer weiter nach oben.

Direktantriebe bieten viele konstruktive und wirtschaftliche Vorteile. Daher finden sie eine immer breitere Verwendung. So zeigte die esde Maschinentechnik GmbH, Bad Oeynhausen, in Kooperation mit der ETA Kunststofftechnologie GmbH, Troisdorf, bereits auf der K`98 einen getriebelosen Extruder mit einer 35 mm-Barriereschnecke. Am Institut für Konstruktionslehre und Kunststoffmaschinen der Universität Essen, dem Vorläuferinstitut des ipe, wurde dieser Extruder in einer umfangreichen Testreihe untersucht. Dabei wurden bei Schneckenumfangsgeschwindigkeiten bis zu 1,65 m/s keine unzulässigen Schmelzetemperaturerhöhungen registriert. Auf der K 2001 wurden sowohl von der Fa. esde als auch von der Reifenhäuser Maschinenfabrik, Troisdorf, 25 mm-Extruder mit Direktantrieben vorgestellt. Weiterentwickelte Extruder mit Direktantrieben waren wiederum auf der K 2004 bei beiden Firmen zu sehen. Während die

Extruder von esde über einen wassergekühlten Asynchronmotor mit integrierter Axiallagerung verfügen, setzt Reifenhäuser auf einen wassergekühlten Synchronantrieb. Die heute verfügbaren Motoren mit Nenndrehmomenten bis 11.000 Nm erlauben einen Direktantrieb bei Schneckendurchmessern bis etwa 100 mm.

Alternative Plastifizierkonzepte

Unter einem alternativen Plastifizierkonzept sind Systeme zum Aufschmelzen, Mischen und Fördern von Kunststoffen zu verstehen, die nicht über eine herkömmliche Schnecke/Zylinder-Kombination verfügen. Beispiele, über die in der Literatur berichtet wird, sind der Rotary-Extruder und der Disc-Pack-Extruder. Im Folgenden werden neuartige alternative Plastifizierkonzepte mit schnelldrehenden Schnecken vorgestellt.

Der S-Truder

Mit dem S-Truder stellte das Institut für Produkt Engineering der Universität Duisburg auf der K 2001 einen innovativen Extruder vor. Dieser Extruder basiert auf der Grundidee einer räumlichen Trennung von Feststoff und Schmelze. In der Plastifizierbuchse befinden sich mehr als 500 Bohrungen. Sobald eine Schmelzeschicht entstanden ist, strömt diese durch die Bohrungen in den Zwischenbereich der Plastifizierzone und dann durch eine reine Druckströmung in Richtung Schneckenspitze. Somit kann in der Plastifizierzone die gesamte Zylinderoberfläche als Aufschmelzfläche genutzt werden. Dies führt zu einer wesentlich kürzeren Bauweise. So weist der S-Truder nur eine Schneckenlänge von 16 D auf. Zur Homogenisierung der Schmelze wird ein 3 D langes Mischelement am Ende der Schnecke verwendet. Das Konzept erlaubt sehr hohe Schneckendrehzahlen und besitzt einen geringeren Drehmomentbedarf. Daher eignet es sich besonders gut für einen Direktantrieb. So können mit dem S-Truder (Schneckendurchmesser 50 mm) Drehzahlen von bis zu 800 1/min gefahren werden, wobei keine Überhöhung der Schmelztemperatur auftritt. Z. B. wurde mit einem PP ein Durchsatz von ca. 230 kg/h bei einer Schneckendrehzahl von 700 1/min erzielt. Die Massetemperatur betrug hierbei 230 °C [10].

Der CoAx-Extruder

Aufgrund der steigenden Anforderungen hinsichtlich Variabilität der Verarbeitung unterschiedlicher Polymere und der Rückführung von Regenerat sowie der großen Bedeutung der Feststoffförderung im Bereich der Einfüllöffnung/Einzugzone stellt sich die Frage nach einer regelbaren Förderrate. Sieht man ein separat zu steuerndes Einzugssystem

tems vor, mit dem der Feststoffförderstrom vorgegeben werden kann, so kann über eine solche Einzugsschnecke, die unabhängig von der Plastifizierschnecke angetrieben wird [12], ein nutzbarer Freiheitsgrad gewonnen werden, aus dem sich elementare Vorteile ableiten.

Bei dem am ipe in Zusammenarbeit mit der ETA Kunststofftechnologie GmbH realisierten neuartigen Extruder wird ein innovativer Antrieb auf der Basis eines modifizierten Mehr-Motoren-Konzeptes eingesetzt [13]. Die verlängerte Antriebsachse eines Motors treibt die koaxial angeordnete Förderschnecke im Einzugsbereich des Extruders an, während die übrigen drei Motoren mit der eigentlichen Plastifizierschnecke verbunden sind. Das modifizierte Mehr-Motoren-Antriebskonzept ermöglicht eine vorteilhafte kompakte integrierte Bauweise des Extruders.

- [1] Beck, E. Optimale Abmessungen schnellaufender Extruderschnecken, *Kunststoffe* 53 (1963) 10, S. 786-790
- [2] Kruder, G. New concepts spur development of ultra-high-speed extrusion, *Plastics & Engineering*, April (1979), S. 29-33
- [3] Wortberg, J. Innovative Entwicklungen in der Einschneckenextrusion - Möglichkeiten und Grenzen der Hochleistungsextrusion, in: *Der Einschneckenextruder*, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997, S. 411-442
- [4] Himanshu, R.S. Ultra high speed extrusion of various polymers, SPE, ANTEC, New York, USA, 1999, S. 140-144
- [5] Wortberg, J. Effizienzsteigerung durch innovative Maschinentechnik, *Kunststoffe* 89 (1999) 1, S. 54-58
- [6] Roth, M. Extrudieren und Thermoformen von Verpackungsfolien, Extrusion mit schnelldrehenden Einschneckenextrudern, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2004, S. 85-108.
- [7] Dengler, T. Erfahrungen und Ergebnisse mit Schnellläufern, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2004, S. 141-158
- [8] Predöhl, W. Technologie extrudierter Kunststofffolien, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1979
- [9] Pohl, T. Entwicklung schnelldrehender Einschneckensysteme für die Kunststoffverarbeitung auf Basis theoretischer Grundlagenuntersuchungen, Dissertation, Universität-GH Paderborn, 2003
- [10] Kaczmarek, D. A new high speed extruder with melt separation, SPE, ANTEC, Wortberg, J. Nashville, USA, 4.-8. Mai 2003
- [11] Kaczmarek, D. Feststoffförderung und alternative Plastifizierung bei der Extrusion, Dissertation, Universität Duisburg-Essen, 2004
- [12] Dalhoff, W. Systematische Extruderkonstruktion, Habilitationsschrift, 1974, Otto-Krauskopf-Verlag, Mainz
- [13] Knödler, W. Getriebemotor, Europäische Patentanmeldung EP1319866, Anmeldetag: 02.05.2002

Neuentwicklungen bei Einschneckenextrudern

15. März 2005

Dipl.-Ing. Hassan Rahal
Institut für Produkt Engineering -
Konstruktion und Kunststoffmaschinen
Universität Duisburg-Essen

Dipl.-Ing. Robert Michels
ETA Kunststofftechnologie GmbH
Troisdorf



- Einleitung
- Schnellläufer, Vor- und Nachteile
- Getriebelose Extruder
- Alternative Plastifizierkonzepte
- Flexibles Aluminium-Kühlelement
- Zusammenfassung und Ausblick



Entwicklungstendenz:

Hohe Wirtschaftlichkeit bei geringen Investitionskosten

- Hoher Massedurchsatz bei zugleich guter Schmelzequalität
- Große Verarbeitungsbandbreite mit derselben Schnecke
-

2 [Neuentwicklungen bei Einschneckenextrusion]



- Einleitung
- **Schnellläufer, Vor- und Nachteile**
- Getriebelose Extruder
- Alternative Plastifizierkonzepte
- Flexibles Aluminium-Kühlelement
- Zusammenfassung und Ausblick

3 [Neuentwicklungen bei Einschneckenextrusion]



Wie kann die Steigerung des Massedurchsatzes erreicht werden?

- Anhebung des spezifischen Durchsatzes (Schnecken-/Zylindergeometrie)
- Erhöhung der Schneckendrehzahl (Antrieb)

Was ist ein Schnellläufer?

- Wurde schon in den 60/70er Jahren diskutiert
- Schneckenumfangsgeschwindigkeit größer 1 m/s (Definition von 1979, heute immer noch gültig !?)

Vorteile:

- Kleineres Getriebe oder Verzicht auf ein Getriebe möglich (Direktantrieb)
- Kleineres Bauvolumen
- Geringeres Drehmoment am Schneckenschaft (bezogen auf den Durchsatz)
- Die kürzere Verweilzeit der Schmelze im Extruder bringt in vielen Fällen eine Verbesserung der Eigenschaften der Produkte
- Flexibler bei Produktänderungen, Farb- und Materialwechsell
- Geringerer Energieverbrauch

Nachteile (diskutiert, aber häufig nicht zutreffend) :

- Gefahr eines nicht vollständigen Aufschmelzens teilkristalliner Strukturen
- Höhere Schmelzetemperaturen und Schergeschwindigkeiten führen zu unerwünschtem molekularem Abbau der Polymere und/oder Veränderungen bei Additiven und Pigmenten

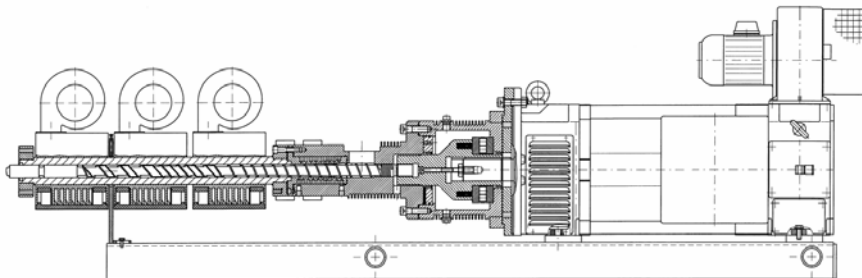
- Einleitung
- Schnellläufer, Vor- und Nachteile
- **Getriebelose Extruder**
- Alternative Plastifizierkonzepte
- Flexibles Aluminium-Kühlelement
- Zusammenfassung und Ausblick

Vorteile:

- Kein Getriebe, somit Entfall einer evtl. Stör- und Wartungskomponente
- Geringere Standfläche
- Höherer Wirkungsgrad von 0,95 statt wie bisher ca. 0,85-0,90
- Hohlwelle, d.h. Extruderschnecke nach hinten ausbaubar
- Schnellläufer sinnvoll für akzeptable Massedurchsätze
-

Nachteile:

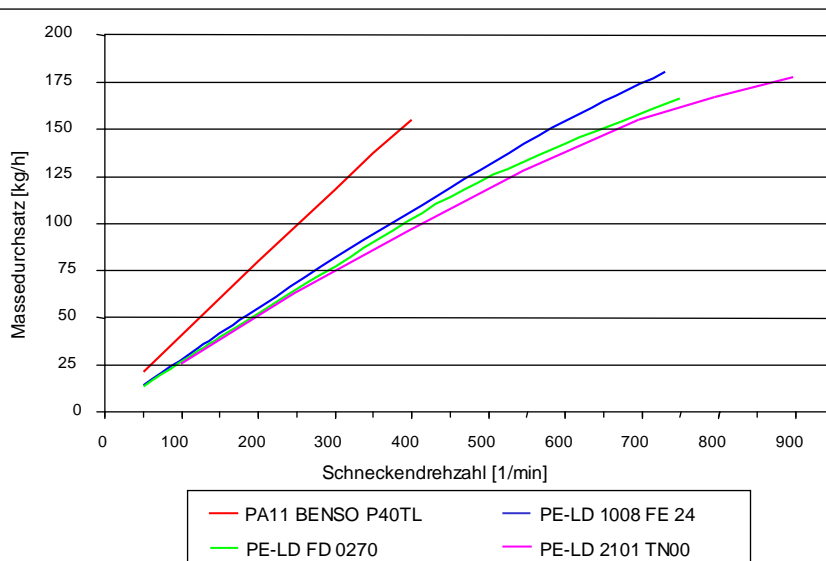
- Verfügbare Antriebsdrehmomente (Nenn Drehmomente bis 11.000 Nm) begrenzen Schneckendurchmesser ($D < 100$ mm)
- Akzeptanzprobleme, weil Befürchtungen bzgl. Materialschädigung / Produktqualität
- Großer Durchmesser beim Torque-Motor



- Kein Getriebe
- D = 35 mm; L = 27 D
- $n_{\max} = 1000$ 1/min
- P = 31,5 kW
- Luftgekühlte, genutete Einzugszone

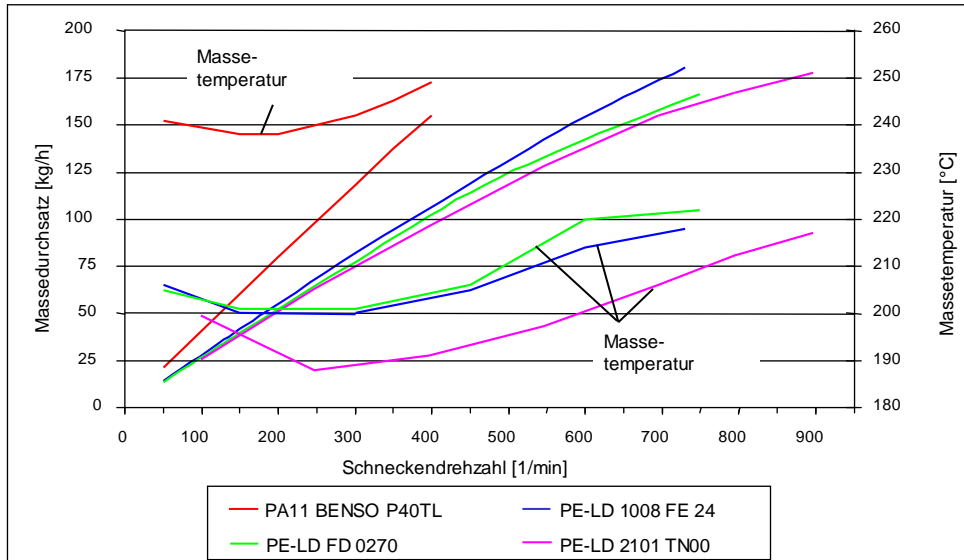
esde Maschinentechnik GmbH
KKM, Universität Essen
ETA Kunststofftechnologie GmbH

8 [Neuentwicklungen bei Einschneckenextrusion]



8 [Neuentwicklungen bei Einschneckenextrusion]





9 [Neuentwicklungen bei Einschneckenextrusion]



- Einleitung
- Schnellläufer, Vor- und Nachteile
- Getriebelose Extruder
- Alternative Plastifizierkonzepte
- Flexibles Aluminium-Kühlelement
- Zusammenfassung und Ausblick

10 [Neuentwicklungen bei Einschneckenextrusion]

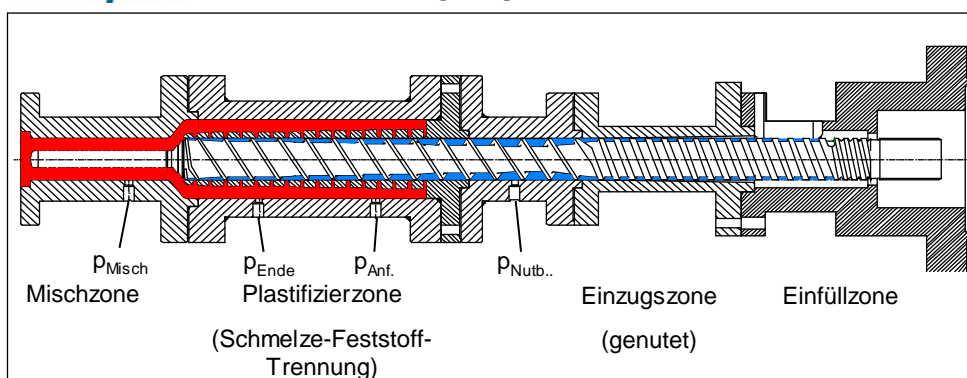


- Es gibt noch einige andere „ältere“ Verfahren (z.B. RAM-Extrusion, SDS, Double-Extruder u.a.)
- Keines dieser Verfahren konnte sich am Markt etablieren
- Warum? Nur verfahrenstechnische Gründe?

Interessante Entwicklungen der letzten Jahren:

- Conex-Extruder (Nextrom)
- Barr2000-Schnecke (R. Barr, USA)
- Helibar (E. Grünschloß, IKT, Universität Stuttgart)
- Intensiv Plastifizierer (KTP, Universität-GH Paderborn)
- S-Truder (IPE, Universität Duisburg-Essen)
- CoAx-Extruder (ETA Kunststofftechnologie GmbH, IPE - Universität Duisburg-Essen)

11 [Neuentwicklungen bei Einschneckenextrusion]

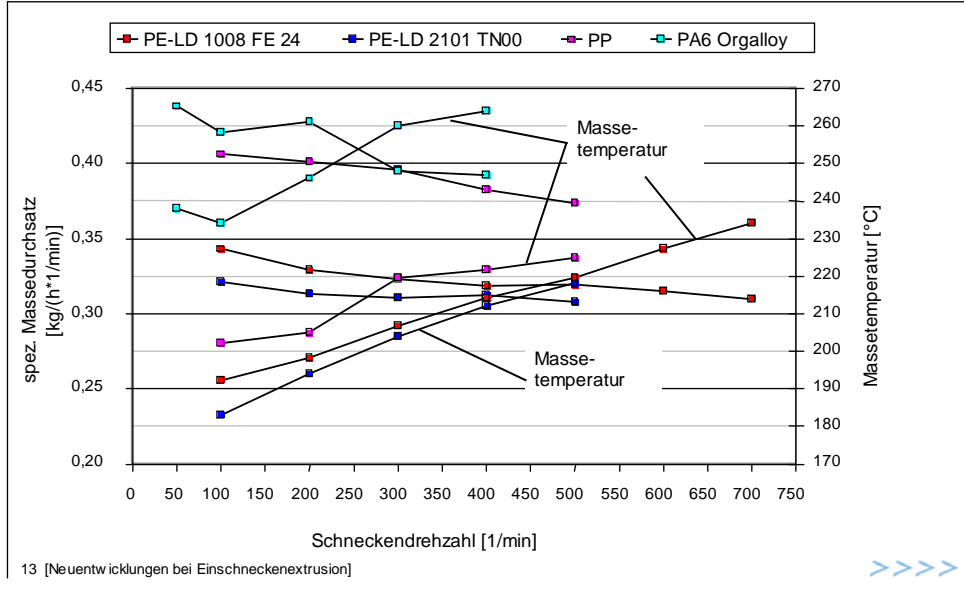


Technische Daten des S-Truders:

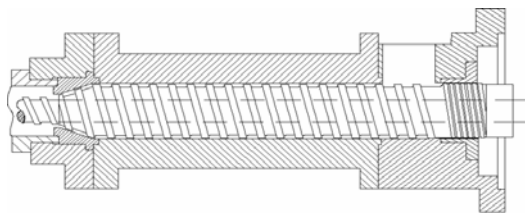
- Schneckendurchmesser $D = 50 \text{ mm}$
- 2-gängig, $L = 16 D$
- Max. Schneckendrehzahl: 800 1/min
- Mischelement: Rautenmischer

12 [Neuentwicklungen bei Einschneckenextrusion]



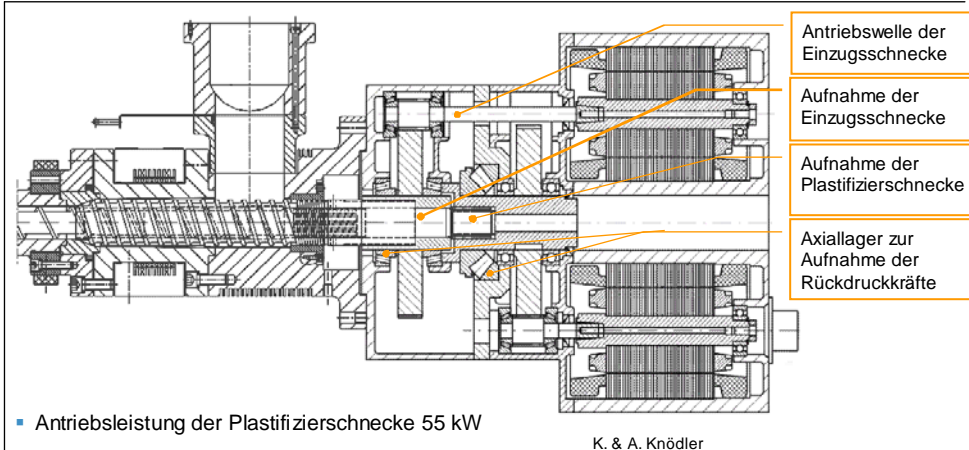


- Koaxiale Einzugschnecke im Feststoffförderbereich
- Getrennt von der Hauptschnecke angetrieben
- Geeignetes Antriebssystem notwendig



Vorteile:

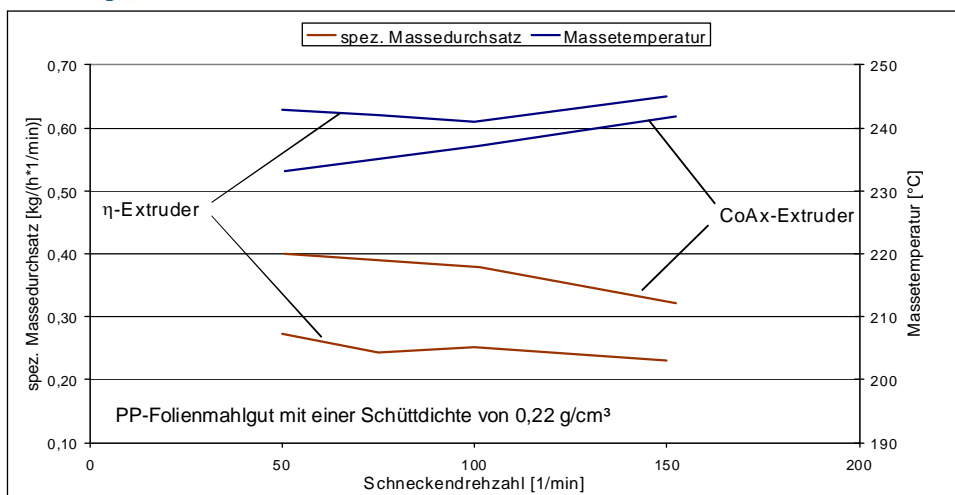
- Abnahme des spezifischen Massedurchsatzes mit steigender Drehzahl kann kompensiert werden
- Massetemperaturerhöhung bei höheren Drehzahlen kann reduziert oder vermieden werden
- Bei Mahlgutverarbeitung kann die Einzugschnecke eine Vorverdichtung des Schüttgutes bewirken



- Antriebswelle der Einzugsschnecke
- Aufnahme der Einzugsschnecke
- Aufnahme der Plastifizierschnecke
- Axiallager zur Aufnahme der Rückdruckkräfte

- Antriebsleistung der Plastifizierschnecke 55 kW
- Antriebsleistung der Einzugsschnecke 15 kW
- Untersetzungen bis $i=12$ (einstufig)
- Wassergekühltes Gehäuse

15 [Neuentwicklungen bei Einschneckenextrusion]



Spez. Massedurchsatz und Massetemperatur vs. Schneckenendrehzahl

16 [Neuentwicklungen bei Einschneckenextrusion]



- Einleitung
- Schnellläufer, Vor- und Nachteile
- Getriebelose Extruder
- Alternative Plastifizierkonzepte
- **Flexibles Aluminium-Kühlelement**
- Zusammenfassung und Ausblick

- Das System ist modular aufgebaut und besteht aus einer Vielzahl von 47 mm breiten Einzelkühlelementen mit jeweils 8 beidseitig gewellten Kühlrippen in einer Höhe von 28 mm
- Bessere Kühlleistung im Vergleich zu einem gegossenen Aluminium-Kühlelement
- Günstigere Herstellungskosten
- Für hohe Kühlleistung ist eine Kombination der KE 300 mit den gerippten Sonderkeramik-Heiz/Kühl-Elementen HK 214 empfohlen



- Einleitung
- Schnellläufer, Vor- und Nachteile
- Getriebelose Extruder
- Alternative Plastifizierkonzepte
- Flexibles Aluminium-Kühlelement
- Zusammenfassung und Ausblick

- Die Erhöhung der Schneckendrehzahl ermöglicht
 - Günstigere Investitions- und Betriebskosten durch effizienteren Maschinenbau und Reduzierung des Infrastrukturbedarfs
 - Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Extrusionsprozesse
 - Verbesserung der Folieneigenschaften
- Der zusätzliche Freiheitsgrad des CoAx-Extruders ermöglicht
 - Durchsatzunterschiede infolge differenter Schüttguteigenschaften auszugleichen
 - Eine größere Flexibilität als bei den heute üblichen Einschneckenextrudern
 - Die vorteilhafte Anwendung bei einem Entgasungsextruder (laufendes Projekt)
 - Die Kombination neuartiger Plastifizier- und Antriebstechnik

Neuentwicklungen bei Einschneckenextrudern

15. März 2005

Dipl.-Ing. Robert Michels

*ETA Kunststofftechnologie GmbH
Troisdorf*

Dipl.-Ing. Hassan Rahal

*Institut für Produkt Engineering -
Konstruktion und Kunststoffmaschinen
Universität Duisburg-Essen*

Danke für Ihre
Aufmerksamkeit