

Konischer Gleichläufer macht Druck



Konischer gleichläufiger Doppelschneckenextruder M-A-S 55

Extrusion. In der Materialaufbereitung haben sich Doppelschneckenextruder mit gleichläufigen kämmenden Schnecken bewährt. Die konische Bauweise bietet ein außergewöhnliches Leistungsspektrum und empfiehlt sich für die Verarbeitung von PET-Mahlgut.

GÜNTHER KLAMMER U. A.

Die dicht kämmende Doppelwellenschnecke mit gleichsinnig drehenden Wellen hat eine dominante Bedeutung unter den Extrudern und wird sehr vielfältig eingesetzt. Eine wichtige Anwendung findet sich bei der Herstellung, Aufbereitung und Verarbeitung von Kunststoffen. Aber auch in anderen Industriezweigen, z. B. der Kautschuk- und Lebensmittelindustrie, kommen die Gleichdrallschnecken zum Einsatz.

Der konisch kämmende gleichlaufende Doppelschneckenextruder weist darüber hinaus weitere Vorteile auf: So entsteht durch gezielt kontrollierbare Masstemperaturen eine Schmelze in guter Qualität. Ein hohes Druckaufbauvermögen ermöglicht die Aufbereitung über einen Schmelzefilter oder die Direktextrusion ohne Schmelzepumpe. Zu guter Letzt zeichnet sich die Maschine durch einen geringen Energieverbrauch aus.

Daher sind Doppelschneckenextruder mit gleichläufigen kämmenden Schne-

cken wichtige Aufbereitungsmaschinen [1]. Durch die konische Bauweise ist es möglich, das benötigte hohe Drehmoment vom Getriebe auf die Schnecken zu übertragen, außerdem können Materialien mit geringer Schüttgutdichte in die Schneckenkanäle eingezogen werden, das wird vor allem durch das große freie Volumen im Einzugsbereich unterstützt.

Um die bereits gemachten Erfahrungen mit dem konisch gleichsinnig drehenden Doppelschneckenextruder durch theoretische Erkenntnisse zu stützen und dadurch Erkenntnisse für die Weiterentwicklung zu gewinnen, wurde ein Projekt mit der Universität Leoben initiiert. Im ersten Teil der Arbeit wurde die Austragszone genauer analysiert. Ausgehend von den Erhaltungssätzen und den Bedingungen für die Geometrie konnten für unterschiedliche Kanalgeometrien entsprechende Gleichungen hergeleitet werden, die den Volumenstrom in Abhängigkeit vom Gegendruck beschreiben. Die im Fall des konischen Doppelschneckenextruders veränderlichen Geometriedaten führen dazu, dass die Berechnungen iterativ mit einem Computerprogramm durchzuführen sind. Die beiden haupt-

sächlich angewendeten Geometrien, Erdmenger- und doppeltes Schubflankenprofil, werden in der Folge beschrieben. Auf eine geometrische Betrachtung des gleichlaufenden Doppelschneckenextruders wird hier verzichtet und unter anderem auf die Veröffentlichung von Booy [2] verwiesen (Bilder 1 und 2).

Wirkung der Profile

Beim Erdmenger-Profil sind die Größen, Schneckenaußen- und -kerndurchmesser, Gangzahl, Stegbreite und Flankenform des Kanals, voneinander geometrisch abhängig. Diese Abhängigkeiten ergeben sich aus den Bedingungen „gleichsinnig drehend“ sowie „dichtkämmend“ und sind somit auf das Bewegungsprinzip zurückzuführen. Diese Bedingungen haben dadurch nicht nur entscheidenden Einfluss auf realisierbare Schneckenprofile, sondern auch auf die Selbstreinigung, Fördercharakteristik und Materialbeanspruchung [1].

Das doppelte Schubflankenprofil unterscheidet sich vom Erdmenger-Profil dadurch, dass beide Seiten des Kanals steiler ausgeführt sind. Im Extremfall sind die

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU110472

Flanken normal zum Schnecken-Grund angebracht. In diesem Fall zeigt die Herleitung der Berechnung, dass eine ähnliche Gleichung wie für den Volumenstrom des Einschnuckenextruders verwendet werden kann. Ein Vorteil dieser Bauart ist das noch höhere freie Volumen (15 bis 30 % höher als beim Erdmenger-Profil [3]) und damit die höhere Förderkapazität der Schnecken, der Selbstreinigungseffekt ist allerdings durch den geringeren Kontakt zwischen den beiden Schnecken verschlechtert.

Volumenstrom-berechnung

Für die Berechnungen vom Druck an der Schnecken Spitze und dem Leistungsbedarf des Systems spielt der Volumenstrom eine wichtige Rolle. Ausgehend von den Erhaltungssätzen und den jeweiligen geometrischen Bedingungen wurden die entsprechenden Gleichungen hergeleitet. Hier ist nur die für das Erdmenger-Profil dargestellt (Bild 3).

In Fall des Erdmenger-Profiles kann die Gleichung nicht mehr analytisch gelöst werden und der Einsatz von einem Berechnungsprogramm ist nötig.

Die geometrischen Konstanten sind in Booy [2] beschrieben, die Kanaltiefe $h(x)$ kann durch eine entsprechend abgeänderte Kanalgeometrie in den Lösungsalgorithmus einfließen. Die Berechnung wurde unter den Bedingungen newtonsche, stationäre, laminare, isotherme Strömung und Wandhaften hergeleitet.

Der Einsatz von einem Computerprogramm ist bei der Berechnung für ein konisches System immer notwendig, da sich die geometrischen und verfahrenstechnischen Bedingungen mit der axialen Position ändern.

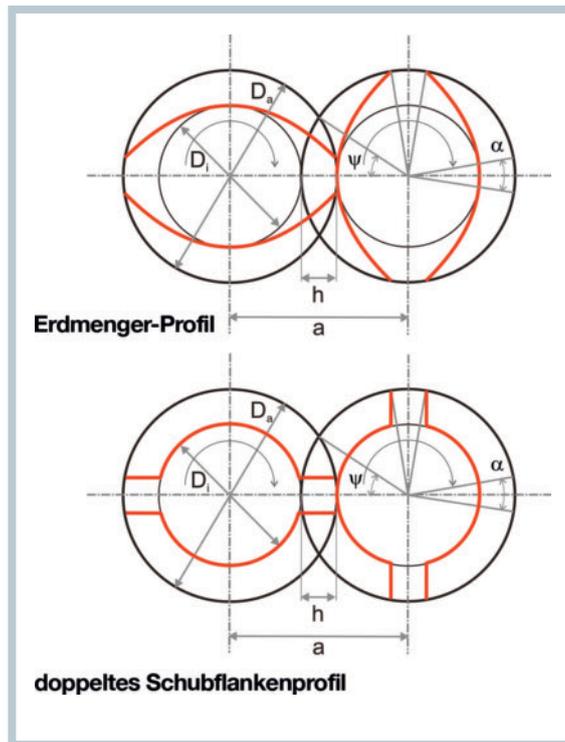


Bild 1. Schneckenquerschnitte im Vergleich

Bei der Gleichung für den Volumendurchsatz kann eine Ähnlichkeit zu der Volumenstromgleichung eines Einschnuckenextruders erkannt werden. Wie aus der Gleichung ersichtlich ist, setzt sich der Volumenstrom aus den beiden Komponenten infolge der Schlepp- (erster Teil der Gleichung) und der Druckströmung (zweiter Teil) zusammen. Neben dem Volumendurchsatz im Schneckenkanal trägt auch noch der Zwickelbereich zur Förderung bei.

Rückstaulänge

Die Rückstaulänge ist ein wichtiges Auslegungskriterium für die Druckaufbauzone. Bei einer unzureichenden Länge der Druckaufbauzone kommt es zu einer Überflutung der davor liegenden Zone, die häufig die Entgasungszone ist. Die

Rückstaulänge kann durch Umformung aus der Druckgleichung abgeleitet werden [3]. Die benötigte Länge für das konische System ist durch den maximalen Druck bei einem bestimmten Volumenstrom definiert. Wenn diese Länge unterschritten wird, kann die Ausstoßzone das geförderte Material nicht mehr aufnehmen und es tritt aus der Entgasungsöffnung heraus.

Experimentelle Untersuchungen und Ergebnisse

Neben den theoretischen Untersuchungen wurden auch praktische Versuche mit einem PE-LD (Typ: LD159AC, Hersteller: ExxonMobil) auf einem konischen Gleichläufer Typ M-A-S 55 durchgeführt (Titelbild). Die Versuche erfolgen bei vier bis fünf unterschiedlichen Drehzahlen und mit einer Düse mit verstellbarer Spalthöhe. Der Massedurchsatz

bei den einzelnen Messungen lag zwischen ca. 200 und 500 kg/h. Die Messergebnisse mit einer eingestellten Düsen-spalthöhe von 2,75 mm sind in Bild 4 dargestellt.

In dieser Abbildung ist klar die lineare Abhängigkeit zwischen Druck und Massstrom mit der Drehzahl erkennbar. Bei dieser Düsen-spalthöhe ergaben sich Drücke zwischen 90 und 130 bar.

Für den Volumenstrom und den Druck am Schneckenende sowie für den Druckverlauf wurde für die Berechnung das Programm verwendet. Bei der Vorgabe des Volumenstroms lässt sich der Verlauf des Drucks relativ einfach berechnen, da der Druckgradient aus den beiden Strömungsanteilen resultiert. Bei der Vorgabe vom Druck an der Schnecken Spitze, muss über eine Rekursion der dazu gehörige Volumenstrom ermittelt wer-

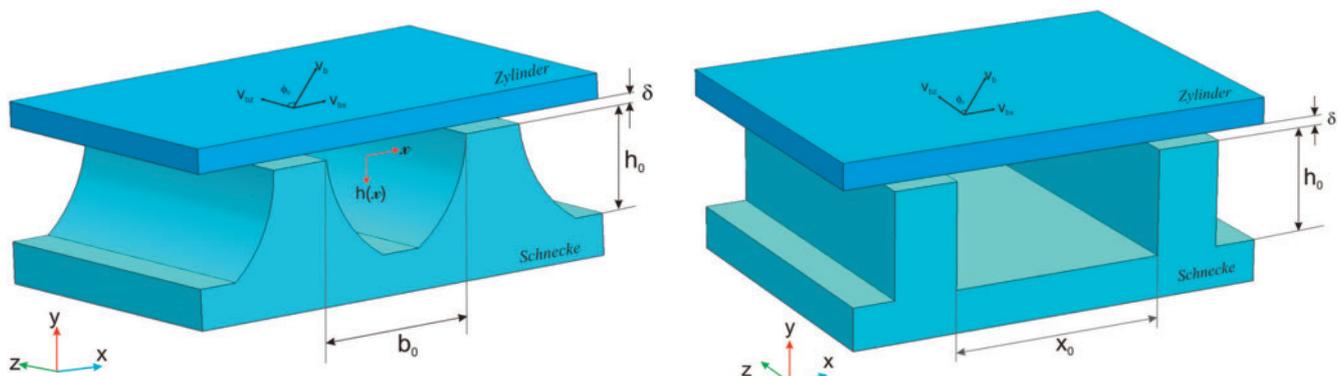


Bild 2. Erdmenger- (links) und doppeltes Schubflankenprofil (rechts)

$$\dot{V} = 2 \cdot v_{bz} \cdot \left[\frac{\alpha \cdot t \cdot \cos(\phi_0) \cdot h_0}{4 \cdot \pi} + \frac{\arccos\left(\frac{\rho_c^2 - 1}{2}\right) \cdot \frac{t}{2 \cdot \pi \cdot \cos(\phi_0)}}{\frac{\alpha \cdot t \cdot \cos(\phi_0)}{4 \cdot \pi}} \int h(x) dx \right]$$

$$- 2 \cdot \frac{1}{12 \cdot \eta} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \cdot \left[\frac{\alpha \cdot t \cdot \cos(\phi_0) \cdot h_0^3}{4 \cdot \pi} + \frac{\arccos\left(\frac{\rho_c^2 - 1}{2}\right) \cdot \frac{t}{2 \cdot \pi \cdot \cos(\phi_0)}}{\frac{\alpha \cdot t \cdot \cos(\phi_0)}{4 \cdot \pi}} \int h(x)^3 dx \right]$$

Bild 3. Gleichung für den Volumenstrom in Abhängigkeit vom Druck

den. Die Druck-Berechnungsergebnisse sind in **Bild 5** dargestellt.

Die berechneten Drücke korrelieren sehr gut mit den Messergebnissen. Generell ist eine Abweichung von ±10 % der gemessenen zu den simulierten Werten eindeutig innerhalb Fehlergrenzen. Eine Verbesserung der Rechenergebnisse soll durch den Einsatz eines FEM-Programms erfolgen, in dem auch der Einfluss der Temperatur auf die Berechnungen aufgezeigt wird. Die berechneten axialen Druckverläufe beim Erdmenger- und Doppelschubflankenprofil für einen Masseudurchsatz von 500 kg/h sind in **Bild 6** dargestellt.

Der Grund für diesen Druckunterschied ist der große freie Volumenunterschied zwischen den beiden Kanalprofilen. Das Erdmenger-Profil hat aufgrund seiner kleineren freien Querschnittsfläche ein Druckaufbauvermögen von 180 bar, während das doppelte Schubflankenprofil 120 bar an der Schnecken Spitze aufbauen kann.

Einen großen Einfluss auf die Verarbeitung haben die Viskosität und die Schergeschwindigkeit. Mit einer höheren Schergeschwindigkeit erhöht sich auch der Anteil an dissipierter Energie ($\eta \cdot \dot{\gamma}^2$). Am Anfang des Extrusionsprozesses ist dies ein erwünschter Effekt, da dadurch

der Wärmeeintrag und damit das Aufschmelzen verbessert wird. Bei einer reinen Schmelzeströmung wird gegenteilig eine möglichst niedrige Temperaturerhöhung angestrebt. Im Fall des konischen Systems verringert sich die Geschwindigkeit am Zylinder im vorderen Bereich durch den kleineren Außendurchmesser und somit nehmen dort die Schergeschwindigkeit und damit auch die Dissipation ab (**Bild 7**).

Die Leistungsdichte nimmt im Verlauf der Ausstoßzone in diesem Fall um 36 % ab, was auf den quadratischen Term der Schergeschwindigkeit zurückzuführen ist.

Einsatzgebiet PET-Recycling

Gerade bei der Verarbeitung von PET-Flaschenmahlgut sind die verfahrenstechnischen Voraussetzungen des konischen Gleichläufers wie hier dargestellt optimal gegeben:

Die Verfahreseinheit weist ein enormes Einzugsvolumen auf, wobei die Schnecken durchmesser so groß sind, dass ein ungewöhnlich hohes Drehmoment übertragen wird. Diese mechanische Stärke resultiert natürlich in einer großen Aufnahmefähigkeit der Rückdrucklagerung die, aufgrund des zunehmenden Achsabstands, dementsprechend robust ausgeführt sind. Wie aus den Untersuchungen hervorgeht, ist nicht nur die verfahrenstechnische Fähigkeit, den Druck aufzubauen, vorhanden, sondern auch die mechanische Fähigkeit, den Druck aufzunehmen, gegeben, sodass auf eine Schmelzepumpe, selbst beim Einsatz einer Schmelzefiltrierung von 30 µm, verzichtet wird.

Der langsam drehende Extruder arbeitet mit einem hohen Füllgrad und schließt das Material mit geringer Scherung auf. Gerade im vorderen Bereich der Schnecke, wo lediglich der Druckaufbau stattfindet, wird sehr wenig Friktion in das Material eingebracht. Dadurch ergibt sich die überaus

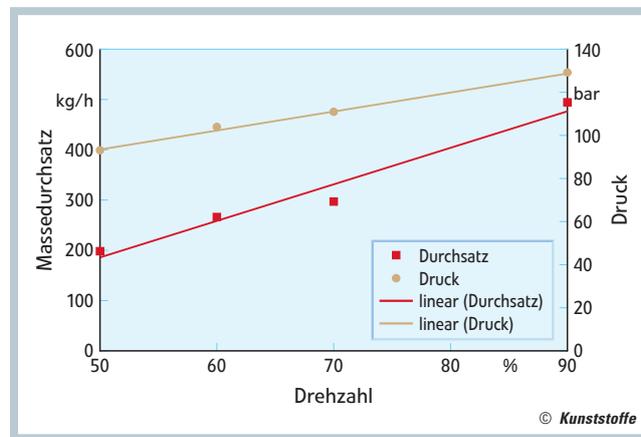


Bild 4. Massedurchsatz in Abhängigkeit der Drehzahl

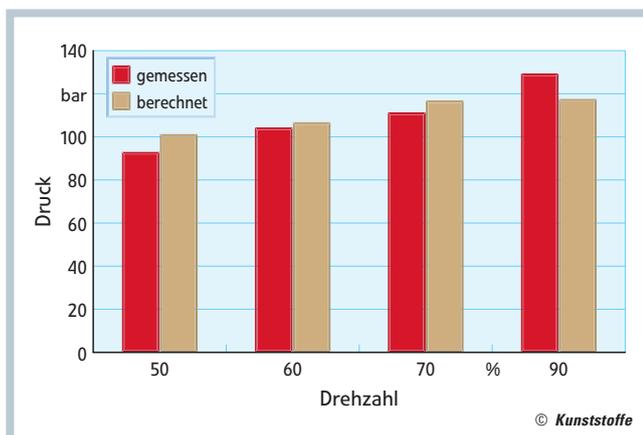


Bild 5. Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Drücken (Düsenpalt = 2,75 mm)

schonende und energiesparende Verarbeitung von Polymeren und ganz im Speziellen von PET. Insbesondere die für die weitere Verarbeitung wichtigen Parameter wie IV-abbau (<0,02), idealer Farbwert b* und geringste AA-Gehalte konnten somit unter geeigneten Bedingungen erreicht werden. Als wesentlicher Parameter erweist sich dabei der Füllgrad der Schnecke, wodurch sich die Plastifizierleistung sehr gut einstellen lässt. Die Masstemperatur folgt nahezu umgekehrt proportional dem Füllgrad. Somit lassen sich Masstemperaturen von 275°C bis zu 295°C problemlos mit nur einer Schneckengeometrie einstellen.

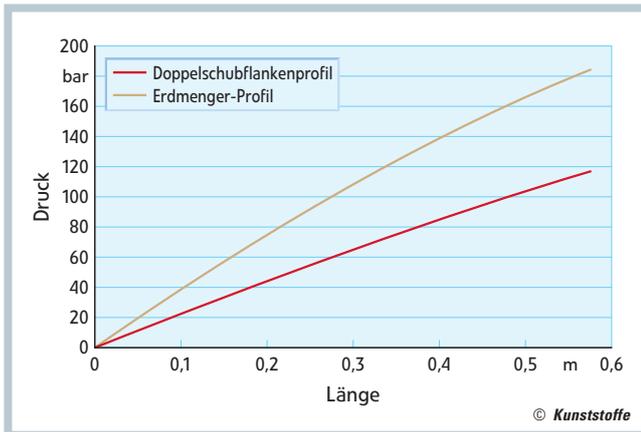


Bild 6. Druckverlauf-Vergleich
(Düsenpalt = 2,75 mm, Drehzahl = 90 %)

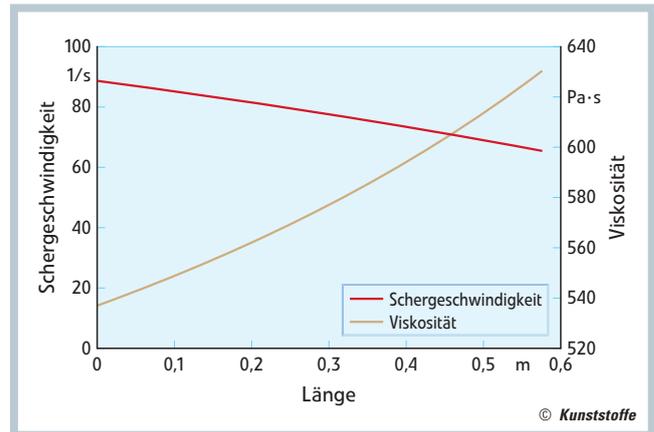


Bild 7. Schergeschwindigkeit und Viskositäts-Änderung über die Länge
(Düsenpalt = 2,75 mm, Drehzahl = 90 %)

Die Plastifiziereinheit des Extruders zeichnet sich auch durch eine Doppelentgasung aus, die einerseits im Vergleich zu herkömmlichen Systemen eine erhöhte Entgasungsfläche aufweist und andererseits durch ein Abstaeuelement als völlig separate Entgasungen funktionieren (Bild 8). Bei Bedarf kann auch ein Hochleistungsvakuum angeschlossen werden. Das Durchsatzleistungsspektrum von 150 kg/h (M-A-S 45) bis zu 2000 kg/h (M-A-S 90) wird durch die vier Extruderbaugrößen

45, 55, 75 und 90 abgedeckt. Wie bei Compoundern üblich sind die Schnecken segmentiert ausgeführt, um die größtmögliche Flexibilität zu erreichen. ■

LITERATUR

- 1 Hensen, F. Knappe, W. und Potente, H.: Handbuch der Kunststoff-Extrusionstechnik. Band I: Grundlagen. Hanser, München 1986
- 2 Booy M.L.: Geometry of fully Wiped Twin-Screw Equipment. Poly. Eng. Sci., Vol. 18, No.12, September 1978

- 3 Kohlgrüber, K.: Der gleichläufige Doppelschneckenextruder – Grundlagen, Technologie, Anwendungen. Hanser, München 2007

DIE AUTOREN

DIPL.-ING. GÜNTHER KLAMMER, geb. 1967, ist Geschäftsführer der M-A-S Maschinen- und Anlagenbau Schulz GmbH, Pucking/Österreich; klammer@mas-austria.com

UNIV.-PROF. DIPL.-ING. DR. MONT. CLEMENS HOLZER, DIPL.-ING. STEPHAN SCHUSCHNIGG und DIPL.-ING. RAMESH KUMAR SELVASANKAR sind am IKV-Institut für Kunststoffverarbeitung, Montanuniversität Leoben, tätig.

SUMMARY

A CONICAL CO-ROTATING MACHINE PUTS ON THE PRESSURE

EXTRUSION. In compounding, twin-screw extruders with co-rotating, intermeshing screws have a good track record. The conical design offers an exceptional performance spectrum and is recommended for processing PET regrind.

Read the complete article in our magazine

Kunststoffe international and on www.kunststoffe-international.com

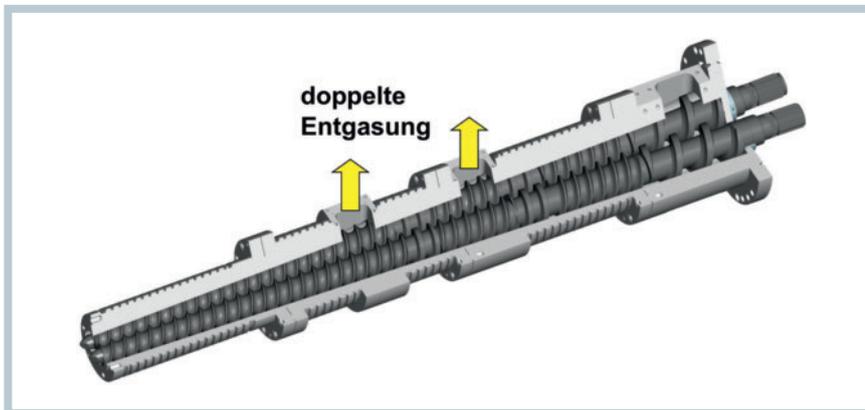


Bild 8. Verfahrenseinheit mit Doppelentgasung