

Extrusionswerkzeuge für die Schlauchextrusion

Dipl.-Ing. Georg Burmann, ETA Kunststofftechnologie GmbH

Neue Prinzipien und Konzepte zur Auslegung von Wendelverteilerwerkzeugen

Die Art und Weise der Plastifizierung von Kunststoff-Rohstoffen und deren weitere Verarbeitung in Extrusionwerkzeugen und Nachfolgeeinrichtungen beeinflusst wesentlich die mechanischen, qualitativen und optischen Eigenschaften von Halbzeugen und Endprodukten. Für die Bereitstellung von stofflich und thermisch homogenen Schmelzen ist im wesentlichen die Plastifizierung im Extruder und die Auswahl geeigneter Rohstoffe (Farbmasterbatches u. a.) ausschlaggebend.

Eine besondere Stellung nimmt das nachfolgende Schmelzeverteilsystem ein. Abhängig von den Extrudatdimensionen haben sich in der Mono- und Coextrusion verschiedene Systeme zur Ausformung und Verteilung von Kunststoffschmelzen etabliert. Neben Kleiderbügelverteilersystemen für die Herstellung flacher Folien und Platten werden zur Herstellung kreisrunder einlagiger Produkte (Blasfolien, Rohre und Schläuche) Stegdomhalter-, Siebkorb- und Pinolenverteilersysteme eingesetzt. Für die Herstellung von Blasfolien und mehrschichtiger Strukturen sind Extrusionswerkzeuge mit Wendelverteilern die bestgeeigneten Systeme, in den meisten Fällen der Coextrusion die einzig Möglichen.

Wendelverteilersysteme werden bereits seit einem halben Jahrhundert eingesetzt. Fortlaufende Weiterentwicklungen und marktspezifische Anforderungen haben zu unterschiedlichen Bauformen, Geometrien und Kombinationen mit Vorverteilsystemen geführt.

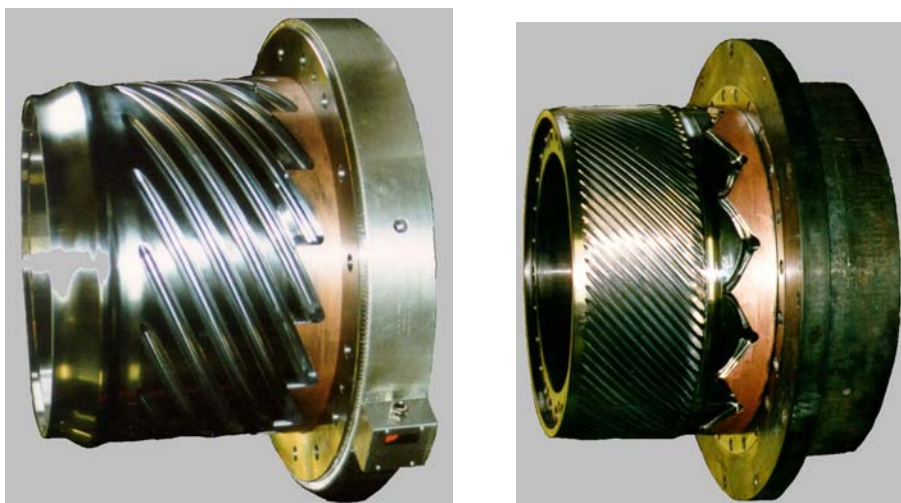


Bild 1 Wendelverteiler mit verschiedenen Schmelzevorverteilungen

Aufgabe aller Verteilergeometrien ist die Ausformung der Schmelze aus einem Schmelzestrang zu einer gleichmäßigen, thermisch homogenen Schmelzeverteilung über den Austrittsquerschnitt. Gleiche Produktwandstärken werden aus Gründen des Handlings in Nachfolgegeräten, z.B. Druckmaschinen, und nicht zuletzt aus Kostengründen gefordert. Die Einhaltung enger Produkt- und Schichtdickentoleranzen sowie die Realisierung minimaler Anteile bei einzelnen Schichten nehmen einen immer größeren Stellenwert ein. Dies gilt besonders für Coextrusionsprodukte mit Funktionsschichten, bei denen teure Polymere (EVOH, PVDF u.a.) eingesetzt werden. Bild 2 zeigt typische Schichtanteile bei Kunststoff-Kraftstoff-Behältern (KKB). In Einzelfällen werden heute sogar bereits Schichtanteile von kleiner als 1% problemlos realisiert.

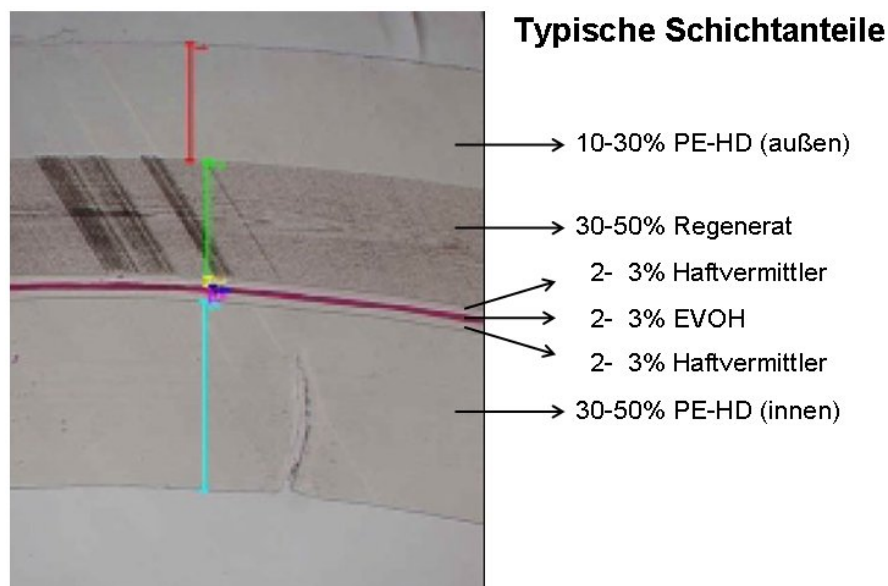


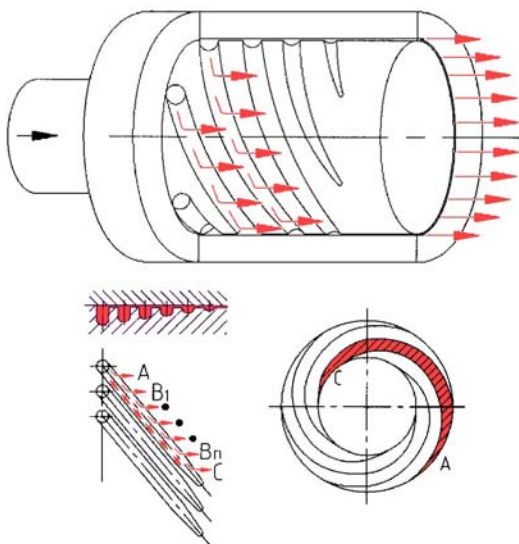
Bild 2 Dünnschnitt mit dünnen Funktionsschichten

An den „idealen Schmelzeverteiler“ werden folgende Anforderungen gestellt:

- Geringst mögliche Druckverluste
- Gleichmäßige, schonende Beanspruchung der Schmelze
- Gestaltung der Fließkanäle ohne Stagnationszonen
- Geringe Verweilzeit der Schmelze im Werkzeug
- Effiziente, schnelle Materialwechsel
- Betriebspunktunabhängige Auslegung

Eine Möglichkeit zur Einstellung der Rundumverteilung der einzelnen Schichtdicken ist nicht realisierbar. Daher bestimmt die Auslegung und Konzeption des Schmelzeverteilers die Produkttoleranzen sehr wesentlich.

Während die Werkzeugauslegung in der Vergangenheit „iterativ“ durchgeführt wurde, ist in den vergangenen Jahren ein Algorithmus entwickelt worden, der eine zielgerichtete Berechnung der erforderlichen Werkzeuggeometrien gestattet. Ausgangspunkt der Überlegungen ist das Endprodukt, für das eine gleichmäßige Umfangsverteilung gefordert wird. Die Schmelze verlässt einen über den Umfang konstanten Austrittsspalt mit gleicher Geschwindigkeit. Betrachtet man die verschiedenen Verteilsysteme, so ist einleuchtend, dass der Fluss der Schmelze auf verschiedenen Fließwegen diese Forderung beeinflusst.



Gegenüber anderen Verteilsystemen wie Pinolenverteilern oder Stegdornhaltern sind die Strömungsverhältnisse in Wendelverteilersystemen komplexer. Die in Bild 3 dargestellte Sichelstruktur, die sich aus der Überlagerung von Strömungen aus nachfolgenden Wendeln ergibt, muss - um die vorstehend beschriebene Vorgabe eines idealen Produktes fortzusetzen – analysiert werden.

Bild 3 Arbeitsprinzip - Sichelstruktur

Betrachtet man die Länge einer Wendel über den Umfang und nutzt die Symmetrie am Werkzeugumfang, so wird die Endwanddicke aus einer so genannten „idealen Leckstromkurve“ gebildet. Spezielle Effekte, wie der radiale Versatz der Strömung im Spalt durch die Wendelströmungen werden hier nicht betrachtet. Durch Addition der Leckströme aus den Wendeln am jeweiligen Umfangspunkt ergibt sich die ideale (gleichmäßige) Wanddicke im Produkt. Zu beachten ist, dass die Sichelstruktur selbst in beliebig vielen verschiedenen Formen ausgebildet sein kann. Daher wurde eine Klassifizierung eingeführt, mit der sich das Aussehen dieser Kurven hinreichend charakterisieren lässt.

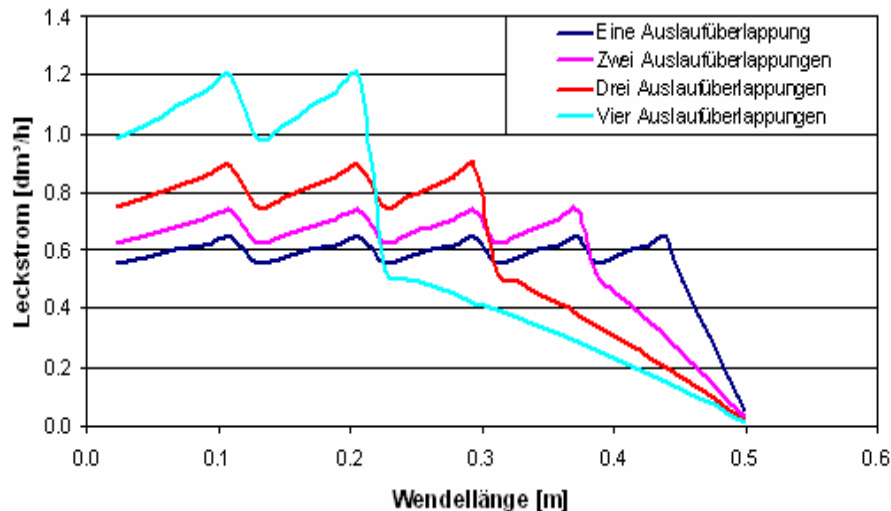


Bild 4 Leckstromkurven – verschiedene Varianten

In Bild 4 sind Leckstromkurven mit unterschiedlicher Charakteristik dargestellt. Welcher Kurventyp nun für eine Anwendung geeignet ist, wird wiederum von einer Vielzahl von Parametern bestimmt, die zumeist auf Erfahrungswerten basieren.

Ausgehend von den Einzelvolumenströmen einer Leckstromkurve können alle anderen idealen Teilströme eines Wendelverteilers vorgegeben werden. Als zusätzlicher Parameter wird ein axiales Druckprofil vorgegeben. Auch die Vorgabe dieses Druckprofils – bestimmt aus Erfahrungswerten – bestimmt die „Güte“ der Schmelzeverteilung. Die Berechnung eines charakteristischen Widerstandes in einem bestimmten Segment des Verteilersystems ist mit den einfachen analytischen Gleichungen der Strömungsmechanik strukturviskoser Flüssigkeiten schnell möglich. Abhängig von vorgegebenen Randgeometrien erhält man direkt – ohne Iterationen – Werte für den axialen Spaltweitenverlauf und den Wendeltiefenverlauf.

Trotz dieser vorstehend beschriebenen Vorgehensweise bleibt die Aufgabe des Ingenieurs bestehen, das „ideale System“ auf seine praxisgerechte Ausführung hin zu prüfen. Ein Werkzeug muss so ausgelegt sein, dass es sowohl für ein bestimmtes Materialspektrum als auch für ein gewisses Durchsatzspektrum geeignet ist.

Die für den Wendelverteiler typische Sichelstruktur im Austrittsquerschnitt des Produktes zeigt deutlich, dass radiale Bindenähte, wie sie bei Stegdornhaltersystemen auftreten, sicher unterbunden werden. Allerdings ist für die Erzielung einer radialen Umfangsströmung in der Wendel ein bestimmter Druckverbrauch erforderlich. Zusätzlich dazu führt das Strömen der Schmelze in Umfangsrichtung dazu, dass die Fließlängen, die ein einzelnes Volumenelement im Werkzeug zurücklegt (besonders am Wendelgrund) länger sind als bei Stegdornhaltern oder Pinolenverteilern. Dage-

gen wirkt positiv, dass das Geschwindigkeitsniveau im Wendelverteiler höher liegen kann als bei den genannten anderen Verteilssystemen.

Das Ziel einer Weiterentwicklung von Wendelverteilsystemen ist es, ein System zu definieren, welches folgenden Anforderungen gerecht wird:

- Vermeidung von Bindenähten
- Möglichst kurze Fließwege
- Geringst mögliche Druckverluste
- Gleichmäßige und niedrige Schmelzebeanspruchung.
- Keine Stagnationszonen
- Kurze Fließwege im Werkzeugsystem
- Eignung zum Einsatz in einem Coextrusionswerkzeug
- Einfache Montage und Reinigung
- Vermeidung von Markierungen (Wendelstreifen)
- Geringe Axialkräfte

Nachfolgend wird dazu ein Verteilersystem vorgestellt, das als 2-fach hintereinander geschaltetes Kleiderbügelverteilersystem bezeichnet werden kann. Analog zur Auslegung von Kleiderbügelverteilern für Flachdüsen gilt auch hier der Ansatz, Schergeschwindigkeiten in den typischen Werkzeugbereichen „Inselfeld“ und „Verteilerkanal“ möglichst gleich zu halten. Wenn eine solche Geometrie gefertigt werden kann, so ist die Geometrie „betriebspunkt – unabhängig“. Die Verteilung ist in diesem Fall unabhängig von verarbeitetem Rohstoff und unabhängig vom Durchsatzniveau.



Bild 5 Verteilergeometrie auf Dorn Bild 6 Verteilergeometrie im Gehäuse

Das Ergebnis der Überlegungen und Berechnungen sind aus den Bildern 5 und 6 ersichtlich. Es handelt sich um eine Geometrie, deren Verteilkanäle deckungsgleich

sowohl im Dorn als auch im Innendurchmesser des zugehörigen Gehäuses eingebracht wurden. Daher hat ein solches System keine Stagnationszonen.

Zusätzlich zum praktischen Einsatz in der Produktion wurden im Rahmen eines vom BMBF geförderten Projektes am IPE der UNI Duisburg aufwändige dreidimensionale FEM-Berechnungen durchgeführt, um den analytischen Rechenansatz zu überprüfen und Details der Strömungs- und Druckverteilung zu untersuchen (Bilder 7, 8, und 9).

Es bleibt festzuhalten, dass die FEM-Rechnung die erzielten Produktionsdaten und Berechnungsergebnisse in vollem Umfang bestätigt.

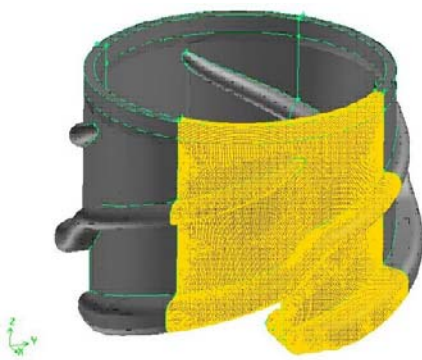


Bild 7 FEM Netz

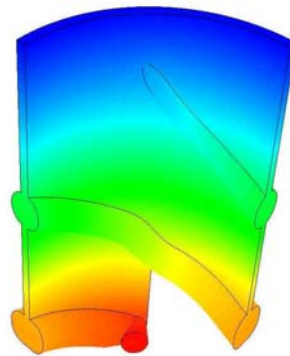


Bild 8 Druckprofil

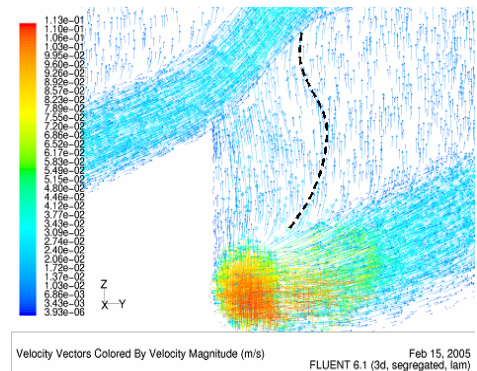


Bild 9 Geschwindigkeiten Eintritt

Wendelverteilersysteme, die nach dem Prinzip der Spiralverteilung in einer Ebene oder als „konische Verteiler“ aufgebaut sind, wurden gerade für die Herstellung coextrudierter Folien in der Vergangenheit häufig diskutiert.

Aufgrund der großen druckbelasteten Flächen sind recht massive Konstruktionen im Einsatz. Die entscheidenden Vorteile dieser Systeme liegen in der einfachen Demontierbarkeit, der einfachen Möglichkeit, diese Systeme zu reinigen. Auch Stagnationsstellen können dadurch, dass diese Systeme mit Spiralen und zwei Platten gestaltet werden klar, vermieden werden.

Für kleine Düsendurchmesser und moderate Durchsätze sind Circular Verteilersysteme geeignete Bauformen. Solche Werkzeugtypen für 3-schichtige, 5-schichtige und auch 7-schichtige Blasfolien und Schläuche sind im Produktionseinsatz.

Das Verteilprinzip ist besonders für den Einsatz in der Medizintechnik geeignet. Für diesen Einsatzfall werden - aufgrund der sehr teuren und sensiblen Rohstoffe - Verteilersysteme mit geringsten Schmelzevolumina ohne Stagnationszonen gefordert. Circularverteiler, die sich aufgrund der Zugänglichkeit der Verteilgeometrie einfach und präzise fertigen lassen, stellen auch hier eine geeignete Lösung dar (Bild 12).

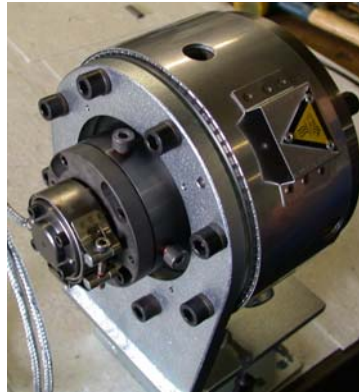
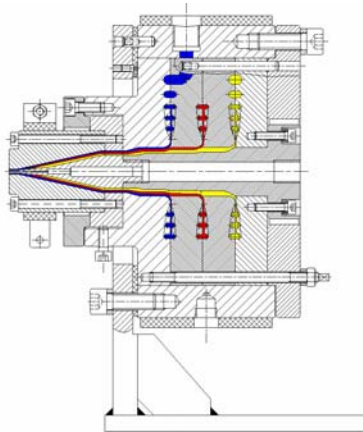


Bild 12 3-Schicht Werkzeug für Medizinschläuche

Fazit und Ausblick: Der Wendelverteiler als das am Besten geeignete System zur Herstellung coextrudierter Verbunde wird sich weiter entwickeln. Durch neue Geometrien und Detailanpassungen ist eine produktspezifische Anpassung der Verteilgeometrie möglich.

3. Februar 2006

Kontakt: Dipl.-Ing. Georg Burmann
ETA Kunststofftechnologie GmbH
Biberweg 4
53842 Troisdorf
Fon: +49 / 2241 / 949707
Fax: +49 / 2241 / 949709
mail@eta-gmbh.de
www.eta-gmbh.de