

Strömungsgeschwindigkeiten im Doppelstegdornbereich eines Rohrwerkzeugs,
 Simulationssoftware: Polyflow (Fluent Deutschland GmbH)

(Quelle: Institut für Kunststofftechnik Paderborn)

Vielfalt am laufenden Meter

Extrusionswerkzeuge. Die Herstellung hochwertiger Halbzeuge aus Kunststoffen erfordert produktspezifische Extrusionslinien, die eine Fülle entscheidender Verfahrensschritte beinhalten. An welcher Stelle in dieser Reihe wichtiger Komponenten einer Extrusionslinie das Extrusionswerkzeug auch immer seinen Platz finden mag, so ist es doch unbestritten für die Form des Produktes verantwortlich. Aus dieser Verantwortlichkeit resultiert die Vielfalt der mit dem Extrusionsverfahren herstellbaren Produkte.

STEFAN SEIBEL

Innerhalb der Kunststofftechnik ist das Verfahren der Extrusion eines der gebräuchlichsten, um aus Kunststoffrohmassen einsetzbare Halbzeuge herzustellen. Innovationen in diesem Sektor ergeben sich aus der Konkurrenz zu anderen Herstellungsverfahren, immer neuen Produktideen und wirtschaftlichen Zwängen. Für die Hersteller von Extrusionsanlagen resultiert hieraus ein deutlich gesteigener Anspruch, die eigenen bestehenden Technologien stetig zu verbessern. Bei Einteilung der Extrusionsanlagen anhand der Austrittsgeometrie ihrer Werkzeuge lassen sich vier Gruppen ausmachen, die durch die jeweiligen Austrittsquerschnitte gekennzeichnet sind: kreisförmig, schlitzförmig, kreisringförmig und beliebig zweidimensional (Bild 1).

Bei all diesen Gruppen erfolgt die Formgebung des Kunststoffes im schmelzeförmigen Zustand. Dieser Schmelzestatus wird – strömungstechnisch betrachtet – von einer Reihe rheologischer

Phänomene bestimmt. Viele dieser Phänomene sind noch nicht vollständig verstanden [1] und nur einige können ausreichend charakterisiert werden. Die in der Industrie eingesetzten Verfahren,

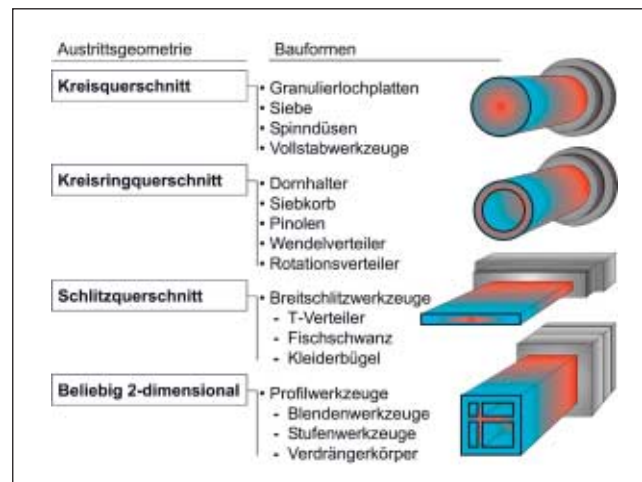


Bild 1. Übersicht der Bauformen von Extrusionswerkzeugen

Fließeigenschaften zu charakterisieren, reichen von den Einpunktmessungen, wie z. B. dem MFI-Wert, über die Bestimmung der funktionalen Zusammenhänge der viskosen und elastischen Eigenschaften in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit bis hin zu In-Line Messverfahren mit Ultraschall. Die theoretische und praktische Forschung der letzten Jahre, mit Hilfe von Materialdaten und Strömungsmodellen das Fließverhalten in Extrusionswerkzeugen zu beschreiben, hat das Verständnis der in ihnen ablaufenden Vorgänge vertieft.

Grundsätzlich dient das Extrusionswerkzeug zur Ausformung des benötigten Produktquerschnitts aus dem meist kreisförmigen Schmelzestrang, der vom Extruder geliefert wird. Die Grundgeometrie des Halbzeugs wird also schon im schmelzeförmigen Zustand durch das Werkzeug vorgegeben. Dieser Prozessschritt ist mit einem Druckverbrauch verbunden, so dass das Extrusionswerkzeug auch das Druck-Durchsatz-Verhalten des Extruders beeinflusst. Die beiden Komponenten sollten möglichst gut aufeinander abgestimmt werden, da neben der Qualität des Extrudats auch die Wirtschaftlichkeit der gesamten Extrusionslinie von dieser Symbiose abhängt.

Ebenso ist eine Abstimmung zwischen Werkzeug und den Nachfolgeeinheiten erforderlich, da z. B. Strangaufweitungen und/oder Temperaturdifferenzen durch die Kalibrierung und Kühlung ausgeglichen und abgefangen werden müssen, um das Produkt maßhaltig zu fixieren.

Werkzeuge mit Kreisquerschnitt

Werkzeuge mit kreisförmigem Austrittsquerschnitt werden für die Herstellung von Fäden, Granulaten, Strängen und Vollstäben genutzt. Die kleinsten Austrittsquerschnitte, mit Durchmessern ab

0,05 mm bei Toleranzen von $\pm 1 \mu\text{m}$, weisen die so genannten Spinddüsen auf. Hierbei kommen Einzeldüsen sowie Spinddüsenpakete, z. B. für die Vliesstoff-Herstellung, mit mehreren 1000 Bohrungen zum Einsatz. Jeder Spinnkapillare sind Übergangszonen mit mehreren Einlaufwinkeln sowie Senkungen oder Sicken im Einlaufbereich vorgeschaltet, wie in der Schnittdarstellung in Bild 2 gezeigt. Die Einlaufwinkel α und β sind häufig auch in Trompeten- oder Kelch-

chanischen Festigkeit gegen Verwölbung die gleichmäßige Anströmung aller Bohrungen. Im Bereich des Bohrungsaustritts sind die Lochplatten einem extremen Verschleiß durch die Schneidmesser und die Strömungsänderung ausgesetzt. Dem wird durch spezielle Konstruktionen der Lochplatten (messerseitig) oder noch wirkungsvoller durch den Einsatz von 3–5 mm starken Keramik- oder Hartmetallplatten als „Lochplattenpanzerung“ entgegengewirkt, wie in Bild 3 zu sehen.

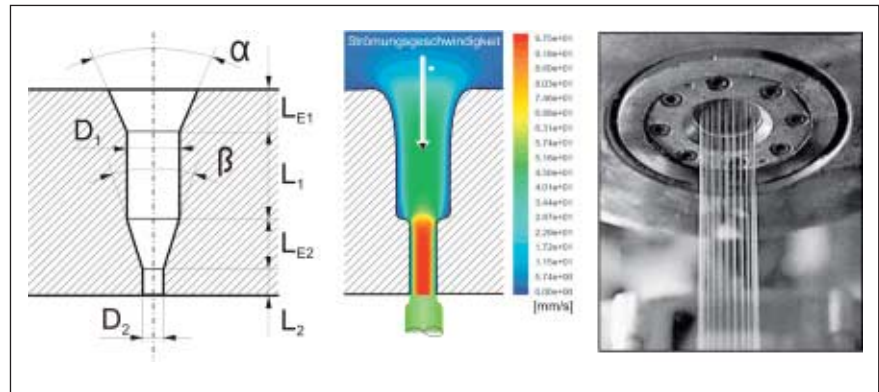


Bild 2. Schnittdarstellung einer einfachen Form der Spinddüse mit den typischen Geometrieparametern (links); Prinzipdarstellung der Strömungsgeschwindigkeiten (Mitte); Schmelzeaustritt aus einem Spinddüsenpaket (rechts) (Quelle: www.etn-net.org)

form ausgeführt, um möglichst wenig Deformationen in die Schmelze einzubringen. Durch die gezielte Variation der L/D-Verhältnisse sowie der Einlaufwinkel werden Material- und Produktpassungen vorgenommen.

Bei Granulierlochplatten sind die einzelnen Austrittsquerschnitte bzw. Bohrungen entweder linear oder kreisförmig angeordnet. Die Anordnung dieser, meist 2,4–3,5 mm im Durchmesser großen Bohrungen richtet sich nach der Funktion der Nachfolge – also ob ein Heiß- oder Kaltabschlag erfolgt – und der gewählten Anströmung. Entscheidend für die Funktion dieser Werkzeuggruppe ist neben der me-

Die vergleichsweise geringe Wärmeleitung dieser Keramik-/Hartmetalldüsenplatten sorgt darüber hinaus für eine gute Wärmeisolation und verhindert das frühzeitige „Einfrieren“ der Schmelze vor dem Austritt. Aufgrund des stellenweise sehr hohen Massestroms von bis zu 25 kg/h bei PP-Materialien, den jede einzelne Bohrung zu verarbeiten hat, sind neben den Scherdeformationen besonders die Schmelzedeformationen durch Dehnung zu beachten. Um einerseits die Schmelzebelastung durch Dissipation in einem noch gerade materialverträglichen Rahmen zu halten und andererseits die resultierenden Werkzeugdrücke noch beherrschen zu können, ▶

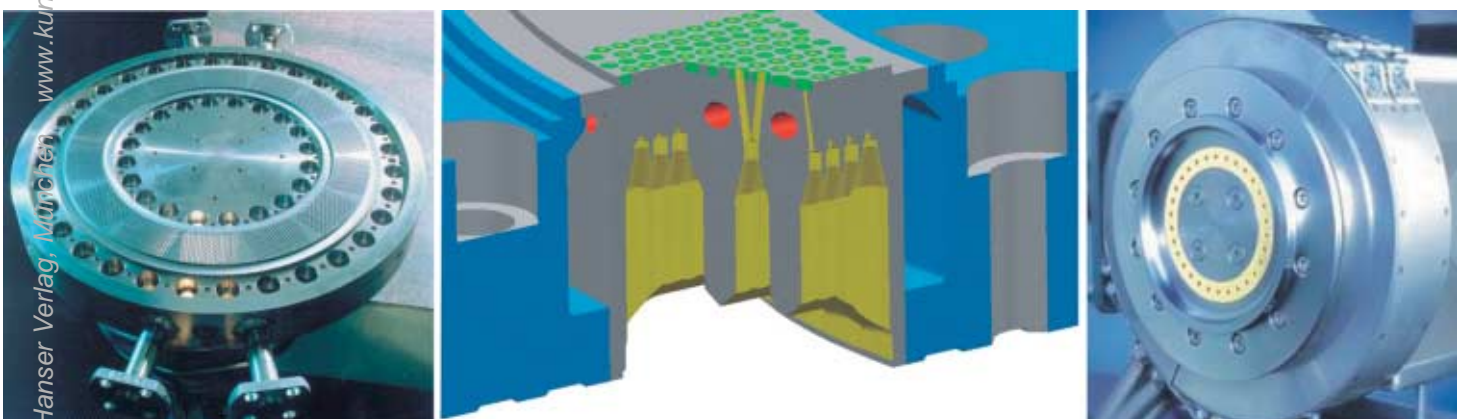


Bild 3. Lochplattenausführungen; links: Granulierlochplatte mit kreisringförmig angeordneten Bohrungspaketen, Mitte: Prinzipskizze der Bohrungseinläufe (Quelle: Coperion Werner & Pfeleiderer); **rechts: Granulierlochwerkzeug mit Panzerung** (Quelle: Econ Maschinenbau und Steuerungstechnik)

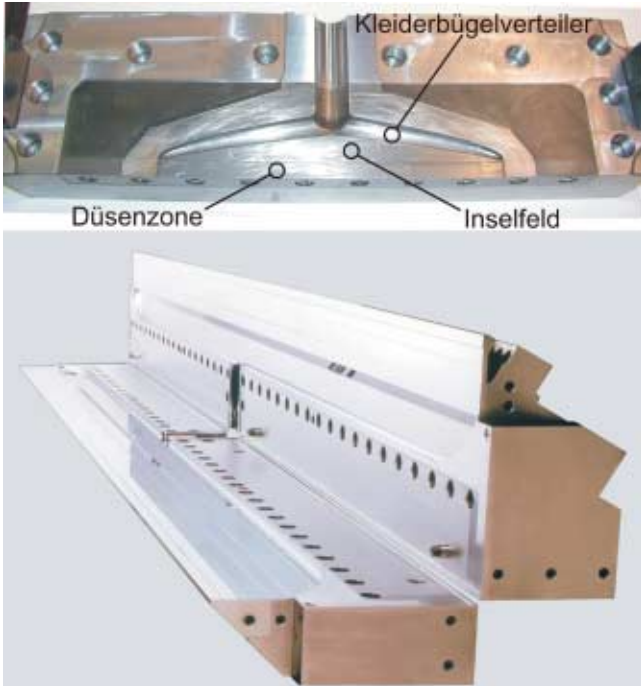


Bild 4. Oben: Werkzeughälfte eines Breitschlitzwerkzeugs mit Kleiderbügelverteiler (Quelle: Institut für Kunststofftechnik Paderborn); **unten: T-Verteilerwerkzeug** (Quelle: Verbruggen N.V.)

werden normalerweise die Einlaufwinkel $< 30^\circ$ und das L/D-Verhältnis zwischen 4,5 und 7,5 gewählt.

In den vergangenen Jahren haben Industrie und Forschungseinrichtungen verstärkt an der Untersuchung von Strömungsphänomenen bei Kapillaren gearbeitet, um bestehende Berechnungsmodelle zu verbessern, Ein- und Auslaufzonen strömungstechnisch zu optimieren und neue Grenzflächenbeschichtungen voranzutreiben.

Werkzeuge mit Schlitzquerschnitt

Extrusionswerkzeuge mit einem schlitzförmigen Austrittsquerschnitt werden für die Produktion von Folien und Platten sowie zur Beschichtung von flächigen Warenbahnen eingesetzt. Diese so genannten Breitschlitzwerkzeuge haben die Aufgabe, die Schmelze von einer Rohrströmung in eine Schlitzströmung zu überführen, so dass sich am Austritt eine möglichst gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung ergibt. Zur symmetrischen Schmelzeverteilung über die gesamte Düsenbreite dienen rheologisch optimierte Fließkanäle, die je nach Anwendung in unterschiedlicher Form ausgeführt sind. Die am häufigsten anzutreffende Verteilerform ist die des Kleiderbügels, bei der der Querschnitt des Verteilerkanals kontinuierlich abnimmt (Bild 4).

Gebräuchlich ist aber auch die Form des Fischschwanzverteilers sowie die des T-Verteilers, der bei besonders großen

Werkzeugbreiten bevorzugt wird. In 95 % der Anwendungsfälle sind die Werkzeugoberflächen heute hartverchromt oder poliert und nur in seltensten Fällen mit speziellen Oberflächenbeschichtungen versehen. Die Auslegung des Verteilerkanals einer Breitschlitzdüse wird in der Regel nur für ein enges Betriebsfenster – hinsichtlich Material und Verfahrensparameter – durchgeführt. Bei Abweichungen vom Betriebspunkt ergeben

sich dann am Düsenaustritt ungleiche Fließgeschwindigkeiten, die zu Dickenabweichungen quer zur Abzugsrichtung führen. Um den notwendigen Ausgleich solcher Dickenschwankungen vornehmen zu können, werden Staubalken und/oder flexible Düsenlippen bei Breitschlitzwerkzeugen eingesetzt. Hierfür sind entlang der Düsenlippe in gleichmäßigen Abständen Justierschrauben angebracht, mit deren Hilfe der Lippenspalt verstellt werden kann. Diese Veränderung der Fließkanalhöhe beeinflusst lokal die Fließgeschwindigkeit. Viele hochautomatisierte Flachfolienanlagen und Verpackungslinien nutzen heute Automatikdüsen. Bei diesen Düsen wird die Justierung der Düsenlippe automatisch durchgeführt, so dass eine Kopplung zwischen Produktdickenverteilung und Austrittsspalt gegeben ist. Als Stellglieder dienen Thermodehnbolzen, Translatoren oder motorische Stellglieder [2].

Die Breite des Austrittsspalt und somit die Werkzeugbreite orientiert sich an den Nachfolgeaggregaten und Produkten. Die Werkzeugbreiten liegen heute zwischen 100 und 8000 mm bei Spalthöhen zwischen 0,5 und 70 mm. Um die Produktbreite zumindest in einem gewissen Bereich einstellen zu können, wird mit Hilfe von Formstäben, die seitlich in den Fließkanal eingeführt werden, oder Kopfleisten, welche vor den Austrittsspalt geschraubt werden, die Arbeitsbreite des

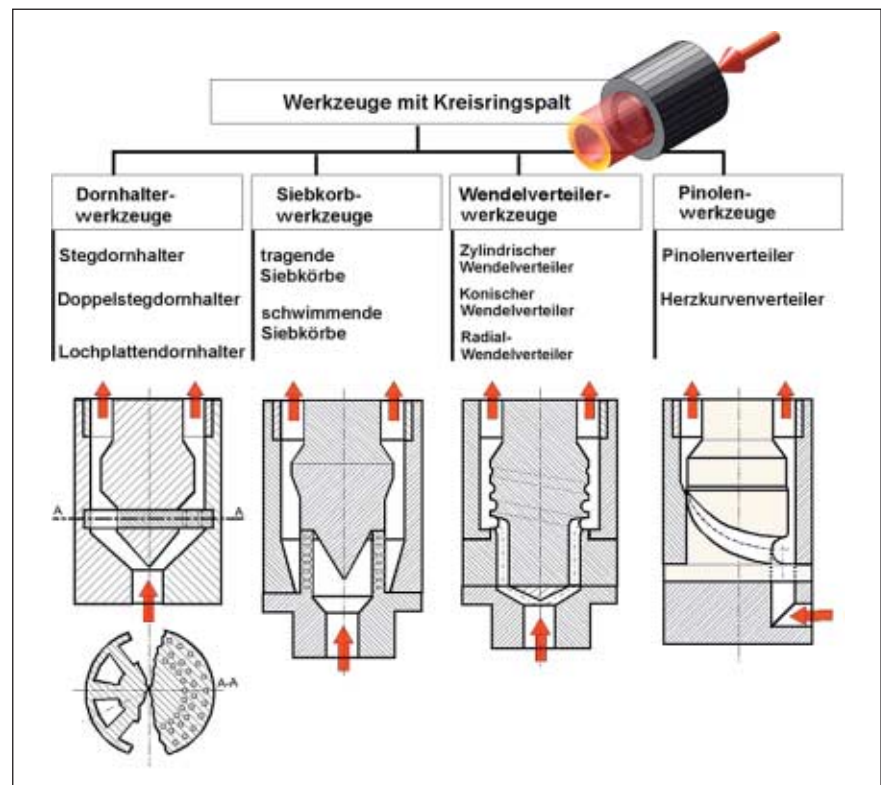


Bild 5. Unterteilung der Werkzeuge mit Kreisringspalt

Werkzeugs verringert. Bei der Extrusion von Mono- und Mehrschichtprodukten und vor allem bei der Beschichtung werden diese Systeme mit Erfolg eingesetzt. Die Beheizung der Düsenkörper erfolgt in der Regel durch elektrische Heizpatronen und Heizplatten. Die Düsenaußenflächen werden immer häufiger isoliert bzw. vollständig gekapselt, um Wärmeverluste zu vermeiden.

Was die Werkzeuginnovationen angeht, wird an diesem Werkzeugtyp in vielerlei Hinsicht gearbeitet. Zum Beispiel werden am Institut für Kunststofftechnik der Universität Paderborn scale-up/scale-down Regeln entwickelt, die es ermöglichen, mit Hilfe einfacher Gleichungen Breitschlitzwerkzeuge neu auszulegen. Die Gleichungen werden auf Basis der Kleiderbügelverteilergeometrie entwickelt. Ist ein Breitschlitzwerkzeug mit guter Schmelzeverteilung vorhanden, so wird es ermöglicht, dieses Werkzeug bezüglich der Austrittsspaltbreite wie auch der Austrittspalthöhe auf eine neue Dimension hin auszulegen. Des Weiteren ist ein Wechsel des zu verarbeitenden Kunststoffes möglich, in dem eine Variation des Fließexponenten n in den Übertragungsregeln berücksichtigt wird. Im Allgemeinen werden für die Auslegung dieses Werkzeugtyps Netzwerkmethoden und numerische Strömungssimulationen genutzt. Die Auslegungen arbeiten hierbei gleichzeitig in zweierlei Richtungen. Einerseits geht es um die Qualitätsverbesserung durch Strömungsoptimierung und andererseits um die Realisierung einer möglichst kompakten Werkzeugbauform. Entwicklungen bei der Coextrusion sind in den meisten Fällen durch den gesteigerten Bedarf an Funktionsumfängen bei Verpackungsfolien initiiert und führen zu neuen Feedblocksystemen mit angepasstem Breitschlitzverteiler, um die Schichtverteilung bis zum Austritt stabil zu halten.

Werkzeuge mit Kreisringquerschnitt

Werkzeuge mit kreisringspaltförmigem Austrittsquerschnitt dienen sowohl zur Extrusion von Rohren, Schläuchen, Schlauchfolien, schlauchförmigen Vorformlingen als auch zur Ummantelung von Rohren und Kabeln.

Zur Herstellung von Halbzeugen mit nahtlosem Kreisringquerschnitt werden hauptsächlich die in Bild 5 gezeigten vier Werkzeugtypen eingesetzt. Diesen gemein ist die Art der Schmelzeverteilung. Sie wird durch die jeweils typbedingten Fließkanal-

strukturen statisch hervorgerufen, d. h. die Schmelze wird durch einen Vorverteiler gepresst und über einen oder mehrere Verteilersysteme ausgebreitet. Ganz entgegen dieser klassischen Art der statischen Schmelzeverteilung wird an der Universität Paderborn an der Erprobung und Weiterentwicklung eines neuartigen dynamischen Werkzeugkonzeptes für die Extrusion von Folien und Rohren gearbeitet.

Die Verteilung der Schmelze geschieht bei dem in Bild 6 schematisch dargestellten Werkzeugtyp mit Hilfe einer nur durch Schmelzanströmung zur Rotation gebrachten Verteilergeometrie, welche das Herzstück dieses dynamischen Schmelzeverteilers bildet.

Bei der Extrusion von Rohren und Schläuchen kommen vornehmlich längs angeströmte, also aus dem Zentrum gespeiste Werkzeuge zum Einsatz. Für die Herstellung von Schlauchfolien, verstärkten Schläuchen, Vorformlingen beim Blasformen und bei der Ummantelung müssen die Werkzeuge – produktionsbedingt – meist unter einem Winkel von 90° angeströmt werden. Bei der Konstruktion von Coextrusionswerkzeugen werden auch häufig Kombinationen der verschiedenen Werkzeugtypen und Anströmrichtungen realisiert.

Unabhängig von der Bauform müssen an die Grundwerkzeuge – direkt oder über austauschbare Zwischenteile – Düsen-

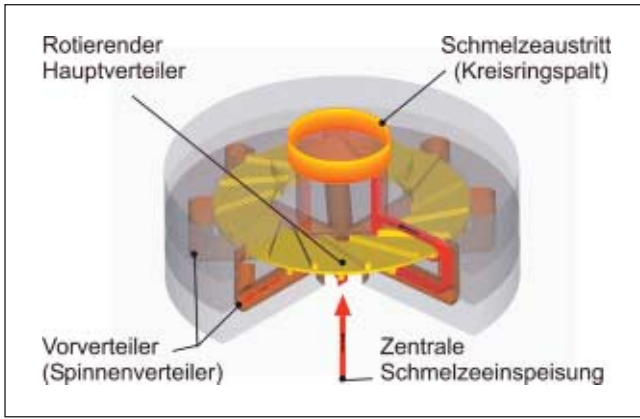


Bild 6. Werkzeugschema des Rotationsverteilers mit Strömungsbetrachtung am Verteilelement (Quelle: Institut für Kunststofftechnik Paderborn)

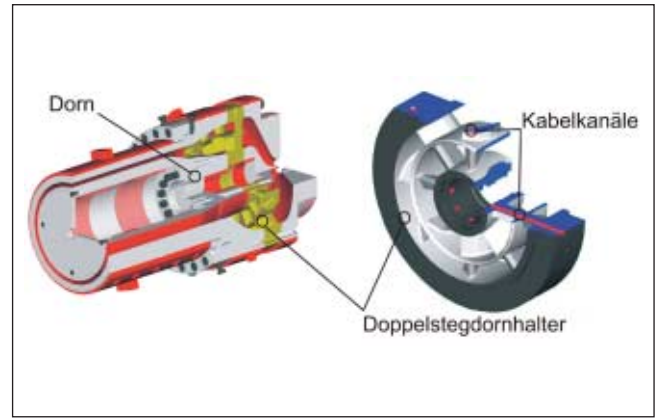


Bild 7. Skizze eines Dornhalterwerkzeugs mit Doppelstegdornhalter (Quelle: Battenfeld Extrusionstechnik)

einheiten angeschlossen werden, deren Fließkanäle die Schmelzen zusammenführen, stabilisieren und auf den Austrittsquerschnitt hinführen. Die Gestaltung dieser Fließkanalbereiche ist sehr stark produkt- und materialabhängig und lässt nur bedingt Standards erkennen. So ist beispielsweise bei der Produktion von PVC-Rohren mit Stegdornwerkzeugen eine Kompression auf kleinere Austrittsquerschnitte unerlässlich, um die Produktqualität garantieren zu können. Bei der Rohrextrusion und der Produktion von Schläuchen für das Blasformen erfolgt in den meisten Fällen eine Verkleinerung der Durchmesser. Übliche Verhältnisse reichen hier von 2:1 bis 6,5:1. Hingegen wird bei Schlauchfolienwerkzeugen und Werkzeugen für Großrohre mit der Vergrößerung in Richtung Austrittsspalt gearbeitet. Das „Aufziehverhältnis“ reicht bis 1:2,5. In jedem Fall sollte im Düsenbereich auf eine stetig beschleunigte Strömung geachtet werden.

Den Abschluss des Düsenbereichs bildet eine Parallelzone, die in vielen Fällen bezüglich der Spaltweite und der Zentrierung verstellbar ist. Erst seit wenigen Jahren hat sich auch die so genannte

Flexringtechnologie im Bereich der Rohr- und Blasfolienwerkzeuge etabliert, mit der eine noch exaktere Justierung des Düsenpaltes – und damit der Dickentoleranzen – möglich ist. Dabei wird in den massiven Werkzeugaußenring eine im Mundstückbereich flexible Hülse eingeschoben. Für die Verstellmöglichkeit werden Stellschrauben – gleichmäßig über dem Umfang verteilt – im Außenring integriert. Mit diesen ist die reversible Deformation der flexiblen Hülse durchführbar und folglich der Fließwiderstand des Ringspaltes lokal sehr gezielt einstellbar [3].

Das Verhältnis der Düsenmundstücklänge zum Austrittsspalt ist abhängig vom verarbeiteten Werkstoff und reicht bei Rohrwerkzeugen von ca. 2:1 bis 30:1.

Dornhalterwerkzeuge

Hauptanwendungsgebiet dieses Werkzeugtyps liegt in der Extrusion von Rohren und Vorformlingen. Die mengenmäßig wichtigsten Kunststoffe sind hierbei das Polyvinylchlorid (PVC), die Polyolefine (z. B. PE-HD) und Polyamide (PA). Generell ist dieser Werkzeugtyp unkritisch bzgl. der Verweilzeitverteilung und dem benötigten Druckverbrauch.

Der Verdrängerkörper bzw. Dorn wird durch den Dornhalter im Werkzeug fixiert, so dass die zentral eingespeiste Schmelze an diesem Dorn in einen Kreisringstrom umgeformt wird. Im weiteren Verlauf des Werkzeugs umströmt die Schmelze die Dornhalterstege und wird so in mehrere Teilströme aufgeteilt. Anstatt der Stege kann auch eine Lochplatte eingesetzt werden. Wegen der Aufteilung des Schmelzestroms an den Stegen ist eine nachfolgende Kompressionszone unerlässlich, um Fließnähte und Markierungen zu unterdrücken. Für höhere Durchsätze und zur Verbesserung der mechanischen Produkteigenschaften im Stegbereich kommt in jüngster Zeit immer häufiger der Doppelstegdornhalter zum Einsatz. Bei dieser Konstruktion sind zwei Stegreihen versetzt zueinander über dem Umfang angeordnet. Wie in Bild 7 zu sehen, stützt ein Tragrings die Stegreihen gegeneinander ab. Ein wesentlicher Vorteil dieser Konstruktion besteht in der nicht durchgehenden Schmelzaufteilung, so dass die mechanischen Eigenschaften des extrudierten Halbzeugs wesentlich verbessert werden können [4].

Der nach dem Stegdornbereich durchströmte Querschnitt bis zum Erreichen des Mundstückanschlusses sollte nach Möglichkeit nicht divergieren, um Totzonen und Ablagerungen zu vermeiden. Üblicherweise wird die Düsenzone – bis zur Mündung in die Parallelführung – einer steten Kompression unterzogen. Bei der Verarbeitung von PVC wird mit Querschnittskompressionen von bis zu 50:1 gearbeitet.

Siebkorbwerkzeuge

Siebkorbwerkzeuge sind sehr vielseitig eingesetzt, jedoch am häufigsten in Liniensystemen zur Extrusion von Rohren und bei der Ummantelung eingebaut.

Bild 8. 3-Schicht Extrusionswerkzeug mit schwimmendem Siebkorbinsatz (Mittelschicht) für die Herstellung von PP-Schaumkernrohren

(Quelle: Battenfeld Extrusionstechnik)

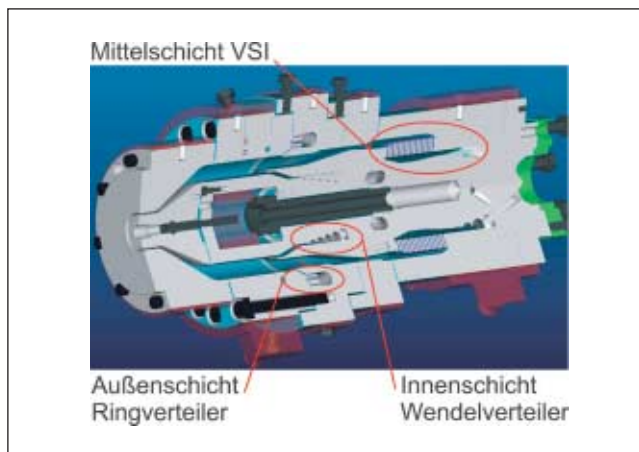




Bild 9. Wendelverteilerbauformen; links: Dorn mit Kleiderbügelvorverteiler, Mitte: Dorn mit Sternvorverteiler (Quelle: ETA); rechts: Werkzeug für Rohre mit Durchmessern bis 2000 mm

(Quelle: Reifenhäuser)

Wie der Werkzeugname schon ankündigt, wird der Verdrängerdorn nicht durch Stege, sondern durch einen Siebkorb fixiert. In diesem Fall spricht man auch von tragenden Siebkörben. Dient der Siebkorb ausschließlich verfahrenstechnischen Aufgaben, handelt es sich um ein schwimmendes System. Der Siebkorb an sich ist ein rohrförmiger, mit sehr vielen Bohrungen (Durchmesser 1–3 mm) quasi perforierter Körper, der die Schmelze in viele Teilströme aufteilt. Wie der Darstellung aus Bild 8 zu entnehmen ist, wird durch die horizontale, schwimmende

und damit einfacher in der Handhabung werden. Aufgrund der Werkzeugkonzeption, d. h. mit nur einem kurzen, aber starken Druckverbraucher – dem Siebkorb – zu arbeiten, weist dieser Werkzeugtyp auch nur relativ geringe Gesamtdruckverluste auf. Seit kurzer Zeit sind auch Siebkorbwerkzeuge am Markt erhältlich, die mit einer Kombination aus Verwischgewinde – für die Vorverteilung – und nachfolgendem Siebkorb arbeiten (Mittelschicht Bild 8).

Wendelverteilerwerkzeuge

Wendelverteiler werden bei der Extrusion von Rohren, Blasfolien, Blasformschläuchen und in der Ummantelung eingesetzt. Beim konventionellen Wendelverteilerwerkzeug wird jede einzelne Wendel vom Vorverteiler – dem so genannten Sternverteiler – mit Schmelze versorgt. Bedingt durch diese Vorverteilerbauform ist es nicht möglich, beliebig viele Hauptverteiler konzentrisch anzuordnen, da sich die Vorverteiler sonst zu stark gegenseitig beeinflussen (thermisch) oder der Bauraum einfach nicht mehr ausreicht. Mehr als 5 Schichten in klassischer Bauform werden kaum angeboten. Um diese Restriktion zu umgehen, haben die Werkzeugbauer in den vergangenen Jahren verstärkt an der Entwick-

lung der Vorverteiler gearbeitet. Heute sind Ausführungen mit Mehrfachvorverzweigungen und einer oder mehrerer Pinolenvorverteiler zur Anströmung des eigentlichen Wendelverteilers Standard. Für Werkzeuge mit geringer Bautiefe und seitlicher Einspeisung – um Freiraum im Zentrum zu schaffen – werden auch Ringkanalvorverteiler angeboten, die wiederum jeden Wendelkanal mit Schmelze versorgen. Diesen Primär- bzw. Vorverteilern schließen sich die wendelförmigen Kanäle an, die in den Dorn eingearbeitet sind und diesen in Form eines Mehrfachgewindes umlaufen. Hierbei nimmt die Kanaltiefe ständig ab, wobei sich der Leckspalt zwischen Dorn und äußerem Werkzeugteil, dem Werkzeugmantel, stetig vergrößert. Die Ausführungen reichen von sehr vielen Wendeln mit geringer Kanaltiefe und Breite bei großem Steigungswinkel der Wendeln bis hin zur Ausführung mit wenigen Wendeln bei großem Kanalquerschnitt und flachem Steigungswinkel (Bild 9).

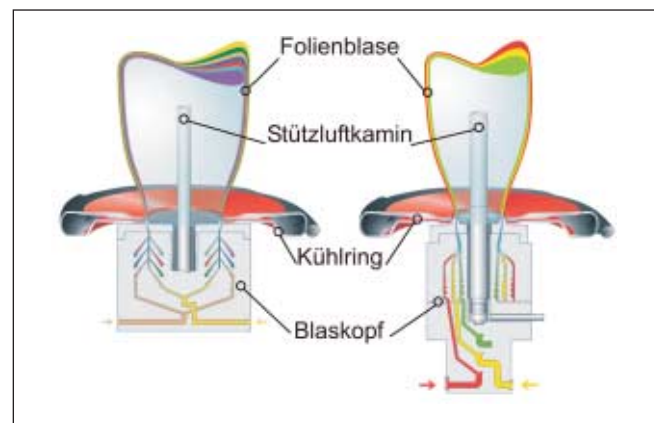
Dass die Werkzeug- und Maschinenhersteller die Anzahl der Freiheitsgrade, die dieser Werkzeugtyp bietet, voll ausschöpfen, zeigt sich in der Vielfalt der am Markt befindlichen Werkzeuge. Neben der zylindrischen Variante werden auch „radiale“ oder „konische“ Wendelverteiler

Siebkorbanordnung der Schmelzestrom zweimal um 90° umgelenkt.

Nach der zweiten Umlenkung durchläuft die Schmelze eine so genannte „Kompressionszone, in der die Schmelzestränge der einzelnen Bohrungen wieder miteinander „verschweißt“ werden. Hinter der Kompressionszone folgt der Relaxationsraum (bzw. die Beruhigungszone). Innerhalb dieser großvolumigen Parallelführung wird der Schmelzestrom beruhigt, um stabilisiert in die Düsenzone zu strömen. Siebkorbwerkzeuge werden u. a. bei der Extrusion von PE-HD, PE-LD, PP, ABS und PS eingesetzt. Im Vergleich zu Dornhalterwerkzeugen bauen Siebkorbwerkzeuge erheblich kompakter, wodurch sie leichter

Bild 10. Links: Konischer Wendelverteiler Maxicone-Blaskopf Vorex; rechts: Drei-Schicht-Blaskopf Vorex mit Sternvorverteiler (Quelle: Windmüller & Hölcher KG)

(Quelle: Windmüller & Hölcher KG)



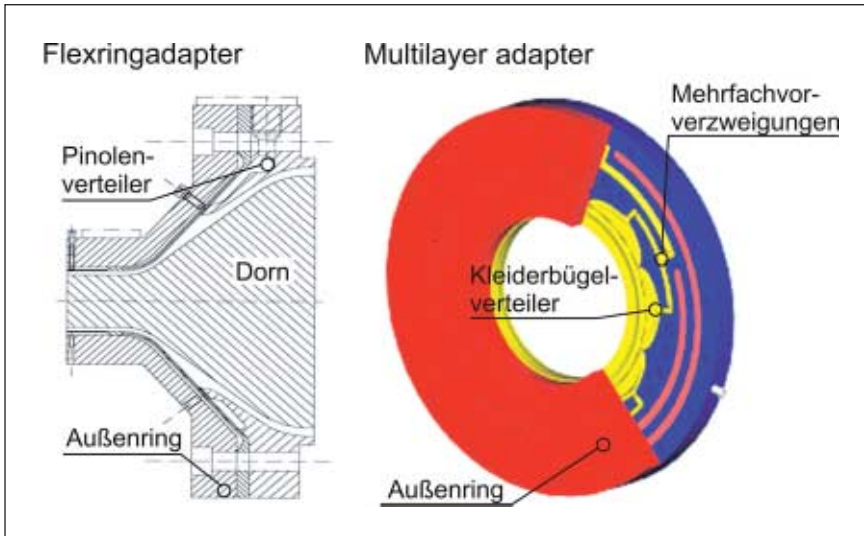


Bild 11. Flexringadapter mit Pinolenverteiler für die Außenschicht (links) (Quelle: Heinz Groß); **Multilayer adapter (rechts)** (Quelle: Krauss Maffei)

ler mit vorgeschaltetem Vorverzweigungssystem und seitlicher Schmelzeinspeisung, besonders für die Coextrusion von Blasfolien, angeboten [5]. Bei diesen Bauformen verlaufen die Wendeln nicht entlang eines zylindrischen Dorns, sondern sind in einen Konus oder eine ebene Werkzeugplatte eingearbeitet. Aufgrund der flachen Bauform können auch mehrere dieser Wendelebenen übereinander angeordnet werden. Der Radialwendelverteiler verdankt diesem Aufbau auch die Bezeichnung „stack die“ oder auch „pancake die“.

Bei konischen Wendelverteilern wird die Schmelze ebenfalls seitlich eingespeist, so dass z. B. Stütz- bzw. Kühlluft bei Blasköpfen zentral durchgeführt werden kann. Der in Bild 10 dargestellte Blaskopf für 5 bis 7 Schichten hat sich für breit liegende Mehrschichtverbunde bis etwa 2200 mm dfl (Liegenbreite des flachgelegten Folienschlauchs) in der Praxis bewährt. Das patentierte konische Verteilersystem ermöglicht eine äußerst kompakte Bauweise. Dies führt durch den geringen Druckverlust zu hohen Maschinenleistungen bei optimaler Folientoleranz. Die konische Ausführung kombiniert den Vorteil des Radialverteilers bzgl. der hohen Flexibilität bei der Schichtanzahl, ohne dessen Dichtigkeitsprobleme bei zu großen Werkzeugaufbiegungen zu bekommen.

Pinolenwerkzeuge

Der Werkzeugtyp des Pinolenverteilers kommt sowohl bei der Extrusion von Rohren, Blasformschläuchen und in der Ummantelung zum Einsatz. Pinolenwerkzeuge werden häufig unter einem Winkel von 90° vom Extruder mit Schmelze versorgt. Die radial zugeführte

Schmelze wird über einen Verteilerkanal, der in den Pinolendorn eingebracht ist, in eine Axialströmung umgewandelt. Ein derartiges Umströmen der Pinole kann mindestens eine, bei mehreren Verteilern entsprechend vielfache, charakteristische Fließmarkierung hervorrufen.

Grundsätzlich existieren zwei verschiedene Fließkanalausführungen, die für die Schmelzeverteilung innerhalb der Pinole sorgen. Zum einen die klassische Ausführung des Kleiderbügels – wickelt man den Kegelstumpf ab, so ergibt sich ein dem Kleiderbügelverteiler ähnlicher Verlauf – und zum anderen die Herzkurvenform. Hier befindet sich auf dem Dorn ein herzförmiger Verdrängerkörper, um den die zugeführte Schmelze strömt. Der Verdrängerkörper ist so gestaltet, dass möglichst gleich lange Fließwege entstehen. Durch das Aufteilen und anschließende Wiedervereinen der Schmelzeströme entstehen zwei Fließnähte, die zu einer mechanischen Schwächung des Halbzeugs führen können [6].

Das Know-how der Konstrukteure und Verfahrenstechniker besteht vor allem darin, die geometrische Gestaltung des

Verteilerkanals bzw. Verdrängers so vorzunehmen, dass am Austritt eine gleichmäßige Strömungsgeschwindigkeit vorherrscht.

Ein großer Vorteil dieses Verteilertyps liegt in der Möglichkeit, eine platzsparende und funktionale Nachrüstung bestehender Werkzeuge durchzuführen.

Die Integration einer konischen Pinole im Düsenbereich oder oberhalb des Hauptverteilers findet vielfache Anwendung. Seit kurzem werden auch so genannte „multilayer adapter“ angeboten, die für die Extrusion einer oder mehrerer Schmelzeaußenschichten dienen (Bild 11). Die Integration dieser Adapter mit mehrfach Kleiderbügelform erfolgt zwischen Hauptverteiler und Düsenzone.

Werkzeuge mit Profilquerschnitt

Eine grobe Einteilung der durch Extrusion herstellbaren Kunststoffprofile kann in Vollstabprofil, offenes Profil und Hohlprofil erfolgen. Der mengenmäßig wichtigste Kunststoff in der Profilherstellung ist nach wie vor das Polyvinylchlorid (PVC). PVC-Profile werden für die Herstellung von Fenster- und Türrahmen, Rollläden, Kabelkanälen, Verkleidungen und anderer Halbzeuge aus dem Bausektor eingesetzt. Andere Materialien, wie z. B. ABS, PS, PP, PE und PMMA, finden in der Möbel-, Fahrzeug- oder Elektroindustrie Verwendung.

In der Profildüse wird die Schmelze vorgeformt, während in der anschließenden Kalibrierstrecke die Endkontur bei gleichzeitiger Abkühlung erzeugt wird. Die Abstimmung zwischen Düse und Kalibrierung ist – wie bei keinem anderen der bislang vorgestellten Werkzeuge – von entscheidender Bedeutung für einen stabilen Ausformprozess der Schmelze und damit für die Maß- und Formhaltigkeit des Profils.

Die simpelste Form des Profilwerkzeugs besteht aus einem einfachen Fließ-

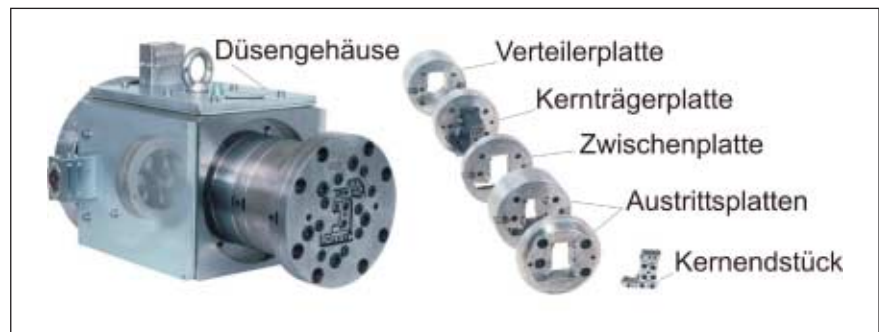


Bild 12. Hohlkammerwerkzeug für ein Rahmenprofil (Quelle: Gruber & Co Extrusionstechnik)

kanal, auf dessen Ende eine Blende aufgesetzt ist, welche die Kontur des gewünschten Profils besitzt. Diese Bauform, mit angepasstem Blendeneinlauf, wird gern in Querspritzköpfen bei der Gummiprofilherstellung (Ummantelung) eingesetzt.

Strömungstechnisch günstiger sind die Stufenwerkzeuge, die aus mehreren hintereinander angeordneten Platten bestehen. In jede Platte sind Konturen eingebracht, die vom Anströmbereich aus gesehen immer mehr die Umriss des Profils annehmen. Die Übergänge der Platten besitzen Schrägen oder strömungsgünstige Ausnehmungen, so dass keine Totzonen entstehen. Der Stufenaufbau verhindert weitgehend die unerwünschten Totwassergebiete, führt jedoch zu deutlich höheren Werkzeugkosten als bei einem Blendenwerkzeug. Stufenwerkzeuge besitzen keine Verdrängerkörper.



Im Profil

Der Grundstein für das Unternehmen wurde Anfang 2002 gelegt, um dann im Jahr 2003 die **3 Pi Consulting & Management GmbH** zu gründen. Das Team von 3Pi versteht sich als strukturierter, grundlagenorientierter Dienstleister rund um das Engineering in der Kunststofftechnik. Hierbei stehen vor allem die Prozessoptimierung, -entwicklung und die Produktanalyse im Vordergrund. Diese Leistungen werden innerhalb der Fügetechnologie, der Spritzgießverfahren, der Extrusionstechnik und des Qualitätsmanagement angeboten.
www.3-pi.de

Werkzeuge für Hohlprofile sind immer mit einem Verdrängerkörper ausgestattet. Dieser Profilwerkzeugtyp besteht aus mehreren zusammengesetzten und verstifteten Platten, deren Aussparungen die sich ändernde Außenkontur des Extrudatstrangs beschreibt. Das Innenleben wird durch einen von Stegen gehaltenen Verdrängerkörper (auch Dorn oder Torpedo genannt) gebildet, der die Aufteilung des ankommenden Schmelzestroms bewirkt und die Hohlkammern ausformt. Die Platten bilden die einzelnen Funktionszonen des Werkzeugs. Die Zonen werden in Zulauf, Verteiler, Kompression und Parallelzone unterteilt (Bild 12).

Ein weiteres Konzept zur Herstellung von Hohlprofilen ist das Scheibenwerkzeug. Der segmentweise Aufbau (Scheiben) und die Gestaltung des Fließkanals gleichen dem oben beschriebenen Werk-

zeug. Der Unterschied liegt in der Gestaltung des Verdrängerkörpers. Er ist ebenfalls in Segmente aufgeteilt und wird in jeder Scheibe von Stegen gehalten [4].

Diese Werkzeugklasse ist durch seinen Fließkanalaufbau extrem komplex und strömungstechnisch nur mit Hilfe von CFD-Programmen zu beschreiben. Eingeschränkt werden die Möglichkeiten, die die Simulationsprogramme für die Auslegung bieten, jedoch durch die rheologisch schwer zu charakterisierenden Materialien, wie z. B. PVC und Kautschuksysteme, die verarbeitet werden.

Fazit

Neue Trends und Technologien im Bereich der Extrusionswerkzeuge sind rar gesät, aber dennoch zu finden, wenn auch einige Extrusionssparten freizügiger mit der Vergabe an Informationen sind als andere. Zumindest scheint Deutschland – bekanntermaßen Exportweltmeister – auch bei der Werkzeugentwicklung eine Schlüsselrolle einzunehmen. Trends und Neuentwicklungen sollten sich möglichst aus Marktentwicklungen ableiten lassen. Auch wenn dies, nach Aussagen der Maschinen- und Werkzeughersteller, nur schwer möglich ist, so spiegeln deren Neuentwicklungen doch viele Ansprüche der Verarbeiter wider. Zu nennen sind hier vor allem die Notwendigkeiten, kleinere Losgrößen zu produzieren, viele Neuentwicklungen mitzutragen (sowohl produkt- als auch materialseitig) und den kritischeren Qualitätsanforderungen gerecht zu werden.

So bieten z. B. zwei deutsche Maschinenhersteller und deren Kooperationspartner neuerdings Rohrlinienkonzepte an, die einen kontinuierlichen Dimensionswechsel ohne Stopp der Anlage ermöglichen. Hierzu wurde auch das Extrusionswerkzeug in der Weise modifiziert, dass es, ähnlich wie bei Blasformwerkzeugen, einen verstellbaren Austrittsspalt aufweist. So ist neben dem Außendurchmesser auch die Wanddicke in gewissen Grenzen variabel. Um Instabilitäten zu vermeiden und gleichzeitig Ablagerungen zu reduzieren, ist es hierbei wichtig, eine definierte und gleichbleibende Abrisskante – also der Übergang von Wandhaftung zur Blockströmung – vom Dorn bzw. von der Düse zu erzeugen. Hierzu werden spezielle Formen und Oberflächen am Ende der Düsenzzone angeboten [7].

Die wirtschaftlichen Vorgaben, Rohstoffe einzusparen führen in einigen Bereichen dazu, höherwertige Materia- ►

lien einzusetzen oder auf verstärkte Mischungen und Blends auszuweichen, um gleiche mechanische Eigenschaften bei geringerem Rohstoffeinsatz zu garantieren [5]. Der andere Weg, diese Vorgaben zu erfüllen, wird über den Einsatz günstiger Materialien, wie z. B. Rezyklate oder gefüllte Kunststoffe (z. B. mit Mineral- oder Zellstoffen) beschritten. Neben der Verarbeitung entsprechender fertiger Compounds kommt hier auch die Direktextrusion aus dem Compounder in die Mittelschicht zur Anwendung.

Eine dritte Möglichkeit bietet die Extrusion von geschäumten Innenschichten bei der Rohr- und Plattenproduktion. Auch diese Variante findet man nach Auskunft der Maschinenhersteller bei der Verarbeitung von PVC und Polyolefinen. Den meisten dieser Vorgaben wird mit der Entwicklung von produktspezifischen Mehrschichtwerkzeugen Rechnung getragen.

Besonders aus den zuletzt benannten Informationen hinsichtlich der Materialvarianten, aber auch aus qualitativen Gesichtspunkten sind die Werkzeughersteller bemüht, die mit Schmelzeschichten in Berührung kommenden Oberflächen zu optimieren. Momentan werden vor allem PVD-Beschichtung (engl.: Physical Vapour Deposition) eingesetzt, deren Vorteile in der Vielfalt der auftragbaren Materialien und den niedrigen Beschichtungstemperaturen von 200–500°C liegen. Als Beschichtungswerkstoffe kommen TiN, TiCN, TiAlN, TiAlN/C und CRN zum Einsatz.

Aufgrund der Vielfalt an Varianten arbeiten mittlerweile sehr viele Werkzeug- und Maschinenhersteller mit Hilfe von rechnergestützten Auslegungsmethoden. Darüber hinaus haben die Erfahrungen hinsichtlich zulässiger Verweilzeiten und Schmelzebelastungen einen ebenso wichtigen Anteil an der Auslegung. Aber auch mechanische Kenngrößen und produktionstechnische Anforderungen haben neben dem fertigungstechnischen Know-how einen entscheidenden Einfluss auf das Werkzeugkonzept.

Wie eingangs schon angedeutet, ist das Extrusionswerkzeug ein Teil innerhalb eines Linienkonzeptes und muss damit auch den Anforderungen des „Handling“ genügen. Diesen Anforderungen kann die Konstruktion und Verfahrenstechnik insofern Rechnung tragen, als sie bei der Gestaltung des Werkzeugkonzeptes z. B. Schnell-Wechselvorrichtungen für Werkzeugdüsen integriert, Sondereinrichtungen für schnelle Rohstoffwechsel vorsieht, mögliche Wechselwirkungen mit der

Umgebung berücksichtigt und auch den schnellen Werkzeugwechsel einplant. ■

DANK

3Pi bedankt sich für die freundliche Unterstützung und Bereitstellung von Informationsmaterial bei den Industriepartnern.

LITERATUR

- 1 Schwetz, M.: Untersuchungen zu Düsenströmungen von Polyolefinschmelzen mit der Laser-Doppeler-Anemometrie, Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg 2002
- 2 N.N.: Polyethylen-Folien – Verarbeitung und Anwendung – Informationsmaterial der Firma Basell Polyolefins, www.basell.com
- 3 Groß, H.: Auslegung von Rohr- und Profilwerkzeugen, Seminar am SKZ, Würzburg, 2004
- 4 Greif, H.; Limper, A. et.al.: Technologie der Extrusion, Carl Hanser Verlag München, Wien 2004
- 5 Burmann, G.: Informationsmaterial der Firma ETA Kunststofftechnologie
- 6 Michaeli, W.: Extrusionswerkzeuge für Kunststoffe und Kautschuk, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag München, Wien 1991
- 7 Stieglitz, H.: Flexible Fertigung von Mehrschichtrohren, Kunststoffe 94 (2004) 4, S. 82–84

DER AUTOR

DIPL.-ING STEFAN SEIBEL, geb. 1968, ist Geschäftsführer der 3 Pi Consulting & Management GmbH, Paderborn; seibel@3-pi.de

SUMMARY PLAST EUROPE

Variety by the Meter

EXTRUSION DIES. Production of high-quality semi-finished plastic goods requires product-specific extrusion lines that incorporate a number of critical processing operations. Regardless of where the extrusion die is located in this sequence of important components, there is no doubt that it is ultimately responsible for the shape of the product. It is this responsibility that results in the variety of products that can be produced via extrusion.

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103445** on our website at www.kunststoffe.de/pe