

Georg Burmann, Peter Fischer und Johannes Wortberg

# Schmelzefluss im Circularverteiler

Extrusionswerkzeuge



ETA Kunststofftechnologie GmbH  
Biberweg 4  
53842 Troisdorf / Deutschland  
Tel. +49 2241 / 949707  
Fax +49 2241 / 949709  
E-Mail [mail@eta-gmbh.de](mailto:mail@eta-gmbh.de)  
[www.eta-gmbh.de](http://www.eta-gmbh.de)

Sonderdruck



Spezialwerkzeug mit  
inversem Circularverteiler

# Schmelzefluss im Circularverteiler

**Extrusionswerkzeuge.** Die Circularverteilterchnik ermöglicht ein modulares Baukastensystem für coextrudierte Rohre und Schläuche. Schneller Materialwechsel und produktspezifische Anpassungsmöglichkeiten erschließen ein breites Anwendungsspektrum.

**GEORG BURMANN  
PETER FISCHER  
JOHANNES WORTBERG**

**W**endel- oder Spiralverteiler?“ So lautete 2006 bei Extrusionswerkzeugen für kleine Rohre, Schläuche, Blasfolien und geblasene Hohlkörper die Frage [1]. Heute ist festzustellen, dass sich die Systeme durchgesetzt haben, bei denen die Verteilung der Schmelze bzw. der verschiedenen Schmelzen bei Mehrschichtwerkzeugen in einer Ebene stattfindet – nicht nur für Spezialanwendungen. Circularverteiler (CV), auch Spiralverteiler oder Radialwendelverteiler genannt, gehören zum Stand der Technik. Das gilt insbesondere für die Herstellung von medienführenden Leitungen in Automobilen und anderen Fahrzeugen, in

der Medizintechnik, in Hydraulik und Pneumatik, auch für Fußbodenheizungsrohre u. Ä. auf Basis von PE-HD und PP sowie für die Herstellung von Sperrschichtfolien, Medizinfolien oder mehrlagigen Blasformartikeln.

## Bauartmerkmale

Wie die „klassischen“ Axialwendelverteiler in zylindrischer oder konischer Bauform zeichnen sich die flachen Radialverteiler durch gleichmäßigen Volumenstrom und dadurch ausgezeichnete (Schicht-)Dickenverteilung sowie das Fehlen von Bindenähten und anderen Schwachstellen aus. Die Circularverteilterchnik bietet ideale Voraussetzungen für ein modulares Baukastensystem. Einspeisung sowie Vorverteilung und Rundumverteilung der Schmelze werden in einem Block (Modul) vorgenommen, der aus wenigen runden Scheiben besteht. Für die

Herstellung mehrlagiger Produkte können mehrere (bzw. beliebig viele) Module aufeinander „gestapelt“ werden (engl. ‚stack die‘). Die Teile der einzelnen Module sind untereinander gleich oder weitgehend gleich. Zur Begrenzung des Ringspaltraums für die Schmelze ist im Zentrum eine Pinole angeordnet, die mit einer Kernbohrung zum Durchleiten von Luft oder einem anderen (Kühl-)Medium versehen werden kann (**Bild 1**). Optional kann diese Pinole zur Vergrößerung der Verarbeitungsbandbreite hinsichtlich Schichtstrukturen und Materialien mit

## **i** Kontakt

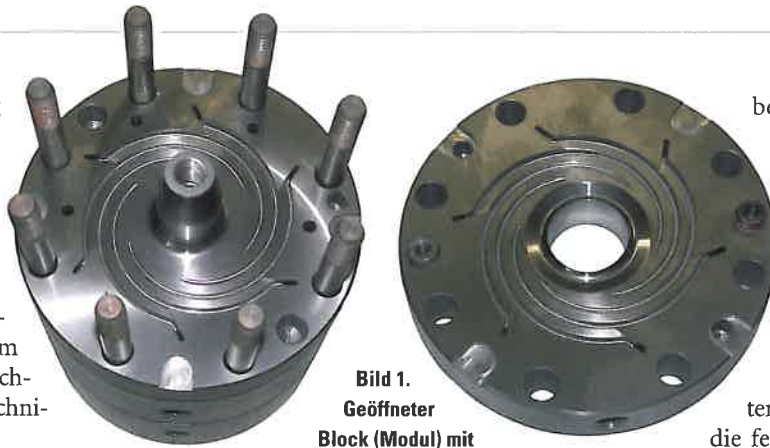
**ETA Kunststofftechnologie GmbH**  
D-53842 Troisdorf  
TEL +49 2241 949707  
→ [www.eta-gmbh.de](http://www.eta-gmbh.de)

**ARTIKEL ALS PDF** unter [www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de)  
Dokumenten-Nummer KU110505

einer Innenheizung ausgestattet werden.

Außer diesen Vorzügen – gute Umfangersverteilung, keine Bindenähte, Modularität, geringe Baugröße, günstige Fertigung – bietet das System eine Reihe verfahrenstechnischer und betriebstechnischer Vorteile:

- Kurze Fließwege und geringes Schmelzevolumen, dadurch kurze Verweilzeiten sowie schnelle Material- und Farbwechsel,
  - kleine Wandschergeschwindigkeit, dadurch geringe Dissipation (Temperaturerhöhung),
  - geringe Druckverluste, dadurch hohes Durchsatzpotenzial,
  - hohe Flexibilität hinsichtlich Schichtaufbau (Dickschichten/Dünnschichten, Materialien/Schichtstrukturen) und Schichtanzahl,
  - thermische Trennung und separate Temperierung der einzelnen Module möglich,
  - einzelne Module in Sonderausführungen, z.B. für Korrosionsschutz,
  - einfache und schnelle Demontage, Reinigung und Wiedermontage,
  - Möglichkeit für Nachrüstungen.
- Aber auch die Nachteile sollten nicht verschwiegen werden:
- Grenzen bei höheren Massedurchsätzen,
  - Schmelzezusammenführung nur sequenziell (nacheinander) ausführbar, dadurch bei manchen Strukturen (Polymere mit großen Viskositätsunterschieden) ungünstig,
  - druckbelastete Flächen, dadurch hohe Anforderungen an die Fertigung und sorgfältige Verspannung der Einzelteile.



**Bild 1.**  
Geöffneter Block (Modul) mit Circularverteilung und Innenpinole

Gerade für kleinere Abmessungen der Extrusionsprodukte überwiegen jedoch die Vorteile deutlich.

### Auslegung und Konstruktion

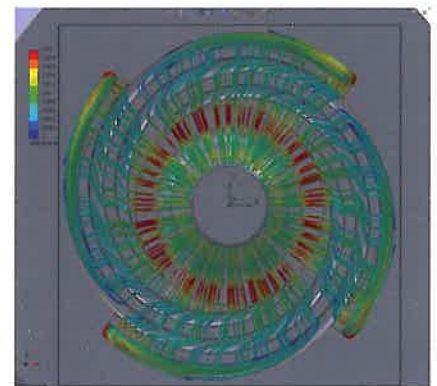
Zur Unterstützung des verfahrenstechnischen Layouts und der Konstruktion werden Strömungsanalysen (Simulationen) mit analytischen oder numerischen Modellen durchgeführt [2, 3, 4]. Zur Auslegung wird häufig die für zweidimensionale, isotherme Strömungen entwickelte Netzwerktheorie angewandt. Das Netzwerkmodell und das Arbeitsprinzip des Circularverteilers sind in **Bild 2** dargestellt.

Schon in dieser Prinzipdarstellung wird die vorteilhafte Ausführung mit ovalen Kanälen in den beiden benachbarten Kreisscheiben deutlich. Die Verteilkanäle weisen keine Kanten oder toten Ecken auf, an denen die Strömung stagnieren könnte. Durch die Überlagerung der Teilströme aus den beiden Kanalhälften beim Einströmen in den gemeinsamen Spalt ergibt sich eine feinere Struktur als bei einem einseitigen Kanal, sodass die Kanallänge reduziert werden kann, mit günstigem Einfluss auf den Druckverbrauch und die Verweilzeit. Beobachtungen aus der Praxis erhärten diesen Vorteil

bei Produktwechseln. Die Spülzeiten sind gegenüber einem Werkzeug mit Axialverteilung deutlich kürzer.

Das computerunterstützte Layout zielt auf einen geringen Druckverlust bei dem spezifizierten Massedurchsatz, gute Umfangersverteilung und kurze Materialwechselzeiten. Bei der Auslegung sind auch die fertigungstechnischen Erfordernisse und materialspezifische Grenzen zu beachten, d.h. Schergeschwindigkeiten, die einerseits für einen guten Material- oder Farbwechsel sorgen (untere Grenze) und andererseits nicht zu Überhitzungen oder unzulässig hohen Druckverlusten führen (Obergrenze).

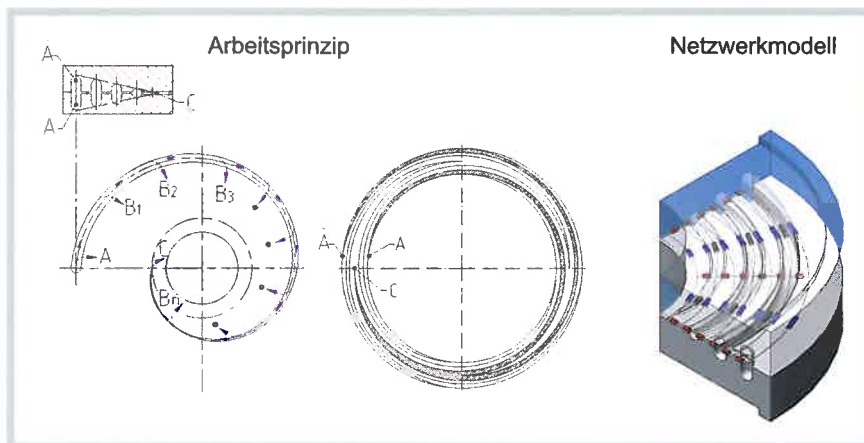
Detaillierte Betrachtungen der Strömungsfelder erlaubt die numerische 3D-CFD-Simulation mit Finite-Elemente-Modellen. Außer den schon genannten Beurteilungskriterien lassen sich andere



**Bild 3.** CFD-Strömliniendarstellung zur Bewertung von Überlappungen und Betriebspunktabhängigkeit

physikalische Daten wie Druck-, Geschwindigkeits- oder Temperaturverteilung sowie Strömungslinien und Verteilungsspektren darstellen. Aus diesen Daten kann die Betriebspunktabhängigkeit eines Werkzeugs für verschiedene Durchsätze und Materialien beurteilt werden (beispielhaft **Bild 3**).

In einigen wissenschaftlichen Arbeiten wird besonders das Problem der Aufbiegung der Werkzeuge durch den hohen Schmelzedruck untersucht [5]. Die gekoppelte Berechnung der Strömung und der Aufbiegung ist für die Modellbildung und Simulation von grundsätzlichem Interesse. Für die praktische Dimensionierung der Platten ist dieser Term jedoch vernachlässigbar. In Mehrschichtsystemen werden die zwischenliegenden Module nur von resultierenden Druckkräften der jeweils benachbarten Schichten



**Bild 2.** Arbeitsprinzip und Schichtstruktur bei einem Circularverteiler

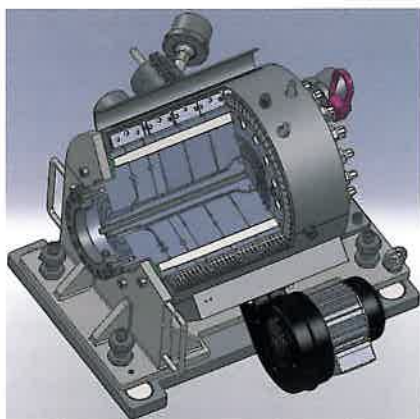
belastet. Die Druckdifferenzen sind so gering, dass die Scheiben (fertigungstechnisch günstig) dünn gestaltet werden können. Die hinteren und vorderen Module bzw. Anschlussplatten müssen aus konstruktiven Gründen massiv ausgeführt werden, sodass sich dort Aufbiegungen ergeben, die im Größenbereich der Fertigungstoleranzen liegen.

## Rohrwerkzeuge

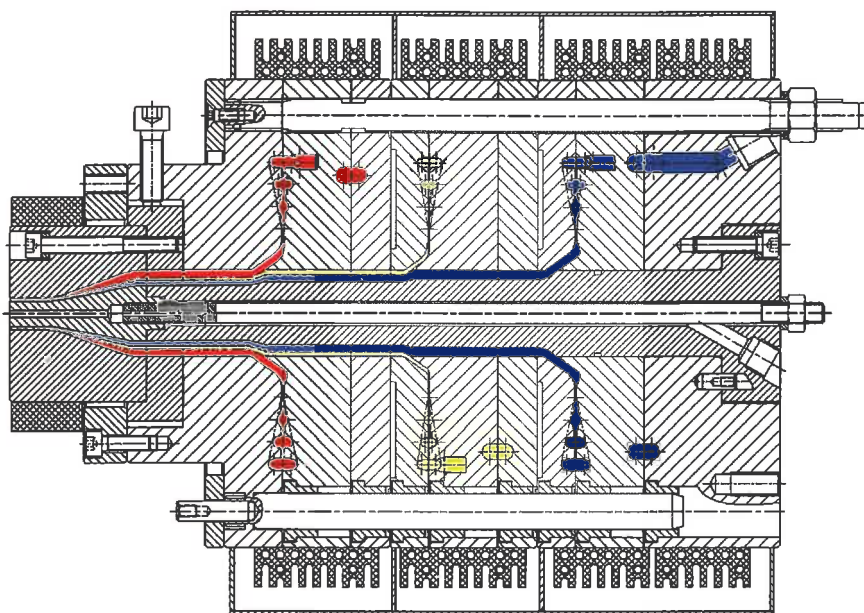
Immer dann, wenn die Anforderungen an die Massedurchsätze bei den Dickschichten in Mehrschichtverbunden nicht zu hoch gestellt werden, hat sich das CV-Prinzip bei den Werkzeugen für kleine Rohre und Schläuche durchgesetzt. Das gilt speziell für Anwendungen in der Automobilindustrie, z. B. 3- oder 5-lagige Kraftstoffleitungen auf Basis von Polyamid. Besonders geschätzt wird der modulare Aufbau, der es beispielweise ermöglicht, ein 3-Schicht-System zu einem 5-Schicht-System zu erweitern (**Bilder 4 und 5**).

In dem Längsschnitt von **Bild 4** sind als besondere Merkmale zu erkennen: die Möglichkeit der thermischen Trennung zwischen einzelnen Modulen durch Luftspalte und der Einsatz von Heiz-/Kühleinheiten zur besseren thermischen Kontrolle des Systems, d. h. eine separate polymerspezifische Temperierung auf unterschiedlichen Temperaturniveaus. Eine optional einbaubare Innenheizung kann zusätzliche Vorteile bringen.

Die Düseneinheit hat ein zweiteiliges Mundstück. Das Endteil sitzt in einer Aufspannplatte (Ring), die unter Beibehaltung ihrer zentrierten Position bei Dimensionswechseln im System verbleibt. Das neue Endteil wird in den Zentriersitz der Aufspannplatte funktionsgenau eingesetzt. Durch dieses System ergeben sich wesentlich kürzere Umstellzeiten.



**Bild 5.** 3D-Modell eines 5-Schichtwerkzeugs zum Anbau von Düsen für glatte und gewellte Rohre



**Bild 4.** Schema eines CV-Werkzeugs für 3-Schicht-Rohre mit thermischer Trennung

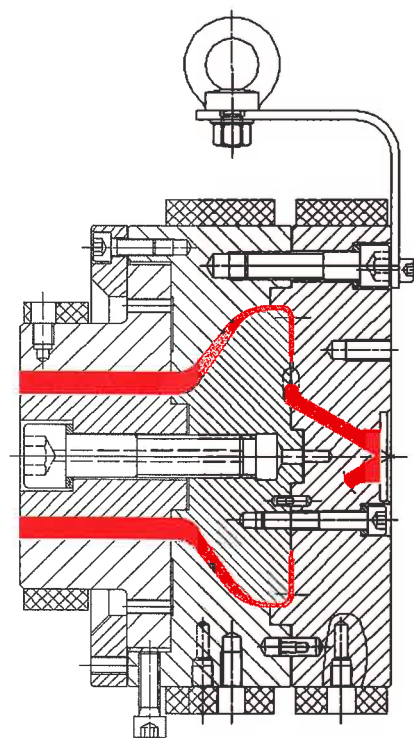
Die Heiz-/Kühleinheit hat Ketten von Keramikrippensteinen mit Heizleitern und Zugdrähten, die sich gleichmäßig an die Gehäusewand anlegen. Die Spezialkeramik mit ihrer optimierten Wärmeleitung bietet sehr gutes Betriebsverhalten im Heiz- und im Kühlbetrieb sowie gute Energieeffizienz.

Das 3D-Modell in **Bild 5** zeigt ebenfalls diese Temperiereinheiten und darüber hinaus den vollständigen Aufbau mit Anschlussadaptern für die Extruder und einer Pinolenausführung für die Innenzentrierung an Wellrohrdüsen. Mit der Innenzentrierung lässt sich der Einrichtbetrieb deutlich abkürzen. Aus dieser Darstellung ist auch anschaulich die Modularität zu erkennen und daraus die Option, durch Tausch von Modulen die Schichtstruktur im Produkt zu variieren. Im Regelfall ist dafür auch die Innenpinole zu wechseln, um entsprechend den Schichtdurchsätzen einwandfreie Strömungsverhältnisse an den Vereinigungsstellen und in den Parallelzonen zu gewährleisten.

Die Schmelzeführung erfolgt im Circularverteiler normalerweise von außen nach innen. Die Richtung kann aber auch entgegengerichtet sein, d. h. invers von innen nach außen (CVI-System). Solche Verteiler werden für besondere einschichtige Produkte eingesetzt. Ziel des CVI-Systems ist es, die Schmelze nach dem Verlassen des Extruders oder der Schmelzepumpe auf möglichst kurzem Weg ohne Ausbildung von Bindenähten in die Produktdimension zu überführen. Dazu wird die Schmelze nach einem kurzen Vorverteiler, der zum Tragen des Dorns

und zur Mediendurchführung erforderlich ist, mittels radial nach außen führender Circularkanäle verteilt (**Titelbild, Bild 6**). Danach folgt ein möglichst kurzer Fließkanal bis zum Düsenaustritt. Insgesamt bieten CVI-Werkzeuge beste Voraussetzungen für eine schonende Materialbehandlung.

An dem offenen Verteiler ist als Besonderheit ein längenvariabler Spaltbereich zwischen den Kanälen als weiterer Freiheitsgrad für Realisierung einer optima-



**Bild 6.** Schema eines Spezialwerkzeugs mit inversem Circularverteiler



**Bild 7. CV-Verteilerplatte und Einschnittwerkzeug für Mikroschläuche**

len Verteilung neben der Kanallänge, dem Kanaltiefenverlauf und der Spaltweite zu erkennen. Auch wird hier deutlich, dass die Verteilergeometrie nicht der Form einer archimedischen Spirale folgt – Grund für die hier gewählte Terminologie „Circularverteiler“.

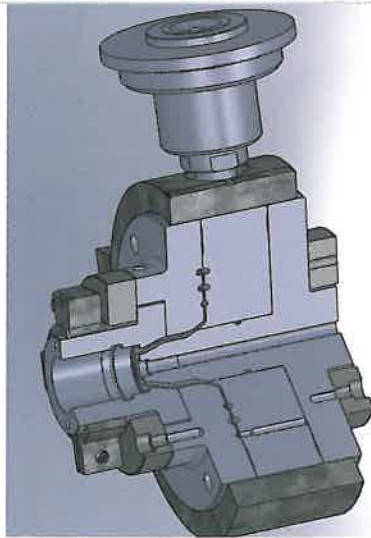
### Medizintechnik

Die Extrusion von einlumigen und mehrlumigen Medizinschläuchen stellt besondere Anforderungen: zum einen hinsichtlich der hohen Vorgaben beim Einsatz von (Spezial-) Kunststoffen in der Medizin (Toxizität, Reinheit, Hygiene usw.) und zum anderen durch den Zwang zur Miniaturisierung.

Die Werkzeuge wurden zunächst von den bekannten Konstruktionen für dünne Kabel und Leitungen abgeleitet und als sogenannte Querspritzköpfe mit Pinolenverteilern und später auch Axialwendelverteilern ausgeführt [6]. Seit 2004 werden Extrusionswerkzeuge für Mikroschläuche auch in Circularverteiltertechnik gebaut, für Mono- und für Coextrusion [1, 4]. Die eingangs geschilderten Vorteile sind hier von überragender Bedeutung.

**Bild 7** zeigt eine Verteilerscheibe, bei der alle Kanäle für die Schmelzevorverteilung und für die Rundumverteilung in einer Ebene liegen. Solche „Einplattenwerkzeuge“ weisen ein besonders kleines Schmelzevolumen auf, eine der Hauptforderungen mit Blick auf Verweilzeit, Temperierung, Montage- und Reinigungshandling u. a. m.. Im 3D-Modell ist die Vorverteilung in einer zweiten Ebene zu erkennen. Die jeweilige Ausführung richtet sich nach den besonderen Gegebenheiten.

Die Circularverteiltertechnik bietet sich besonders für kleine Coextrusionswerkzeuge für zwei- und dreilagige Produkte an (**Bild 8**). Zweischichtwerkzeuge können



so ausgeführt werden, dass durch Drehen einer Platte die Zuordnung der Extruder für Innen- und Außenschicht getauscht werden kann.

Außer im Bereich der kleinen Abmessungen für Katheteranwendungen, Infusionsschläuche u. Ä. sind CV-Werkzeuge für größere Schlauchabmessungen im Einsatz, von einlagigen PVC-weichschläuchen bis zu fünfschichtigen Spezialprodukten für vielfältige Anwendungen in der Medizin- und Pharmatechnik.

### Barrierefolien

„Stack Dies“ oder „Pancake Dies“ werden seit vielen Jahren für die Fertigung hochwertiger Verpackungsfolien eingesetzt [8], in neuerer Zeit für sieben, neun (**Bild 9**) oder elf Schichten. Das CV-Konzept eignet sich besonders für Systeme mit kleinen Düsendurchmessern zum Herstellen von Primärschläuchen in „Double Bubble“- oder „Triple Bubble“-Anlagen [7]. Gerade dafür hat sich diese Technik durchgesetzt (**Bild 10**).

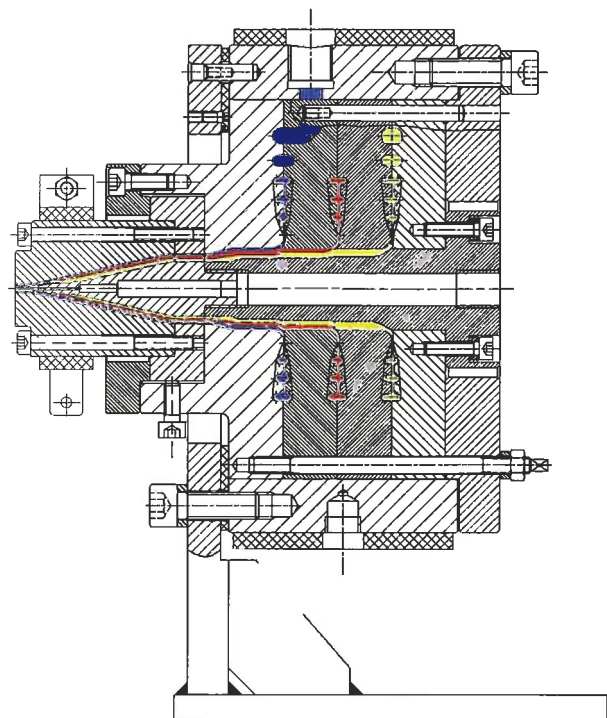
Bei den Blasfolienwerkzeugen ist besonders der Freiraum im Zentrum wichtig zum Durchleiten von Kühl- und Temperiermedien. Im Übrigen kommen alle oben genannten Vorzüge der CV-Technik zum Tragen, bis hin zur Möglichkeit der späteren Nachrüstung mit zusätzlichen Schichten.

### Ausblick

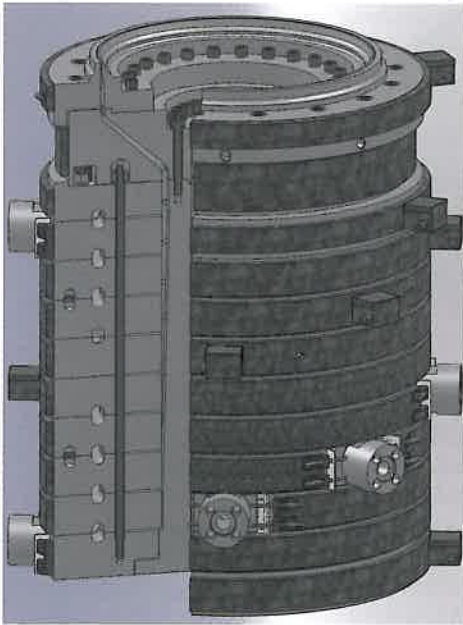
Traditionell werden die Schlauchköpfe für das Blasformen von Hohlkörpern mit Pinolenverteilern ausgestattet. Für die kontinuierliche Coextrusion haben sich aber Köpfe mit Axialwendelverteilern durchgesetzt, sowohl für mehrschichtige Lebensmittelverpackungen als auch für technische Großverpackungen und hochdichte 6-lagige Kraftstoffbehälter. Wegen der Analogie zur Rohrextrusion wurden schon vor einiger Zeit Ideen zur Übertragung der CV-Technik auf die Schlauchköpfe vorgeschlagen [9]. Das offene Zentrum in der Pinole bietet Platz für die Zugstange der Wanddickenverstellrichtung (axiale Dornverstellung, **Bild 11**).

Bei den Rohrwerkzeugen wurden Grenzen bei hohen Schichtdurchsätzen angesprochen, d. h. Grenzen durch zu hohen Druckverlust, der zu Problemen beim Dichthalten führen kann. Beim Druckverlust dominiert der Anteil aus dem Fließwiderstand in der Düseneinheit. In dem Maße, wie dieser Widerstand reduziert werden kann, lässt sich der Durchsatz steigern. Zielgerichteter Ansatz ist dafür die Vergrößerung des Unterziehverhältnisses, d. h. Extrusion aus einer größeren Düse (Austrittsdurchmesser und Spaltweite). Bei Polyamid sind große Unterziehverhältnisse üblich, bei PE-HD und PP sind die Ansätze vielversprechend.

In vielen Bereichen werden zunehmend Kunststoffe eingesetzt, die beson-



**Bild 8. Schema eines Dreischichtwerkzeugs für Mikroschläuche**



**Bild 9. 3D-Modell eines 9-Schicht-Blasfolienwerkzeugs (Ø 500 mm)**



**Bild 10. 7-Schicht-Blasfolienwerkzeug für biaxial gereckte Folien (Double/Triple Bubble)**

dere Anforderungen bezüglich Thermostabilität und Temperaturführung stellen. Dazu gehören Fluorpolymere (PFA, ETFE, FEP u. a.), Hochtemperaturthermoplaste (PAEK, PSU, PPS, PI u. a.) und vernetzende Kunststoffe (PE-X). Die Circularverteiler mit Kanälen in den beiden benachbarten Scheiben sind für diese „sensiblen“ Materialien fast allen anderen Werkzeugbauarten überlegen. Zum Korrosionsschutz genügen oft Oberflächenbeschichtungen, andernfalls werden korrosionsfeste Werkstoffe eingesetzt.

Beim Bau von Mehrschichtwerkzeugen lassen sich auch unterschiedliche Schmelzeverteilsysteme kombinieren, beispielsweise Radialwendelverteiler für die Hauptschichten und Ringverteiler für die dünnen Haftvermittlerschichten. Maßgeschneiderte Lösungen zeigen sich immer häufiger den Standardausführungen überlegen.

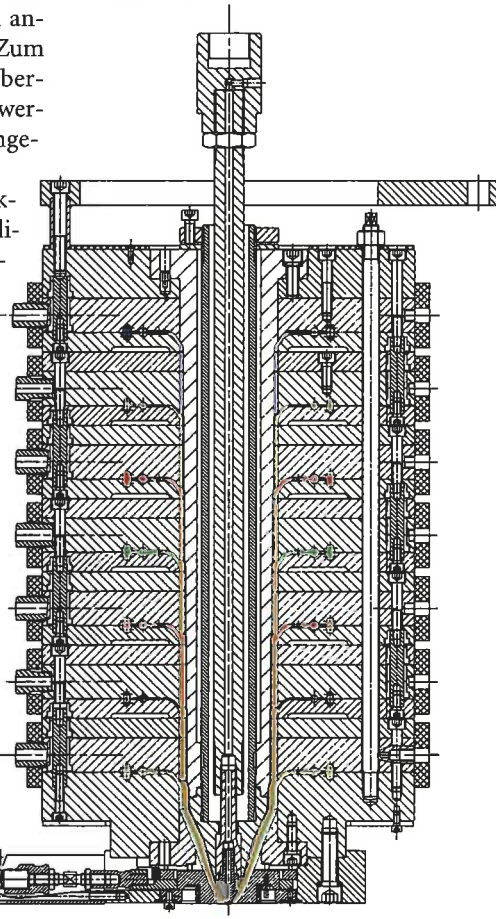
Fortschritte bei der Auslegung und Konstruktion der Wendelverteilersysteme sind von Optimierungsalgorithmen zur automatischen Optimierung der Verteiler zu er-

warten, die an verschiedenen Stellen entwickelt werden [10, 11]. ■

**LITERATUR**

- 1 Fischer, P.: Wendel- oder Spiralverteiler?, Extrusion 04/2006, S. 43–45
- 2 Michaeli, W.; Blömer, P.: Flat spiral dies – rheological design

- with network theory, Journal of Polymer Engineering 24 (2004) 1–3, S. 137–153
- 3 Fritz, H. G.; Cretu, M.: Auslegungskonzept für Radialwendelverteilersysteme, Kunststoffe 94 (2004) 6, S. 84–88
- 4 Burmann, G.: Extrusionswerkzeuge für die Schlauchextrusion. Handbuch zur 3. Duisburger Extrusionstagung „Extrudierte Produkte/Verpackungen für die Medizin- und Pharmaindustrie“, 8./9. März 2006
- 5 Michaeli, W.; Blömer, P.; Scharf, M.: Radialwendelverteiler rheologisch und mechanisch auslegen, Kunststoffe 97 (2007) 1, S. 54–57
- 6 Lechmann, U.: Werkzeugtechnik für die Mikroschlauchextrusion, Handbuch zur SKZ-Fachtagung „Mikroschlauchextrusion für die Medizintechnik“, Würzburg 10. November 2005
- 7 Burmann, G.: Werkzeugtechnik für biaxial gereckte Schläuche, Handbuch zur 5. Duisburger Extrusionstagung „Technologien und Trends extrudierter Folien – mehrschichtig, orientiert, veredelt“, 12./13. März 2008
- 8 Wortberg, J.: Neue Wendelverteiler-Werkzeuge, Kunststoffe 88 (1998) 2, S. 175–180
- 9 Fischer, P.; Michels, R.: Moderne Schlauchköpfe mit Wendelverteilern. Handbuch zur SKZ-Fachtagung „Blasformtechnik 2006“, Würzburg 26./27. April 2006
- 10 Cretu, I. M.: Analyse, Auslegung und Optimierung von Wendelverteilersystemen, Dissertation, Universität Stuttgart, 2008
- 11 Wortberg, J.; Saul, K.; Köhler, P.; Lupa, N.: Automatisierte Optimierung von Strömungskanälen zur Verbesserung des Spülverhaltens von Kunststoff-Extrusionswerkzeugen, WAK Zeitschrift Kunststofftechnik / Journal of Plastics Technology 5 (2009) 2, S. 130–153



**Bild 11. Schema eines Mehrschicht-Schlauchkopfs mit axialer und radialer Wanddickensteuerung**  
(Bilder: ETA Kunststofftechnologie)

**DIE AUTOREN**

DIPL.-ING. GEORG BURMANN, geb. 1961, ist seit 1993 bei ETA Kunststofftechnologie GmbH als Ingenieur in der Entwicklung und Project Manager tätig.

DR.-ING. PETER FISCHER, geb. 1938, ist Inhaber des Ingenieurbüros IPF, Königswinter, und Mitgeschaffter der ETA Kunststofftechnologie GmbH, Troisdorf.

PROF. DR.-ING. JOHANNES WORTBERG, geb. 1951, ist Professor an der Universität Duisburg-Essen, und Mitgeschaffter der ETA Kunststofftechnologie GmbH, Troisdorf.

**SUMMARY**

**MELT FLOW IN A CIRCULAR DISTRIBUTOR**

EXTRUSION DIES. Circular distribution technology makes it possible to achieve a modular building-block system for coextruded pipes and hoses. Rapid material color change and the possibility to fulfill product-specific requirements open up a broad range of applications.

Read the complete article in our magazine *Kunststoffe international* and on [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)