

## **A Moderne Schlauchköpfe mit Wendelverteilern**

Dr.-Ing. Peter Fischer  
Dr.-Ing. Robert Michels

ETA Kunststofftechnologie GmbH, Troisdorf

Beitrag zur  
Fachtagung 'Blasformtechnik 2006', 26.-27. April 2006  
Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, Würzburg

## Moderne Schlauchköpfe mit Wendelverteilern

Nachdem die so genannten Wendelverteiler in Extrusionswerkzeugen (Köpfen) für Blasfolien, Rohre und Ummantelungen schon seit langem eine überragende Stellung erlangt haben, gehören sie auch bei Schlauchköpfen für das Blasformen technischer Hohlkörper und von Verpackungen seit einiger Zeit zu den etablierten Systemen. Das gilt besonders für Coextrusionsköpfe zum Herstellen von Kunststoff-Kraftstoffbehältern (KKB) und Tankeinfüllrohren, aber auch für zahlreiche andere Anwendungen, bei denen spezielle Anforderungen zu erfüllen sind.

Dieser Beitrag gibt nach einer Einführung in das System der Schmelzeverteilung mit Wendelverteilern einen Einblick in technologische Aspekte bei Auslegung und Konstruktion und einen Überblick über bewährte Anwendungen. Den Abschluss bildet ein Ausblick auf laufende und angedachte Weiterentwicklungen.

Die herausragenden verfahrenstechnischen Vorteile der Wendelverteilerköpfe bestehen in einem gleichmäßigen Volumenstrom und dadurch ausgezeichneter (Schicht-) Dickenverteilung, dem breiten Spektrum verarbeitbarer Materialien und dem Fehlen von Bindenähten und anderen Schwachstellen. Betriebstechnische Vorzüge liegen in der kompakten Bauform mit wenigen Einzelteilen und dadurch einer leichten Montagehandlung. Kurze Verweilzeiten sowie kurze Material- und Farbwechselzeiten vervollständigen das Spektrum der Vorzüge.

### 1 Funktionsweise, Auslegung, Konstruktion und Fertigung [1,2]

Im Vergleich mit den „klassischen“ Verteilersystemen in Pinolenköpfen oder Dornhalterköpfen sind die Strömungen in Wendelverteilern komplexer.

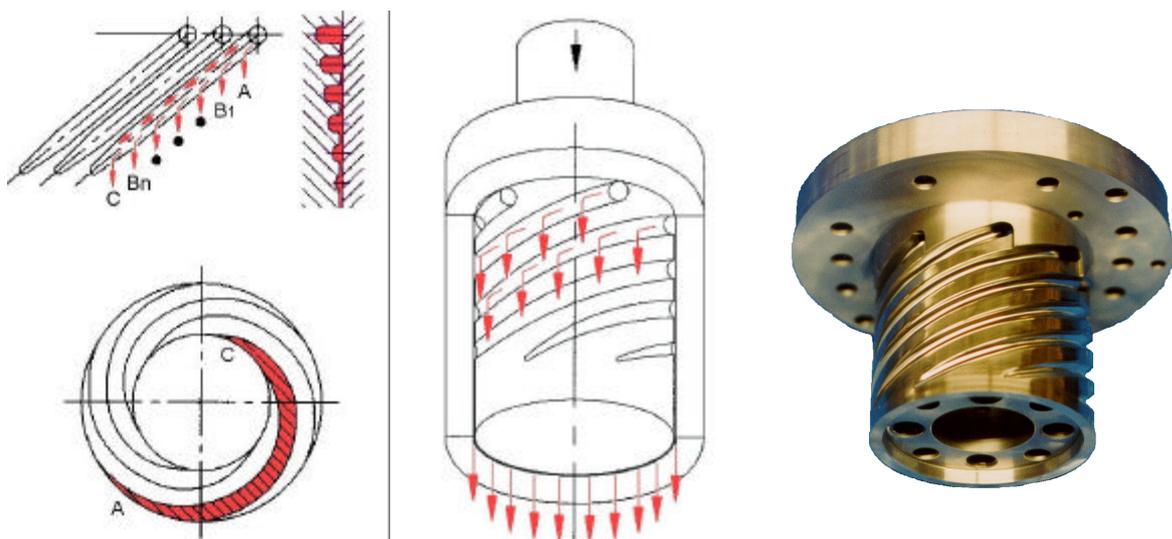


Bild 1: Funktionsprinzip eines Wendelverteilers

Bild 1 zeigt das Funktionsprinzip mit der Überlagerung von Strömungen aus aufeinander nachfolgenden Wendeln (Axial- und Wendelströmung), wobei die im Querschnitt sichelförmigen Teilströme sich zu einer Ringspaltströmung vereinigen. Durch Addition der Leckströme aus den Wendeln am jeweiligen Umfangspunkt ergibt sich die (gleichmäßige) Wanddicke.

Für die numerische Strömungsanalyse und Berechnung der komplizierten Wendelverteilergeometrien haben sich zweidimensionale Modelle für isotherme Strömungen auf Basis von Netzwerken bewährt (Bild 2), und diese werden mit Unterstützung von aufwändigen CFD-Programmen (dreidimensional, nicht-isotherm, viskoelastisch) weiterentwickelt [3,4,5]. Die Berechnung erfolgt meistens iterativ. Mit einem neu entwickelten Algorithmus wurde es möglich, nach Eingabe der entsprechenden Randbedingungen direkt – ohne Iterationen – Werte für den axialen Spaltverlauf und den Wendeltiefenverlauf auszugeben [6]. Letztlich gibt die richtige Interpretation der Simulationsergebnisse und somit die Erfahrung des Ingenieurs das „ideale“ Ergebnis.

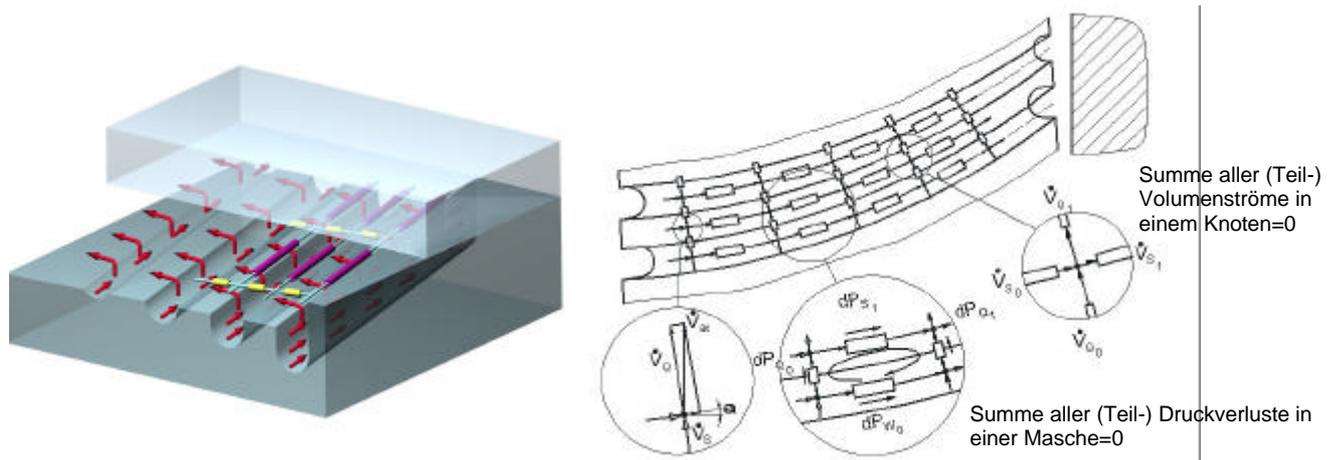


Bild 2: Netzwerkmodell und Auslegungsgrundlagen

Kriterien für die Beurteilung sind:

- Leckstromkurve
- Druckverluste
- Geschwindigkeitsverteilung
- Verweilzeitspektrum
- Herstellbarkeit

Dem letzten Kriterium kommt eine besondere Bedeutung zu. Neben der Berechnung und Dimensionierung der Fließkanäle ist eine enge Zusammenarbeit von Konstrukteur und Fertigungstechniker erforderlich. Was nützt ein stromlinienförmiger Kanal, wenn er nicht gefertigt werden kann, oder anders ausgedrückt: In gewissem Maße können Extrusionswerkzeuge nur so gut sein, wie die Bearbeitungsmöglichkeiten in der Fertigung es zulassen.

Beispielsweise ist es wichtig, durch Hinterschneidungen die Bildung von „Totwasser-gebieten“ zu vermeiden als Voraussetzung für gutes Spülverhalten. Dafür ist ebenfalls wichtig, die rheologisch optimierten Umlenkungen, Übergänge, Durchdringungen usw. korrekt und mit sehr guter Oberflächenqualität zu fertigen. Für das Spülverhalten von Bedeutung sind auch möglichst kleine Passungsspalte.

Stand der Technik und für ein gutes Betriebsverhalten von Wendelverteilern unabdingbar ist heute die Nutzung aller geometrischen Freiheitsgrade durch variable Wendeltiefenverläufe, bereichsweise unterschiedliche Wendelsteigungen und variable Spaltverläufe. Mit geschmiedeten und ultraschallgeprüften Werkzeugstählen ergibt das Hochgeschwindigkeitsfrä-

sen auf Mehrachsen-CNC-Maschinen glatte Oberflächen, die nur noch wenig manuelles Polieren erforderlich machen.

Außerdem gewinnen Oberflächenbeschichtungen zunehmend an Bedeutung. Neben den bekannten galvanischen Schichten aus Hartchrom und Chemisch-Nickel werden zunehmend Dünnschichten aus Chromnitrid (CrN) u. ä. in PVD- und CVD-Verfahren aufgebracht, in Sonderfällen auch als Mehrlagenbeschichtung. Primäre Zielsetzung ist die Vermeidung von Ablagerungen mit glatten, reaktionsträgen und wenig adhäsiven Oberflächen. Dazu kommt eine angepasste Prozessführung, d. h. niedrige Betriebstemperaturen und geeignete Spülprozeduren beim Abstellen einer Anlage. Darüber hinaus bieten Beschichtungen aus Hartchrom, Chemisch-Nickel oder CrN einen Schutz vor Korrosion.

Oberflächenbeschichtungen sind auch von Vorteil bei Demontage und Reinigung. Zum einen lassen sich anhaftende Schmelzen leichter ablösen, zum anderen bieten die harten Oberflächen einen besseren Schutz gegen Beschädigungen.

Außer der Gestaltung der Wendelverteiler kann die Vorverteilung der Schmelze(n) vom Extruder bzw. von den Extrudern zu den Wendelkanälen von wesentlicher Bedeutung sein (s. Abschnitt 3).

## **2 Vorteile des Wendelverteilers**

Aufgabe aller Verteilersysteme ist die Ausformung der als Strang vom Extruder kommenden Schmelze in einen aufblasbaren Vorformling, und das möglichst gleichmäßig und in jeder Weise homogen (thermisch und strukturell) sowie ohne Fließlinien und andere Oberflächen-defekte. Der Wendelverteiler steht gewissermaßen im Wettbewerb mit den Pinolenköpfen (mit einfachem oder überlapptem Schmelzestrom) und mit den Dornhalterköpfen [7].

Wesentliche Nachteile der Pinolenköpfe sind die Bindenaht und der Dünnbereich am Zusammenfluss der im Ringkanal oder in der Herzkurve gebildeten Teilströme. Hinzukommen eine begrenzte Fahrbreite bezüglich verschiedener Polymere und unterschiedlicher Durchsätze sowie ein schlechtes Verhalten bei Material- und Farbwechsel. Letzteres gilt auch für die Pinolenköpfe mit Doppelherzkurventeiler und Schmelzeführung mit Überlappung. Statt nur einer die Wand durchdringenden Bindenaht hat der Schlauch zwei gegenüberliegende Nähte, die jedoch die Wand nur je zur Hälfte „teilen“.

Vorteile des Pinolenkopfes sind sein einfacher Aufbau und dadurch vergleichsweise niedrige Herstellkosten, weiter die einfache axiale Wanddickensteuerung und geringe Stichmaße bei Mehrfachköpfen. Die durch den einfachen Aufbau bedingten Vorteile lassen sich jedoch bei Mehrschichtköpfen nicht realisieren.

Dornhalterköpfe – mit durchgehenden oder versetzten Stegen oder auch mit anderen Dornhaltern – verursachen ebenfalls Bindenähte und Fließmarkierungen. Gegenüber den Pinolenköpfen haben sie den Vorteil einer kreissymmetrischen Schmelzeführung ohne Umlenkungen mit dem Ergebnis einer größeren Fahrbreite, kürzeren Umstellzeiten und gutem Schlauchlauf.

Nachteilig sind der fehlende Freiraum für eine Dornverstellung und dadurch die Notwendigkeit der Düsenverstellung zur axialen Wanddickensteuerung. Weiter die aus Festigkeitsgründen nach oben begrenzte Baugröße und der höhere Preis. Coextrusionsköpfe lassen sich nur mit begrenzter Schichtzahl und nur in Kombination mit Ringkanal- oder Pinolenverteilern realisieren.

Ein wesentlicher und überragender Vorteil des Wendelverteilers ist das Fehlen von Bindenähten und Fließmarkierungen. Die Schlauchwand wird gebildet aus mehrfach überlappenden Umfangelementen (Sichelstruktur). Allerdings ist für die Erzielung einer Umfangsströmung in der Wendel ein bestimmtes Druckgefälle erforderlich. Das Geschwindigkeitsniveau kann im Wendelverteiler höher liegen als bei den anderen Verteilersystemen. Die Auslegung für bestimmte Schergeschwindigkeiten zur Erzielung ausreichender Wandschubspannungen sorgt für schnelle Material- und Farbwechsel. Alle diese Kriterien werden mit den angesprochenen Simulationen optimiert.

Ein weiterer überragender Vorteil des Wendelverteilers ist seine kompakte Bauform. Das prädestiniert ihn für den Bau von Coextrusionsköpfen. Für Strukturen mit vielen Schichten sind Wendelverteiler die bestgeeigneten Systeme, in manchen Fällen die einzig möglichen bzw. sinnvollen.

Die Anforderungsliste für ein ideales Schmelzeverteilsystem spiegelt die Vorteile des Wendelverteilers im Wesentlichen wider:

- Vermeidung von Bindenähten und Fließmarkierungen
- Gleichmäßige Wanddickenverteilung
- Geringst mögliche Druckverluste
- Betriebspunktunabhängige Auslegung
- Möglichst kurze Fließwege
- Keine Stagnationszonen
- Gleichmäßige und niedrige Schmelzebeanspruchung
- Schnelle und vollständige Material- und Farbwechsel
- Geringe Axialkräfte
- Einfache (De-) Montage und Reinigung
- Eignung zum Einsatz in einem Coextrusionssystem

### **3 Schmelzevorverteiler [2,8]**

Die klassische Bauform des Wendelverteilers speist jede Wendel aus jeweils einem vorgelagerten Schmelzekanal bzw. einer Schmelzebohrung. Wenn das Zentrum des Werkzeugs nicht aus konstruktiven Gründen frei sein muss, kann die Einleitung der Schmelze zentral erfolgen und die Aufteilung und Verteilung nach außen durch sternförmig verlaufende Bohrungen. Wenn das Zentrum frei sein muss, z. B. für eine Zugstange, erfolgt die Verzweigung auf andere Weise, beispielsweise auf dem Umfang des zylindrischen Körpers, der auch die Wendelkanäle trägt, oder über in Trennebenen liegende Ringkanäle.

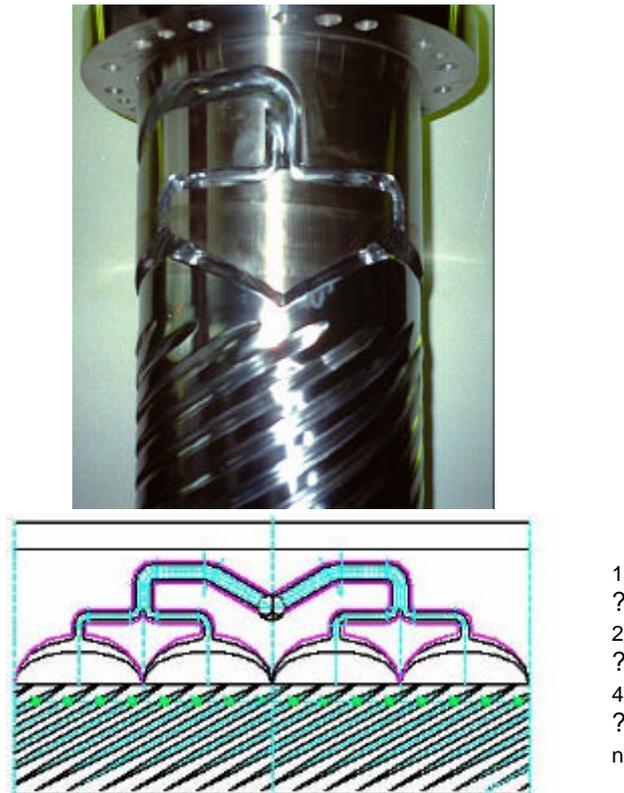


Bild 3: Wendelverteiler mit Vorverzweigung und Kleiderbügelvorverteilung

Es haben sich aber auch Systeme etabliert, welche die Vorverteilung der Schmelze in einen Ringspalt vorsehen. Aus dem Ringspalt wird die Schmelze dann nahezu vollständig in die Wendeleinläufe gedrückt. Zwischen Speisekanal und Ringspalt sind ein oder mehrere Kleiderbügelverteiler nach Art von Breitschlitzdüsen angeordnet, die wie die eigentlichen Wendelverteiler mit Simulationsprogrammen rheologisch optimiert werden (Bild 3).

Die Entkoppelung von Speisekanal und Wendel macht die Wendelanzahl unabhängig von der Schmelzevorverteilung und variabel je nach Aufgabenstellung und konstruktiven Randbedingungen. Die Entkoppelung ermöglicht insbesondere bei Coextrusionsköpfen, bei denen die Anzahl einzelner Vorverzweigungsbohrungen aus konstruktiven Gründen (Platzbedarf für Schmelzkanäle und Schrauben) begrenzt ist, eine rheologisch und betriebstechnisch günstigere Version mit vergrößerter Wendelanzahl. In der Regel sind mehr und im Querschnitt kleinere Wendeln günstiger. Dies ist bei hochmolekularen und z. T. stark viskoelastischen Materialien (z. B. HMW-HDPE) von größerer Bedeutung als bei niedrigviskosen Produkten (z. B. PA).

Die richtige Berücksichtigung des viskoelastischen Verhaltens unter den gebräuchlichen Begriffen „Strangaufweitung“, „Schwellpotential“, „Erinnerungsvermögen“, „Memory-Effekt“ fordert vom erfahrenen Ingenieur höchste Aufmerksamkeit bei der rheologischen Auslegung und Gestaltung aller Fließkanalbereiche zwischen dem Extruderende und dem Austrittsspalt am Düsenende. Ein sauberer Schlauchlauf ohne Drehung nach dem Düsenaustritt ist bei modernen Wendelverteilerköpfen gewährleistet. Bei Coextrusionsköpfen kann dies besonders einfach und zuverlässig durch gegenläufige Wendelverteiler erreicht werden.

#### 4 Schichtbildung in Coextrusionsköpfen

Die Stabilität von Mehrschichtströmungen und die Vorgänge an den Schichtgrenzen entziehen sich in der Praxis bis heute der Simulation. Die Vorgänge hängen unter anderem von den elastischen Eigenschaften der Schmelzen ab, die nur mit großem Aufwand bei Strömungssimulationen berücksichtigt werden können, insbesondere bei komplexen Scher-/Dehnströmungen. Hier kann die Art der Schichtbildung entscheidend sein, d. h. ob die Schmelzeströme irgendwo im Kopf oder nahe am Düsenaustritt, in einem Punkt oder sequentiell nacheinander zusammengeführt werden.

Verschiedene Ausführungen und Kriterien werden bei den Kopfbeispielen erläutert. Die Kriterien gelten im Übrigen für jede Kopfausführung.

Generell kann festgehalten werden:

- Die mehrschichtige Strömung ist umso stabiler, je geringer die Differenzen in den schergeschwindigkeitsabhängigen Schmelzeviskositäten sind.
- Die Strömung ist stabiler, wenn die wandnahe Schmelze eine niedrigere Viskosität hat als die Kernschmelze.
- Symmetrische Strukturen fließen stabiler als asymmetrische.
- Die Spaltweiten vor und nach der Zusammenführung mehrerer Einzelschichten sollten den Schichtanteilen im Produkt angepasst werden.
- Der gemeinsame Fließkanal sollte sich nicht erweitern, sondern mit gleich bleibendem Querschnitt oder (besser) konvergent ausgeführt werden.
- Übergangs- (Konus-) winkel sollten nicht steiler als 45° sein, möglichst kleiner.
- Besonders bei hochmolekularen PE-HD-Formmassen sind die Kanäle auf das „Erinnerungsvermögen“ der Schmelze(n) abzustimmen.

#### 5 Anwendungsbeispiele

Wendelverteiler eignen sich sowohl für den Einsatz in Speicherköpfen als auch in Köpfen für die kontinuierliche Schlauchextrusion. Sie können im Tausch mit Pinolenverteilern in den vorhandenen Bauraum bestehender Köpfe eingebaut bzw. für bestehende Kopfkonstruktionen konzipiert werden (Bild 4).



Bild 4: Austauschwendelverteiler für Pinolenköpfe  
Fachtagung 'Blasformtechnik 2006', 26.-27. April 2006  
Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, Würzburg

Die Optimierung konventioneller Schlauchköpfe mit Wendelverteilern ist eine kostengünstige Lösung. Die Grundeinheiten und vorhandene Düsen können in der Regel weiter verwendet werden. Die erläuterten Vorteile wie fehlende Fließnähte und Streifen, rundum gleichmäßige und homogene Wandung, werden in Anlagen für Großgebilde aus HMW-HDPE, für transparente PP- und PC- Produkte und andere anspruchsvolle Artikel genutzt.

Bei Mehrfachköpfen für Verpackungsanwendungen ermöglichen die Wendelverteiler eine kompakte Bauform und geringe Stichabstände. Das gilt besonders für Mehrfachköpfe zur Coextrusion (Bild 5).

Wendelverteilersatz für einen 8-fach-Kopf



Mehrfach-6-Schicht-Kopf für kleine Flaschen

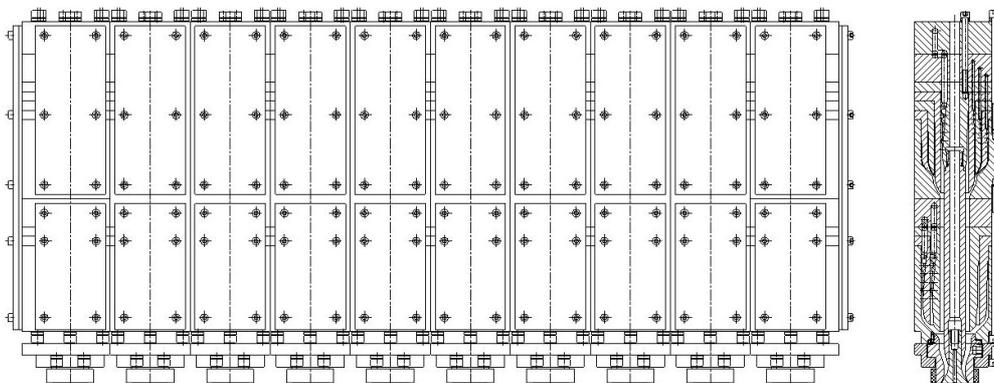


Bild 5: Mehrfach-Wendelverteiler-Schlauchköpfe für Mono- und Coextrusion

Bei dem dargestellten Sechsschicht-Coextrusionssystem werden zunächst die vier dünneren Innenschichten zu einer stabilen Mehrschichtströmung vereinigt und dann die beiden dicken Außenschichten kurz vor der Düse zugeführt. Den rheologischen Anforderungen kann so optimal Rechnung getragen werden.

Coextrusionsköpfe mit Wendelverteilern wurden für zwei bis neun Schichten gebaut. Die ideale Ausführung ist im Einzelfall produktgemäß festzulegen, oder – bei einem breiten Produktespektrum – ist die beste Kompromisslösung zu finden.

Bild 6 zeigt einen Zweischichtkopf in Wendelverteilerausführung. Solche Köpfe wurden für Behälter mit und ohne Sichtstreifen konzipiert, in Einzel- und in Doppelkopf-Ausführung. Die beiden Wendelverteiler haben eine gegenläufige Profilierung. Damit kann dem Erinnerungsvermögen der beiden Schmelzen entgegengewirkt werden. Das gleiche gilt für die beiden Dickschichten in dem Sechsschichtsystem von Bild 5. Diesen „Kunstgriff“, d. h. die Aufteilung der Schmelze für eine dicke Schicht auf zwei gegensinnig gewendelte Verteiler und anschließende Wiedervereinigung, kann man in jedem Kopfsystem anwenden. Das erhöht zwar den Fertigungsaufwand, stabilisiert aber den Schlauchlauf (auch bei hohen Ausstoßgeschwindigkeiten).

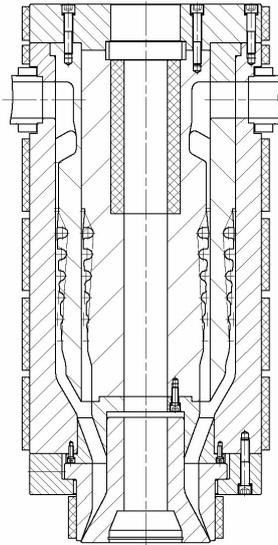


Bild 6: Zweischichtkopf mit Wendelverteilern

Dreischichtköpfe sind für Kleingebinde im Einsatz, z. B. Pflanzenschutzmittelflaschen oder größere Chemikalienbehälter aus PE-HD mit innerer oder äußerer PA-Schicht. PE und Barrierematerial werden über einen Haftvermittler (Kleber) gekoppelt. Hier werden zwei Dünnschichten mit einer Dickschicht verbunden. Größere Dreischichtköpfe werden für mehrlagige HDPE-Fässer mit dicker Mittelschicht und dünnerer Innen- und Außenschicht eingesetzt. Dreischichtverbunde können durch eine Regeneratschicht zu Vierschichtprodukten erweitert werden. Abhängig von der Schichtstruktur, den verarbeiteten Polymeren und den Durchsätzen stellen sich Fragen nach optimaler Schmelzuführung und nach Maßnahmen, den Memory-Effekt zu beherrschen (Bild 7).

Bei einer symmetrischen Wandstruktur werden die Schmelzen an einem Punkt zusammengeführt. Bei der Kombination von inneren Dünnschichten mit einer Dickschicht hat es sich bewährt, zunächst die beiden Dünnschichtschmelzen zu vereinigen und diese dann später mit der Hauptschicht zusammenzuführen. Anders ist die Situation bei außen liegenden Dünnschichten. Hierfür empfiehlt es sich, die beiden äußeren Schichten gemeinsam oder nacheinander erst kurz vor der Düse aufzubringen.

Bei den Drei- oder Vierschichtköpfen empfiehlt sich die gegensinnige Profilierung und gegebenenfalls die Verteilung der dickeren (Mittel-) Schicht auf zwei Wendelverteiler.

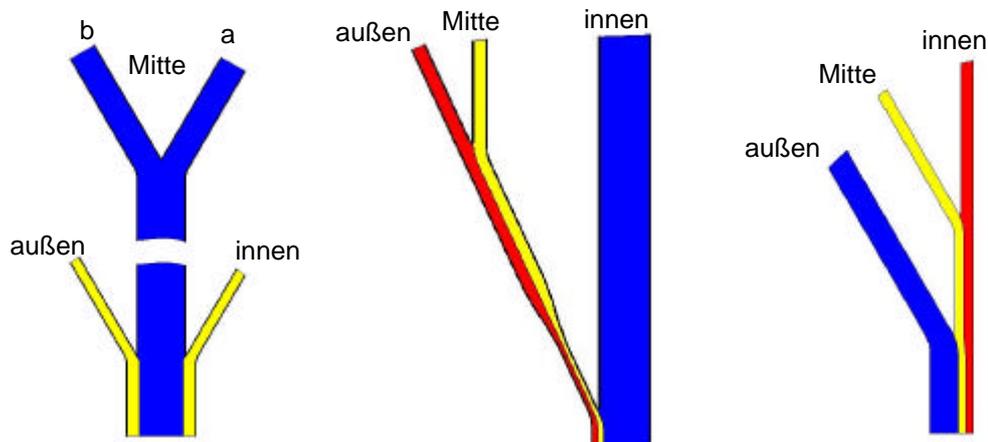


Bild 7: Schichtbildung in Dreischichtköpfen

Bei Produkten mit EVOH als Barrierematerial wird die Sperrschicht in innere und äußere Polyolefinschichten eingebettet und das EVOH mit speziellen Haftvermittlern an die PE- oder PP-Schichten angebunden. Eine Regeneratschicht aus Butzenabfall oder anderem Rücklaufmaterial wird als zweite Schicht von außen oder von innen in die Wand integriert. Somit ergibt sich ein Verbund aus sechs Schichten. Typisches Beispiel dieser Produktgruppe sind Flaschen für Ketchup, Milch oder Energiedrinks. Das in Bild 5 unten gezeigte Beispiel zeigt den Aufbau des zweistöckigen Coex-Kopfes mit der Regeneratschicht als zweite von außen.

Vor 15 Jahren wurde die Idee geboren, Sechsschichtköpfe in Wendelverteiltertechnik für das Herstellen von Kunststoff-Kraftstoffbehältern (KKB) mit in der Tankwand eingelagerter Barrierschicht einzusetzen. Das Vorhaben war von Beginn an erfolgreich. In der Zwischenzeit sind weit mehr als 60 Köpfe verschiedener Baugrößen mit Düsendurchmessern zwischen 10 und 1200 mm gebaut worden und weltweit im erfolgreichen Einsatz.

Vorgabe bei der Entwicklung dieser Köpfe war in erster Linie die Einhaltung geringer Schichtdickentoleranzen bei möglichst geringen mittleren Dicken der vergleichsweise teuren Barriere- und Haftvermittlermaterialien. Die Vorgabe von 1 - 3 % Anteil der einzelnen Dünnschichten an der Gesamtwanddicke und enge Grenzen für die Mindestdicke der EVOH-Schicht im Endprodukt (dünnste Stelle) stellten hohe Anforderungen an die Schmelzeverteilsysteme. Das wurde noch erschwert durch die Forderung eines breiten Durchsatzbereichs von mindestens 1 : 5 für unterschiedliche Tankgrößen und wahlweise Ein- oder Zwei-Stationen-Anlagen und durch die Forderung eines sehr guten Spülverhaltens, insbesondere für die verweilzeitkritische Barrierschicht.

Die Lösung waren Sechsschichtköpfe mit konzentrischen Wendelverteiltern, deren Vorverteilungen ganz unterschiedlich gestaltet sind und alle Möglichkeiten der oben beschriebenen Bauprinzipien nutzen (Bild 8). Die drei Dünnschichten werden zunächst zu einer stabilen Coextrusionsströmung vereinigt und dann die Hauptkomponenten vor dem Eintritt in die Düsen-einheit dazugeführt. Die rheologische Auslegung wurde damals schon mit den eingangs erläuterten Simulationsrechnungen vorgenommen [9]. Die Programme sind in der Zwischenzeit laufend erweitert und verbessert worden [6].

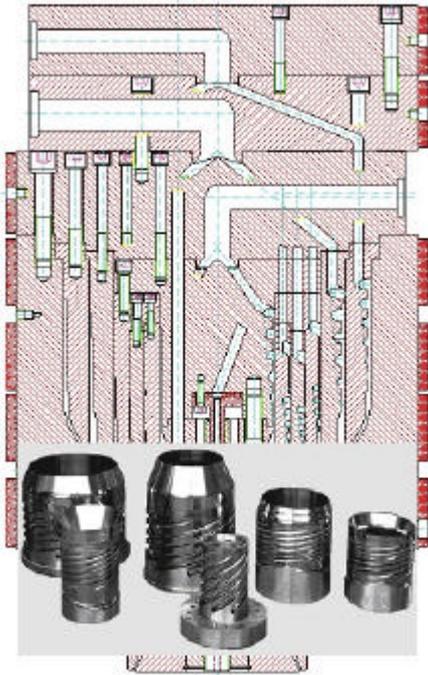


Bild 8: 6-Schicht-Wendelverteiler-Schlauchkopf für Kunststoff-Kraftstoffbehälter (KKB)

Im Vergleich mit anderen 6-Schicht-Kopfsystemen für KKB ist der Wendelverteilerkopf sehr kompakt und hat demzufolge ein deutlich geringeres Gewicht und viel kürzere Aufheiz- und Abkühlzeiten. Er kann in bestehenden Tankblasanlagen nachgerüstet werden. Die Anschlussadapter zu den Extrudern werden entsprechend den Gegebenheiten gestaltet (Bild 9). Flexible, verstellbare Düseneinheiten (PWDS/SFDR) oder zumindestens profilierte oder in Teilbereichen verstellbare anwenderspezifische Lösungen können bei diesen Köpfen heute als Standardausstattung betrachtet werden.

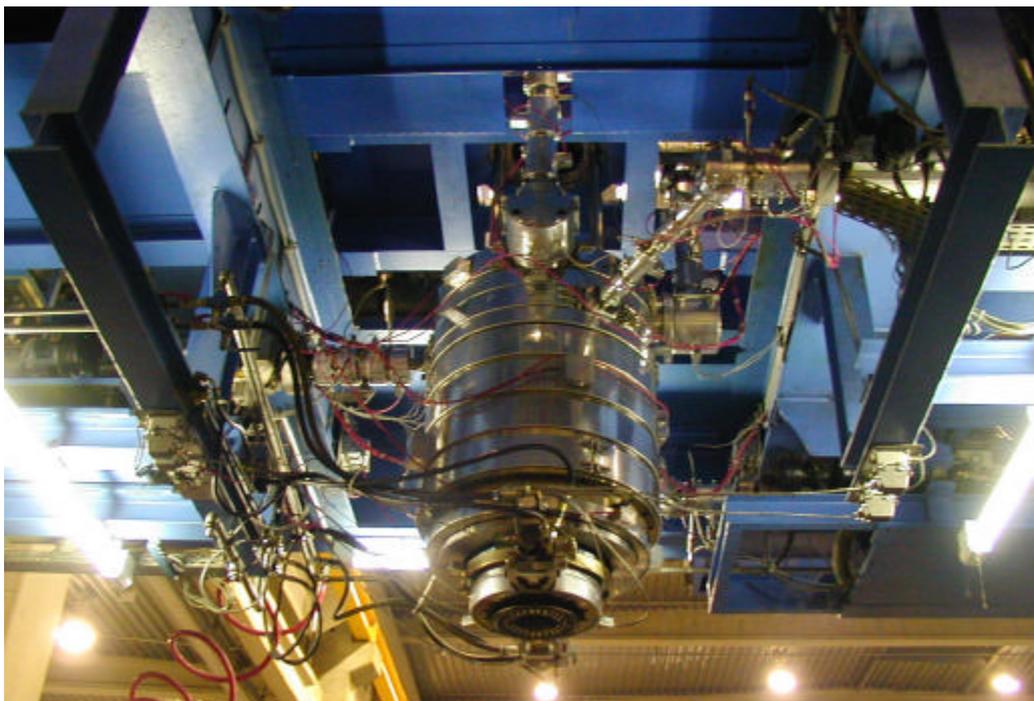


Bild 9: 6-Schicht-Wendelverteiler-Schlauchkopf in einer umgebauten Tankblasanlage

Zu den Sechsschichttanks werden zunehmend auch sechs- oder siebenschichtige Einfüllrohre eingesetzt. Dafür werden ebenfalls Wendelverteilerköpfe mit konzentrischen Verteilerhülsen in verschiedenen Ausführungen verwendet. Bei den 7-Schicht-Rohren erfordert die rheologische Auslegung der Fließkanäle für die innere leitfähige PE-Schicht besondere Aufmerksamkeit. Die kleinen Schlauchköpfe für blasgeformte Einfüllrohre werden in der Regel mit Schiebedüsen für radiale Wanddickensteuerung (RWDS) ausgestattet (Bild 10).

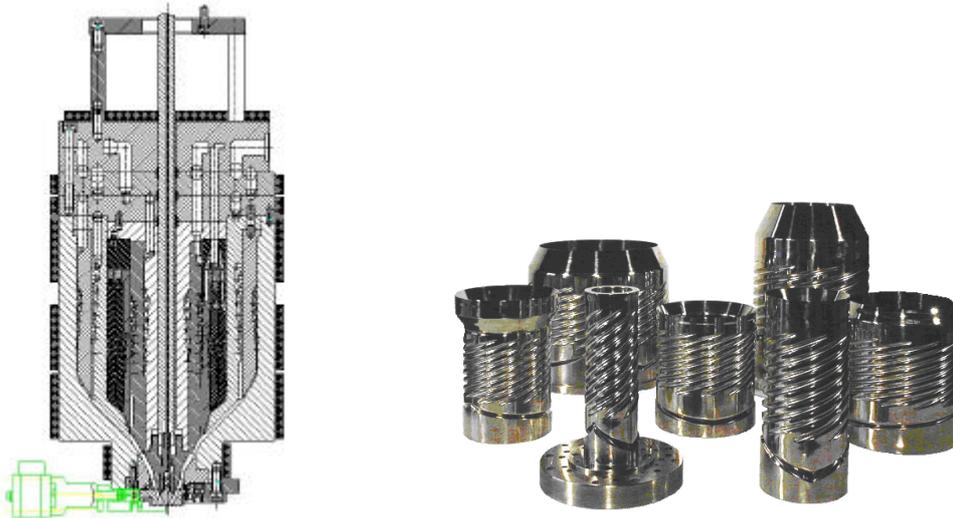


Bild 10: 7-Schicht-Schlauchkopf für Einfüllrohre mit leitfähiger Innenschicht

## 6 Weiterentwicklungen

Konzentrische Wendelverteiler werden auch konisch ausgeführt. Das reduziert die Bauhöhe. In einer anderen Variante werden die gewendelten Schmelzkanäle deckungsgleich sowohl auf den zylindrischen Dorn als auch in das zugehörige Außenteil eingebracht. Damit werden jedwede Zonen längerer Verweilzeit im Wendeleinlauf und die dadurch entstehenden sogenannten „Wendelstreifen“ vermieden [6].

Neben den Wendelverteilern in zylindrischer oder konischer Form wurden für Blasfolien schon Anfang der neunziger Jahre Werkzeugsysteme eingeführt, bei denen die Schmelzeverteilung – ganz oder nach einer Vorverteilung – in einer Ebene stattfindet, so genannte „Stack Dies“ mit Spiralverteilern oder Radialwendelverteilern. Das Prinzip wurde auch in Rohrwerkzeuge übertragen und findet zunehmend Anwendung für Rohre und Schläuche mit kleinen Abmessungen (z.B. für Kraftstoffleitungen). Wegen der Analogie zur Rohrextrusion ist eine Übertragung auf Schlauchköpfe denkbar. Da die Verteilerkanäle nicht unbedingt der mathematisch definierten Form einer Spirale entsprechen müssen, wird hier im Folgenden allgemeiner von „Circularverteilern“ gesprochen.

Für die rheologische Auslegung solcher Circularverteiler bestehen ähnliche Simulationsprogramme auf Basis der Netzwerktheorie [10] und der Finite-Elemente-Methode (FEM) [11] wie für die „klassischen“ Wendelverteiler.

Die Circularverteiltertechnik bietet ideale Voraussetzungen für ein modulares Baukastensystem. Einspeisung sowie Vorverteilung und Rundumverteilung der Schmelze werden in einem

Block (Modul) vorgenommen, welcher aus wenigen Platten besteht. Für die Herstellung mehrlagiger Produkte können mehrere (bzw. beliebig viele) Module kombiniert werden. 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 einer Zugstange oder eines (Kühl-) Mediums versehen werden kann (Bild 11).



Bild 11: Geöffneter Block (Modul) eines Werkzeugs mit Circularverteilung und Innenpinole

Demontage und Reinigung dieser Werkzeuge sind sehr einfach. Außerdem ist es sehr einfach möglich, Module unterschiedlicher Auslegung (z. B. Dünn- und Dickschichten) zu tauschen oder Module für zusätzliche Schichten nachträglich hinzuzufügen. Die kompakten Abmessungen dieser Werkzeuge und der Plattenaufbau ermöglichen sehr kurze Aufheizzeiten und mit speziellen Kühlvorrichtungen [12] (siehe Bild 12 links) auch so kurze Abkühlzeiten, dass in vielen Fällen ein Spülen von verweilzeitkritischen Schichten vor dem Abstellen der Anlagen unterbleiben kann.

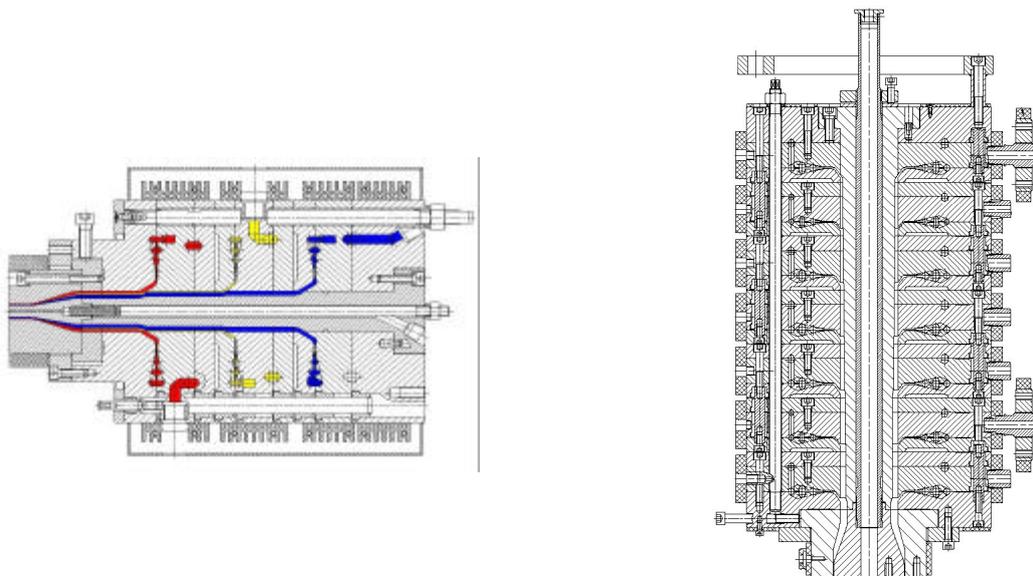


Bild 12: Circularverteiltertechnik – Kühlbares Werkzeug für Kleinrohre und Siebenschichtkopf

In beiden Darstellungen von Bild 12 ist die thermische Trennung zwischen einzelnen Modulen zu erkennen. Dadurch ist eine separate polymerspezifische Temperierung auf unter-

schiedlichen Temperaturniveaus möglich. Einzelne Module können in Sonderausführungen gebaut werden, z. B. aus besonders korrosionsbeständigen Werkstoffen.

Das Bild zeigt rechts ein Modulwerkzeug für die Herstellung einer siebenlagigen biaxial ver-  
streckten Blasfolie, die zunächst als Schlauch nach unten in eine Kühlvorrichtung extrudiert  
wird. Ausgerüstet mit einer Düse für Blasformbetrieb ist die Analogie zu einem Schlauchkopf  
augenfällig.

Die dargestellten Systeme zeigen, dass die Wendelverteilterchnik auch beim Blasformen  
einen erfolgreichen Weg hat. Für neue Entwicklungen bietet sie noch viele Möglichkeiten.

## Literatur

- [1] Michaeli, W.: *Extrusionswerkzeuge für Kunststoffe und Kautschuk*, Carl Hanser Verlag, München, 1991
- [2] Fischer, P. und Wortberg, J.: *Wendelverteilerwerkzeuge – Neue Konstruktionen aktueller denn je*, PLASTICS SPECIAL 10/1999, S. 50-55
- [3] Michaeli, W. und Blömer, P.: *Rheologische Auslegung von Wendelverteilern*, EXTRUSION 10/2003, S. 16-19
- [4] Langecker, G. R. und Wieczorek, A.: *Berechnen von Wendelverteilerwerkzeugen*, Kunststoffe 4/2003, S. 44-48
- [5] Limper, A. und Stieglitz, H.: *Berechnungsmodell bestätigt. Werkzeugauslegung für die Rohr- und Plattenextrusion*, Kunststoffe 10/2002, S. 161-165
- [6] Burmann, G.: *Extrusionswerkzeuge für die Schlauchextrusion*, Handbuch zur 3. Duisburger Extrusionstagung 8./9. März 2006
- [7] BASELL-Schrift 2002: *Hohlkörperprodukte, Blasformprodukte, Verarbeitung und Anwendungen*
- [8] Fischer, P.: *Coextrusionswerkzeuge mit Wendelverteilern*, Handbuch zum Kongress 'PROFIL- UND ROHREXTRUSION in schwierigem Umfeld, Bad Neuenahr 30./31. Januar 2003, S. 11-13
- [9] Wortberg, J.: *Design of Spiral Mandrel Coextrusion Heads for Blow Molding*, Proceedings of SPE-ANTEC, Boston, 1995, pp. 936-942
- [10] Michaeli, W. und Blömer, P.: *Flat spiral dies – rheological design with network theory*, Journal of Polymer Engineering 24 (2004) 1-3, pp. 137-153
- [11] Fritz, H.-G. und Cretu, M.: *Auslegungskonzept für Radialwendelverteilersysteme*, Kunststoffe 6/2004, S. 84-88
- [12] Körzel, K. und Michels, R.: *Neuigkeiten bei Zylinderheizungen*, Handbuch zur SKZ-Fachtagung 'Neuigkeiten in der Extrusion', Würzburg 2002

## Kontakt

ETA Kunststofftechnologie GmbH	Fon: 02241 / 949707
Biberweg 4	Fax: 02241 / 949709
53842 Troisdorf	E-Mail: mail@eta-gmbh.de

Fachtagung 'Blasformtechnik 2006', 26.-27. April 2006  
Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, Würzburg