Coextrusionswerkzeuge mit Wendelverteilern

Peter Fischer, ETA Kunststofftechnologie GmbH

1st International Congress 'PROFILE & PIPE EXTRUSION in Difficult Markets'

Bad Neuenahr, January 30/31, 2003

Innovative mehrlagige Rohrsysteme erfordern innovative Produktionseinrichtungen. In modernen Coextrusionsanlagen bilden die Mehrschichtwerkzeuge das entscheidende Herzstück. Stegdornhalterwerkzeuge, Siebkorbwerkzeuge und Systeme mit Spinnverteilern sind bewährt für einlagige Produkte. Diese haben aber Grenzen, wenn mehr als eine Komponente kombiniert werden soll. Für mehrschichtige Strukturen sind Coextrusionswerkzeuge mit Wendelverteilern die bestgeeigneten Systeme, in den meisten Fällen die einzig Möglichen. Leider ausgenommen ist bis heute weichmacherfreies PVC (PVC-U).
Der Beitrag gibt einen Überblick über Auslegung, Konstruktion und Fertigungstechnik. Besonders beleuchtet er Beispiele für die Herstellung innovativer mehrlagiger Rohrsysteme, einschließlich der Extrusionsbeschichtung vorgefertigter Kunststoffrohre.

1. Optimierung von Auslegung und Konstruktion

Die herausragenden verfahrenstechnischen Vorteile der Wendelverteilerwerkzeuge bestehen in einem gleichmäßigen Volumenstrom und dadurch ausgezeichneter (Schicht-) Dickenverteilung, dem breiten Spektrum verarbeitbarer Materialien und dem Fehlen von Bindenähten und anderer Schwachstellen. Betriebstechnische Vorzüge liegen in der kompakten Bauform mit wenigen Einzelteilen und dadurch einem leichten Montagehandling, sowie in den kurzen Material- und Farbwechselzeiten.

Zur Unterstützung des verfahrenstechnischen Layouts und der Konstruktion werden Computersimulationen durchgeführt. Im Normalfall genügen die bekannten zweidimensionalen Modelle für isotherme Strömungen auf Basis von Netzwerken (Bild 1).

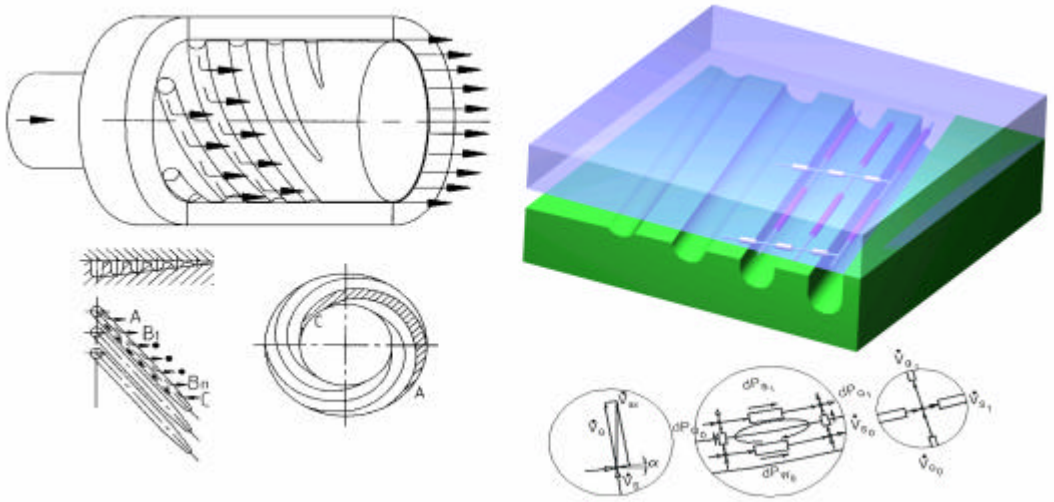


Bild 1: Arbeitsprinzip und Auslegungsgrundlagen eines Wendelverteilerwerkzeugs

Aufwändigere CFD-Programme für die Simulation dreidimensionaler, nicht-isothermer Strömung unter Nutzung von FEM, FDM oder BEM ergeben kaum „bessere“ Daten. Denn letztendlich gibt die richtige Interpretation der Simulation und somit die Erfahrung des Ingenieurs den entscheidenden Ausschlag.

Das gilt besonders auch für die Beurteilung von Mehrschichtströmungen und der Vorgänge an den Schichtgrenzen. Diese hängen u. a. 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 Schmelzen in einem Punkt zusammengeführt werden oder sequentiell nacheinander (Bild 2).

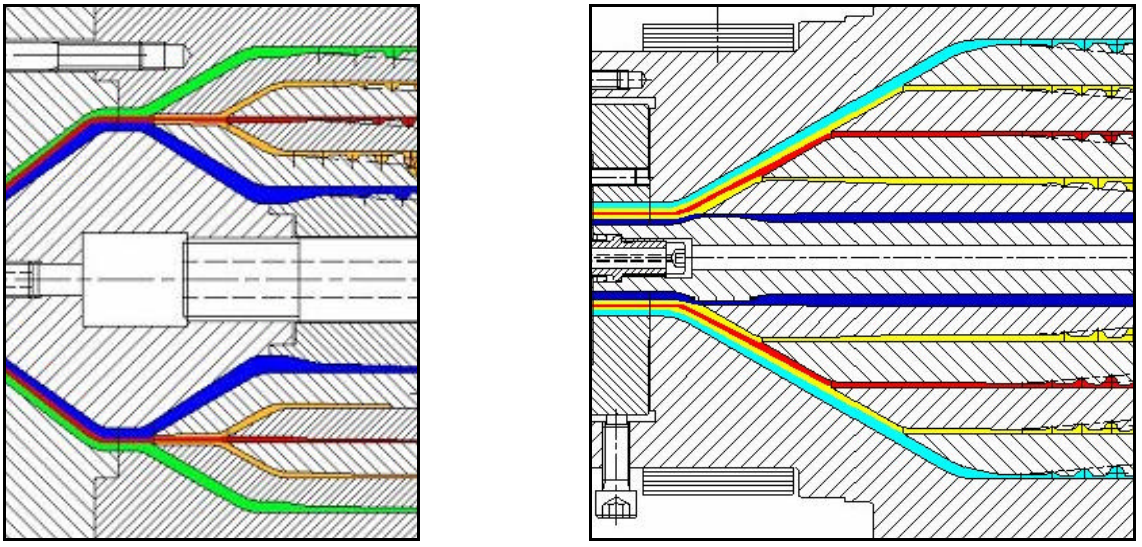


Bild 2: Schichtbildung in Fünfschichtwerkzeugen

Jedes computerunterstützte Layout zielt auf die Ausbildung einer gleichförmigen Strömung und geringer Druckverluste - mitunter ein Zielkonflikt, der zu Kompromisslösungen zwingt.

Die Verteilung der Schmelze(n) vom Extruder bzw. von den Extrudern zu den Wendelkanälen kann besondere Bedeutung haben. Bild 3 zeigt ein System mit Vorverzweigung von einem in vier Kanäle, welche jeweils einen Kleiderbügelverteiler nach Art von Breitschlitzdüsen speisen, und danach den eigentlichen Wendelverteiler.

Bild 3: Wendelverteiler mit Vorverzweigung 1 → 2 → 4 und Kleiderbügelvorverteilung

Auslegung und Konstruktion der Schmelzevorverteilung werden ebenfalls mit Hilfe von Simulationsrechnungen optimiert.

2. Zusammenwirken von Konstruktion und Fertigung

Neben der Berechnung und Dimensionierung der Fließkanäle ist eine enge Zusammenarbeit von Konstrukteur und Fertigungstechniker überaus wichtig. Was nutzt ein stromlinienförmiger Kanal, wenn er nicht gefertigt werden kann, oder anders ausgedrückt: In gewissem Maße können die Werkzeuge nur so gut sein, wie die Bearbeitungsmöglichkeiten in der Fertigung es zulassen.

Beispielsweise ist es wichtig, durch Hinterschneidungen die Bildung von „Totwassergebieten“ zu vermeiden als Voraussetzung für gutes Spülverhalten. Mit geschmiedeten und ultraschallgeprüften Werkzeugstählen ergibt das Hochgeschwindigkeitsfräsen 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 u. ä. aufgebracht, in Sonderfällen auch als Mehrlagenbeschichtung.

3. Coextrusionswerkzeuge

Rohre mit zwei oder drei Schichten werden mit unterschiedlichsten Materialien in Abmessungen von weniger als einem Millimeter (Medizinanwendungen), über einen Bereich von mehreren Millimetern (Automobilindustrie), bis zu Abwasserrohren mit 630 mm oder sogar größer produziert.

Bild 4 zeigt den Querschnitt durch ein Zweischichtwerkzeug für Kabelschutzrohre aus Polyethylen mit Farbstreifenmarkierung. Die Innenschicht kann beispielsweise aus schwarz eingefärbtem Rezyklat (DSD-Abfall) bestehen, außen überdeckt mit einer weißen Lage aus Neuware.

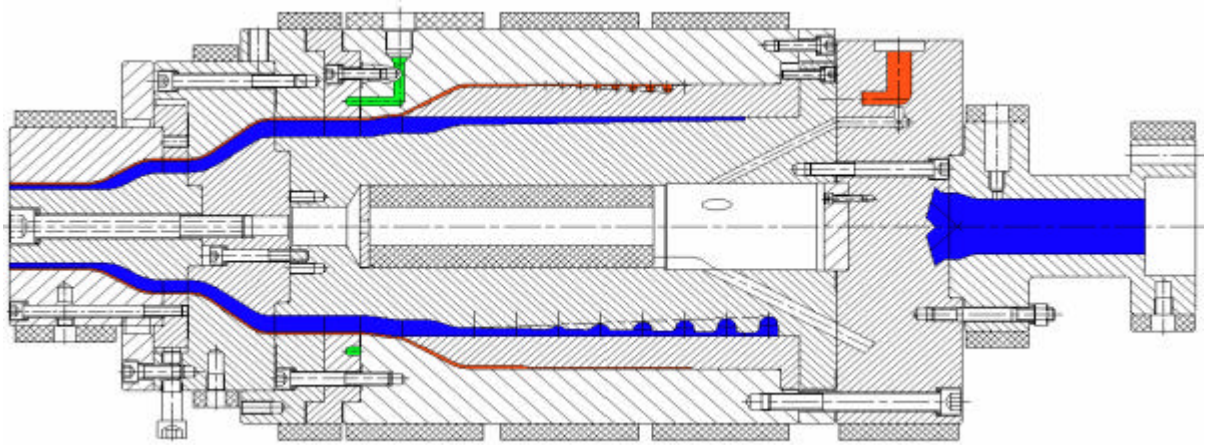


Bild 4: Zweischichtwerkzeug für Kabelschutzrohre und Ähnliches

Die gleiche Wandstruktur kann mit einem Einschichtwerkzeug erzeugt werden, welches mit einem Coextrusions-(Beschichtungs-)Modul ausgerüstet wurde (Bild 5). Beispiel: Rohre aus PE-HD mit einer Außenschicht aus PP zum Schutz der Rohre beim Relining oder bei der grabenlosen Verlegung.

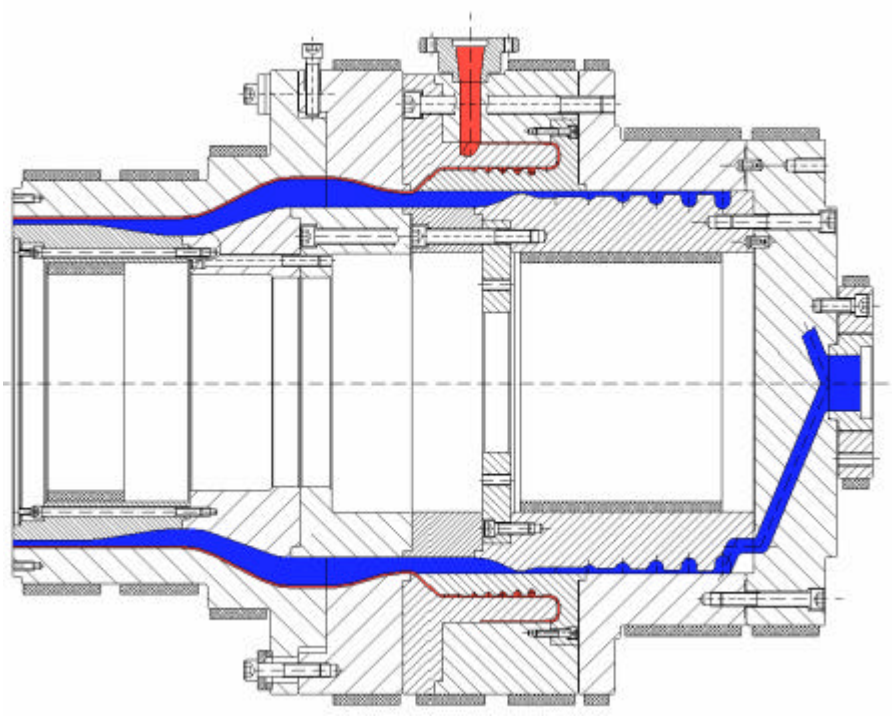


Bild 5: Rohrwerkzeug mit Beschichtungsmodul

An dieser Stelle sei auf die Bedeutung des Bereiches zwischen Verteilsystem und Düse hingewiesen. Es empfiehlt sich, ein genügend großes Kanalvolumen vorzusehen („Ausgleichsraum“), welches sich beispielsweise positiv auswirkt für die Vergleichmäßigung der morphologischen Struktur bestimmter PP-Typen (glatte Oberflächen) oder für den Abbau und Ausgleich von Spannungen besonders bei bimodalen Rohrwerkstoffen (PE 80, PE 100).

Ein anderes typisches Beispiel für Zweischichtrohre sind Installationsrohre für Glasfaserkabel aus Polyethylen. Diese haben eine dünne innere Lage aus PE mit Silicon oder Ähnlichem als Gleitmittel. Die gleiche Werkzeugbauart wie für die Telecomkabelschutzrohre wird gewählt für PE-Kanalrohre mit einer inneren weißen Kontrastlage für bessere TV-Kamerainspektion.

Häufig werden die zweilagigen Produkte mit Dreischichtwerkzeugen produziert, indem ein Extruder nicht betrieben wird, oder in zwei benachbarten Schichten das gleiche Material gefahren wird.

Bild 6 zeigt ein Dreischichtwerkzeug für größere Polyolefinrohre für den zentralen Anschluss an einen Hauptextruder und mit seitlicher Anordnung des Nebenextruders für die innere und/oder äußere Schicht. Der Verzweigungsadapter vor den beiden seitlichen Einspeisungen hat in jeder Speisebohrung ein Ventil, um entweder dreilagige Rohre oder zweilagige mit wahlweise dünner Innen- oder Außenschicht herstellen zu können.

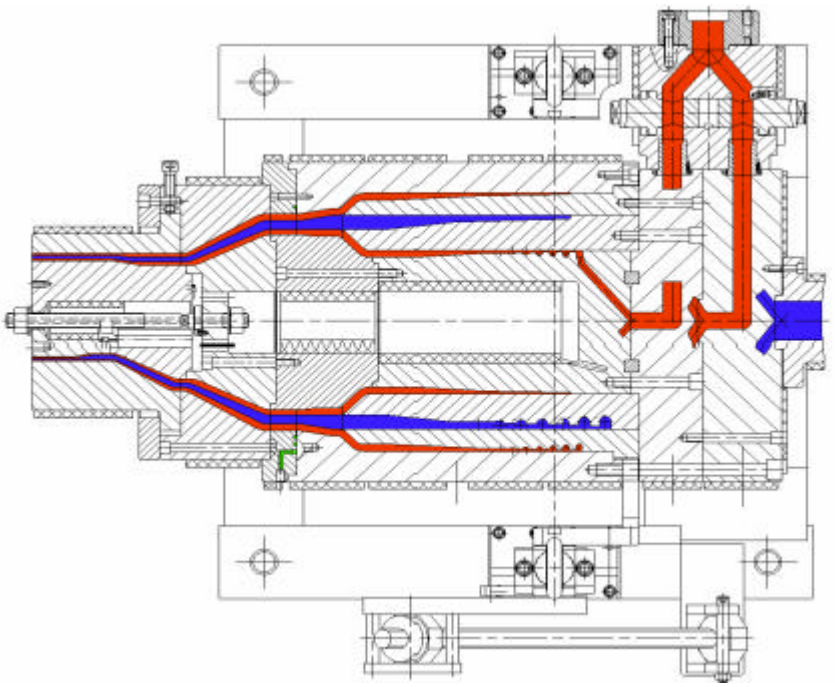
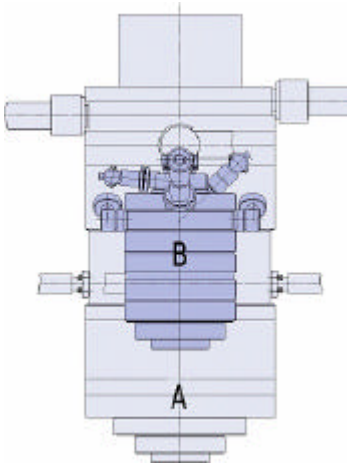


Bild 6: Dreischichtwerkzeug für PE-Druckrohe

Bis heute werden vier- oder fünfschichtige Rohre nur in kleineren Abmessungen hergestellt und zwar überwiegend aus technischen Kunststoffen. Typisches Beispiel sind Kraftstoffleitungen auf Basis Polyamid mit zusätzlichen Lagen für besondere technologische Eigenschaften wie Permeationssperre, elektrische Leitfähigkeit usw.. Ein anderes Fünfschichtprodukt sind Heißwasserrohre aus vernetztem PE mit EVOH-Sperrschicht.

Kein anderes Konstruktionsprinzip außer dem Wendelverteiler bietet die Möglichkeit, (mit vertretbarem Bauvolumen) so viele Schmelzeströme zu einem rohrförmigen Verbund zu vereinen. Zur Darstellung der Größenverhältnisse soll ein Exkurs in das Gebiet des Blasformens dienen, wo zum Herstellen von Kunststoff-Kraftstoff-Behältern (KKB) und zugehörigen Einfüllrohren Sechsschicht-Schlauchköpfe mit Düsendurchmessern bis 1000 mm eingesetzt werden (Bild 7).



A = Pinolen mit versetzten Herzkurven,
ca. 20 Tonnen

B = Konzentrische Wendelverteiler,
ca. 4 Tonnen

⇒ Grosses Volumen bei
Dornhaltersystemen,
Siebkorbwerkzeugen usw.

⇒ Einzige Lösung:
Konzentrische Wendelverteiler (oder
Spiralverteiler) mit mehrfacher
Schmelzevorverteilung

Bild 7: Größenvergleich von 6-Schicht-Schlaufköpfen für KKB

Im Bild 8 ist die kompakte Bauform eines Werkzeugs mit fünf konzentrischen Wendelverteilern zu erkennen, in diesem Fall ausgeführt mit einer Düse für kleine Wellrohre (z. B. für Automobile). Alle Extruder werden von der Seite bzw. von oben angeschlossen, um das Zentrum freizuhalten zum Durchführen von Luft oder anderen Medien, bei größeren Wellrohren Kühlwasserleitungen.

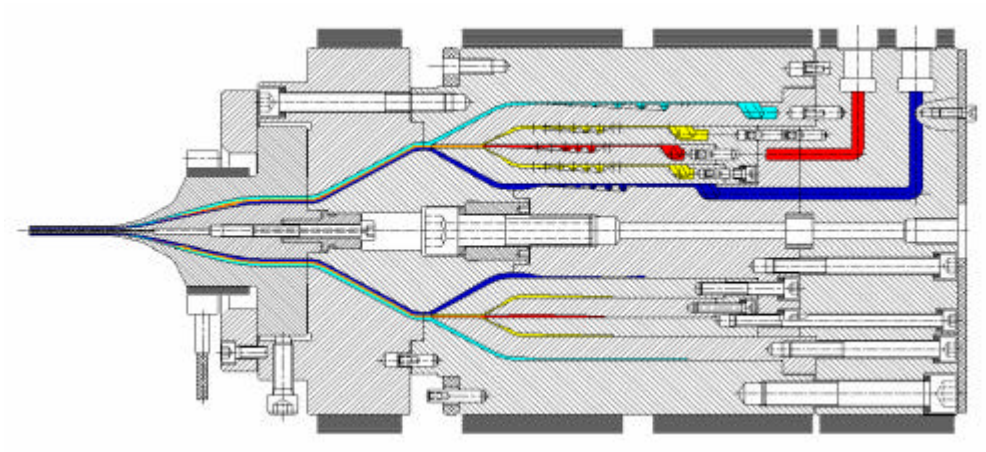


Bild 8: Fünfschichtwerkzeug für Wellrohre

And dieser Stelle einige Ausführungen zur Fahrbreite bei der Coextrusion. Obwohl Wendelverteilersysteme die bei weitem größte Flexibilität bezüglich der verarbeitbaren Materialien und Durchsätze haben, sind die Schichtdicken doch nicht beliebig variabel. Das ergibt sich alleine aus den Kriterien *Druckverlust, kritische Schergeschwindigkeit* und *Verweilzeit*. Für eine generelle Beurteilung kann in jeder Schicht ein Arbeitsbereich (min./max. Schichtdicke) mit einem Verhältnis von 3 bis 4:1 angesetzt werden.

Das reicht natürlich nicht, um aus einem Dünnschichtverteiler (für Barrierematerial oder Haftvermittler) einen Dickschichtverteiler zu machen. Für eine solch große Variabilität, die beispielsweise im Technikumsbetrieb oder für Produktentwicklung angestrebt wird, wurde ein Baukastensystem entwickelt, mit dem Mehrschichtwerkzeuge modular konzipiert werden können. Ein Beispiel ist in Bild 9 gezeigt.

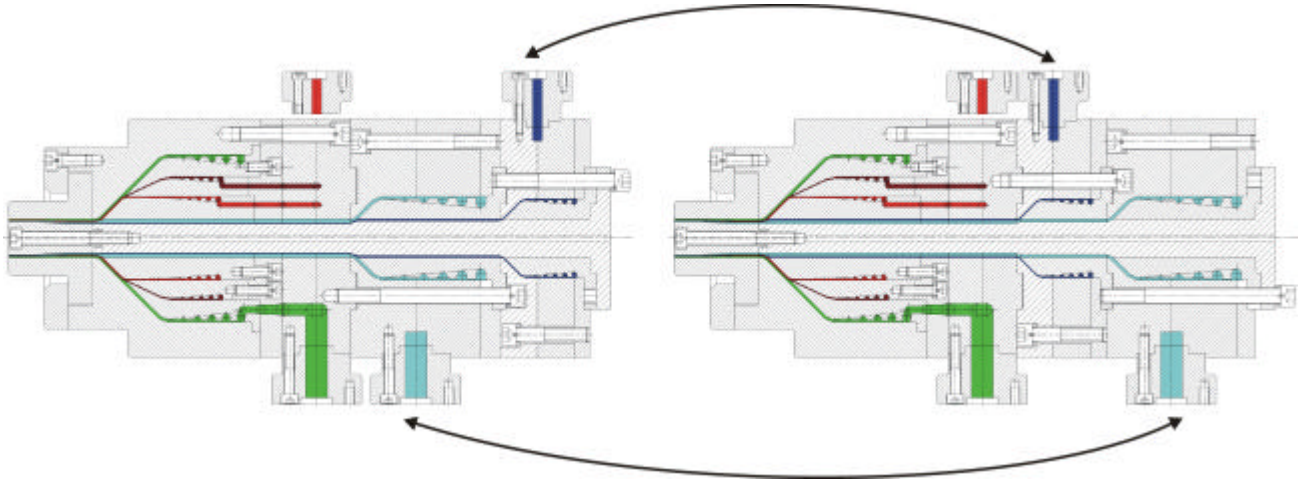


Bild 9: Fünfschichtwerkzeug in Modulbauweise

4. Extrusionsbeschichtung

Eine sich verbreitende andere Methode, um Kunststoffrohre mit einer äußeren Deckschicht herzustellen, ist das Ummanteln vorgefertigter Rohre mit Hilfe von Querspritzköpfen, ähnlich der Ummantelung von Stahlrohren oder Kabeln. Typische Beispiele dafür sind Fußbodenheizungsrohre aus PE-Xa mit einer Außenbeschichtung aus EVOH oder Verbundrohre aus PE-X oder PP mit Aluminiumeinlage.

Im größeren Abmessungsbereich sind Druckrohre aus PE 100 mit nachträglich aufgebrachter äußerer Schutzschicht auf dem Markt. Das Innenrohr ist nach Norm produziert und entsprechend markiert. Die Farbe der Deckschicht wird entsprechend dem Einsatzzweck gewählt (Bild 10).

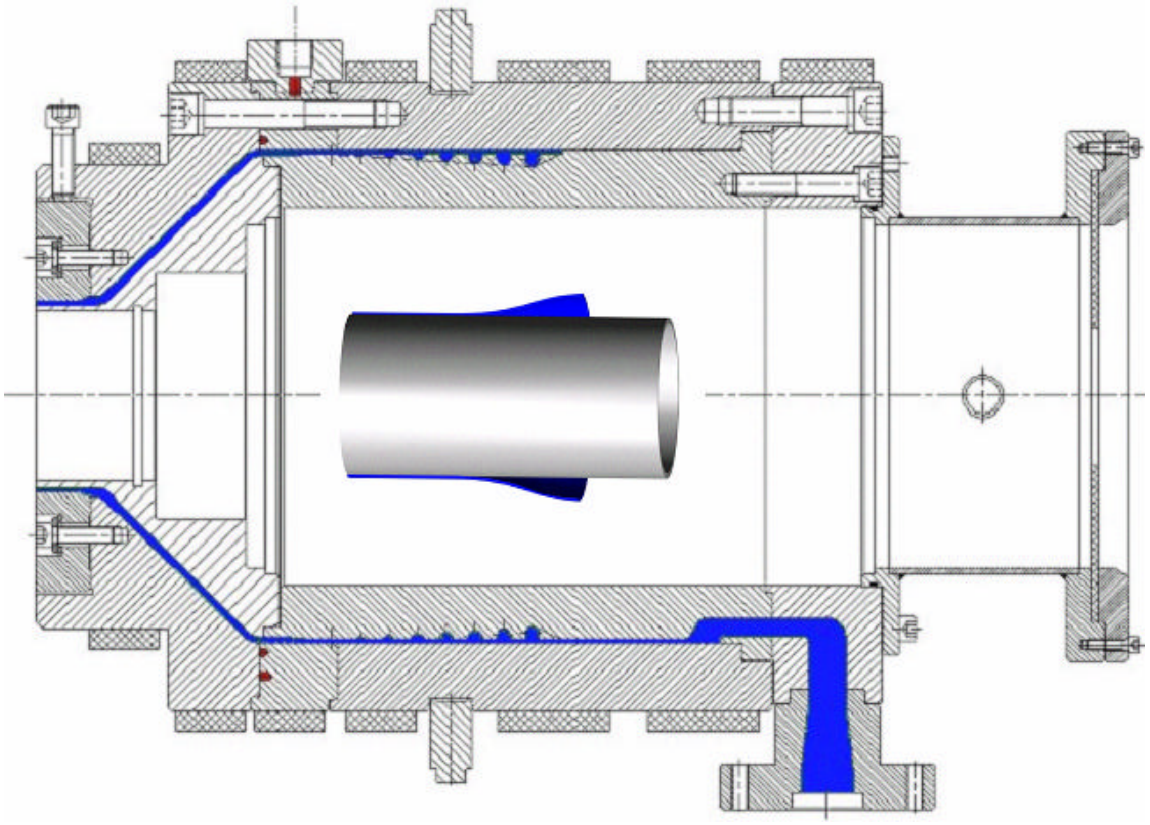


Bild 10: Beschichtungswerkzeug

Die Extrusionsbeschichtung erlaubt auch das einfache Eintragen von Ortungsdrähten oder ähnliche Sonderoperationen. In einigen Fällen wird eine Beschichtung mit zwei Lagen vorgenommen, um in der Zwischenanlage spezielle (Oberflächen-) Effekte zu erzielen.

Solche Ummantelungen werden auch durchgeführt bei zweilagigen Wellrohren, um eine quasiglatte Außenhaut zu erzeugen, und auf Fernwärmeleitungsrohre mit Polyuretanschaumisolation. Die Außen- und Innenbeschichtung von Gewebeschläuchen sind andere Beispiele solcher Sonderverfahren.

5. Schlussbetrachtung

Kein anderes Bauprinzip bietet annähernd so viele Möglichkeiten für Rohrextrusionswerkzeuge wie die Wendelverteilertechnik. Die Vorteile liegen auf der einen Seite in der sicheren und wirtschaftlichen Produktion, auf der anderen bietet sie vielfältige Möglichkeiten für die Produktentwicklung.

Die Werkzeuge können für alle Produkt- und Produktionsanforderungen optimal gestaltet werden – leider nicht für die Verarbeitung von PVC-U.

Da der PE- und PP-Rohrmarkt auch in den nächsten Jahren stetig wachsen wird und auch die Rohre aus technischen Kunststoffen ihren Marktanteil erweitern werden – nicht zuletzt wegen der Vorteile von Mehrkomponentensystemen – werden die in diesem Beitrag vorgestellten Extrusionswerkzeuge an Bedeutung gewinnen. Das gilt sehr wahrscheinlich (oder ganz speziell) auch für die Ummantelungssysteme, mit denen besonders innovative Produktentwicklungen möglich sind.

Alle Bilder sind Werkbilder der ETA Kunststofftechnologie GmbH, Troisdorf