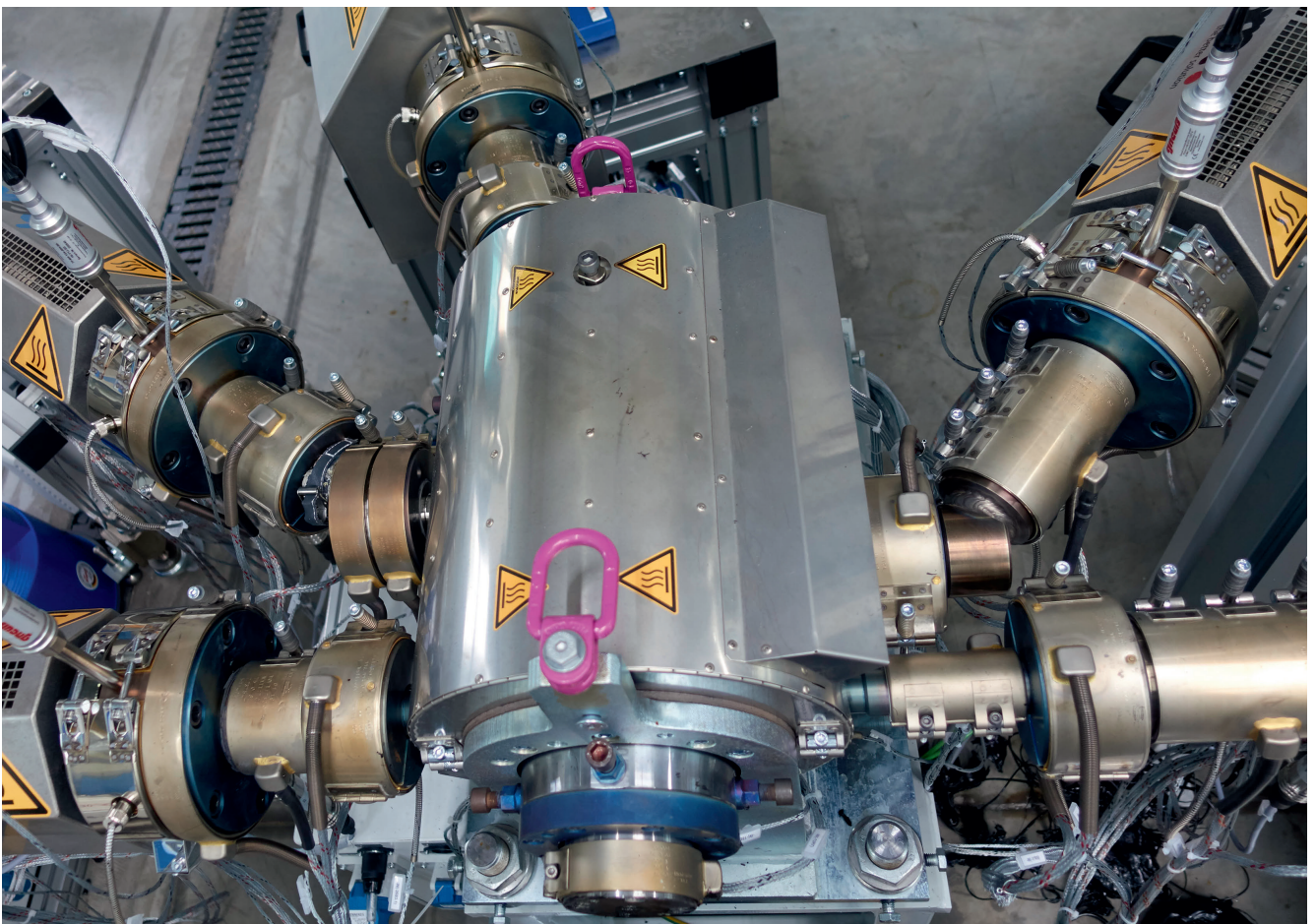


Coextrusion mit thermischer Kontrolle

Kunststoffe mit sehr unterschiedlichen Verarbeitungstemperaturen kombinieren

Für die Herstellung mehrschichtiger Kleinrohre werden zunehmend neue Polymerverbunde entwickelt um Produkte zielgerichtet zu funktionalisieren. Mit geeigneten Coextrusionswerkzeugen und der Option der thermischen Trennung lassen sich auch komplexe Schichtverbunde mit Schmelzetemperaturdifferenzen von mehr als 50°C sicher und qualitativ hochwertig verarbeiten.



5-Schicht-Coextrusionswerkzeug CV-T im Technikumsbetrieb: Im Coextrusionsverfahren lassen sich Rohre mit kleinen Durchmessern herstellen, die vielfältige Anforderungen erfüllen © ETA

Die Anforderungen an Kleinrohre mit Durchmessern von 3 bis 50 mm werden zunehmend komplexer. Neben der Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit oder der elektrischen Leitfähigkeit stehen vor allem Barriereeigenschaften im Fokus von Entwicklungen. Im Coextrusionsverfahren lassen sich die Eigenschaf-

ten und Funktionen der hergestellten Rohre durch die Kombination geeigneter Kunststoffe gezielt auf die vielfältigen, teilweise kombinierten Anforderungen abstimmen. Die ETA Kunststofftechnologie GmbH, Troisdorf, bietet Extrusionswerkzeuge für die Herstellung coextrudierter Produkte mit ringkreisförmigem

Querschnitt und bis zu sieben Schichten.

Zirkularverteilerwerkzeuge vermeiden Bindenähte

Coextrusionswerkzeuge zur Herstellung zwei- bis sechsschichtiger Kleinrohre für

die Geschäftsfelder Automotive, Medizintechnik, Kommunikation oder Wasserinstallation verfügen heute vermehrt über Systeme mit Zirkularverteilern, in denen die Schmelzeverteilung nach einer Vorverteilung radial zum Zentrum erfolgt (**Bild 1**). Durch diese Art der Umfangsverteilung werden Bindenähte vermieden, wie sie z. B. von Stegdornhalter- oder Pinolenwerkzeugen bekannt sind. Das Konzept ist seit der Markteinführung vor mehr als zehn Jahren vielfältig erprobt und wurde stetig weiterentwickelt. Die auf Basis der Zirkularverteiler entwickelten, modular aufgebauten, Werkzeugprinzipien zeichnen sich neben ihrer Flexibilität und Erweiterbarkeit hinsichtlich der Schichtanzahl vor allem durch die Möglichkeit zur separaten thermischen Beeinflussung der einzelnen Schichten aus [1].

Coextrusionsverfahren bieten die Möglichkeit, leistungsfähige Materialverbunde maßgeschneidert für den jeweiligen Anwendungsfall zu designen. Eingeschränkt wird diese Gestaltungsfreiheit durch den erforderlichen Prozessschritt des Aufschmelzens und des Zusammenführens der Polymere. Hier bestehen physikalische Grenzen hinsichtlich der Verarbeitungstemperaturen, die in Abhängigkeit der verwendeten Polymere zum Teil sehr stark voneinander abweichen können. Um eine Schädigung des Produktes bzw. einzelner Schichtmaterialien zu vermeiden und so die spätere Funktion zu gewährleisten, sind die in den technischen Datenblättern des Polymerherstellers für die Verarbeitung vorgegebenen Temperaturfenster einzuhalten. In kom-

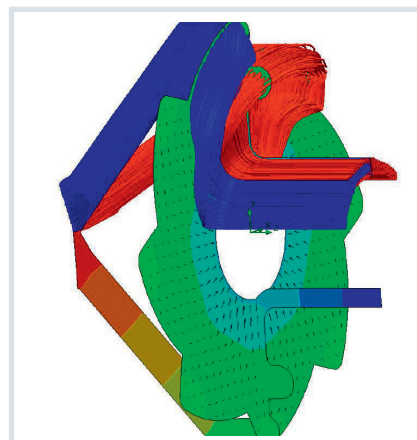


Bild 1. Prinzip der Zirkularverteilung: links ein Zirkularverteiler, rechts die Simulation der radialen Umfangsverteilung nach der Schmelzevorverteilung (© ETA)

plexen Anwendungsfällen sollten Coextrusionswerkzeuge daher insbesondere die Aufgabe erfüllen, eine Zusammenführung der verschiedenen Schmelzen unter idealen thermischen Bedingungen zu realisieren.

Anforderungen an Coextrusionswerkzeuge

Kunststoffverarbeitende Unternehmen stellen an ein Coextrusionswerkzeug darüber hinaus heute die Forderung, dass es für die Produktion möglichst aller derzeit und künftig geplanter Schichtmaterialkombinationen gut geeignet ist. Hieraus lassen sich folgende Anforderungen ableiten:

- Hohe Standzeit ohne Reinigungszyklen
- Verarbeitbarkeit eines breiten Rohstoffspektrums

- Schnelle Farb- und Materialwechsel
- Herstellung von Produkten mit dünnen Funktionsschichten und engen Einzelschichttoleranzen
- Hohe Produktivität und Verfügbarkeit des Gesamtsystems
- Eignung für verschiedene Produktkategorien (z.B. Glattrohr- und Wellrohr)
- Flexibilität und Nachrüstbarkeit zur Erhöhung der Schichtanzahl

Im Marktsegment der Kraftstoffleitungen wurde in der Vergangenheit aufgrund unterschiedlichster Produkthanforderungen eine breite Produktpalette mit vielfältigen Verbundaufbauten entwickelt [2].

Diese Entwicklung belegen zahlreiche Patente mit unterschiedlichen Schichtaufbauten, bestehend aus Rohstoffen wie den Polyamiden PA12, PA6 und PA612, Polyvinylidenfluorid »

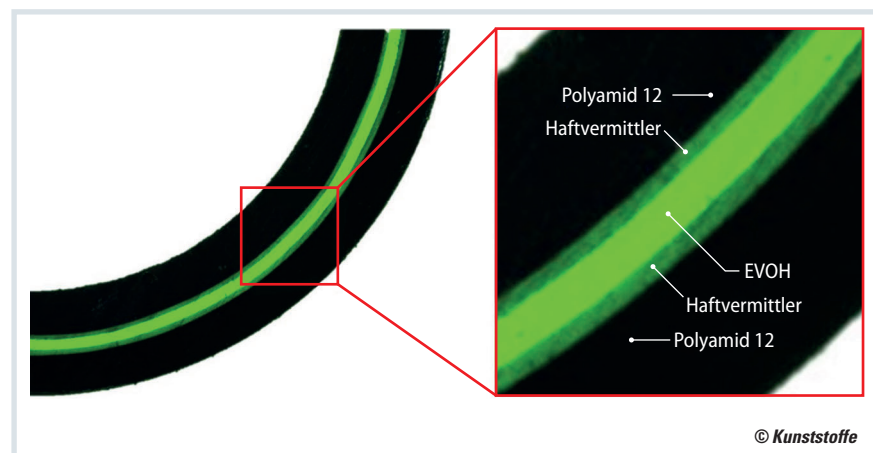


Bild 2. 5-schichtige Kraftstoffleitung: Links der Rohrquerschnitt, rechts eine Detailansicht (Quelle: ETA)

Die Autoren

Dipl.-Ing. Georg Burmann und **Dr.-Ing. Patrick Weiß** sind Projektleiter bei der ETA Kunststofftechnologie GmbH in Troisdorf; mail@eta-gmbh.de

Service

Digitalversion

- » Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2019-09

English Version

- » Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

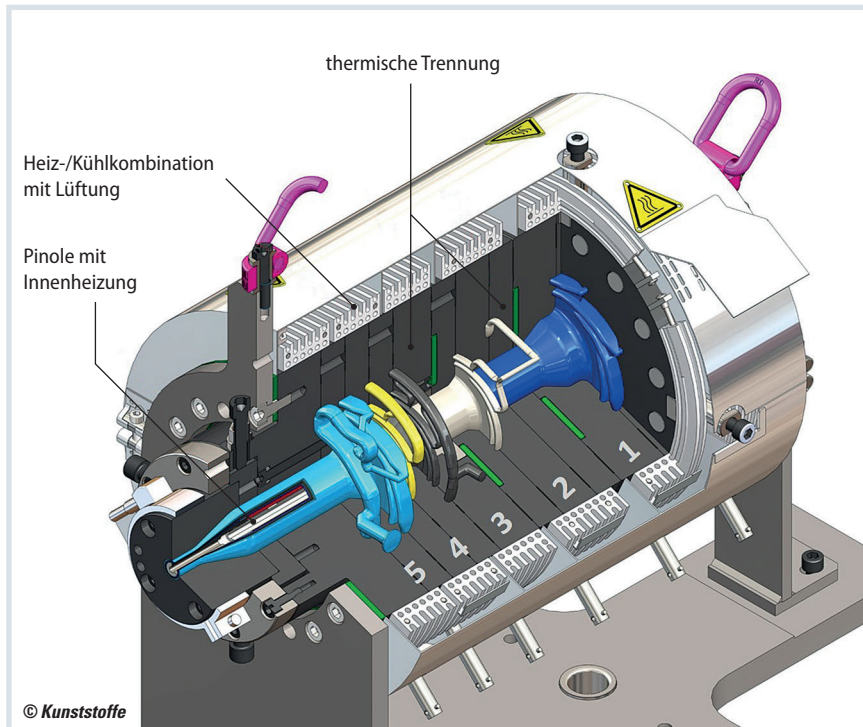


Bild 3. 5-Schicht-Coextrusionswerkzeug CV-T in Teil-Schnittdarstellung: Die farbig dargestellten Bereiche stellen die fünf verarbeiteten Materialien bzw. deren Verteilung dar. Die Ziffern kennzeichnen die einzelnen Schichtmodule innerhalb des Werkzeugs (Quelle: ETA)

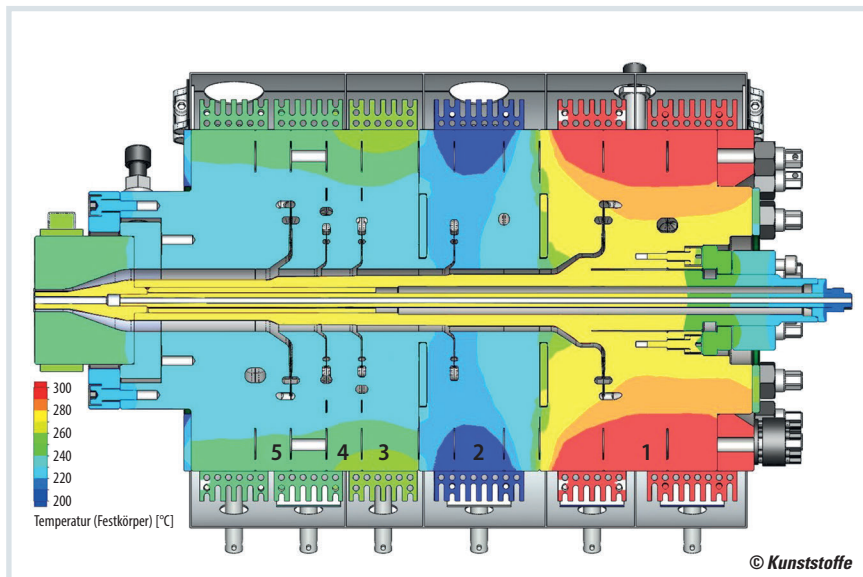


Bild 4. Simulation des thermischen Zustandes innerhalb des CV-T-Werkzeugs bei der Produktion einer 5-schichtigen Kraftstoffleitung (© ETA)

(PVDF), dem Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer EVOH, den Polyphthalamiden PA9T, PA10T und High-Density Polyethylen (PE-HD) sowie aus Fluorpolymeren wie ETFE (Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymer), THV (Terpolymer aus Tetrafluorethylen, Hexafluorpropylen und Vinylidenelektrofluorid) und EFEP (modifiziertes Ethylen-Propylen-Copolymer).

Zunehmend werden in der Innenlage auch elektrisch leitfähige Compounds eingesetzt. Je nach Verbundstruktur werden Polymere coextrudiert, deren Verarbeitungstemperaturen sich um bis zu 80°C voneinander unterscheiden und die zum Teil korrosiv auf Werkzeugoberflächen wirken. Den beispielhaften Schichtaufbau einer 5-schichtigen Kraftstoffleitung mit einem Durchmesser von 8 mm und einer Wanddicke von 1 mm zeigt (Bild 2).

Für komplexe Materialkombinationen geeignet

Die für die Herstellung von funktionalisierten Mehrschicht-Kunststoffrohren entwickelten Zirkularverteilerwerkzeuge der Werkzeugreihe CV-T (Circularverteiler mit thermischer Trennung) sind aufgrund einer im Inneren des Werkzeugs wirkenden thermischen Trennung für komplexe Produkte besonders geeignet. Die „Scheibenbauweise“ ermöglicht die Temperierung jedes Verteilermoduls bzw. jeder Polymerschicht entsprechend der empfohlenen Verarbeitungstemperatur des Ausgangsmaterials. Durch die Innenbeheizung der zentralen Pinole wird außerdem die dort strömende Schmelze der Innenschicht bis zum Schmelzeaustritt optimal temperiert. Diese thermischen Kontrollmöglichkeiten sind die Voraussetzung für eine bestmögliche Produktqualität und Dimensionsstabilität bei langen Werkzeugstandzeiten ohne die Bildung von Ablagerungen, auch bei anspruchsvollen Materialkombinationen.

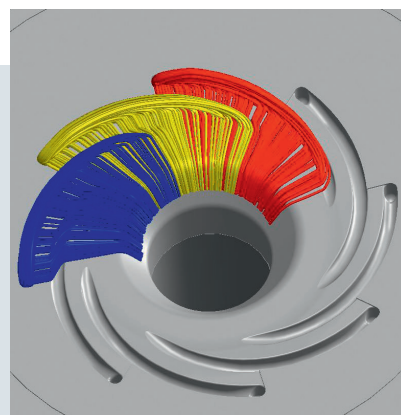
Eine häufige Marktanforderung besteht darin, Produkte mit Innenschichten aus technischen Hochtemperatur-Polymeren, oftmals zusätzlich mit elektrischer Leitfähigkeit, herstellen zu können. Je nach Polymerverbund werden hierfür Coextrusionswerkzeuge mit einer oder mit mehreren inneren Wärmetrennungen verwendet. Weitere Ideen hinsichtlich verschiedenartiger Strukturen haben dazu geführt, Werkzeuge für Produkte mit sechs Schichten und vier separat temperierbaren Zonen zu konstruieren.

Das in (Bild 3) gezeigte 5-Schicht-Coextrusionswerkzeug ist für die Verarbeitung von Fluorpolymeren in den beiden inneren Schichten konzipiert und verfügt neben den gewöhnlichen Heizzonen 4 und 5 zur gezielten Temperaturführung über drei separat einstellbare Temperier-

Prinzip der Zirkularverteilung

Nach der Einspeisung und einer geeigneten Vorverteilung werden die aufgeteilten Schmelzeströme im Zirkularverteiler doppelseitig in einer Ebene in Umfangs- und in Radialrichtung verteilt. Das Verteilprinzip ist im Bild für drei der insgesamt acht Wendelströmungen exemplarisch dargestellt. Die in Umfangsrichtung entstehende Überlappung der Teilströme verhindert die Bildung von Bindenähten.

Im freien Zentrum der Verteilerplatte trifft die Schmelze auf die sogenannte Pinole und wird zu einer kreisringförmigen Strömung in Richtung der Extrusionsachse ausgebildet. Im Coextrusionswerkzeug wird jedes verwendete Ausgangsmaterial auf diese Weise separat verteilt. Die Einzelschichten werden sequenziell zusammengeführt und bilden am Austritt des Werkzeugs den gewünschten Schichtverbund.



Die Schmelze wird in Umfangsrichtung (in dieser Ansicht im Uhrzeigersinn) verteilt und strömt radial in Richtung Pinole (© ETA)

bereiche 1, 2 und 3 mit innerer thermischer Trennung, die entweder beheizt oder mittels erzwungener Konvektion gekühlt werden können. Für die Herstellung von Wellrohren ist die zentrale Pinole zentrierbar ausgeführt, um Zentrieroperationen ohne Produktionsunterbrechung ausführen zu können.

Simulation des thermischen Werkzeugverhaltens

Um die Vorteile der thermischen Trennung anhand eines Produktbeispiels darzustellen, ist in (Bild 4) die thermische Situation innerhalb des CV-T-Coextrusionswerkzeugs bei der Herstellung einer 5-schichtigen Kraftstoffleitung dargestellt. Der Schichtverbund besteht hier, beginnend mit der Innenschicht, aus PA6, EVOH und drei verschiedenen PA12-Schichten bis zur Außenschicht. Entsprechend der Herstellervorgabe liegen die Schmelzetemperaturen bei ca. 275 °C für das PA6, ca. 220 °C für das EVOH und ca. 240 °C für die PA12-Typen. Durch die Temperiermöglichkeiten des Extrusionswerkzeugs lassen sich diese Vorgaben in der Praxis exakt einhalten. So können insbesondere thermisch sensible Materialien, wie z. B. EVOH, mit dem CV-T-Konzept, sehr schonend und ohne materialschädigende, lokale Überhitzung verarbeitet werden. Die Temperaturdifferenz zwischen dem EVOH-Modul (2) und dem PA6-Modul (1) beträgt hier 55 °C. Die Qualität und die Funktionen der verarbeiteten Materialien innerhalb des Schichtverbundes werden so sichergestellt.

Zur Ermittlung der maximal erreichbaren Temperaturdifferenz zwischen di-

rekt benachbarten Polymerschichten wird die Solltemperaturvorgabe für die drei benachbarten, temperierbaren Module so gewählt, dass sich ein Temperaturprofil „heiß – kalt – heiß“ einstellt. Die Module 1 und 3 werden kontinuierlich beheizt, während dem Modul 2 mittels eines aufgebrachtten Kühlluftstroms Wärme entzogen wird.

Als Resultat stellen sich in der Nähe der schmelzeführenden Bereiche Temperaturen ein, die repräsentativ für die Schmelzetemperaturen sind, mit denen die zu verarbeitenden Polymere stabil und konstant verarbeitet werden können. Es hat sich gezeigt, dass mit diesem Werkzeugkonzept zwei benachbarte Polymere mit einem Unterschied in den Schmelzetemperaturen von bis zu 80 °C verarbeitet werden können. Somit ist es möglich, innerhalb des Schichtverbunds ein Polymer mit einer Schmelzetemperatur von 220 °C zu verarbeiten, während die beiden angrenzenden Polymere bei einer Schmelzetemperatur von bis zu 300 °C verarbeitet werden können, ohne dass eine negative gegenseitige Beeinflussung stattfindet.

Werkzeug für weniger komplexe Materialkombinationen

Zukünftig werden immer mehr Produkte durch gezielt aufeinander abgestimmte Materialkombinationen funktionalisiert, die Ansprüche an die verwendete Prozesstechnik werden weiter zunehmen. Für diese Anwendungsfälle ist das CV-T-Werkzeug bereits heute geeignet. Doch auch Standardprodukte aus weniger komplexen Materialkombinationen wer-

den weiterhin am Markt vertreten sein und eine nicht weniger wichtige Rolle einnehmen.

Nicht jeder coextrudierte Materialverbund erfordert unter Berücksichtigung der kombinierten Materialien den Einsatz von Extrusionswerkzeugen mit Sonderoptionen. Bedarfsgerecht werden daher für diese Produkte die ebenfalls modular aufgebauten Zirkularverteiler Extrusionswerkzeuge der Reihe CV-e (economy) eingesetzt, bei denen unter Beibehaltung einer hohen Qualität entbehrliche Ausstattungsvarianten bewusst nicht integriert werden, um ein kosteneffizientes Werkzeugkonzept realisieren zu können. Ausstattungsvarianten wie thermische Trennung, Innenzentrierung für die Wellrohrherstellung und die Möglichkeit zur dauerhaften Verarbeitung von Fluorpolymeren sind nicht vorgesehen.

Ebenso wie die Coextrusionswerkzeuge der T-Reihe wird auch die e-Reihe unter Verwendung von CFD-Methoden (Computational Fluid Dynamics) konstruiert. Beide Werkzeugkonzepte weisen in Bezug auf geringe Verweilzeiten und Materialbeanspruchungen optimal ausgelegte Fließkanalquerschnitte ohne Stagnationszonen auf [3].

Für Produktionsversuche und zur Musterherstellung wird gemeinsam mit der Bellaform GmbH, Gau-Algesheim, eine Technikumsanlage betrieben (Titelbild). Hier stehen beide Werkzeug-Baureihen mit bis zu fünf Schichten für Testzwecke zur Verfügung. Genutzt wird diese Möglichkeit regelmäßig zur Erprobung neuer Materialien oder Schichtverbunde sowie für Produktbemusterungen. ■