

Massekanalauslegung mithilfe der additiven Fertigung erschließt Qualitätsvorteile

Dreidimensionale Schmelzeführung im Heißkanal-Verteilerblock

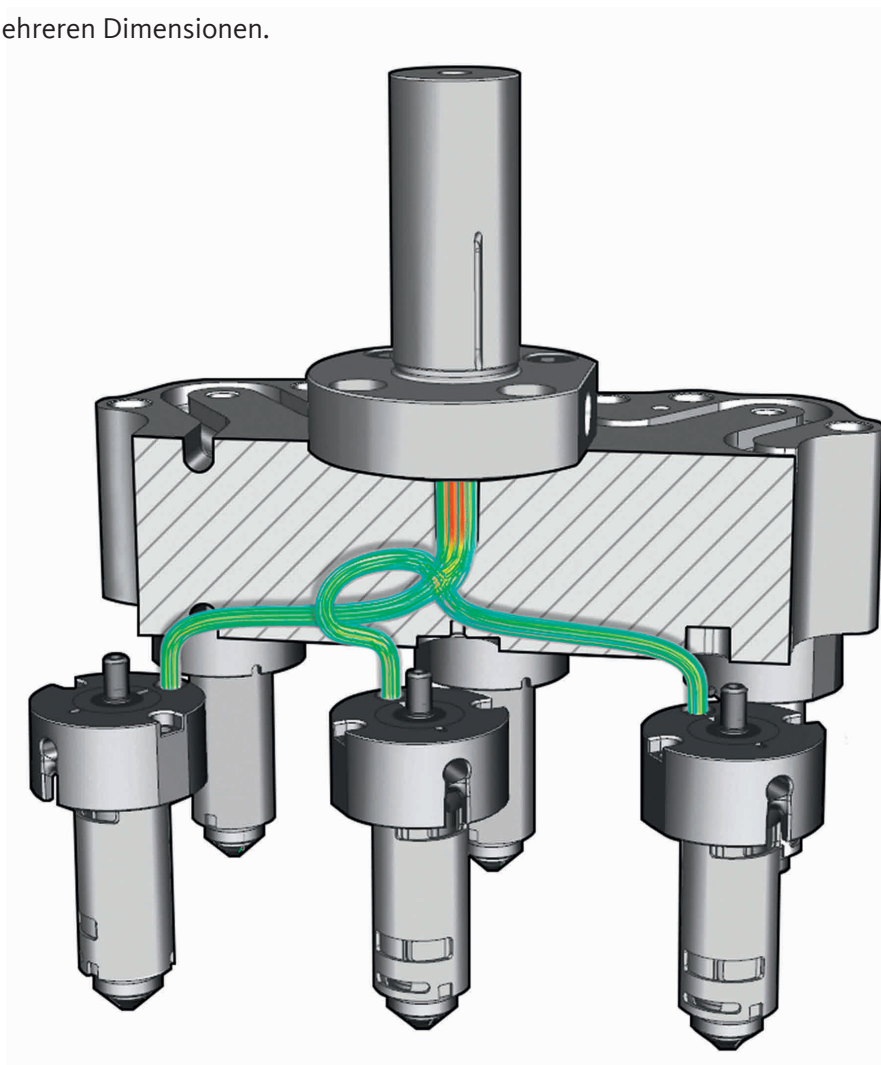
Die Heißkanalauslegung hat zum Ziel, alle Kavitäten mit der gleichen Schmelzequalität, gleichen Füll- und Kompressionsdrücken sowie der gleichen Füllgeschwindigkeit zu versorgen, ohne die Schmelze auf dem Weg zu beschädigen. Dabei nimmt der Verteilerblock eine Schlüsselrolle ein, da dieser neben der Schmelzeleitung auch die Verteilung der Schmelze auf die einzelnen Kavitäten übernimmt. Die additive Fertigung ermöglicht hier deutliche Verbesserungen – in mehreren Dimensionen.

Das Heißkanalsystem nimmt die von der Spritzgießmaschine aufbereitete Kunststoffschmelze von der Maschinendüse in der Angießbuchse auf und leitet die Schmelze über den Verteilerblock und die Heißkanaldüsen bis zur Anbindung in der Kavität. Allgemein wird dabei eine möglichst geringe Verweilzeit angestrebt. Im Bereich der Mehr-Kavitäten-Werkzeuge wird zumeist die natürliche Balancierung über gleiche Fließweglängen gewählt, da diese die prozessunabhängige Einhaltung dieser Anforderungen ermöglicht.

Varianten zur Fertigung von Heißkanal-Verteilerblöcken

Bei den heute meist konventionell durch Bohren hergestellten Heißkanal-Verteilerblöcken werden die Massekanäle aus geraden Abschnitten gebildet. Die Umlenkung und Aufteilung der Schmelze erfolgt durch Querbohrungen in Verbindung mit Umlenkstopfen, die als Zusatzelemente in den Verteilerblock gefügt werden. Dadurch sind die Gestaltungsmöglichkeiten für die Massekanalgeometrie eingeschränkt – durch enge Umlenkwinkel und kleine Radien an den Umlenkungen können unterschiedliche Scherbelastungen und Fließgeschwindigkeiten über den Massekanalquerschnitt auftreten, die die Spülbarkeit des Verteilers beeinträchtigen [1].

Im Gegensatz dazu ist es bei geteilten Verteilern möglich, die Massekanäle durch Fräsen einzubringen; sie bieten damit ähnliche Gestaltungsmöglichkei-



6-fach-Werkzeug mit natürlich balanciertem Drei-in-Reihe-Layout. © Barnes Molding Solutions / Institut für Produkt Engineering, Universität Duisburg-Essen

ten wie Kaltkanäle bei der Schmelzeführung in der Trennebene [1]. Dadurch können innerhalb der Trennung größere Radien zum Umlenken der Schmelze gefertigt werden, sodass sich die Spül-

barkeit verbessert und die Scherung des Kunststoffs reduziert. Die Steigbohrungen von der Angießbuchse in den Verteiler und vom Verteiler zu den Düsen können bei diesem Verteilerdesign »

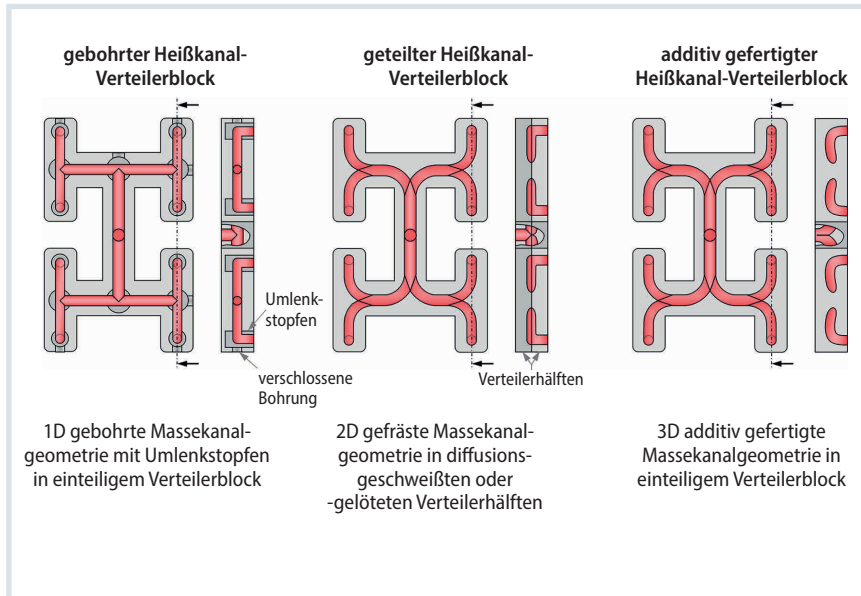


Bild 1. Je nach Fertigungsmethode ergeben sich verschiedene Möglichkeiten der Massekanaalauslegung bei natürlich balancierten Verteilerblöcken. © Simon Wurzbacher, Barnes Molding Solutions

jedoch nur in einem geringen Maß verroundet werden, weil durch das Fügeverfahren eine Deformation der Kanalgeometrie vorgehalten werden muss.

Allein die additive Fertigung des Heißkanal-Verteilerblocks ermöglicht eine wahrhaft dreidimensionale Gestaltung der Massekanalgeometrie. Dabei kann die Schmelzeumlenkung unabhängig von Ebenen im Verteiler ausgeführt und somit potenziell die rheologisch optimale Schmelzuführung erreicht werden. Weiterhin ergibt sich so die größtmögliche Flexibilität bei der Aufteilung der Schmelze (**Bild 1**).

Erschwerte Bedingungen für Verteiler, die von 2^x Kavitäten abweichen

Größere Herausforderungen bei der natürlichen Balancierung sind zu bewältigen, wenn die Zahl der Kavitäten, in die das Verteilersystem mündet, nicht einer Potenz von zwei entspricht. In solchen Fällen müssen Fließwege so aufgeteilt werden, dass sie in unterschiedlichen Winkeln aufeinandertreffen. So wird bei einem 6-fach-Werkzeug beispielsweise oft die Doppel-Y-Verteilung gewählt. Bei diesen Layouts lässt sich die gleiche Länge aller Fließwege meist nur durch

eine Verlängerung der Fließwege erreichen – allerdings wird damit auch die Verweilzeit verlängert. Zudem verlangt dieses Layout aufgrund der resultierenden Lage der Kreuzungspunkte sehr oft einen wesentlich größeren Bauraum und zugleich eine größere Ausfräsung in der Heißkanalplatte. Letzteres kann die Werkzeugsteifigkeit negativ beeinflussen und bedeutet einen höheren Fertigungsaufwand für den Formenbauer.

Auslegung eines 6-fach-Versuchswerkzeugs

Mit der additiven Fertigung gelingt es mit einigem Geschick, die Fließwege auch ohne Verschiebung der Fließwegaufteilung so auszulegen, dass statt eines Doppel-Y-Layouts ein natürlich balanciertes Drei-in-Reihe-Layout mit den bereits beschriebenen anderen Vorteilen dieser Fertigungsmethode verknüpft werden kann (**Titelbild**). Um die Möglichkeiten der additiven Fertigung auszutesten, wird ein 6-fach-Versuchswerkzeug (**Bild 2**) mit einem Heißkanal mit zylindrischem Nadelverschluss der Otto Männer GmbH, Teil der Barnes Molding Solutions, mit einem Kavitätenabstand von 70 mm und einem Reihenabstand von 100 mm verwendet. Der Prüfkörper ist eine einfache Kappe mit einem Volumen von 3,15 cm³. Für die Auslegung und Validierung wird ein Polypropylen (Typ: Moplen RP340N; Hersteller: LyondellBasell Industries) verwendet.

Die numerische Auslegung des Verteilerblocks erfolgt mit der Strömungs-

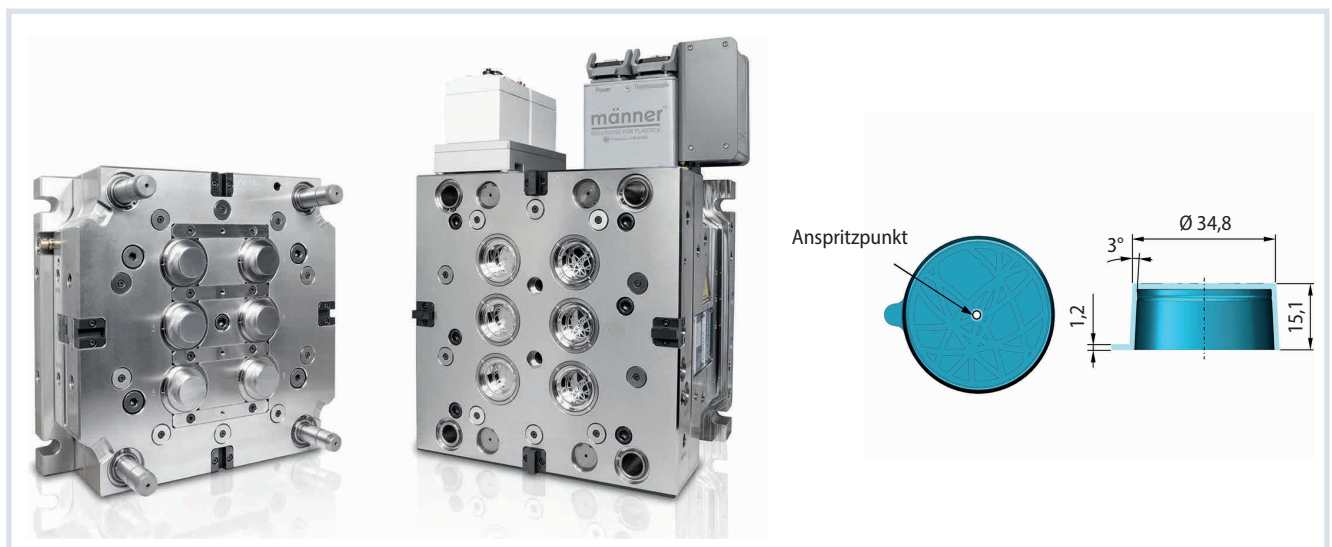


Bild 2. Mit dem 6-fach-Versuchswerkzeug werden als Prüfkörper einfache Verschlusskappen hergestellt. © Barnes Molding Solutions

simulationssoftware Ansys Fluent. Einschlägige Software für Füllbildsimulationen, wie sie bei der Werkzeugauslegung im Spritzgießen verwendet wird, ist für diesen Fall nur bedingt geeignet, da es sich bei dem Heißkanalverteiler nicht um eine zu füllende Kavität handelt. Aus diesem Grund wird die Einspritzphase des Spritzgießzyklus als stationäre Strömung angenommen; dies wiederum ermöglicht die Verwendung der detaillierteren Auswertungsmöglichkeiten von Ansys.

Für alle Simulationen werden dieselben globalen Einstellungen für die Vernetzung und die Randbedingungen gewählt, um die Ergebnisse auf seriöser Basis vergleichen zu können. Die Geometrie wird vernetzt mit einem hybriden Gitter aus Tetraederelementen in der Kanalmitte und Hexaedern in den Randschichten, damit wandnahe Strömungseffekte genauer abgebildet werden (**Bild 3 links**). Als Auslegungskriterium dient die Vereinheitlichung der Strömungsgeschwindigkeiten und Wandschubspannungen über alle Fließwege

mit dem Ziel, die Spülbarkeit deutlich zu verbessern und das Potenzial additiv gefertigter Heißkanalsysteme bewerten zu können.

Numerische Analyse des konventionellen Designs

Der konventionell gebohrte Verteilerblock ist als balanciertes Doppel-Y-System ausgeführt – um Fließwege auszugleichen, auf zwei Verteilerebenen [2]. Bei der Auslegung des Verteilers wird bewusst auf strömungsoptimierte Umlenkstopfen verzichtet. Die Analyse des Verteilers zeigt Zonen niedriger Geschwindigkeit und geringer Wandschubspannung in Bereichen der Schmelzeaufteilung und -umlenkung (**Bild 3 rechts**). Dies kann bei Farbwechselprozessen die notwendige Zyklenzahl zum vollständigen Spülen des Verteilers erhöhen [1].

Bei Betrachtung der Wandschubspannungen zeigt sich, dass diese mit einer mittleren absoluten Abweichung von 30 kPa um den Mittelwert von »

Info

Text

Dr.-Ing. Simon Wurzbacher leitet die Heißkanalentwicklung der Otto Männer GmbH, Bahlingen a. K.

Lucas Schulz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produkt Engineering der Universität Duisburg-Essen.

Dr.-Ing. Stefan Kruppa ist Vice President R&D und leitet die Forschung und Entwicklung für die Marken Männer, FoboHa, Thermoplay, Synventive, Gammaflux und Priamus bei Barnes Molding Solutions.

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Schiffers leitet den Lehrstuhl für Konstruktion und Kunststoffmaschinen am Institut für Produkt Engineering der Universität Duisburg-Essen.

Literatur

Das Literaturverzeichnis finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

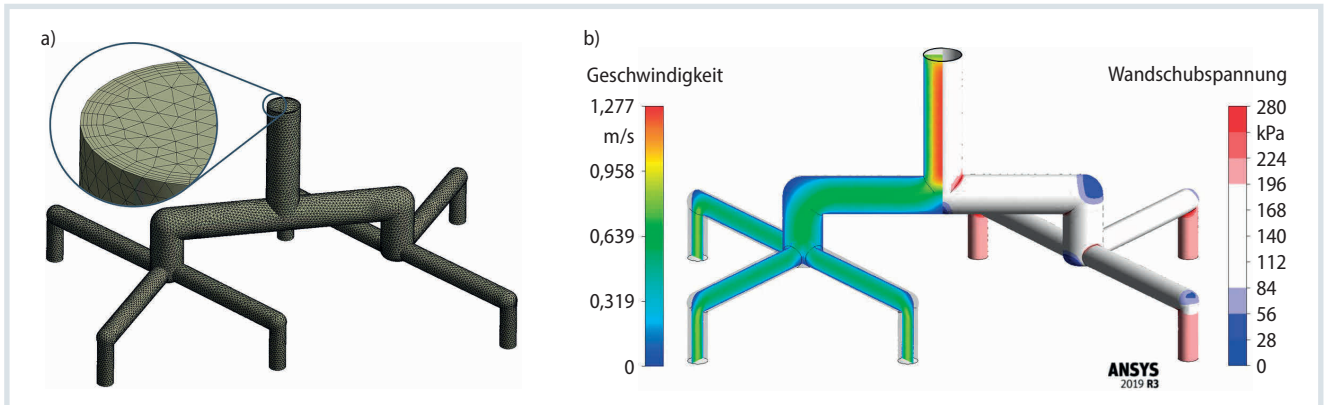


Bild 3. Vernetzung und Ergebnisse der numerischen Untersuchung des konventionellen Verteilers (Doppel-Y-System). In Bereichen der Schmelzaufteilung und -umlenkung zeigen sich Zonen niedriger Geschwindigkeit und geringer Wandschubspannung. © Institut für Produkt Engineering, Universität Duisburg-Essen

160 kPa variieren. Resultat kann unter anderem eine ungleichmäßige Belastung der Schmelze, respektive eine inhomogene Schmelzehistorie am Auslass des Verteilers sein.

Auslegung eines dreidimensionalen Verteilersystems

Indem man die Freiheitsgrade der additiven Fertigung nutzt, lässt sich die konventionelle Verteilergeometrie auf Basis der Simulationsergebnisse strömungsoptimiert auslegen. Dazu wird zunächst ein initiales Modell am Beispiel bionischer Verläufe in der Natur konstruiert und im Anschluss eine auf genetischen Algorithmen basierende automatisierte Optimierung durchgeführt. Auf dieser Grundlage lässt sich eine Vielzahl von Geometrievarianten mit reduziertem

Zeitaufwand bewerten. Um den Einfluss der Schmelzeführung gezielt zu untersuchen, werden alle Randbedingungen, wie beispielsweise die Außengeometrie des Verteilerblocks, Heißkanaldüsen, Masseübergabestellen und Verschraubungspositionen, gleich ausgeführt und Effekte wie Energieeinsparung durch die Reduktion der Verteilerdicke nicht betrachtet.

Aus der Ergebnisreihe möglicher Geometrien erwies sich für das 6-fach-Werkzeug die Drei-in-Reihe-Verteilung als besonders vielversprechend. Große Radien in den Kanälen ermöglichen eine materialschonende und natürlich balancierte Aufteilung der Schmelze (**Bild 4 links**). Untersuchungen der neuartigen Verteilung zeigen jedoch, dass eine natürliche Balancierung über die Fließweglänge, wie sie bei konventionellen

Verteilern vorgenommen wird, nicht ausreicht. Bei gleichem Druckverlust über alle Kanäle und gleichem Massendurchsatz muss das Volumen jedes Kanals äquivalent sein. Bei der Balancierung gebohrter Verteiler geht dies mit einer Anpassung der Fließweglänge einher, für frei geführte Kanäle muss die Geometrie, da die Volumina aufgrund unterschiedlicher Krümmungen nicht identisch sind, angeglichen werden.

Neben der Homogenisierung der Fließgeschwindigkeiten im Verteiler zeigt die Auswertung eine Verbesserung der Wandschubspannung. Gegenüber dem gebohrten Verteiler kann die mittlere absolute Abweichung um fast 50% reduziert werden (**Bild 4 rechts**). Bei leicht erhöhtem Mittelwert werden die Wandschubspannungen demnach deutlich aneinander angeglichen. Die

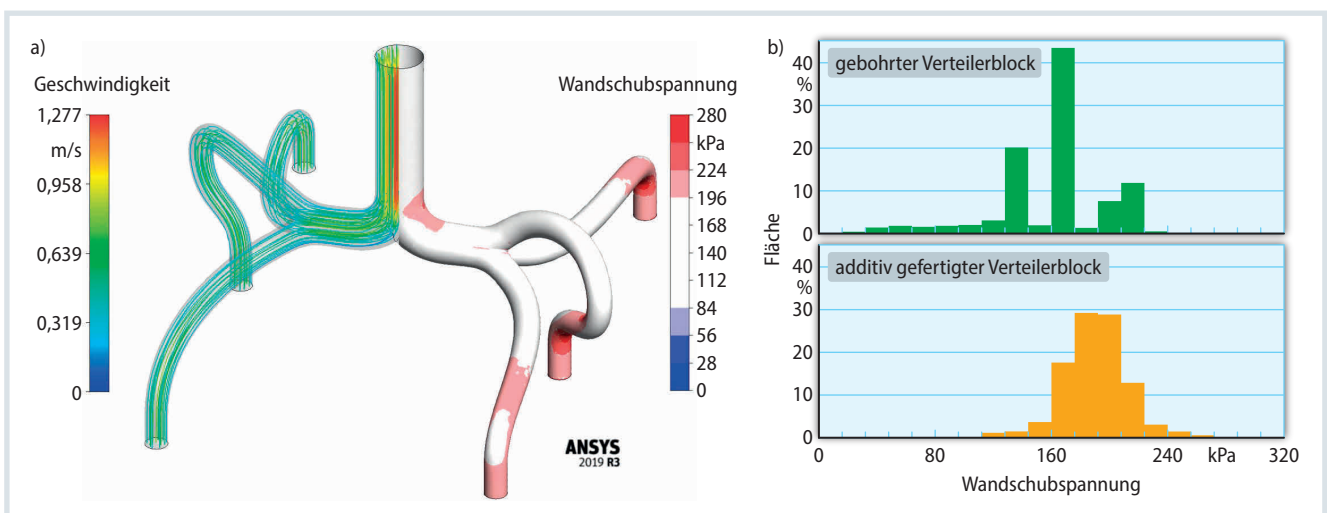


Bild 4. Simulationsergebnisse für die strömungsoptimiert ausgelegte Drei-in-Reihe-Verteilung und Vergleich der Wandschubspannungen beim gebohrten und additiv gefertigten Verteilerblock. Quelle: Institut für Produkt Engineering, Universität Duisburg-Essen; Grafik: © Hanser

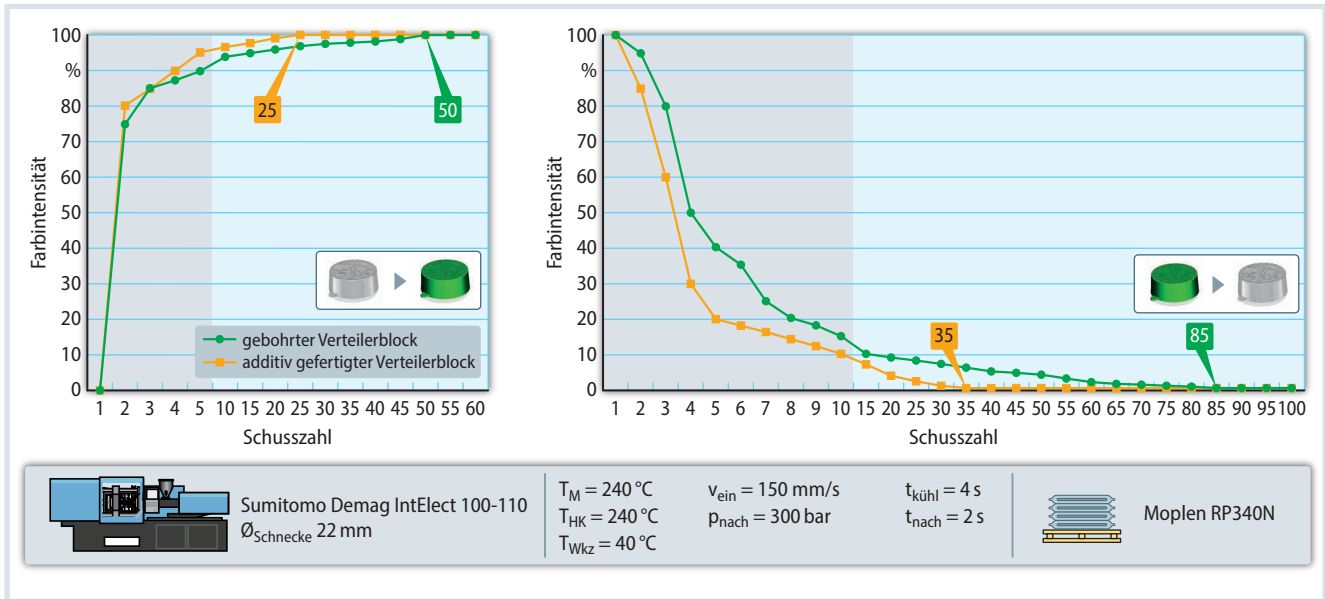


Bild 5. Farbwechselversuche verdeutlichen, dass Spülprozesse am additiv gefertigten Verteiler wesentlich effektiver ablaufen. Die Spritzgießparameter sind unten zusammengefasst. Quelle: Barnes Molding Solutions; Grafik: © Hanser

Optimierung lässt somit eine deutliche Reduzierung der für den Spülprozess notwendigen Zyklen zu erwarten.

Wesentlich schnellere Spülprozesse

Um die Spülbarkeit der beiden Verteiler zu validieren, wurde die Geschwindigkeit des Farbwechsels von naturfarben auf grün (Bild 5 links) bzw. von grün auf naturfarben (Bild 5 rechts) erfasst. Für die Farbwechselversuche wird die Formmasse mit 2% Farbmastbatch grün eingefärbt. Zum Vergleich der beiden Verteiler werden keine weiteren Änderungen am Heißkanal vorgenommen. Um den Einfluss der Plastifiziereinheit auszuschließen, wird vor dem Farbwechsel die Plastifiziereinheit mit dem jeweiligen Material gespült. Die Analyse des Restfarbgehalts der Bauteile erfolgt ab dem ersten Schuss, aufgrund der komplexen Artikelform visuell vergleichend.

Die Ergebnisse bestätigen, wie in der Simulation vorhergesagt, die bessere Spülbarkeit des dreidimensionalen Schmelzkanalverlaufs. Der Aufwand für den Farbwechsel von naturfarben auf grün kann um 50% – von 50 Zyklen beim konventionellen auf 25 Zyklen beim additiven Verteilerblock – reduziert werden. Der Wechsel von grün auf naturfarben, bei dem in potenziellen Stagnationszonen befindliche Farbadditive noch über eine längere Zeit zu Schlieren führen können, kann statt in 85 nun in nur

35 Zyklen und damit um 60% schneller bewerkstelligt werden.

Ausblick

Die additive Fertigung eröffnet für die Schmelzführung im Heißkanal-Verteilerblock neue Optionen. So werden natürlich balancierte Verteilerlayouts möglich, die mit den konventionellen Herstellungsmethoden durch die Fließwegverlängerung nur mit großen Einschränkungen realisiert werden könnten. Durch die größeren Freiheiten ergeben sich aber auch neue Herausforderungen: So können beispielweise bestehende Auslegungskriterien mit gleichen Fließweglängen nicht mehr ohne Weiteres angewendet werden. Im untersuchten 6-fach-System konnte durch gezielte Maßnahmen

die Wandschubspannung über den gesamten Fließweg homogenisiert werden. Die Validierungsversuche zeigen, dass sich dadurch die zum Spülen eines solchen Verteilerblocks nötige Zykluszahl halbieren lässt.

Zukünftige Untersuchungen der dreidimensionalen Schmelzführung haben das Ziel, die Fließkanalgeometrie automatisiert zu gestalten. Vor allem die zur Bewertung der Geometrievarianten notwendigen Qualitätskriterien haben großes Potenzial, weil neben der Angleichung der Geschwindigkeiten und der Wandschubspannungen auch Größen im Hinblick auf die Balancierung oder den Druckverlust des Systems beachtet werden können. Parallel dazu sollen die Kriterien durch weitere Versuche im realen Prozess validiert werden. ■

Kunststoffe.de

Das 1x1 der Kunststoffe:
www.kunststoffe.de/basics

© Fotolia.de | Coprid | tanatat