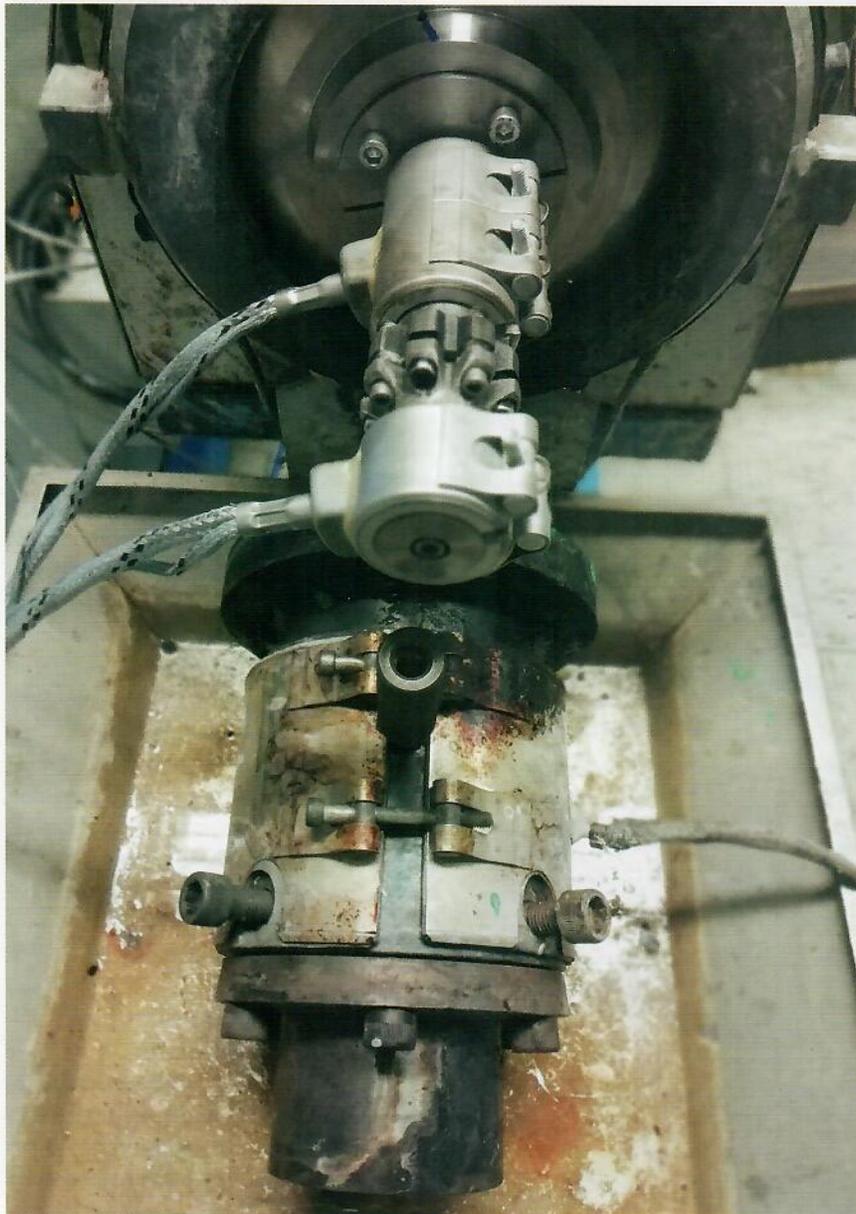


3D-gedruckte Minimalisten

Verbesserte Kopfkonstruktionen dank additiver Fertigung

Mit der Entwicklung additiver Fertigungsverfahren, wie dem selektiven Laserschmelzverfahren (SLM), sind die Fertigungsmöglichkeiten für Extrusionsköpfe deutlich erweitert worden. So lassen sich zum Beispiel in den Fließkanal eines Kopfes Einbauten mit komplexer Geometrie integrieren, um den Dorn am Kopf zu befestigen. Gleichzeitig können diese Strukturen als Mischer ausgebildet werden, um die Schmelzeshomogenität zu verbessern. Auf diese Weise lassen sich sehr kompakte Köpfe fertigen, die ein hohes Betriebskosten-Einsparpotenzial besitzen und bessere Produktqualitäten ermöglichen.

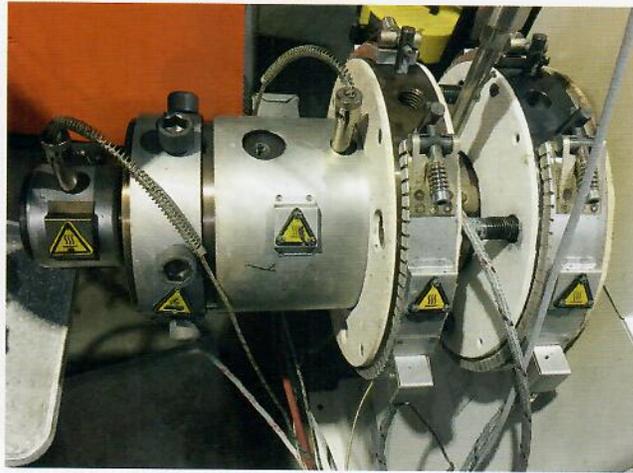


Bei der Herstellung von Rohren, Schläuchen, Kapillaren oder auch beim Ausstragen von Vorformlingen im Bereich des Blasformens ist der Kopf die zentrale Komponente, die maßgeblich für die Wanddickenverteilung und damit für die Qualität des ausgetragenen Schmelzschlauchs verantwortlich ist. Am Kopf muss einerseits der Dorn befestigt werden, andererseits muss eine relativ zum Kopf bewegliche Düse angeflanscht werden, die sich zur Optimierung des Fließkanalspalts idealerweise während des Betriebs präzise und reproduzierbar positionieren lässt.

Die für viele Anwendungsgebiete vorteilhaften, betriebspunktunabhängig arbeitenden Stegdornhalterköpfe sind allerdings für viele Anwendungen ungeeignet, da die Stege an den Schmelzschläuchen nicht akzeptable Bindenähte erzeugen. Daher sind oft aufwendigere, allerdings betriebspunktabhängig arbeitende Konstruktionen wie zum Beispiel Wendelverteilersysteme notwendig, um bindenahtfreie Schmelzschläuche mit engen Wanddickentoleranzen über dem Umfang austragen zu können. »

Größenvergleich: Der oben auf den Extruder aufgespannte, additiv gefertigte Mischstegdornhalterkopf wiegt ohne die Heizbänder 480 g, der darunter in der Auffangwanne liegende konventionelle Kopf 32 kg (© H. Groß)

Bild 1. Konventionell gefertigter Stegdornhalterkopf mit radial angeordneten Verstellerschrauben zum Zentrieren der Düse © H. Groß



Neuartige Kopfkonstruktion vermeidet Bindenähte und spart Einzelteile

Mithilfe des selektiven Laserschmelzverfahrens (SLM, selective laser melting) lassen sich inzwischen aber neuartige Stegdornhalterkonstruktionen realisieren, bei denen der Dorn über eine Vielzahl von Mischerelementen mit dem Kopf fest verbunden ist. Solche Mischerstegdornhalterköpfe lassen sich durch das selektive Laserschmelzverfahren schnell direkt aus CAD-Daten fertigen. Statt wie bisher einen funktionsfähigen Kopf aus vielen Einzelteilen zu konstruieren, können mit additiver Fertigung Köpfe gebaut werden, die nur noch aus einem einzigen Teil bestehen und daher im Betrieb kritische Trenn- und Dichtebenen vermeiden. Montagearbeiten und eventuell störende Betriebsunterbrechungen aufgrund von Leckagen an kritischen Dichtbereichen des Kopfes entfallen somit. Auf eine bewegliche Düse, die relativ zum Kopf zentriert werden kann, lässt sich aber in aller Regel nicht verzichten, sodass ein betriebsbereiter Extrusionskopf aus zwei kompakten Teilen besteht.

Der Vorteil der neuartigen Kopfkonstruktionen, bei denen der Dorn an Mischerelementen befestigt ist, besteht einerseits darin, dass die in den Fließkanal integrierten Mischerelemente zu Schläuchen führen, die frei von detektierbaren Bindenähten sind. Andererseits lassen sich damit auch unterschiedliche Polymere – trotz stark abweichender Fließeigenschaften – zu Schmelzschläuchen extrudieren, die jeweils identisch geringe Wanddickentoleranzen über dem Umfang aufweisen. Darüber hinaus verringert ein Mischerstegdornhalterkopf die

Verweilzeit der Schmelze signifikant, was bei Material- oder bei Farbwechseln zu entscheidend verkürzten Spülvorgängen führt.

Konstruktive Herausforderungen

Abhängig von der jeweiligen Bauart des Kopfes wird die Homogenität der Schmelze beim Durchströmen von konventionell hergestellten Extrusionsköpfen grundsätzlich mehr oder weniger negativ beeinflusst. Vorrangiges Ziel der Mischerstegdornhalterkonstruktion ist es, unerwünschte Druckunterschiede über dem Umfang des Fließkanals sowie störende Bindenähte im Schmelzschlauch zu vermeiden. Darüber hinaus ist es von Vorteil, auch noch die Homogenität der Schmelze, die den Kopf durchströmt, zu erhalten oder im Idealfall noch zu verbessern. Dies lässt sich über filigrane Mischerelemente erreichen: Wenn der Dorn des Kopfes an

einer Vielzahl von kleinen Stegen befestigt wird, dann bildet sich in der Schmelze im Fließkanal des Kopfes ein extrem feinmaschiges System von sehr kurzen Bindenahtabschnitten aus. Das führt dazu, dass letztendlich im Schmelzschlauch, der aus der Düse ausgetragen wird, keine Bindenähte mehr erkennbar sind.

Da idealerweise die Stege gleichmäßig über dem Umfang des runden Schlitzkanals verteilt sind, werden die bei konventionellen Stegdornhalterköpfen unvermeidlichen Druckunterschiede über dem Umfang des Fließkanals bei Mischerstegdornhalterköpfen vermieden. Allerdings muss der Konstrukteur bei der Auslegung des Kopfes zwangsläufig Neuland betreten: Das System der Mischerstege muss einerseits sehr feinmaschig sein, andererseits aber dennoch eine ausreichende mechanische Festigkeit besitzen, damit der Dorn daran sicher befestigt werden kann. Ebenso ist es für den Konstrukteur eine neue Herausforderung, eine feinmaschige und komplexe Steggeometrie in einem der gebräuchlichen CAD-Systeme darzustellen.

Nachfolgend werden drei unterschiedliche additiv gefertigte Kopfkonstruktionen beschrieben.

Kopf für einen Schlauch mit kleinem Durchmesser

Mit dem generativ gefertigten Kopf für kleine Schlauchdurchmesser sollte ein konventionell gefertigter Rohrkopf (**Bild 1**) abgelöst werden. Basis für die Konstruktion des lasergeschmolzenen Kopfes waren die nachfolgenden aufgelisteten Ziel-

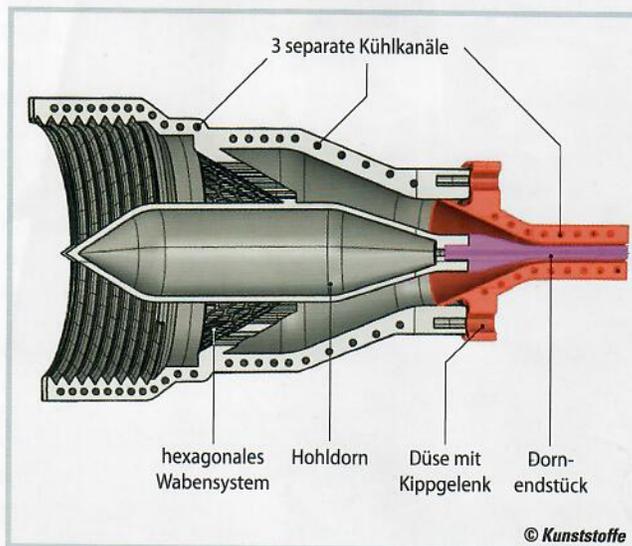


Bild 2. Schnitt durch den neuartigen Rohrkopf in perspektivischer Darstellung

(Quelle: H. Groß)

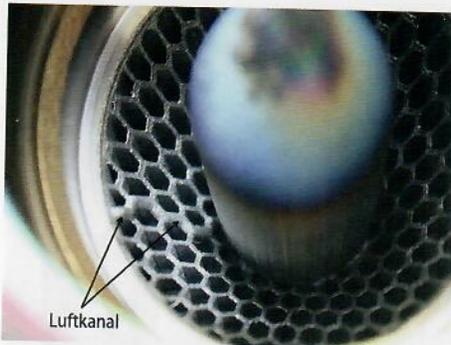


Bild 3. Luftkanal, der dem Verlauf der Wand des Wabensystems folgt (© H. Groß)

vorgaben, die der existierende Kopf nur unzureichend erfüllte:

- vom Betriebspunkt unabhängige Schmelzeverteilung im Kopf,
- gleichmäßiger lokaler Massestrom über dem Umfang des Austrittsspalts,
- schnelleres und präziseres Zentrieren der Düse,
- weitere Verringerung der Wanddickentoleranzen der Schläuche,
- schnelleres Aufheizen und Abkühlen des Kopfes, um den thermischen Abbau der Schmelze zu reduzieren, die sich im Kopf befindet,
- geringerer Energieeinsatz zum Aufheizen des Kopfes,
- einfache Montage und Demontage des Kopfes,
- schnelle und einfache Reinigung des Kopfes und
- einfacher und schneller Dimensionswechsel.

Um diese Vorgaben zu erfüllen, wurde ein völlig neuartiges Kopfkonzept entwickelt, bei dem die erweiterten Fertigungsmöglichkeiten, die das Laserschmelzverfahren eröffnet, genutzt wurden. **Bild 2** zeigt einen Schnitt durch den Schlauchkopf, bei dem der Dorn am Kopf mit einem feinmaschigen hexagonalen Gittersystem befestigt ist. Das garantiert einen geringen Fließwiderstand und eine Betriebspunktunabhängige Schmelzeverteilung. Dazu wurde der Luftkanal von außen durch die Wandung des hexagonalen Wabensystems ins Innere des Dorns geführt. In **Bild 3** ist zu erkennen, dass der Luftkanal dem Verlauf der Wand des hexagonalen Gittersystems folgt und die Wand zur Integration des Luftkanals nur geringfügig di-

cker gestaltet werden musste als die restlichen Wandungen.

Zur schnelleren, präziseren und vor allem zur reproduzierbaren Positionierung des Dorns relativ zur Mittelachse besitzt die Düse des Kopfes ein patentrechtlich geschütztes Kippgelenk (**Bild 4**). Die relative Position zwischen der Düse und dem Dorn lässt sich dabei mittels acht axial angeordneter Stellschrauben (Kippschrauben) sehr feinfühlig einstellen, um die Dickentoleranzen im Schlauch weiter zu reduzieren. Da die Düse aufgrund des speziellen Kippgelenks »



Bild 4. Schlauchkopf mit Kippdüse und axial angeordneten Stellschrauben während der Erprobung bei der Siro-Plast GmbH (© H. Groß)

Reifenhäuser

EXTRUSION SYSTEMS

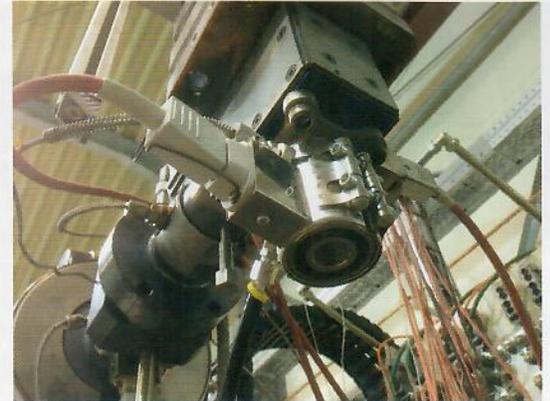
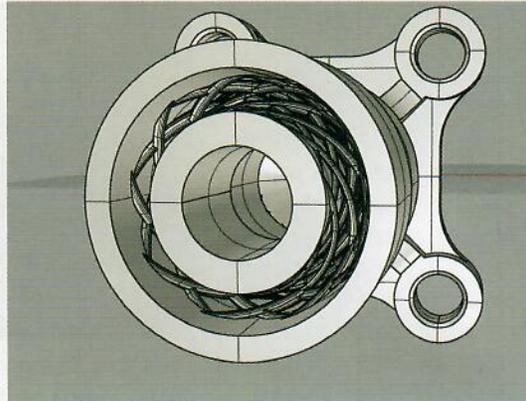
The Extrusioners

Der Blick aufs Gesamte – in allen Details

In der Business Unit Extrusion Systems bündelt Reifenhäuser das Komponentengeschäft des Reifenhäuser Technologienetzwerks. Im Fokus stehen Heißteil-Komponenten, sprich schmelzeführende und formgebende Teile für den Extrusions-Prozess: Schnecken und Zylinder, Extruder, Siebwechsler, Spinddüsen sowie Breitschlitz- und Spinnvlieswerkzeuge. Alle Komponenten werden kundenorientiert ausgelegt. Für höchste Effizienz und Perfektion – bis ins Detail.

Mehr Informationen über uns finden Sie unter www.reifenhauser.com
Sie haben Fragen? info@reifenhauser.com

Bild 5. Mischerstegdornhalterkopf mit gegenläufig gewendelten Mischerstegen: 3D-Darstellung (links) und an den Versuchsextruder angeflanschter Kopf (rechts) (© H. Groß)



nur noch zentrisch montiert werden kann, erübrigt sich auch das bei einer konventionellen Zentrierlösung notwendige Vorzentrieren der Düse vor dem Anlagenstart. Eine einmal eingestellte relative Position zwischen der Düse und dem Dorn lässt sich jederzeit wieder exakt reproduzieren, sodass die Anlage immer bereits mit der gewünschten Düsenposition gestartet werden kann. Auf eventuelle minimale Änderungen der Verfahrensparameter, die von einem Produktionslauf zum nächsten auftreten können, lässt sich mithilfe von speziellen Kippschrauben, die eine extrem geringe Gewindesteigung (0,2mm) besitzen, schneller und vor allem viel präziser reagieren, als es mit einer konventionellen Zentrierung möglich ist.

Die Masse des Kopfes wurde verkleinert, um Energie zum Aufheizen und während des Betriebs zu sparen. Während der alte, konventionell gefertigte Kopf 52kg wiegt (Bild 1), beträgt das Gewicht des neuen Kopfes nur noch 1,8kg (Bild 4), weil Masse, die für den Betrieb des Kopfes nicht erforderlich war, reduziert wurde. Damit verringerte sich die Aufheizzeit um über 30 min gegenüber dem konventionell gefertigten Kopf. Die geringe Masse begünstigt natürlich auch ein schnelleres Abkühlen des Kopfes beim Abstellen der Extrusionslinie. Um den thermischen Abbau von Schmelze zu vermeiden, die in aller Regel bei konventionellen Köpfen nach dem Abstellen der Anlage noch längere Zeit bei hohen Temperaturen im Kopf verweilt, wurden noch zwei unabhängige Kühlwendeln in die Wandung des Kopfes sowie ein Kühlwendel in die Wand der Düse integriert. Darüber lässt sich der Kopf und die Düse mithilfe von Druckluft, die beim Abstellen der Anlage jeweils durch die Kühlwen-

deln geführt wird, innerhalb von weniger als 10 min von 285°C auf unter 50°C abkühlen. Gereinigt wird der komplette Kopf mit der Düse einfach in einem Pyrolyseofen.

Blasformkopf für einen Vorformling

Speziell um beim Blasformen Farbwechselvorgänge zu beschleunigen, wurde ein Mischerstegdornhalterkopf konzipiert, bei dem die Schmelze mithilfe spezieller Mischerstege, an denen auch der Dorn befestigt ist, an mehreren Stellen des Umfangs von der Fließkanalwand in die Mitte des Fließkanals und von der Mitte zur Wand geleitet wird. Bild 5 links zeigt eine 3D-Darstellung des Kopfes mit den

in den Fließkanal integrierten Mischerstegen. Im Bild 5 rechts ist der Kopf für Farbwechselversuche an einen Extruder angeflanscht.

Die erste Mischergeometrie, die auf rein empirischen Überlegungen beruhte, führte nicht ganz zu dem gewünschten Ergebnis. Simulationsberechnungen (Bild 6) zeigten zwar, dass tatsächlich Schmelze mithilfe der Mischstege aus der Mitte des Fließkanals an die Wand gebracht wird. Die gute Mischwirkung des Kopfes ist beispielsweise daran zu erkennen, dass beim Mischerstegdornhalter trotz des störenden Stützluftkanals kein Unterschied in der Schmelzeverteilung zu erkennen ist (Bild 6 links). Beim Kanalsystem ohne Stegdornhalter zeigt sich

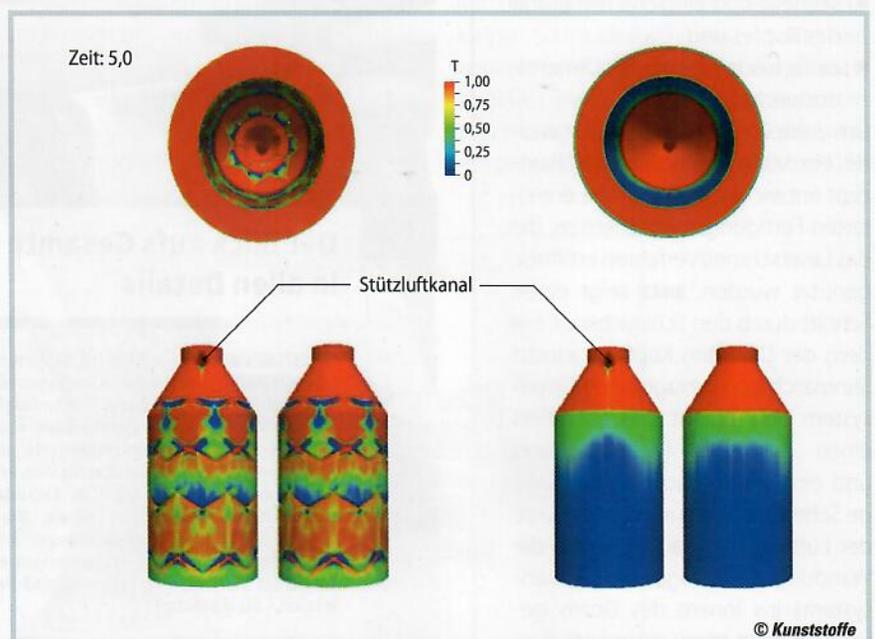


Bild 6. Simulation eines Farbwechselversuchs (nach 5 s) an einem Blasformkopf mit Mischerstegdornhalter (links) und ohne: Oben der Blick in den Vorformling; unten die Farbverteilungen im Kanalsystem seitlich gesehen, jeweils mit Blick auf den Stützluftkanal (links) und um 90° gedreht. Die ursprüngliche Farbe ist blau, die neue rot dargestellt; Mischungen siehe Skala (Quelle: H. Groß)

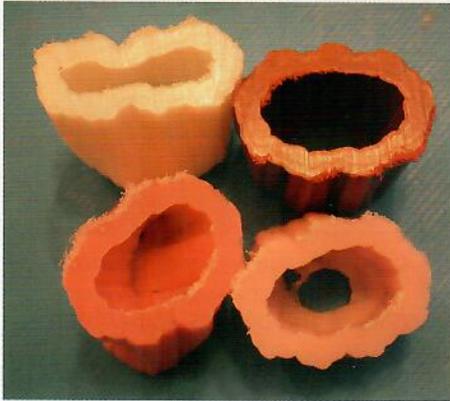


Bild 7. Farbwchselversuche: Resultat des verbesserten Mischerstegsystems sind einheitliche Farben über den gesamten Querschnitt der Proben, die zu unterschiedlichen Zeiten von Farbwchselversuchen entnommen wurden (© H. Groß)

dagegen ein deutlicher Unterschied zwischen dem Kanalbereich mit und ohne Stützluftkanal (**Bild 6 rechts**). Es waren im Kopf aber immer noch Bereiche vorhanden, in denen die Schmelze länger verweilt als gewünscht. Basierend auf den Simulationsergebnissen wurde die Geometrie des Mischerstegsystems schrittweise verbessert bis Querschnittsproben, die bei realen Farbwchselversuchen zu unterschiedlichen Zeiten entnommen wurden, keine farbigen Streifen mehr aufwiesen (**Bild 7**).

Kopf für dünne Röhren

Die in den beiden ersten Projekten gesammelten Erfahrungen flossen in die Konstruktion eines dritten Mischerstegdornhalterkopfes ein. Mit ihm werden dünnwandige Röhren (4,8 mm Durchmesser, 0,1 mm Wanddicke) gefertigt, die extrem geringe Dickentoleranzen (5 µm) und eine sehr hohe Geradheit aufweisen müssen. Weil bei der geringen Wanddicke der Röhren schon kleinste Dickenunterschiede zum Verbiegen der Röhren führen, wurde bei der Konstruktion des Kopfes besonders darauf geachtet, eine hohe Druckkonstanz über dem Umfang des Fließkanals zu erreichen. Dies gelingt durch die Integration von acht wendelförmig verlaufenden Mischerelementen in den Fließkanal (**Bild 8**). Das bei den hohen Abzugsgeschwindigkeiten (bis zu 100 m/min) erforderliche Stützluftkanalsystem wurde durch die Mitte eines jeden Mischstegs geführt, um eine hohe

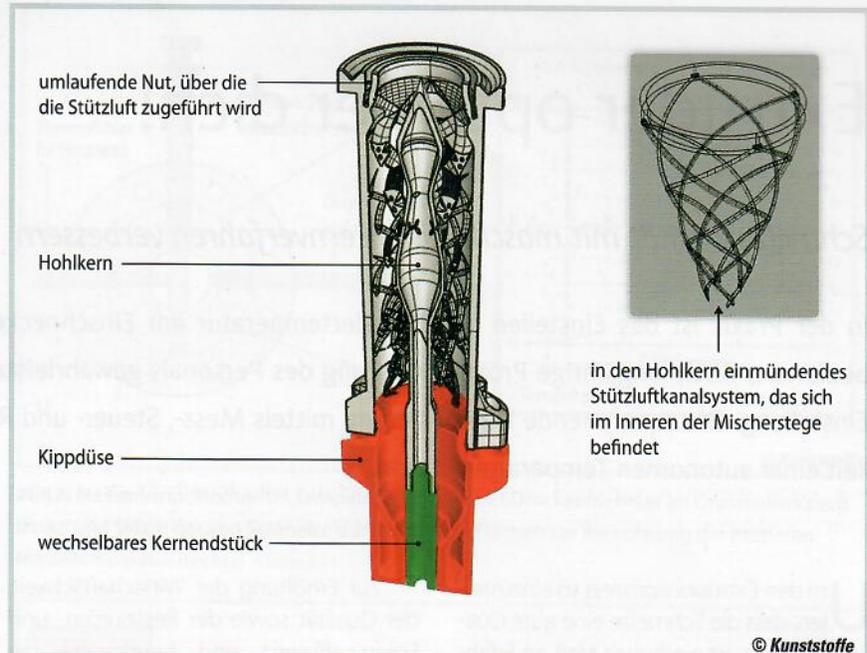


Bild 8. Schnittdarstellung eines einstückigen Mischerstegdornhalterkopfes mit einem neuartigen integrierten Stützluftkanalsystem und einer feinfühlig verstellbaren Kippdüse (Quelle: H. Groß)

Symmetrie über dem Umfang des Fließkanals zu gewährleisten.

Zur feinfühlig und reproduzierbaren Zentrierung der Düse besitzt auch dieser Kopf eine Düse mit einem patentierten Kippgelenk. Aufgrund der von 32 kg (konventioneller Kopf) auf 480 g reduzierten Masse (**Titelbild**) sind auch bei diesem Kopf die Aufheizzeiten extrem kurz und der Energiebedarf während des Betriebs gering.

Fazit

Mit Köpfen, die im selektiven Laserschmelzverfahren hergestellt sind, und die eine feinfühlig und reproduzierbar verstellbare Kippdüse besitzen, lassen sich Rohre mit verringerten Dickentoleranzen extrudieren und zwar bei geringeren Produktionskosten als bei Rohren, die mit konventionell gefertigten Köpfen produziert werden. Wegen drastisch verkürzter Aufheizzeiten und aufgrund der präzisen Zentrierbarkeit der Düsen steigt die Anlagenkapazität und sinkt der zum Anfahren der Anlage nötige Materialverbrauch.

Auch die Wartungskosten und die Gefahr von Betriebsstörungen, beispielsweise durch Leckagen, sind bei dem nur noch aus zwei kompakten Teilen bestehenden Kopf verringert. Obwohl das selektive Laserschmelzverfahren noch relativ teuer ist,

sind additiv hergestellte Köpfe aufgrund des drastisch (um etwa eine Größenordnung) reduzierten Materialeinsatzes und des Wegfalls von teilweise kostspieligen Bearbeitungsschritten kostengünstiger als konventionell gefertigte Köpfe. ■

Die Autoren

Dr.-Ing. Heinz Groß ist Inhaber eines Ingenieurbüros in Roßdorf; heinz-gross@t-online.de

Sebastian Groß ist Inhaber eines Konstruktionsbüros in Roßdorf.

Miguel J. Nobrega ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der University of Minho in Guimaraes/Portugal.

Joao P.O. Vidal ist studentische Hilfskraft an der University of Minho in Guimaraes/Portugal.

Service

Digitalversion

➤ Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/7553636

English Version

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

© Kunststoffe