„Ungenutzte“ Innovationen im Bereich von Schlauchköpfen für das Extrusionsblasformen (Teil 4)

Autor: Dr.-Ing. Heinz Groß

Im SLM-Verfahren hergestellte Schlauchköpfe

Geradezu revolutioniert wird der Bau von Schlauchköpfen durch das generativ arbeitende selektive Laserschmelzverfahren (SLM), das in dem Video, das dem QR Code hinterlegt ist, gezeigt wird. Über Jahrzehnte festgeschriebene Grenzen und Gestaltungsregeln gelten nicht mehr. Um Schlauchköpfe überhaupt fertigen zu können, war es bisher notwendig, mehrere Einzelkomponenten mit engen Passungen und kritischen Dichtebenen anzufertigen und diese dann zusammenzuschrauben. Das erhöht die Konstruktionskosten und das Risiko von Konstruktionsfehlern, treibt die Fertigungskosten in die Höhe, setzt Grenzen in den verfahrenstechnischen Möglichkeiten und führt zwangsläufig auch dazu, dass im Produktionsbetrieb unerwünschte Störungen in Form von Leckagen auftreten können und dass aufwendige Wartungs- und Reinigungsarbeiten durchzuführen sind.

Im SLM-Verfahren können nun Schlauchköpfe aus einem Stück gefertigt werden. Das erleichtert die Konstruktion, reduziert die Fertigungskosten, erweitert die verfahrenstechnischen Möglichkeiten, reduziert Wartungs- und Reinigungsarbeiten und minimiert das Risiko, dass Anlagenstörungen auftreten können. Der Konstrukteur eines Schlauchkopfs muss sich nicht mehr mit kritischen Fragen auseinandersetzen, wie beispielsweise bestimmte Bereiche idealerweise abgedichtet werden oder welche Passung am günstigsten gewählt werden sollte oder welche Schraubengröße mit welcher Festigkeitsklasse notwendig ist. Er muss aus seinen erstellten 3D-Konstruktionsdaten auch nicht noch zeitraubend 2D-Fertigungszeichnungen erstellen. Die Schlauchköpfe können direkt nach dem 3D-Datensatz gefertigt werden. Der Konstrukteur muss allerdings bereit sein, sich neues Wissen anzueignen, um Schlauchköpfe, die im SLM-Verfahren hergestellt werden sollen, auch fertigungsgerecht konstruieren zu können.

Schlauchköpfe können nach der Erstellung der 3D-Daten direkt gefertigt werden. Es müssen vor der Fertigung nicht erst Rohlinge bestellt und abgewartet werden bis sie geliefert worden sind, um mit der Fertigung beginnen zu können. Stehen die Rohlinge erst einmal zur Verfügung, muss mehr oder weniger Material abgetragen werden, um zu den benötigten Einzelkomponenten zu kommen. Wenn die 3D-Daten für das SLM-Verfahren fertigungsgerecht erstellt sind, kann unmittelbar mit der Fertigung begonnen werden. Schlauchköpfe können dann schnell, und vor allem ohne dass dabei Abfall entsteht, mit einer guten Reproduziergenauigkeit aufgebaut werden. Damit verkürzen sich die Durchlaufzeiten in der Fertigung signifikant. Es können auch mehrere gleiche oder auch unterschiedliche Köpfe in einem Fertigungsgang produziert werden, ohne dass dabei Bearbeitungsfehler entstehen können. Natürlich fallen je nach Konstruktion noch konventionelle Nacharbeiten an. So müssen meist noch Dichtflächen geschliffen und Gewinde geschnitten werden, damit die Köpfe mit dem Extruder oder einer Schmelzeleitung verbunden werden können. Inzwischen hat man es aber sogar schon geschafft, Gewinde direkt herzustellen. Beispielhaft ist in

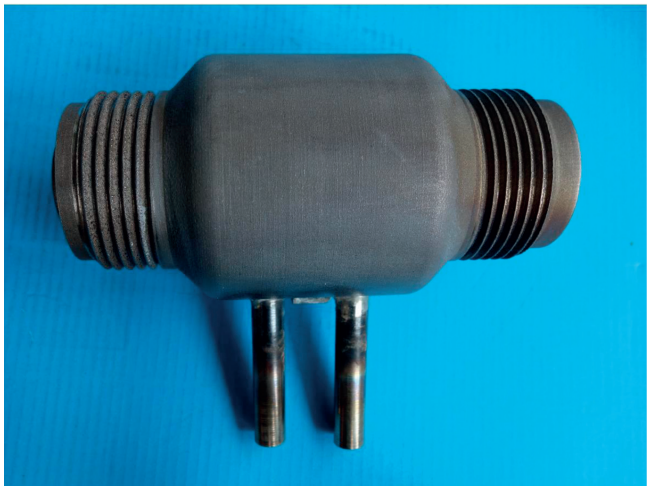


Bild 14: Schmelzekühler für eine kleine Pilotanlage, bei dem die beiden Anschlussgewinde (M 48 x 3) direkt im SLM-Verfahren hergestellt worden sind

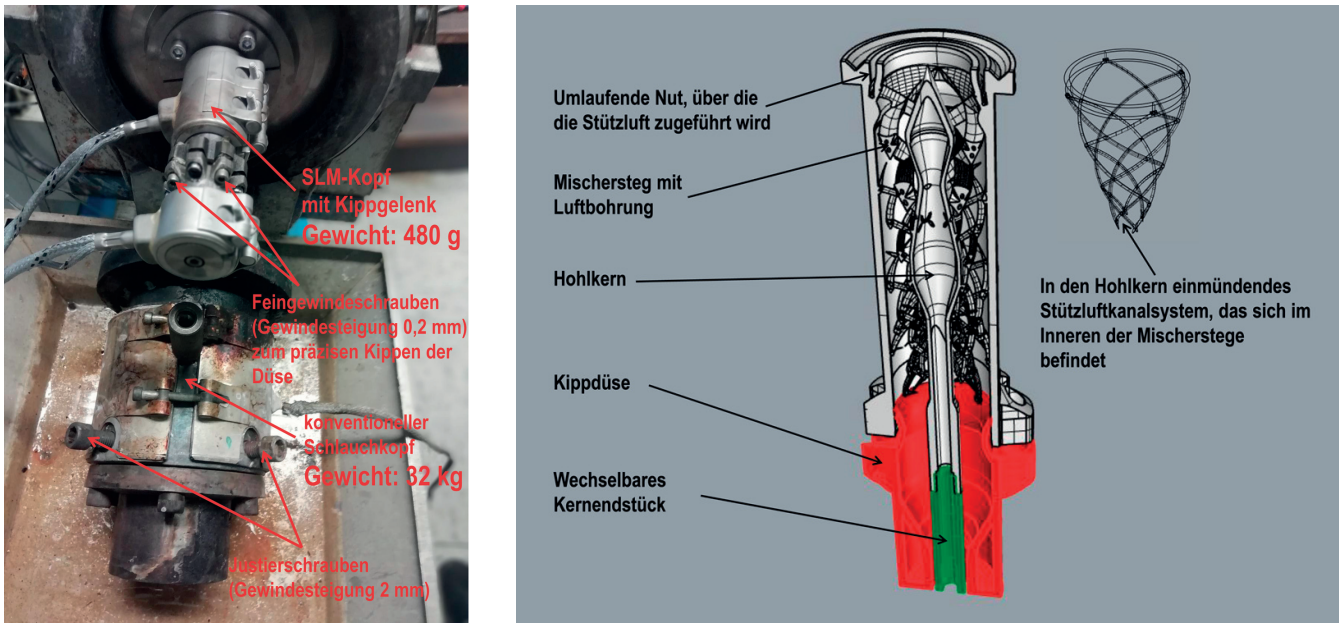
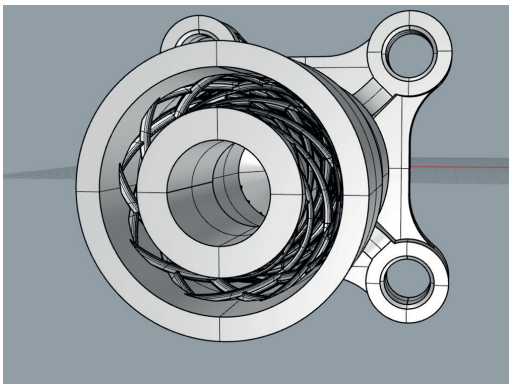


Bild 15: Konventionell gefertigter Schlauchkopf, der durch einen im SLM-Verfahren hergestellten Mischerstegdornhalterkopf mit Kippgelenk ersetzt worden ist, um Röhrchen mit einer geringen Wanddicke und einer minimierten Krümmung herstellen zu können

Bild 14 ein im Laserschmelzverfahren hergestellter Schmelzekühler, der für eine Pilotanlage zur Weiterentwicklung von Verfahren zur Herstellung von geschäumten extrudierten Produkten konzipiert wurde, gezeigt.
Mit dem SLM-Verfahren lassen sich viel kompaktere Schlauchköpfe konzipieren als das mit herkömmlichen Fertigungsmethoden möglich ist. Beispielhaft zeigt Bild 15 den Vergleich zwischen zwei Schlauchköpfen, die für die Herstellung des gleichen Produkts konzipiert wurden. Der konventionell gefertigte Schlauchkopf besitzt die etablierten radial angeordneten Justierschrauben, während der im SLM-Verfahren hergestellte Schlauchkopf ein Kippgelenk besitzt und mit Hilfe von axial angeordneten Justierschrauben mit Feinstgewinde justiert werden kann. Er ist für einen Schmelzedruck von 250 bar ausgelegt, wiegt ohne Heizbänder gerade einmal noch 480 Gramm. Das sind 1,5 Prozent des Gewichts des konventionell gefertigten Kopfs. Dem QR Code ist ein Video hinterlegt, das den Kopf in Betrieb zeigt. Drastisch verkürzte Lieferzeiten und geringere Fertigungskosten werden somit ermöglicht. Während zum An- und Abflanschen des konventionell gefertigten Kopfs ein Hebewerkzeug benötigt wird, kann der im SLM-Verfahren hergestellte Kopf mühelos von einem Mitarbeiter an den Extruder angeschraubt werden. Er ist viel schneller aufgeheizt und benötigt während des Betriebs deutlich weniger Energie. Er kann einfach, schnell und kostengünstig im Pyrolyseofen gereinigt werden und muss zum Reinigen nicht zerlegt und nachher wieder zusammengeschraubt werden.
Den Nutzer des Kopfs interessieren aber vorrangig die vielfältigen verfahrenstechnischen Vorteile. Prinzipiell handelt es sich um eine Stegdornhalterkonstruktion, die sich generell schon dadurch auszeichnet, dass kurze Verweilzeiten der Schmelze im Kopf realisiert werden können. Dafür muss beim



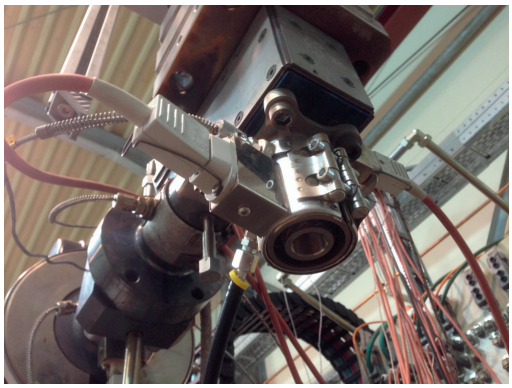


Bild 16: Zeichnung des Mischerstegdornhalterkopfs mit den wechselweise gegenläufig gewendelten Mischerstegen (links), und Foto des Versuchsaufbaus für die Farbwechselversuche (rechts)

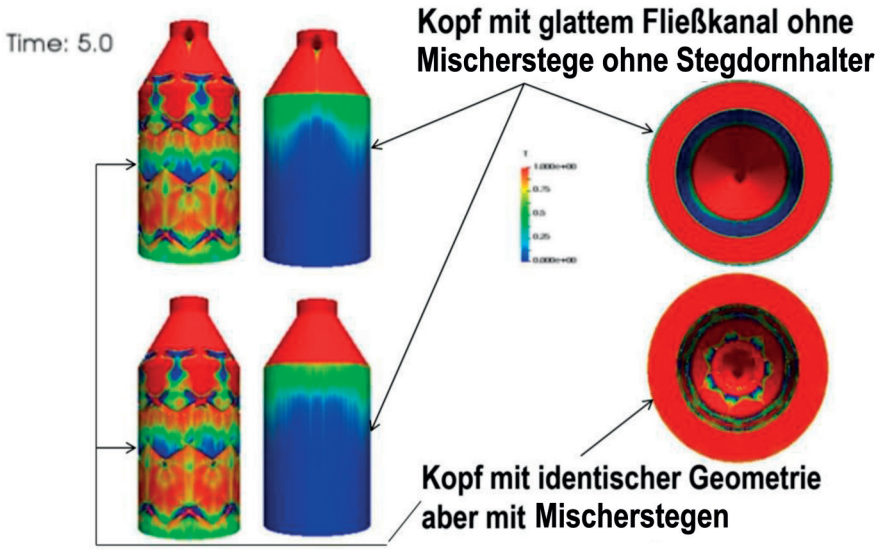


Bild 17:
Vergleich eines Farbwechsels von blau nach rot zwischen einem konventionellen Stegdornhalterkopf (ohne Stege) und einem Mischerstegdornhalterkopf

konventionellen Stegdornhalterkopf aber in Kauf genommen werden, dass die Stegdornhalter Bindenähte und störende Druckunterschiede über dem Umfang des Fließkanals erzeugen. Mit der SLM-Konstruktion werden diese Nachteile in zusätzliche Vorteile umgewandelt. Der Dorn wird an einer Vielzahl von kleinen wendelförmig verlaufenden Mischerstegen am Kopf befestigt (Bild 15 rechts und Bild 16 links). Diese spezielle Form, den Dorn mit dem Kopf zu verbinden, bringt gleich mehrere Vorteile. Durch die Vielzahl der wechselweise gegenläufig gewendelt verlaufenden Stege werden keine konkreten, axial ausgerichteten Bindenähte im Schmelzeschlauch mehr erzeugt. Die Stützluft wird über einzelne Kanäle, die im Inneren der Mischerstege verlaufen, in den hohlen Dorn geleitet (Bild 15 rechts). Die Mischerstege verwandeln die normalerweise parabolische Geschwindigkeitsverteilung im Fließkanal in eine vorteilhafte Blockströmung. Diese reduziert die Verweilzeit im Kopf weiter und beschleunigt damit kritische Material- und Farbwechselvorgänge in einem Maß, wie es bei keiner konventionellen Kanalgestaltung möglich ist.
Bild 16 zeigt einen Mischerstegdornhalterkopf, der speziell konzipiert wurde, um Farbwechselvorgänge zu beschleunigen und die Verweilzeit der Schmelze im Kopf zu reduzieren. Zur Unterstützung der Auslegung des Mischerstegdornhalterkopfs mit seiner komplexen Fließkanalgeometrie wurden Simulationsrechnungen des Farbwechselvorgangs durchgeführt. Der Mischerstegdornhalter wurde mit einem konventionellen Stegdornhalterkopf mit gleicher Fließkanalgeometrie bei einem Farbwechsel von blau nach rot verglichen. Die Berechnung des konventionellen Stegdornhalterkopfs wurde mit einer ungestörten Fließkanalgeometrie ohne die eigentlich in der Praxis vorhandenen Stege durchgeführt. Bild 17 zeigt die Situation 5 Sekunden nachdem auf die rote Farbe gewechselt worden ist. Bereits nach dieser kurzen Zeit ergibt sich an den Wänden im Flaschenbodenbereich des Mischerstegdornhalterkopfs eine deutliche Farbänderung, während beim konventionellen Stegdornhalterkopf noch immer unverändert blaue Farbe vorhanden ist. Ein Video, das das Ergebnis der Farbwechselsimulation zeigt, ist dem QR Code hinterlegt.
Die Simulationsergebnisse konnten dann auch durch praktische Versuche an einer Blasformanlage bestätigt werden. Bei den Versuchen wurde, wie bei der Simulation auch, das Verhalten des reinen Mischerstegdornhalterkopfs ohne Düse getestet. In Verbindung mit der kurzen Länge des Kopfs von nur 104 mm erfolgte ein Farbwechsel von lila nach transparent in nur 10 Minuten (Bild 18). Durch eine strömungsgünstige Gestaltung der Mischerstege und insbesondere durch die Vermeidung von Stagnationsbereichen zeigten sich dabei auch keine Farbstreifen, wie sie sonst für Farbwechsel charakteristisch sind. Ein Video, das einen

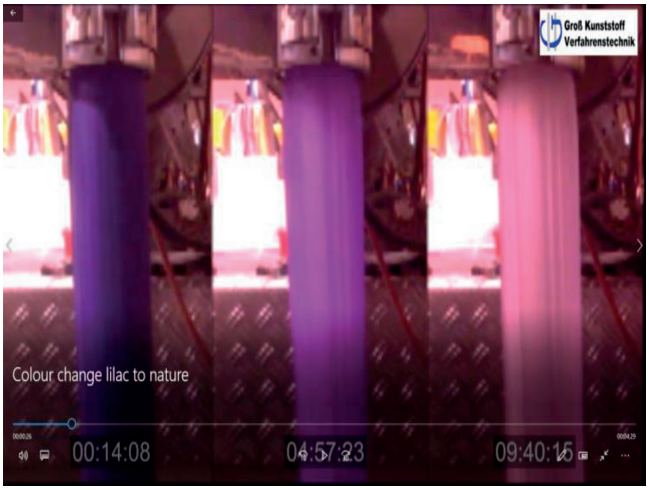


Bild 18:
Farbveränderungen bei einem Farbwechselversuch auf einer Blasformanlage

realen Farbwechsel zeigt, ist dem QR Code hinterlegt. Die im Video und in den Proben in Bild 18 sichtbaren Streifen sind keine farbigen Streifen. Es handelt sich dabei um Schattenwürfe der Schläuche, die in gewellter Form aus der Düse austreten.
Auch Querschnittsproben aus Farbwechselversuchen sind quasi streifenfrei (Bild 19). Sie bestätigen, dass die Schmelze im Kopf intensiv gemischt wird, so dass davon ausgegangen werden kann, dass generell die Homogenität der Schmelze beim Durchströmen des Kopfs verbessert wird. Das gilt sowohl für die stoffliche als auch für die thermische Homogenität der Schmelze. In einem konventionell gefertigten Kopf wird generell die Homogenität durch eine lokale Schererwärmung an den Wänden des Fließkanals und durch Entmischungen auf Grund von Schergeschwindigkeitsunterschieden über dem Querschnitt des Fließkanals verschlechtert.
Verfahrenstechnisch am interessantesten ist aber die Tatsache, dass Mischerstegdornhalterköpfe ein absolut betriebspunktunabhängiges Betriebsverhalten besitzen. Das heißt, unabhängig von der jeweils verarbeiteten Polymerrezeptur, von deren Schmelzeviskosität, von dem Durchsatz und von der Temperatur, mit der der Kopf betrieben wird, ergibt sich über dem Umfang des Fließkanals immer ein gleicher Druck und damit auch ein gleicher lokaler Massestrom am Austritt der Düse. Damit hat der Vorformling erst einmal eine gleiche Wanddicke über dem Umfang. Komplizierte betriebspunktunabhängige und aufwendig zu fertigende Verteilerkanalsysteme wie Pinolenverteiler oder Wendelverteiler werden somit nicht mehr benötigt. Der Konstrukteur muss sich folglich nicht mehr damit beschäftigen, wie der oder die Verteilerkanäle ausgelegt werden müssen, um für ein vorgegebenes Polymer, bei einem bestimmten Durchsatz und bei einer festgelegten Verarbeitungstemperatur geeignet zu sein. Der Nutzer hat den Vorteil, dass der Kopf universell einsetzbar ist, und dass sich das Verteilverhalten des Kopfs auch dann nicht verändert, wenn er auf Grund einer Optimierung des Prozesses beispielsweise den Massedurchsatz erhöht oder wenn er einen Materialwechsel vornimmt. Das gilt natürlich nur für Schlauchköpfe, bei denen keine Dornstange von hinten durch den Kopf geführt werden muss, um den Dorn verschieben zu können. Dies ist aber nicht mehr nötig, wenn der Kopf zum Kippen und zum Verschieben mit einem trifunktionellen Bauteil ausrüstet ist.

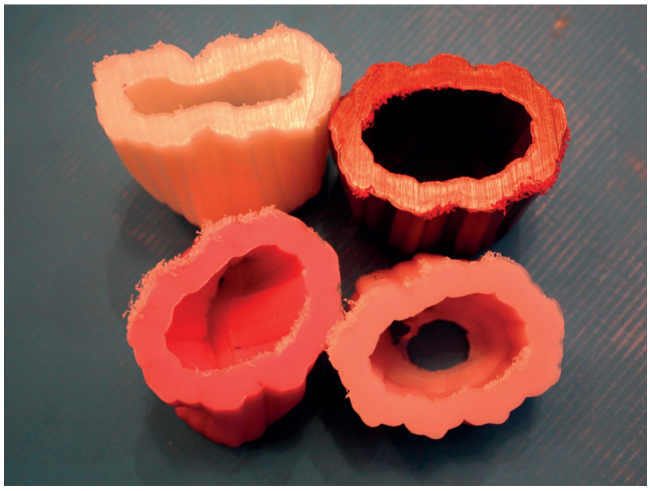


Bild 19:
Proben, die zu unterschiedlichen Zeiten von Farbwechselversuchen entnommen worden sind, zeigen eine über dem gesamten Querschnitt einheitliche Farbe

Im SLM-Verfahren hergestellte Köpfe mit GWDS-Düsen und mit Kippgelenk

Ein Optimum an verfahrenstechnischen Möglichkeiten wird natürlich erreicht, wenn ein Mischerstegdornhalterkopf mit einer GWDS-Düse und einem Kippgelenk ausgerüstet ist. Bild 20 zeigt beispielhaft einen derartigen Zweifachkopf mit einem Düsendurchmesser von 22 mm und einem Abstand der Kopfachsen von 100 mm. Der Kopf wiegt weniger als die Hälfte eines vergleichbaren konventionellen Kopfs und kann somit viel schneller aufgeheizt werden und benötigt natürlich auch zum Aufheizen und zum Betrieb weniger Energie. Er besitzt eine Länge vom Flansch bis zum Düsenende von nur 130 mm. Damit wird die Verweilzeit der Schmelze im Kopf verringert und in Verbindung mit den in den Fließkanal integrierten Mischerstegen ergeben sich deutlich verkürzte Material- und Farbwechselzeiten. Der Kopf arbeitet betriebspunktunabhängig, so dass er mit unterschiedlichen Polymeren betrieben werden kann und immer eine gute Schmelzeverteilung am Düsenende erreicht wird. Er arbeitet autark und kann folglich einfach von einer Maschine auf eine andere Maschine umgerüstet werden, ohne dass noch Aktuatoren von der Maschine mit dem Kopf verbunden werden müssen. Jede der beiden Düsen kann beim Anfahren erst einmal motorisch justiert werden. Dafür besitzt der Kopf pro Düse jeweils drei Motoren, denen Getriebe nachgeschaltet sind, mit denen die Düse gekippt werden kann. Natürlich kann die Düse auch während des Austrags des Vorformlings gekippt werden, um beispielsweise die Wanddickenverteilung von Hohlkörpern, die unsymmetrisch sind, zu verbessern.
Die gleichen Antriebseinheiten werden aber auch verwendet, um die Relativposition zwischen dem Dorn und der Düse zu verändern. Darüber lässt sich der Austrittsspalt am Ende der Düse in Verbindung mit einem leicht konisch ausgeführten Dornendstück insgesamt gleichmäßig verstellen. Dieses einfach auswechselbare Dornendstück kann aber zusätzlich noch über seinem Umfang entsprechend den Erfordernissen des jeweiligen Artikels, der hergestellt werden soll, profiliert werden, um darüber eine auf den jeweiligen Hohlkörper zugeschnittene dynamische radiale Wanddickensteuerung des Vorformlings zu realisieren.
Mit einem solchen kostengünstigen Standartkopf können bereits nahezu alle zur Zeit beim Blasformen verwendeten Sonderverfahren ausgeführt werden, ohne dass dazu noch zusätzlich teure Anbauten vorgenommen werden müssen. Der Kopf lässt sich je nach der Größe innerhalb eines oder weniger Tage fertigen. Verglichen zu einem konventionell gefertigten Kopf, der zur Herstelllung des gleichen Hohlkörpers ausgelegt ist, kostet der Kopf in der Fertigung nur ein Bruchteil dessen, was ein konventionell gefertigter Kopf kostet.

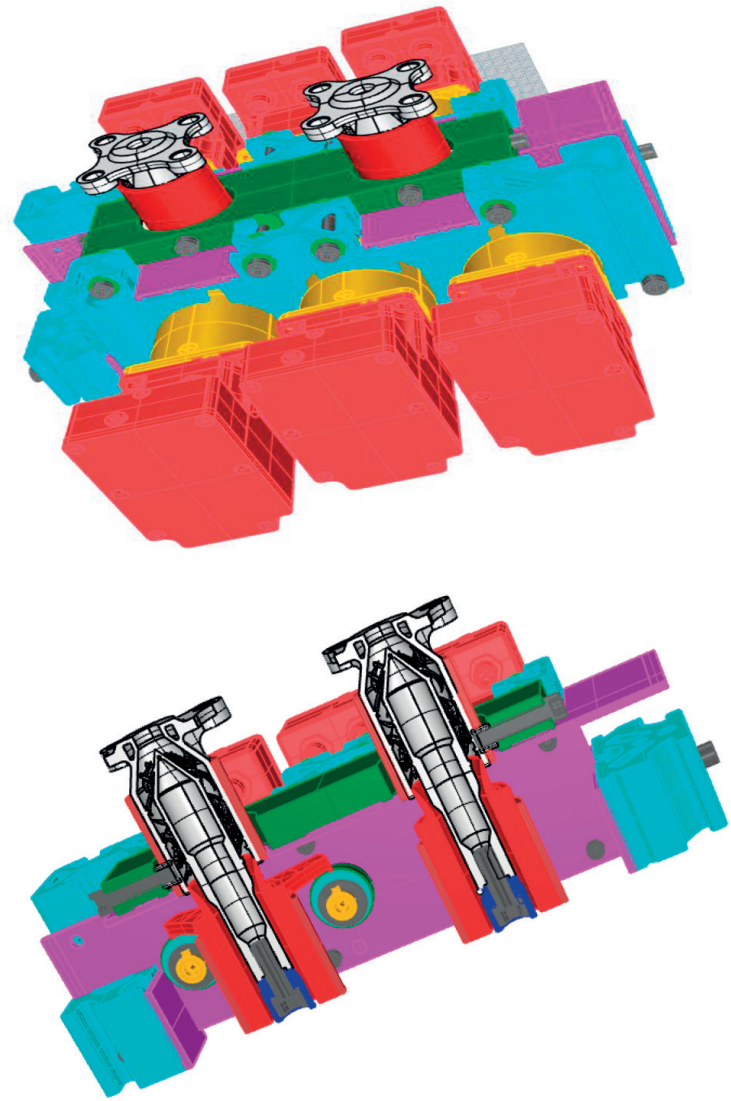


Bild 20:
Im SLM-Verfahren hergestellter Zweifachkopf mit GWDS-Düse und motorisch betätigtem Kippgelenk, der gegenüber konventionellen Kopflösungen in nahezu allen Belangen entscheidende Vorteile besitzt

Warum werden diese neu entwickelten Technologien nicht von den Anlagenherstellern aufgegriffen?

Intensive Bemühungen die renommierten deutschen Hersteller von Blasformanlagen davon zu überzeugen, die beschriebenen neuen Lösungen zu übernehmen, sind bisher erfolglos geblieben. Dies obwohl eigentlich Unternehmensberater, Wirtschaftsweisen und auch Politiker gleichermaßen darauf hinweisen, dass es für Firmen wichtig ist, innovative Lösungen auf den Markt zu bringen. Das sei ein Schlüssel zur Erhaltung oder zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit. Wenn man daraus aber ableitet, dass man von Firmen freudig empfangen wird, wenn man, von außerhalb der Firma kommend, ihnen innovative Lösungen anbietet, dann irrt man sich gewaltig. Das Gegenteil ist der Fall. Man wird geradezu als Störenfried betrachtet. Die Mitarbeiter sind ja ohnehin schon überlastet. Dann zwingt man sie auch noch dazu, darüber nachzudenken, ob der neue Lösungsansatz für das eigene Unternehmen interessant ist. Am einfachsten wird sich dieser Aufgabe mit der Aussage entledigt: „Wir brauchen das nicht! Wir machen das schon immer so und wir sind schließlich Marktführer!“
Natürlich gibt es auch Firmen, die sich mit der Thematik ernsthafter auseinandersetzen, und sich dazu entschließen auch Versuche durchzuführen, um zu ermitteln, ob es sinnvoll ist, die Technologie zu übernehmen. Allerdings ist in aller Regel der Großteil der verantwortlichen Mitarbeiter erst einmal strikt dagegen dies zu tun. „Auf eine Erfindung in Deutschland kommen 100 Fachleute, die davor warnen“ (Roman Herzog). Es ist deshalb meist, wenn überhaupt, nur ein einzelner oder es sind sehr wenige, die der Mehrzahl der Zweifler ihren Willen aufzwingen. Unglücklicherweise sind es dann aber meist genau diejenigen, die sich dagegen ausgesprochen haben, dass man sich überhaupt mit der Thematik beschäftigt, die dann die Versuche selbst durchführen sollen oder müssen. Die Motivation bei den Versuchen zu zeigen, dass die eigene ursprünglich abgegebene Einschätzung falsch war, ist nachvollziehbar nicht sonderlich groß. Es liegt aber in der Natur der Sache, dass zwangsläufig neue Fragestellungen aufkommen, wenn man bei den Versuchen bisher unbekannte Wege geht. Treten dann erste Probleme auf, egal wie bedeutend oder unbedeutend sie auch sind, sind sie sofort ein Beweis dafür, dass der neue Weg in die Irre führt, was man ja von Anfang an gesagt hat.
All das ändert aber nichts an der Tatsache, dass nichts in der Welt so gut ist, dass es nicht noch besser gemacht werden könnte. Allerdings werden durch eine Innovation konkret etablierte Regeln und Normen in Frage gestellt, lösen sie beim Fachmann unwillkürlich Widerstand aus. Auf der anderen Seite hat schon Einstein gesagt „Die reinste Form des Wahnsinns ist es, alles beim Alten zu belassen und gleichzeitig zu hoffen, dass sich etwas ändert.“ In die heutige Zeit übertragen müsste man wahrscheinlich sagen: Die reinste Form des Wahnsinns ist es, sich frisches Geld zu beschaffen und dann zu hoffen, dass dadurch etwas besser wird.

(Werkbilder: Dr.-Ing. Heinz Groß Kunststoff-Verfahrenstechnik, Roßdorf)