



Die veränderte Geometrie der Schneckenspitze und fortlaufende Rotation verhindern einen Schmelzerückfluss in der Einspritz- und Nachdruckphase. Erfolgreiche Tests liefen auf einer Spritzgießmaschine mit 5-Punkt-Kniehebel vom Typ KraussMaffei 100-380 AX, bei der alle wesentlichen Bewegungen höchst reproduzierbar von Servoantrieben ausgeführt werden (© KraussMaffei)

Das Spritzgießen wird kontinuierlicher

Die „Back Flow Compensation“ vereint eine passiv sperrende Schneckenkopfgeometrie mit einer auf Drehzahl gebrachten Betriebsweise

Im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojekts entwickelten der Maschinenhersteller KraussMaffei und die Universität Duisburg-Essen ein Konzept zum Spritzgießen ohne bewegliche Rückströmsperre. Maßgeblich dafür sind eine neu gestaltete Schneckenspitze und die andauernde Rotation während der Einspritzphase.

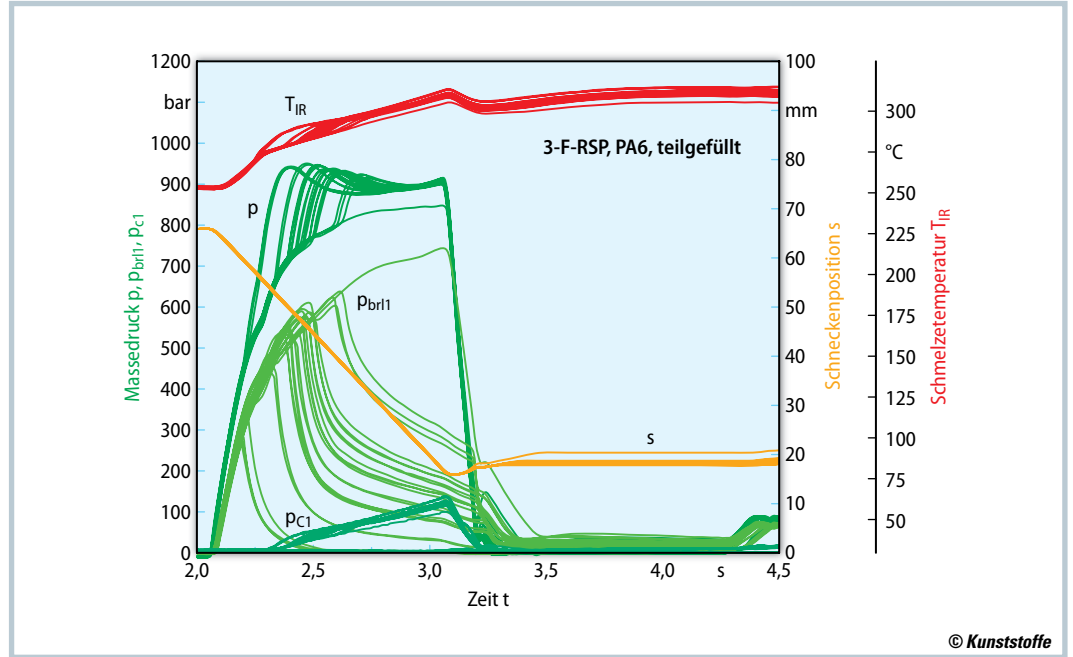
Unerlässlich, aber heikel: Die Rückströmsperre (RSP) einer Spritzgießmaschine ist für die Bauteilqualität verantwortlich, zeigt sich selbst aber sehr störungs- und verschleißanfällig. Kein Wunder, dass die Branche seit vielen Jahren nach Alternativen sucht. Die KraussMaffei Technologies GmbH, München, hat nun zusammen mit der Universität Duisburg-Essen das rückströmkompensierte Einspritzen (Back Flow Compensation, BFC) entwickelt und zum Patent angemeldet. Ein Schmelzerückfluss in der Einspritz- und Nachdruckphase wird hier mit einer veränderten Geometrie der Schneckenspitze und einer Drehbewegung während der gesamten Füllphase verhindert. Die Vorteile: bessere Homogenisierung der Schmelze, höhere Schussgewichtskonstanz und eine zusätzlich mögliche Steigerung der Ausbringungsmenge.

Die Rückströmsperre: Verhalten einer Diva

Wie sehr die Rückströmsperre den konventionellen Spritzgießvorgang beeinflusst, offenbart ein Blick auf den Prozess und die dafür maßgebliche Plastifiziereinheit. Die Verarbeitung von Thermoplasten beim Spritzgießen folgt – im Gegensatz zur Extrusion – einer diskontinuierlichen Betriebsweise. Das heißt, der Ablauf gliedert sich in mehrere Einzelphasen, von denen eine die Schmelzaufbereitung und eine andere die Formfüllung ist. Erstere umfasst den Einzug des Kunststoffgranulats durch die sich drehende Schnecke, das Aufschmelzen des Materials mittels Wärmeeintrag und schließlich seine gründliche Durchmischung.

Am Ende dieses Aufbereitungsschritts befindet sich in dem Raum vor der zurückgewichenen Schnecke genügend ho- »

Bild 1. Signalverläufe für aufeinanderfolgende Spritzgießzyklen bei Prozessführung mit einer 3-Flügel-RSP. Es wird eine Teilfüllung mit einem PA6 (Typ: Dur-ethan B 30 S; Hersteller: Lanxess Deutschland GmbH) ohne Nachdruckwirkung erzielt. Die Kurvenverläufe zeigen einen instabilen Prozess durch ein nicht reproduzierbares Schließverhalten der Ring-Rückströmsperre (Quelle: KraussMaffei)



mogenisierter Kunststoff, um die Kavität zu füllen. Dies geschieht mithilfe einer axialen Schubbewegung der dann radial verharrenden Schnecke. Die Rückströmsperre dient dabei als eine Art Ventil und verhindert, dass die Schmelze in die Schneckengänge zurückfließt. Dadurch können extrem hohe Einspritzdrücke bis über 2500 bar und lange Nachdruckzeiten realisiert werden.

Es gibt eine Vielzahl von baulichen Varianten, doch häufig besteht eine Rückströmsperre aus drei Teilen:

- der Schneckenspitze mit mehreren Flügeln,
- einem beweglichen Sperrring und
- dem dahinter liegenden Druckring.

Je nach Prozessphase ändert der Sperrring seine Position: Während der Plastifizierung trägt ihn die Formmasse in Richtung Schneckenspitze, und die Kunststoffschmelze kann unter ihm hindurch in den Schneckenorraum strömen. Beim folgenden

Einspritzen wird er zur Abdichtung nach hinten gegen den Druckring geschoben. Probleme treten an beiden Seiten des Sperrings auf: Wo er auf die Flügel der sich drehenden Schnecke trifft, kommt es zum Abtrag von Metall; zudem haben so konstruierte Rückströmsperren die Eigenschaft, sich durch die vorhandenen Drücke aufzuweiten.

Wenn der Sperrring dann an der Zylinderwand anliegt (das normale Spaltmaß beträgt ca. 0,1 mm), erhöht sich zwar die Dichtigkeit, aber die entstehende Reibung bewirkt auch hier einen größeren Verschleiß. Schließt die Rückströmsperre sporadisch fehlerhaft und behält man beim Nachdruck eine feste Schneckensposition bei, sind eine unvollständige Ausformung des Formteils und Schwankungen in den Formteileigenschaften unvermeidlich.

Um die Signalverläufe für aufeinander folgende Spritzgießzyklen mit einer 3-Flügel-Rückströmsperre aufzuzeichnen, misst ein Drucksensor in der Meteringzone des Plastifizierzylinders p_{bri1} den Druck unmittelbar hinter der Rückströmsperre. Ist diese ordnungsgemäß verschlossen, fällt der Druck in der Einspritzbewegung in der Meteringzone ab. Bleibt der Druck allerdings bestehen, so strömt weiterhin Schmelze zurück in die Schnecke. Die Kurvenverläufe zeigen bei einer Teilfüllung ohne Nachdruck einen instabilen Prozess (**Bild 1**).

Zu den Verschleiß- und Dichtigkeitsproblemen tritt bei der konventionellen Rückströmsperre ein weiteres Ärgernis: die Wärmeentwicklung. Während der Plastifizierung entsteht durch die Drehung der Schnecke zwischen Schneckenkopf und Sperrring Reibung und damit Friktionswärme. Auch wo die Schmelze den Sperrring unterströmt, bewirken Scherkräfte einen zusätzlichen Temperaturanstieg. Vor allem bei Formmassen, die diesbezüglich empfindlich sind, kann dies eine thermische Schädigung, z. B. Materialzersetzung, Farbveränderungen oder unregelmäßige Produktoberflächen, zur Folge haben. Bei der Verarbeitung von PVC verzichtet man deshalb von vornherein auf dieses Maschinenbauteil. Auch bei Duroplasten nimmt man einen permanenten Rückfluss in Kauf, weil das vernetzende Material die Rückströmsperre

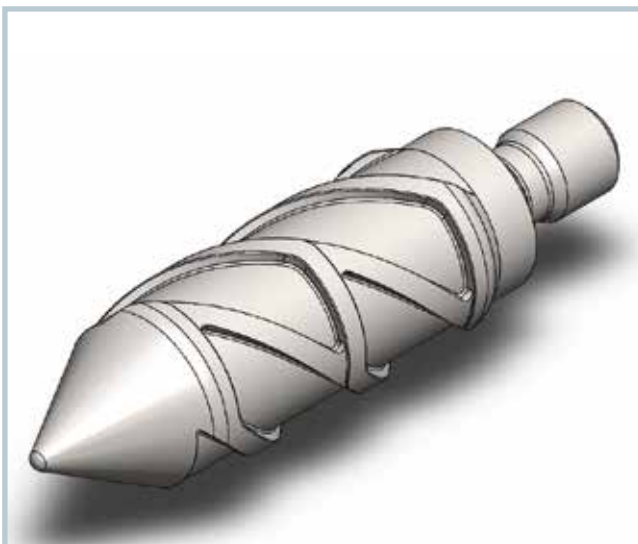


Bild 2. CAD-Modell der BFC-Rückströmsperre (© ipe)

verkleben würde. Der Rückfluss kann bis zu 20% betragen, weshalb Fertigungseinrichtungen – äußerst unwirtschaftlich – entsprechend größer dimensioniert sein müssen.

Die Alternative: Innovative Schneckenspitze plus Rotation

Wenn also die beweglichen Teile der Rückströmsperre für eine Vielzahl von Schwierigkeiten verantwortlich sind, warum diese dann nicht weglassen? Ein Team mit Mitarbeitern der Maschinentechologie von KraussMaffei und des Instituts für Produkt Engineering (ipe) der Universität Duisburg-Essen entwickelte mit BFC ein System, das nicht mechanisch sperrt, sondern durch die Rotationsbewegung der Schnecke auch während der Einspritz- und Nachdruckphase sowie aufgrund einer neu gestalteten Geometrie der Schneckenspitze. Die selbst auferlegte Beschränkung auf dieses Bauteil sollte die Kompatibilität mit bestehenden Anlagen gewährleisten. Folgende Anforderungen galt es zu erfüllen:

- gute Barrierewirkung und Dichtigkeit,
- Eignung für unterschiedliche Kornformen und -größen,
- schonende, aber vollständige Plastifizierung auf hohem Durchsatzniveau,
- gute Schmelzeshomogenität mit möglichst niedrigen Schmelzetemperaturen,
- niedrige Investitions- und Betriebskosten sowie
- geringer Verschleiß.

Bei der Entwicklung des optimalen Designs stützte sich das Team auf die numerische Strömungsmechanik (Computational Fluid Dynamics, CFD), die zum Ziel hat, strömungsmechanische Probleme approximativ mit numerischen Methoden zu lösen. In einem Referenzmodell wurden am ipe die entsprechenden Geometrieparameter anhand einer CFD-Simulation und die verschiedenen Einflüsse auf den Fließwiderstand untersucht. Das Ergebnis dieser Untersuchung bildete die Grundlage für die Gestaltung der modifizierten Schubschneckenspitze. »

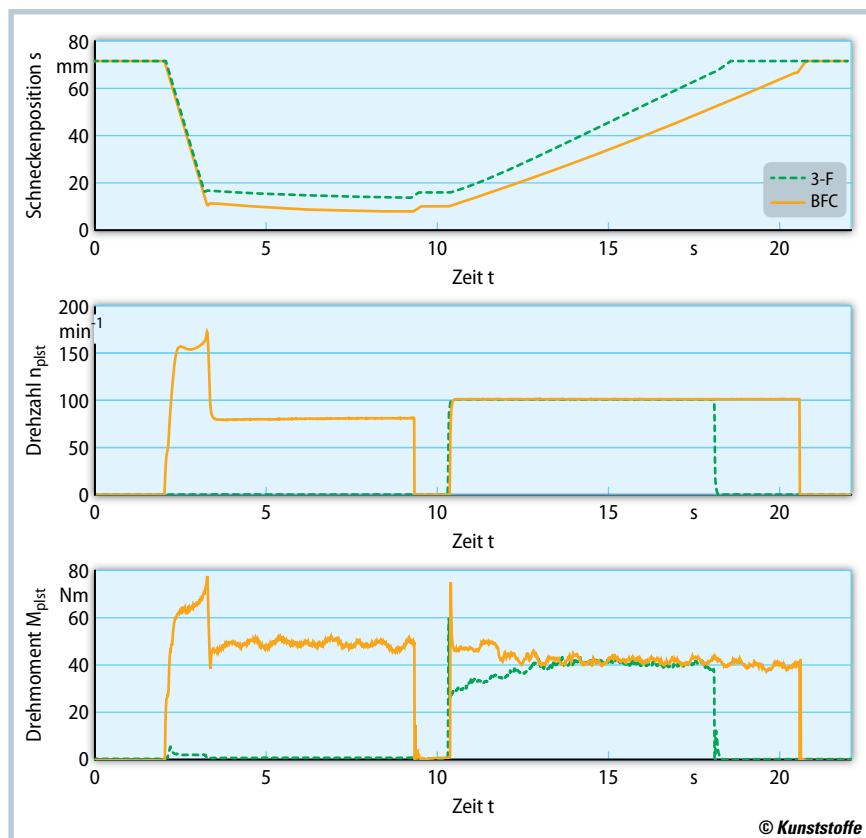


Bild 3. Die Sekunden 3 bis 9 zeigen die Nachdruckphase, in der auch mit der BFC Druck und Restmassenpolster gehalten werden können (oben). In der Nachdruckphase genügt eine geringere Drehzahl der Schnecke als während der Plastifizierung; hier liegt sie bei 75 Umdrehungen pro Minute (Mitte). Unten: Das Drehmoment der 3-F-RSP während des Einspritzens entsteht durch den Massestrom (Quelle: KraussMaffei)

Die Autoren

Dr.-Ing. Stefan Kruppa ist als Entwicklungsingenieur im Bereich Maschinentechologie bei der KraussMaffei Technologies GmbH, München, tätig; stefan.kruppa@kraussmaffei.com

Prof. Dr.-Ing. Johannes Wortberg ist Inhaber des Lehrstuhls Konstruktion und Kunststoffmaschinen am Institut für Produkt Engineering (ipe) der Universität Duisburg-Essen; johannes.wortberg@uni-due.de

Dr.-Ing. Reinhard Schiffers ist Leiter Maschinentechologie bei KraussMaffei; reinhard.schiffers@kraussmaffei.com

Service

Digitalversion

» Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/1426586

English Version

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

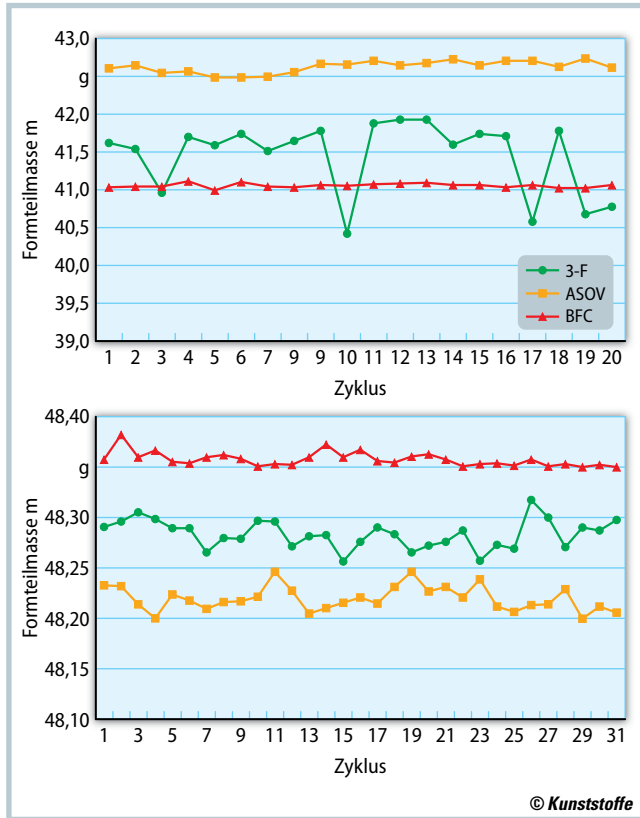


Bild 4. Schussgewichtskonstanz teilgefüllt (oben) und vollgefüllt mit Nachdruckwirkung (unten) für 3-F-RSP, ASOV-RSP und BFC-RSP. Die rückströmkompenzierte Variante (BFC) schneidet am besten ab (Quelle: KraussMaffei)

Geometrische Auslegung und Modellierung

Das Konzept basiert auf einem doppelten Wendelscherteil nach Sacknutenprinzip (Bild 2). Die Barrierelemente bewirken einerseits, dass das Material sich aufstaut, und andererseits, dass der Schmelzestrom sich aufteilt bzw. über den Barrieresteg fließt. Dies erlaubt einen schonenden Energieeintrag und bewirkt eine zusätzliche Durchmischung des Materials. Im Gegensatz zur Dosierphase ist in der Einspritz- und Nachdruckphase der Schmelze-

transport über die Barrierestege unerwünscht. Dies soll durch eine geringe Steigung (3D), einen schmalen Scherspalt (0,5 mm) und durch ein geringes Schneckenpiel (0,075 mm) erreicht werden.

Der in den Schneckenrängen befindliche Kunststoff wird über die Flanken gefördert und der so aufgebaute Gegendruck verhindert beim Einspritzen die Rückströmung von Material. Die Schneckendrehung generiert den Schleppstrom, der den Druckstrom überlagert und ausgleicht. Grafiken zeigen die Signalverläufe im Spritzgießzyklus mit einer 3-Flügel-Rückströmsperre (3-F-RSP) und der BFC-RSP. Die Schneckendrehzahl in der Einspritz- und Nachdruckphase kann abhängig von der Einspritzgeschwindigkeit v_{inj} oder vom Massedruck p gesteuert werden (Bild 3).

Die sich drehende Schnecke eröffnet dem Anwender neue Möglichkeiten zur Steuerung des Prozesses, weil sich über die Plastifizierdrehzahl die Formfüllung ebenso beeinflussen lässt wie der Ausbringungsfaktor. Das Spritzgießen wird insgesamt kontinuierlicher, denn die harte Abgrenzung in Einspritz- und Nachdruckphase entfällt und kann als sanfter Übergang gestaltet werden.

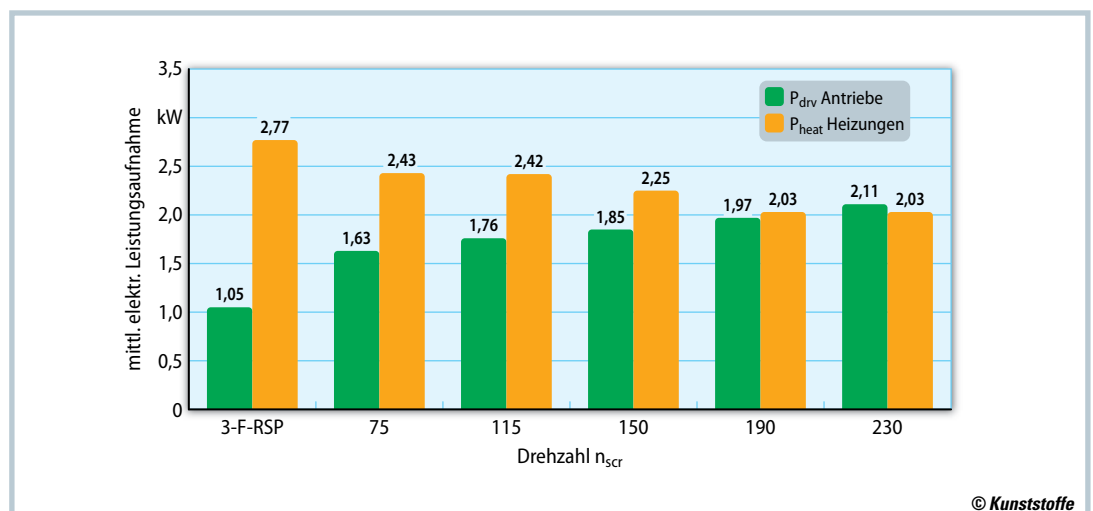
Prozesstechnische Untersuchung der Gewichtskonstanz

Der Anwender wird fragen: Was bringt BFC in der Praxis? Für ihn ist das entscheidende Kriterium die Schussgewichtskonstanz, denn sie bestimmt die Bauteilqualität und hier verursacht die störanfällige konventionelle Rückströmsperre den größten Leidensdruck. Um diese und weitere prozesstechnische Fragen zu beantworten, wurde der Prototyp einer BFC-Schnecken spitze auf eine Standard-3-Zonen-Schnecke (D: 40 mm) montiert (Titelbild).

Die gleichmäßige Füllung der Kavität wurde anhand eines leichtfließenden teilkristallinen Polymers (Typ: PP BF970; Hersteller: Borealis AG, Wien/Österreich) getestet. Als Referenz dienten zwei Versuchsreihen mit jeweils 30 Spritzgießzyklen unter Verwendung einer 3-F-RSP und einer federbetätigten Rückströmsperre (ASOV – auto shut off valve). Das Einspritzen erfolgte zunächst mit einer Einspritzgeschwindigkeit von 50 mm/s in Teilfüllung ohne Nachdruckwirkung. Die Einstellungen an Maschine und System waren für alle RSP-Geometrien einheitlich gewählt. Die Schussgewichte sind bei BFC und ASOV-RSP ähnlich konstant, wobei die Formteile bei der ASOV-RSP im Vergleich die höchste Masse aufweisen. Bei der 3-F-RSP schwankt das Schuss-

Bild 5. Mittlere elektrische Leistungsaufnahme für Antriebe P_{drv} und Heizungen P_{heat} in kW für verschiedene resultierende Schneckendrehzahlen n_{scr} . Durch zusätzliche Dissipation in der Einspritzphase wird weniger Heizleistung benötigt, sodass der ED-Wert der Zylinderheizung sinkt

(Quelle: KraussMaffei)



© Kunststoffe

gewicht durch das weniger gleichmäßige Schließen des Sperrings erheblich.

Für eine allgemeinere Aussage untersuchte das Projektteam die Schussgewichtskonstanz in einer Versuchsreihe mit Nachdruckwirkung (300 bar, 6 s). Hier zeigte sich, dass das unregelmäßige Verschließen der 3-F-RSP im Nachdruck teilweise kompensiert werden kann und sich die Streubreite reduziert. Bei dieser Versuchsreihe war der Prozess jeweils optimal für die entsprechende Schnecken spitzengeometrie eingestellt. Die Formteilmassen lassen sich somit nicht untereinander vergleichen, entscheidend ist hier die Standardabweichung der einzelnen Messreihen. Diese liegt im Mittel bei 0,01 g, was bei einem mittleren Formteilgewicht von 48,32 g einen hervorragenden Wert darstellt. Sowohl für die Teilfüllung als auch für die Füllung mit Nachdruck ergeben sich für die BFC-RSP die geringsten Standardabweichungen (**Bild 4**).

Energetische Betrachtung

Die Schmelztemperatur ist eine der wichtigsten Prozessgrößen beim Spritzgießen. Über Heizenergie, Plastifizierarbeit und Einspritzarbeit wird dem System Energie zugeführt, wobei die für das Aufschmelzen des Kunststoffes nötige Wärme vorwiegend durch innere Reibung zwischen den Granulatkörnern entsteht. Diese mechanische Energie wird vom Antrieb aufgebracht. Die Heizenergie fließt dem Material vom Plastifizierzylinder zu. Die Summe aus Antriebsleistung und Heizleistung, ausgedrückt in kW, lässt die Schmelztemperatur letztlich steigen. Bei rückströmkompensierter Betriebsweise (BFC) kommt es, weil sich die Schnecke in der Einspritz- und Nachdruckphase dreht, zu einem zusätzlichen Energieeintrag in die Kunststoffschmelze. Entsprechend steigt die elektrische Leistungsaufnahme der Antriebe. Im Gegenzug kann der energetische Eintrag der Zylinderheizungen reduziert werden.

Die Energieaufnahme von Antrieben und Heizungen (E_{drv} und E_{heat}) teilt sich also in einem anderen Verhältnis auf, das je nach Schneckendrehzahl variiert. Die Gesamtenergieaufnahme bleibt aber annähernd gleich; außerdem erhöht sich die Schmelztemperatur, gemessen über den IR-Sensor in der Düse, um ca. 10 °C; die mittlere elektrische Leistung (Antriebe und Heizungen) für einen vollständigen Spritzgießzyklus beträgt für den Prozess mit der 3-F-RSP 3,82 kW und für den BFC-Prozess ($f_p = 2$) 4,1 kW (+7%). Dabei sinkt der Anteil der Heizleistung P_{heat} von 2,77 kW (72%) auf 2,25 kW (54%) (**Bild 5**).

Fazit

Die Back Flow Compensation (BFC) stellt eine sinnvolle Alternative zur bisher bekannten Rückströmsperre dar. Sie ist robust gegen Verschleiß und Störungen und produziert gewichtskonstante Bauteile. Durch den zusätzlichen Einsatz eines Wendelscherrens in der Schnecken spitzengeometrie steigt zwar aufgrund der Strömungsvorgänge die Schmelztemperatur, der Effekt lässt sich aber durch eine geeignete Prozessführung mit möglichst geringer Drehzahl minimieren.

Für die Verarbeitung von Duroplasten kann BFC eine Möglichkeit sein, Anlagen entsprechend dem benötigten Schussgewicht auszuliegen, ohne einen beträchtlichen Rückfluss einkalkulieren zu müssen. Hierzu laufen weitere Versuche. Das zum Patent angemeldete BFC-Verfahren ist derzeit auf dem Weg zur Serienreife. ■