

Gezielte Steuerung der Nadelöffnungsgeschwindigkeit

Glänzende Aussichten

Oberflächendefekte in Form von Glanzgradunterschieden sind ein typisches Fehlerbild bei flächigen, sequenziell gefüllten Bauteilen. Durch den Einsatz der Synflow-Technologie kann die Bauteilqualität einfach und reproduzierbar sichergestellt werden.



Durch plötzlichen Druckabfall hervorgerufene Glanzgradunterschiede können bei sequenziell gefüllten Bauteilen zu erheblichen Qualitätskosten führen (links ohne Synflow, rechts mit). © Molding Solutions

Die Ursachen von Oberflächendefekten auf flächigen Spritzgießbauteilen sind vielschichtig. Neben den Einflüssen des Werkzeugs – speziell der Kavitätsoberfläche oder der Temperierung – sind es oftmals die gewählten Spritzgießprozessparameter, welche zu Oberflächendefekten führen können. Die Ausprägung solcher Defekte ist wesentlich von den Eigenschaften des Kunststoffes abhängig, hier spielen Additive oder die Mischung von Basispolymeren und Blends eine Rolle.

Sogenannte Druckumschlagsmarkierungen, die sich in Form eines Glanzgradsprungs quer zur Fließrichtung an der Bauteiloberfläche abbilden, werden durch lokale Druckschwankungen bei der sequenziellen Füllung über Nadelverschlussdüsen hervorgerufen (**Titelbild**). Dieses Fehlerbild kann sowohl bei strukturierten als auch bei Hochglanzoberflächen auftreten. Typischerweise zeigt die Auswertung des Einspritzdrucks beim Auftreten von Druckumschlagsmarkierungen einen sägezahnförmigen Verlauf. Dies ist darin begründet, dass bei konventionellen, fluidisch betriebenen Nadelverschlussdüsen die Verschlussnadel mit maximaler, unkontrollierter Geschwindigkeit öffnet. Damit kommt es

mit der Kaskadenschaltzeit zu einer lokalen Schmelzefrontbeschleunigung über den abrupt geöffneten, unter Einspritzdruck stehenden Anschnitt [3].

Gelingt es, die Öffnungsgeschwindigkeit der Verschlussnadel definiert einzustellen, kann der Schmelzfluss kontrolliert und der Druckverlauf geglättet werden. Daraus resultiert eine gleichmäßige Druckverteilung entlang des Fließweges während der Bauteilfüllung. Eine lokale Schmelzefrontbeschleunigung oder Stagnation wird so bei sequenziell gefüllten Bauteilen vermieden.

Kontrolle des Schmelzeflusses mittels Synflow

Die Synflow-Technologie erlaubt es, die Öffnungsgeschwindigkeit der Heißkanalnadel bis zu einer bestimmten Nadelöffnungsposition zu reduzieren (**Bild 1**). Beim Erreichen der frei wählbaren Nadelposition öffnet die Verschlussnadel weiter, um den eigentlichen Füllvorgang nicht zu beeinflussen. Für den Einsatz von Synflow wird der hydraulische Nadelantrieb (Hydraulizylinder) des Heißkanalsystems um einen Sensor zur Positionsüberwachung erweitert. Dieses Positionssignal wird an den Controller

weitergegeben. Fließregulierungsventile sind in Reihe zu den Kaskadenschaltventilen geschaltet, um die Nadelöffnungsgeschwindigkeit zu verzögern. Diese Komponenten können auf bestehenden Heißkanalsystemen von Synventive nachgerüstet werden. Aufgrund des geringen Platzbedarfs werden diese in der Regel direkt am Spritzgießwerkzeug integriert. Es besteht zudem die Möglichkeit, die Option „Synflow Ready“ bei der Beschaffung eines Neusystems vorzusehen, was den Nachrüstaufwand im Bedarfsfall weiter reduziert.

Synflow nimmt lediglich Einfluss auf die Öffnungsgeschwindigkeit und -position von bis zu 24 Verschlussnadeln und stellt dabei keine autarke Kaskadensteuerung dar. Die Kaskadensignale werden über die maschinenintegrierte Kaskadensteuerung oder auch eine externe Kaskadensteuerung realisiert. Die erforderliche Verarbeitung von sicherheitsrelevanten Signalen obliegt der Maschinensteuerung.

Geschwindigkeit der Nadelöffnung wird über Ventil gesteuert

Im Spritzgießzyklus registriert der Synflow-Controller das Kaskaden-



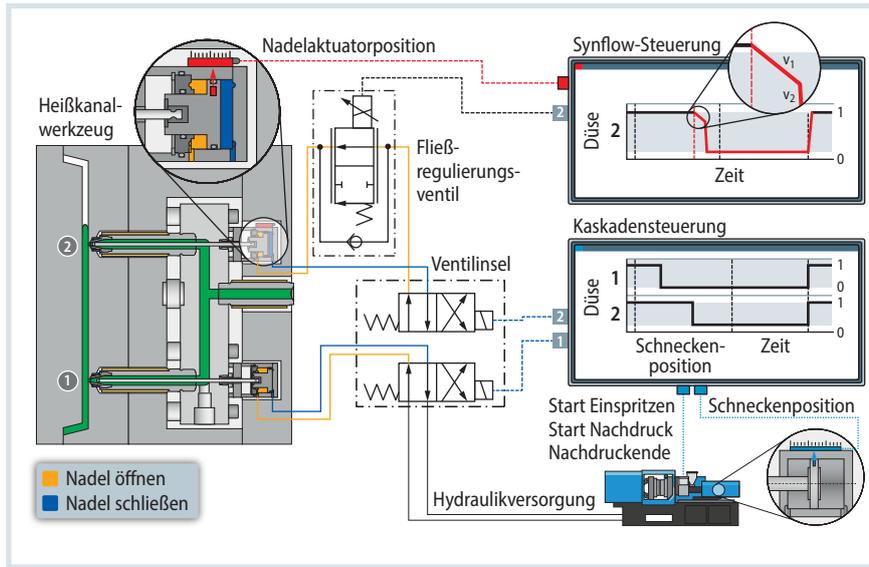


Bild 1. Schematischer Aufbau zur Verzögerung der Nadelöffnungsgeschwindigkeit mittels Synflow.

Quelle: Barnes Group; Grafik: © Hanser

schaltensignal indirekt über den Positionssensor des Nadelantriebs. Bis zur gewählten Nadelöffnungsposition wird die Öffnungsgeschwindigkeit über den gewählten Stellgrad des Fließregulierungsventils reduziert. Da die Nadelöffnungsgeschwindigkeit auch von der verwendeten Hydraulikversorgung abhängt, errechnet der Synflow-Controller aus dem Nadelpositionssignal über den Zeitverlauf die tatsächliche Nadelöffnungsgeschwindigkeit beim gewählten Stellgrad.

Über diesen quantitativen Wert lassen sich die Einstellungen auch auf andere Maschinen übertragen. Erreicht der Nadelantrieb die gewählte Position, wird das Fließregulierungsventil auf die Offenstellung geschaltet.

Versuchsaufbau ermöglicht eine Vielzahl von Einspritzszenarien

Für die Versuche wird ein 1+1-fach Versuchswerkzeug zur Herstellung eines

Demonstrator-Bauteils „Einstiegsleiste“ verwendet. Das Bauteil misst 745 x 89 x 13 mm mit einer Wanddicke von 2 mm. Im Versuchswerkzeug lassen sich eine Vielzahl von unterschiedlichen Einspritzszenarien über direkt- als auch über Kaltkanal-angebundene Nadelverschlussdüsen realisieren. Für die Versuche wird ausschließlich die direkt angebundene Kavität verwendet, bei der von fünf verfügbaren Düsen nur N1, N3 und N5 aktiv sind. Daraus ergibt sich eine Fließweglänge von 320 mm zwischen zwei Anspritzpunkten. Das Versuchswerkzeug ist mit Werkzeuginnendrucksensoren von Primus ausgestattet, die Anordnung richtet sich nach den Anspritzpunkten.

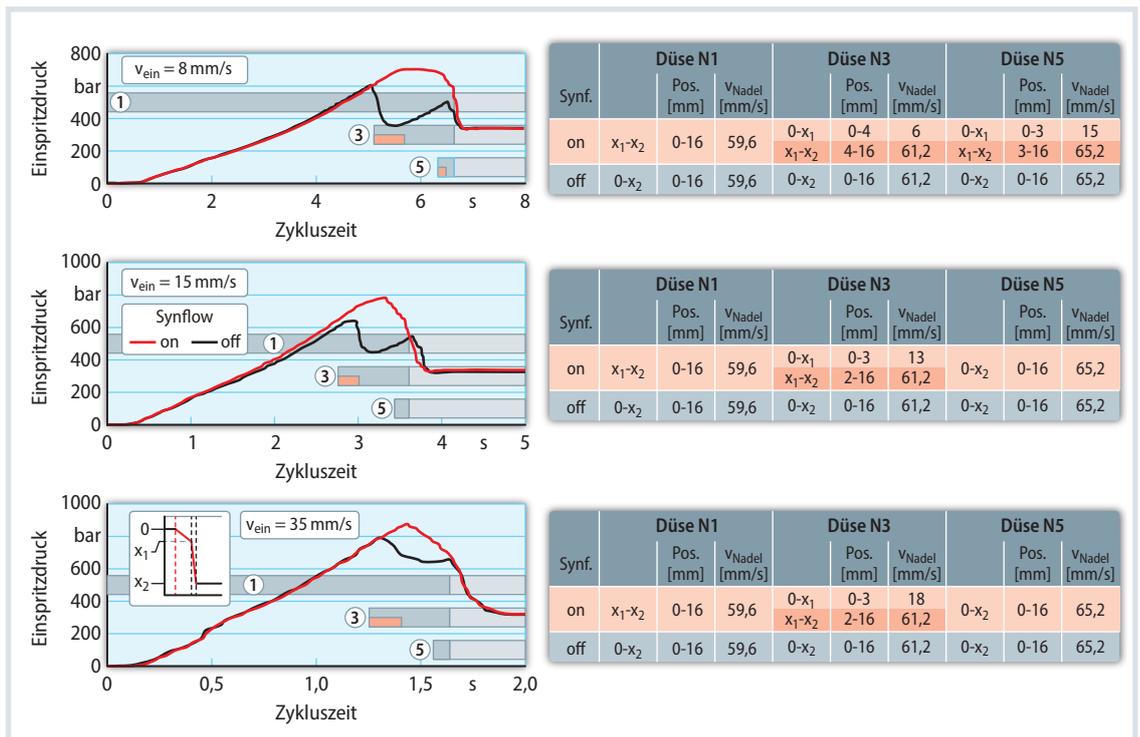
Die Kaskadensteuerung der Nadelverschlussdüsen erfolgt über die maschinenintegrierte Kaskadensteuerung. Die Verzögerung der Nadelöffnungsgeschwindigkeit erfolgt mithilfe von Synventive Synflow, Generation 3.

Druckkurven verdeutlichen die Effekte

Die Einspritzdruckkurven (Bild 2) verdeutlichen die Schwankung des Einspritzdrucks über die Zeit bei der sequenziellen Füllung der Einstiegsleiste. Die schwarze Kurve stellt dabei die konventionelle Einstellung (Synflow: off) dar. Die grau hinterlegten Balken beschrei-

Bild 2. Einspritzdruckkurve in Abhängigkeit der Nadelöffnungsgeschwindigkeit und Einspritzgeschwindigkeit. Quelle: Barnes

Group; Grafik: © Hanser



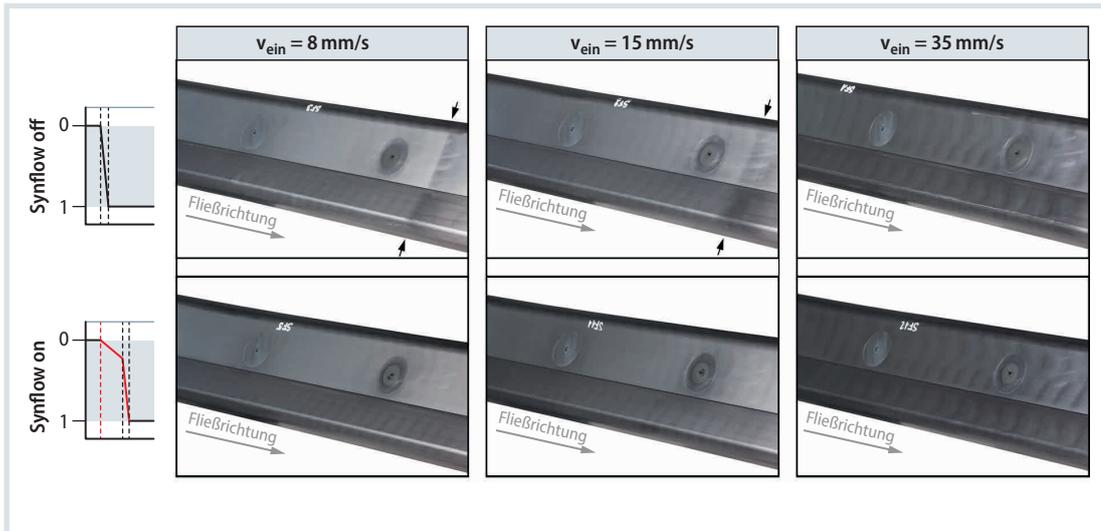


Bild 3. Beeinflussung der Druckschlagsmarkierung durch Synflow bei unterschiedlichen Einspritzgeschwindigkeiten. Quelle: Barnes Group; Grafik: © Hanser

ben die Kaskadenschaltzeiten der Düsen N1, N3 und N5. Für die Messungen wurden drei unterschiedliche Einspritzgeschwindigkeiten ($v_{\text{ein}} = 8 \text{ mm/s}$; 15 mm/s ; 35 mm/s) gewählt, um das stark von den rheologischen Eigenschaften des Materials abhängige Fehlerbild der Druckschlagsmarkierungen zu provozieren. Bei realen Anwendungen wie z.B. der Herstellung eines Stoßfängers oder einer Türverkleidung ergeben sich vergleichbare, lokale Fließfrontgeschwindigkeiten, die sich mithilfe einer Füllsimulation vorhersagen lassen. Für die Versuche wird ein PP-Compound von Sabic verwendet.

Die gemittelte Nadelöffnungsgeschwindigkeit v_{Nadel} beträgt je nach Düse zwischen $59,6 \text{ mm/s}$ und $65,2 \text{ mm/s}$ über den Hub von 16 mm . Die Differenzen ergeben sich aus minimal unterschiedlichen Verlusten in den jeweiligen Hydraulikschaltkreisen. Bei konventioneller Einstellung (Synflow: off) zeigt sich der charakteristische, sägezahnförmige Einspritzdruckverlauf bei sequenzieller Öffnung der überströmten Düsen. Der prozentuale Druckabfall ist von der Einspritzgeschwindigkeit abhängig.

Das Beispiel der Einspritzgeschwindigkeit $v_{\text{ein}} = 8 \text{ mm/s}$ zeigt, wie durch eine Verzögerung der Nadelöffnungsgeschwindigkeit das Druckprofil geglättet werden kann. Dazu wird die Düse N3 bis zur Öffnungsposition 4 mm mit einer reduzierten Nadelöffnungsgeschwindigkeit von $v_{\text{Nadel}} = 6 \text{ mm/s}$ geöffnet. Ab 4 mm wird die Nadel mit maximaler Geschwindigkeit geöffnet. Die Düse N5 wird bis zum Erreichen der Öffnungsposition 3 mm mit $v_{\text{Nadel}} = 15 \text{ mm/s}$ geöffnet.

Die rosa hinterlegten Bereiche der Kaskadenschaltzeiten bezeichnen dabei die Verzögerungszeit des Nadelöffnungshubes bei eingeschaltetem Synflow-System (rote Druckkurve, Synflow: on). Die Verzögerung der Nadelgeschwindigkeit beträgt 10 bis 20% der unkontrollierten Nadelöffnungsgeschwindigkeit. Öffnungsposition und zugehörige verzögerte Nadelöffnungsgeschwindigkeit sind abhängig von dem Einspritzvolumenanteil an der Bauteilfüllung der jeweils betroffenen Düse und der Einspritzgeschwindigkeit. Daher ist im gewählten Beispiel ab einer Geschwindigkeit von $v_{\text{ein}} = 15 \text{ mm/s}$ kein signifikanter Effekt bei der Düse N5 sichtbar, deren Position nahe am Fließwegende liegt und somit nur einen geringen Anteil an der Bauteilfüllung hat. Neben der Position der Düse relativ zum Fließwegende hat auch die Massekanal- und Nadelgeometrie innerhalb der Frontsektion der Düse einen großen Einfluss.

Abrupter Glanzsprung wird eliminiert

In **Bild 3** sind die zu den Versuchseinstellung zugehörigen Bauteiloberflächen abgebildet. Es wird deutlich, dass durch die Verzögerung der Nadelöffnungsgeschwindigkeit der abrupte Glanzsprung in den betroffenen Bauteilbereichen eliminiert werden kann. Erkennbar sind zudem Schubmarkierungen auf der Bauteiloberfläche, deren Ausprägung sich mit der Einspritzgeschwindigkeit verändert [1] und ihren Ursprung nicht in den mittels Synflow kontrollierbaren Druckunterschieden entlang des Fließwegs haben. »

Info

Text

Dr.-Ing. Julian Schild ist Global Director R&D Hot Runner bei der Firma Barnes Acquisition GmbH, Bahlingen a.K..

Dr.-Ing. Simon Wurzbacher leitete die Heißkanalentwicklung bei der Otto Männer GmbH, Bahlingen a. K. und arbeitet aktuell als Segment Lead – Plastics Processing bei der Voestalpine High Performance Metals GmbH, Düsseldorf

Versuchsaufbau

Heißkanalsystem: 5-Fach direkt angebundenes Heißkanalsystem, Synflow Ready

Flow Control: Synflow (Generation 3) von Synventive Molding Solutions GmbH

Sensorik: Werkzeuginnendruck und -temperatursensoren von Priamus, Branch of Barnes Group Suisse Industries LLC

Kaskadenregler: SVGC von GF Controls GmbH, Gammaflux

Versuchsdurchführung: Molding Solutions Customer Experience Center, Foboha (Germany) GmbH, Haslach im Kinzigtal

Dank

Für die Unterstützung bei der Versuchsdurchführung bedanken sich die Autoren besonders bei Markus Sum (Foboha), Max Müller (Priamus) sowie Mike Garret und Matthew Prey (Synventive)

Literatur

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

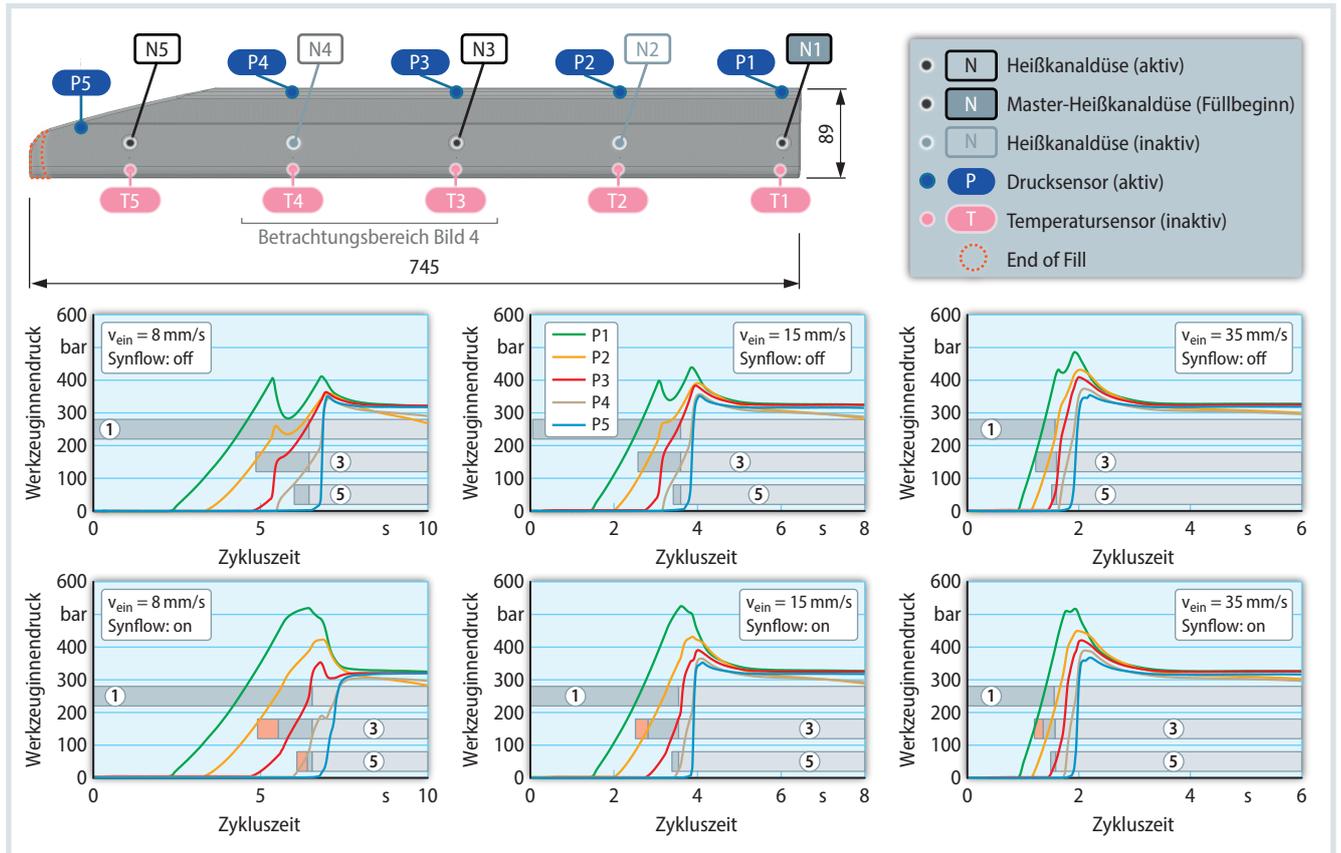


Bild 4. Werkzeuginnendruckkurve in Abhängigkeit der Nadelöffnungsgeschwindigkeit. Quelle: Barnes Group; Grafik: © Hanser

Der Blick in die Kavität verdeutlicht die Wirkung

Die Einspritzdruckkurve der Spritzgießmaschine gibt einen vereinfachten Überblick über die Druckverhältnisse beim sequenziellen Füllen. Zusätzliche Werkzeugsensorik ist nicht in jedem Falle notwendig, kann aber bei komplexen Anwendungen und der Feinabstimmung bzw. Fehlerbehebung sehr hilfreich sein. In **Bild 4** (oben) sind die relativ zu den aktiven Düsen (N1, N3, N5) gelegenen Werkzeuginnendrucksensoren (P1, P3, P5) sowie die dazwischenliegenden Werkzeuginnendrucksensoren (P2, P4) dargestellt.

Der bei konventioneller Einstellung charakteristische, sägezahnförmige Druckverlauf ist auch bei den Werkzeuginnendruckkurven der bereits geöffneten Heißkanaldüsen erkennbar. Anhand der Kurve P3 ist der Druckstoß beim Öffnen der Düse N3 nach Überströmen durch die hohe Steigung der Kurve erkennbar. Mit aktivem Synflow-System ist die Steigung der Druckkurven während der Einspritzphase nahezu identisch.

Die Werkzeuginnendruckkurven verdeutlichen zudem die lokal unterschiedliche Nachdruckwirkung bei konventioneller Einstellung (Synflow: off), bei welcher der Maximaldruck erst während der Nachdruckphase ansteht. Mit aktivem Synflow-System zeigt sich der charakteristische Druckpeak bei Umschaltung auf Nachdruck (dunkelgrau abgesetzte Balken der Kaskadenschaltzeiten). Somit werden bestimmte Effekte erst bei der Betrachtung der Werkzeuginnendruckkurven deutlich, während die Einspritzdruckkurve (**Bild 3**) darüber keinen Aufschluss gibt.

Optimierung durch Anpassung der Nadelöffnungsgeschwindigkeit

Mithilfe eines Glanzgradmessgerätes (Reflektometers) lassen sich Glanzgradunterschiede zur Ableitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen quantifizieren. Die Messungen erfolgen abweichend von der DIN EN ISO 2813 für diese Anwendung mit einem Betrachtungswinkel von 60°, da das kleinere Messfeld bei diesem Betrachtungswinkel eine höhere Auflösung bietet. Die Messungen

dienen nur dem Vergleich der beiden unterschiedlichen Versuchseinstellungen.

Bild 5 zeigt den Glanzgrad über der Fließweglänge des Formteils in der Einheit GU (Gloss Unit) für eine konventionelle, sequenzielle Füllung (Synflow: off, schwarze Kurve) und eine Füllung mit verzögerter Nadelöffnungsgeschwindigkeit (Synflow: on, rote Kurve) bei gleicher Einspritzgeschwindigkeit von $v_{\text{ein}} = 15 \text{ mm/s}$ (vgl. Bild 2). Der Messbereich ist durch die rot schattierte Strecke auf dem Bauteil abgebildet. Deutlich erkennbar ist die Verbesserung des Glanzgrades im Bereich der Druckschaltmarkierung (1) von $\text{GU} = 50$ auf $\text{GU} = 100$. Randeefekte der Kühlbuchsen und weiteren Trennungen durch Einsätze sind separat markiert (2). Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Kavitätsoberfläche mit einer technischen Politur ausgestattet ist und nicht den Anspruch einer Hochglosoberfläche am späteren Bauteil bedient, wodurch Effekte der Werkzeugoberfläche die Prozesseffekte überlagern. Ebenfalls erkennbar sind die Bereiche der Schubmarkierungen mit deutlich geringerer Amplitude im Glanzgrad (3), die

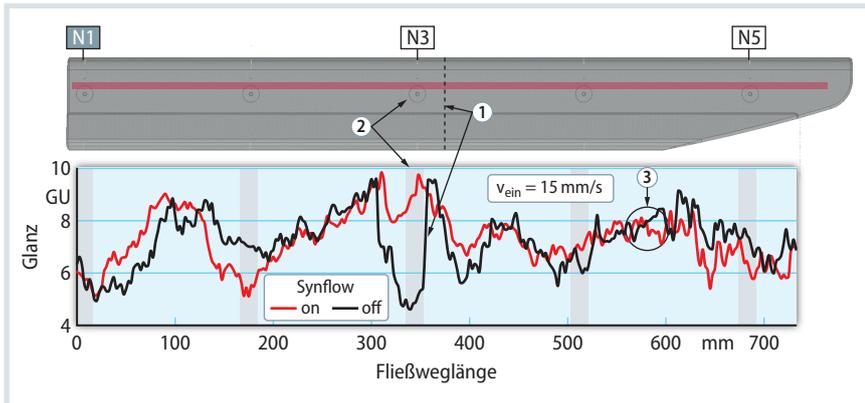


Bild 5. Glanzgrad entlang der Fließrichtung. Quelle: Barnes Group; Grafik: © Hanser

sich nicht signifikant mit dem geänderten lokalen Druckprofil verändern.

Fazit und Ausblick

Die Synflow-Technologie stellt eine wichtige Ergänzung zum konventionellen Kaskadenspritzgießen dar. Durch die Verzögerung der Nadelöffnungsgeschwindigkeit kann bei sequenziell gefüllten Bauteilen, das Auftreten von Druckumschaltmarkierungen und damit

einhergehenden Glanzgradunterschieden auf der Bauteiloberfläche vermieden werden. Die Technologie basiert dabei auf einfacher und leicht zu beherrschender hydraulischer Steuerungstechnik.

Die akkurate Vorhersage von Glanzgradunterschieden ist zum Projektbeginn in der Regel nicht möglich. Die rheologischen Eigenschaften der Formmasse und bei komplexen, flächigen Bauteilen auch die lokal unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten spielen

hier eine große Rolle. Aufgrund von Lieferkettenproblemen stehen Spritzgießer derzeit zusätzlich unter dem Druck auf alternative, oft weniger aufwendig modifizierte Formmassen oder auch Rezyklate, zurückgreifen zu müssen. Diese können sich in ihrer Anfälligkeit für Oberflächenqualität trotz vergleichbarer rheologischer Eigenschaften stark unterscheiden. Der Einsatz von Synflow kann in diesen Fällen die Oberflächenqualität deutlich verbessern und beeinflusst auch nachgeschaltete Veredelungsprozesse der Formteile positiv.

Weiterführende Versuche haben gezeigt, dass durch die Verzögerung der Nadelöffnungsgeschwindigkeit die Druckspitzen während des Einspritzvorgangs minimiert und damit eine Schließkraftreduktion erzielt werden kann. Ferner lassen sich durch die Verzögerung der Nadelöffnungsgeschwindigkeit auch die im Formteil resultierenden Spannungen beeinflussen, was insbesondere bei der Herstellung von Formteilen mit lichtleitender Funktion eine signifikante Verbesserung der optischen Eigenschaften erzielen kann. ■