

Christopherus Bader und Henk Derkx

# Die Zeit ist reif

Heißkanalregelung



PRIAMUS SYSTEM TECHNOLOGIES AG  
Bahnhofstrasse 36  
CH-8201 Schaffhausen / Schweiz

Tel. +41 (0)52 632 2626  
Fax +41 (0)52 632 2627  
info@priamus.com  
www.priamus.com



Im CIM-Verfahren hergestellte Keramikkörper für die neueste Generation von Hochdruckentladungslampen

(Foto: Priamus)

# Die Zeit ist reif

**Heißkanalregelung.** Regelsysteme zur automatischen Balancierung von Heißkanalsystemen sind mittlerweile in einem breiten Anwendungsfeld im Einsatz und haben sich vor allem in der Medizintechnik bewährt. Aus dieser Erfahrung heraus haben sich heute Regelanwendungen in Spezialgebieten wie dem Keramikspritzgießen oder dem Verarbeiten von Flüssigsilikon (LSR) entwickelt. Das Regelsystem wurde dazu an sehr unterschiedliche Anforderungen angepasst.

**CHRISTOPHERUS BADER  
HENK DERKX**

**G**erade in wirtschaftlich schlechten Zeiten ist es notwendig, sich durch geeignete Maßnahmen von der Konkurrenz abzugrenzen. Während die allgemeine Auftragslage oder etwa die Rohstoffpreise vom Markt vorgegeben und kaum zu beeinflussen sind, bieten sich vor allem automatisierte Steuer- und Regelverfahren an, um die Wettbewerbsfähigkeit auch mit dem bestehenden Maschinenpark deutlich zu steigern.

## Nichts geht ohne die genaue Position der Schmelzefront

Die Grundlage beim Steuern und Regeln des Spritzgießprozesses ist die automatische Ermittlung der Schmelzefront [1].

**ARTIKEL ALS PDF** unter [www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de)  
Dokumenten-Nummer KU110127

Denn nur wenn diese bekannt ist, kann sie entsprechend beeinflusst werden. Ein zu frühes oder zu spätes Umschalten auf Nachdruck wird sich ebenso negativ auf die Teilequalität und die Ausschussrate in der Produktion auswirken wie das unterschiedliche Fließverhalten bei Mehrfach-Werkzeugen [2]. Die Folge sind ungefüllte oder überspritzte Teile sowie Schwankungen in Formteilmgewicht und -dimension.

Komplexe prädiktive Verfahren wie die Bildung von Prozessmodellen, die auf einer statistischen Versuchsplanung basieren, sind hierbei ebenso wenig in der Lage, den Schmelzfluss während der Produktion zu beeinflussen, wie die beliebte – jedoch unmaßgebliche – Ansicht, dass eine genaue Maschinensteuerung hierfür ausreicht. Beispielsweise wird das Verstopfen einer Verschlussdüse im Heißkanal weder durch ein Prozessmodell noch durch die Maschinensteuerung sicher erkannt.

Will man die Schmelzefront also erkennen, muss man sie in Echtzeit erfassen [3]. Eine bewährte Lösung hierfür ist ein patentiertes Verfahren der Priamus System Technologies AG, Schaffhausen/Schweiz, bei dem Werkzeugwandtemperatur-Sensoren die Schmelzefront automatisch erkennen, wenn diese die Sensorpositionen erreicht. Dieses Prinzip ist auch die Grundlage für das Regelsystem Priamus Fill, das die Düsen eines

<b>i</b>	<b>Hersteller</b>
<p><b>Priamus System Technologies AG</b>                  Bahnhofstrasse 36                  CH-8201 Schaffhausen                  Schweiz                  Tel. +41 52 632 2626                  Fax +41 52 632 2627                  info@priamus.com                  www.priamus.com</p>	

Heißkanalsystems so regelt, dass Schwankungen im Prozess automatisch ausgeglichen werden [4].

Die automatische Schmelzefronterkennung wird dazu genutzt, Prozesse nach individuellen Kriterien zu regeln (Tabelle 1). Hierbei wird prinzipiell zwischen zwei Betriebsarten unterschieden: dem einfachen Balancieren von Mehrfach-Werkzeugen und dem eigentlichen Regeln eines Prozesses auf einen optimierten Referenzzustand hin. In beiden Fällen werden die Düsentemperaturen des Heißkanalreglers automatisch so angepasst, dass sich die Viskosität der Kunststoffschmelze entsprechend ändert.

Grundsätzlich ist die Regelung für bis zu 128 Kavitäten ausgelegt. Je nach Anwendung können ein oder mehrere Regler in der Software aktiviert und einer bestimmten Aufgabe zugeordnet werden, wobei die verschiedenen Regelverfahren sich prinzipiell miteinander kombinieren lassen. So ist es denkbar, ein 16-fach-Familienwerkzeug mit zwei Komponenten auf einem Drehtisch zu installieren und alle Teile und Komponenten individuell zu regeln und zu überwachen. In diesem Fall würde jeder Komponente in jeder einzelnen Kavität ein eigener Regler zugeordnet, der sicherstellt, dass alle Kavitäten immer gleichzeitig gefüllt werden. Unabhängig von der Position des Drehtisches wäre nicht nur jedes Teil, sondern jede Komponente für sich 100 %-ig überwacht und könnte einzeln separiert werden. Für den Fall, dass dieses Werkzeug über verschiedene Temperierkreisläufe



**Bild 1. Werkzeuginnendruckverläufe und Werkzeugwandtemperaturen eines 2-fach-Werkzeugs bei unterschiedlichen Maschineneinstellungen im Vergleich. Der Verlauf der Werkzeugwandtemperatur ist immer eindeutig und kann deshalb automatisch detektiert und für die Heißkanalregelung bzw. -balancierung verwendet werden** (Bild: Priamus)

Individuelle Prozessüberwachung		
Mehrkavitäten-Werkzeuge	Balancieren der Heißkanaldüsen	1 Regler für alle Kavitäten
Mehrkomponenten-Werkzeuge	Regeln mehrerer Kunststoffe pro Teil	1 Regler pro Komponente
Kaltkanal-Unterverteiler	Regeln mehrerer Kavitäten pro Düse	1 Regler für alle Unterverteiler
Familienwerkzeuge	Regeln von unterschiedlich großen Teilen	1 Regler pro Spritzteil
Bindenähte	Regeln einer konstanten Binde-nahtposition	1 Regler pro Binde-naht
Kaskadenverfahren	Regeln der Verschlussdüsen (Füllzeiten)	1 Regler pro Verschlussdüse (außer erste Düse)
Werkzeugtemperierung (Thermoplaste)	Regeln der Oberflächentemperatur	1 Regler für alle Kreisläufe
Werkzeugheizung (Duroplaste, Elastomere)	Regeln der Oberflächentemperatur	1 Regler für alle Heizelemente
Verschlussdüsen (Flüssigsilikon/LSR)	Regeln der Verzögerungszeiten	1 Regler für alle Kavitäten

**Tabelle 1. Übersicht über verschiedene Anwendungen der Heißkanalregelung und -balancierung mit einer frei konfigurierbaren Anzahl von Softwareregeln. Eine individuelle Prozessüberwachung ermöglicht das Aussortieren von Schlechteilen in jeder Kavität**

verfügt, könnte zugleich die Oberflächentemperatur der einzelnen Kavitäten geregelt werden, um sicherzustellen, dass die Schwindung der Formteile unter gleichen Bedingungen stattfindet und die Dimensionen der Spritzteile stabil bleiben.

### Drucksignal verändert sich

Immer wenn die Schmelze den Temperatursensor in der Kavität erreicht, wird automatisch ein Temperaturanstieg detektiert, der für die Regelung bzw. Balancierung verwendet werden kann. Selbst bei völlig unterschiedlichen Maschineneinstellungen ist der Signalverlauf eindeutig und kann automatisch ausgewertet werden. Hingegen verändert sich der Verlauf des Werkzeuginnendrucksignals je nach Teilegeometrie und Maschineneinstellung, weshalb er in erster Linie für die Optimierung des Prozesses und für das Überwachen der Verdichtung verwendet wird (Bild 1).

Während die viskositätsabhängigen Füllzeiten in jeder Kavität eindeutig anhand der Temperatursignale ermittelt werden können, ist dies in diesem Beispiel anhand der Druckverläufe schwierig, wenn nicht gar unmöglich. Aus diesem Grund, und um die Kosten für ein solches System überschaubar zu halten, empfiehlt Priamus in der Regel, einen Werkzeugwandtemperatur-Sensor pro Kavität und einen Werkzeuginnendruck-Sensor pro System einzusetzen.

### Das automatische Balancieren von Keramik-Spritzteilen

Das Beispiel eines Keramikkörpers der Abteilung Prozessentwicklung der Philips Lighting BV, Uden/Niederlande, zeigt, wie empfindlich das System auf Prozessschwankungen reagiert und wie genau die Heißkanalbalancierung mit Temperatursensoren konstante Formteilgewichte und -maße sicherstellt. Der Keramikkörper wird in einem 4-fach-CIM-Werkzeug



**Bild 2. Philips HID-Lampe mit integrierten Keramikkörpern. Die Teile wurden im Keramik-Spritzgießverfahren hergestellt und mit dem Priamus Fill System balanciert** (Foto: Philips)

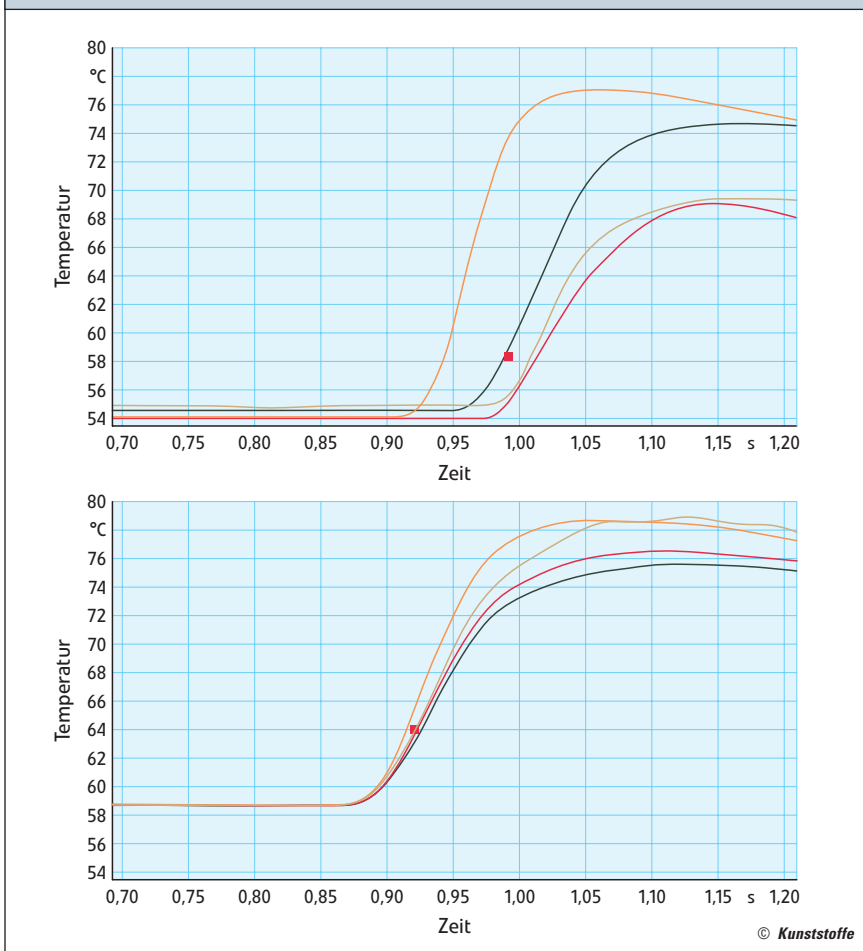
(Ceramic Injection Molding, Keramik-spritzgießen) hergestellt und für die neueste Generation von Hochdruckentla-

dungslampen (HID-Lampen, von engl. high intensity discharge) verwendet. Das gesinterte Bauteil wird als Reaktionskammer für den Plasmaentladungsprozess in die HID-Lampe (Bild 2) eingebaut. Je nach Bauart der Lampe wird das Bauteil mit hohen Wärmegradienten thermisch belastet. Aufgrund einer wachsenden Vielfalt geometrischer Formen ist das Pulverspritzgießen mit der entsprechenden Formfreiheit des Prozesses eine attraktive Methode zur Herstellung diverser Brenntypen. Für die Anwendung ist die geometrische Maßhaltung des keramischen Bauteils von besonderer Bedeutung. Die entsprechenden Spezifikationen können nur durch eine exakte Beherrschung des Spritzgießprozesses realisiert werden.

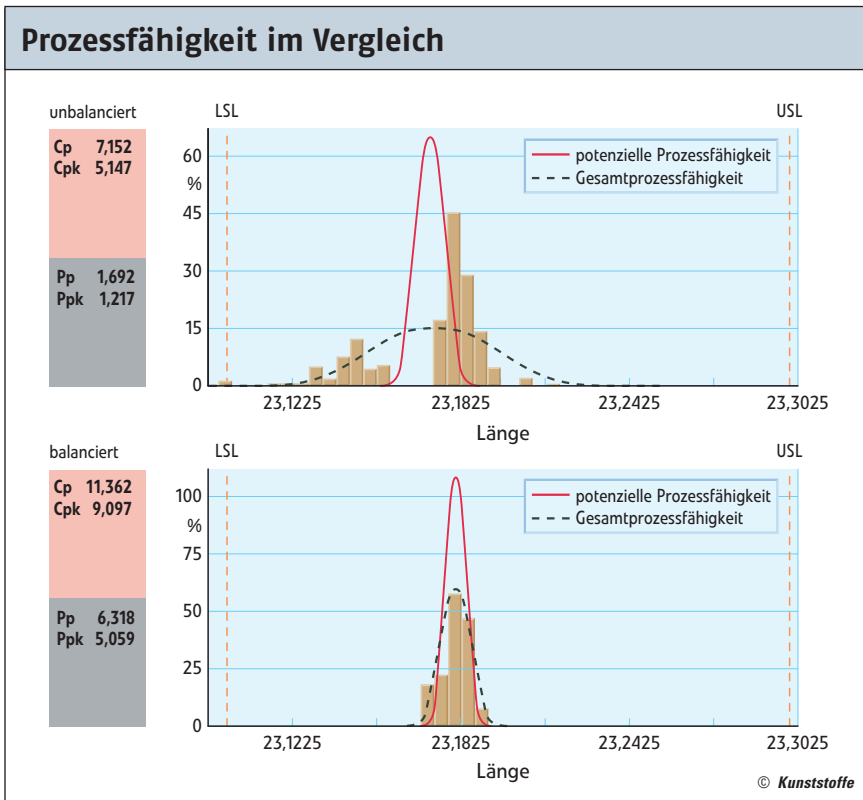
Das Ziel der Heißkanalbalancierung liegt darin, Füllzeitunterschiede in den einzelnen Kavitäten zu eliminieren (Bild 3). Während zunächst sämtliche Düsentemperaturen des Heißkanals auf einen konstanten Wert eingestellt sind, befindet sich der Prozess in einem permanent unbalancierten Zustand. Die Kavitäten werden hierbei zeitlich unterschiedlich gefüllt, was zwangsläufig zu unterschiedlichen Teileigenschaften führen muss. Im Vergleich hierzu sind die Kurven im ausbalancierten Zustand dargestellt, bei dem die Düsentemperaturen – und damit das Fließverhalten der Keramikschmelze – automatisch so verändert wurden, dass jede Kavität praktisch zum gleichen Zeitpunkt gefüllt wird.

Während sich die Füllzeitunterschiede ohne Heißkanalbalancierung während der ganzen Produktion ständig in derselben Größenordnung bewegen, ba-

### Eliminierung der Füllzeitunterschiede



**Bild 3. Füllzeitunterschiede zwischen den einzelnen Kavitäten vor und nach der Balancierung anhand der Werkzeugwandtemperatur-Kurven. Die Düsentemperaturen des Heißkanalsystems werden automatisch so verändert, dass jede Kavität zum gleichen Zeitpunkt gefüllt wird** (Bild: Priamus)



**Bild 4. Potenzielle Prozessfähigkeit sowie die Gesamtprozessfähigkeit bezogen auf das Längenmaß der gesinterten Keramikkörper. Die Gesamtprozessfähigkeit verbessert sich vom unbalancierten zum balancierten Zustand um mehr als den Faktor 4** (Bild: Philips)

lanciert das Priamus Fill System den Prozess schon nach wenigen Zyklen aus und eliminiert die Füllzeitunterschiede praktisch vollständig. Da die Viskositätsunterschiede in den einzelnen Kavitäten ausgeglichen sind, ergeben sich identische Füllzeiten in den verschiedenen Kavitäten.

Ein ähnliches Bild zeigen die Prozessfähigkeiten des balancierten und des unbalancierten Zustands im Vergleich (Bild 4). Unterschieden wird zwischen der „potenziellen Prozessfähigkeit“, die sich lediglich auf Merkmale des Spritzteils selber bezieht, und der Gesamtprozessfähigkeit, die auch den Einfluss der

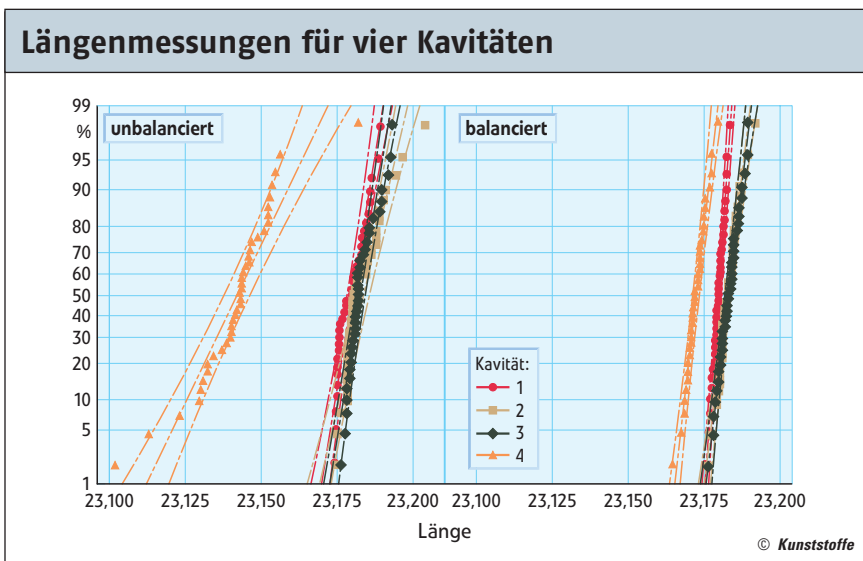
Maschine über einen längeren Zeitraum mit einbezieht. Diese Gesamtprozessfähigkeit bezogen auf das Längenmaß der gesinterten Teile verbessert sich vom unbalancierten zum balancierten Zustand um mehr als den Faktor 4.

Wie die Balancierung sowohl das Gewicht als auch die Gesamtlänge der einzelnen gesinterten Teile beeinflusst, lässt sich grafisch belegen (Bild 5). In einem Wahrscheinlichkeitsnetz wird zunächst die Verteilung der Messwerte überprüft. Im Idealfall einer Normalverteilung befinden sich die Werte auf einer Geraden, wie dies im balancierten Zustand der Fall ist. Im unbalancierten Zustand folgt eine der Kavitäten dieser Verteilung nicht, da sie teilweise nicht vollständig ausgespritzt war. Obwohl sich die absoluten Messwerte in allen Betrachtungen nur in einem sehr kleinen Band bewegen, wird hier sichtbar, dass selbst kleinste Abweichungen im Prozessverlauf den Unterschied zwischen guten und schlechten Bauteilen ausmachen können. Die statistische Betrachtung verdeutlicht, dass eine Prozessführung ohne Heißkanalbalancierung in diesem Beispiel kaum zur Herstellung der Keramikkörper eingesetzt werden kann.

### Automatische Regelung beim Flüssigsilikon-Spritzgießen

Aufgrund der niedrigen Viskosität wirken sich Füllzeitunterschiede beim Flüssigsilikon-Spritzgießen noch deutlicher auf die Teilequalität aus, als dies bei Standard-Thermoplasten der Fall ist. Hinzu kommt die Problematik, dass die Vernetzung der LSR-Teile (Bild 6) im unbalancierten Zustand unter unterschiedlichen physikalischen Bedingungen erfolgt, was die Qualität der in einem Mehrfach-Werkzeug gefertigten Spritzteile erheblich beeinträchtigt. Da bei der Verarbeitung von Flüssigsilikon-Materialien keine Heißkanäle zum Einsatz kommen, muss prinzipiell eine alternative Methode zum Balancieren des Schmelzeflusses angewendet werden. Das Priamus Fill System wurde deshalb dahingehend modifiziert, dass unterschiedliche Füllzeiten mithilfe automatisch berechneter Verzögerungszeiten über die Verschlussdüsen kompensiert werden.

Werkzeugwandtemperatur-Sensoren melden, wann die Schmelze an der Sensorposition eintrifft. Unterscheiden sich die Füllzeiten von Kavität zu Kavität, werden die Verzögerungszeiten bis zum Schließen der Verschlussdüsen automatisch angepasst (Bild 7). Da die Werk-



**Bild 5. Wahrscheinlichkeitsnetz der Gesamtlänge der gesinterten Teile im unbalancierten und balancierten Prozess. Im Idealfall einer Normalverteilung befinden sich die Werte auf einer Geraden. Im unbalancierten Zustand folgt eine Kavität dieser Verteilung nicht, da sie teilweise nicht ausgespritzt war. Ein analoges Bild ergibt die Analyse des Gewichts (nicht abgebildet)** (Bild: Philips)

zeugtemperatur beim Flüssigsilikon-Spritzgießen höher ist als die Temperatur des eingespritzten Materials, wird im Gegensatz zum Thermoplast-Spritzgießen grundsätzlich ein Temperaturabfall gemessen. Die Füllzeitunterschiede von Kavität zu Kavität werden auch in diesem Beispiel praktisch eliminiert, sodass eine gleichzeitige Füllung und damit eine Vernetzung unter den gleichen physikalischen Bedingungen gewährleistet ist.

**Ausblick**

Wer in den vermeintlich guten Zeiten Ausschussraten im einstelligen Prozentbereich einfach ignorieren konnte, wird sich dies auf absehbare Zeit nicht mehr leisten können. Das wirtschaftliche Umfeld zwingt mehr und mehr Verarbeiter, auch die letzten Potenziale möglicher Kostensenkungen auszuschöpfen. Die ausgeführten Beispiele zeigen, dass dies nicht zwingend die Anschaffung neuer Maschinen erfordert, sondern eher mit einer ver-



**Bild 6. Aus LSR hergestellter Schnuller der in Kalifornien/USA ansässigen Firma Kipe Molds. Aufgrund der niedrigen Viskosität wirken sich Füllzeitunterschiede beim Flüssigsilikon-Spritzgießen deutlicher auf die Teilequalität aus, als dies bei Standard-Thermoplasten der Fall ist** (Foto: Priamus)

besserten Prozessführung zu tun hat. Vor allem im Bereich der Heißkanaltechnik und der Schmelzflussregelung gibt es hier eine Reihe von Möglichkeiten, um die Kosten weiter zu reduzieren, eine sichere

Produktion zu garantieren und die Produktqualität deutlich zu steigern. ■

**LITERATUR**

- 1 Bader, C.: Und sie bewegt sich doch. *Kunststoffe* 98 (2008) 6, S. 60–66
- 2 Bader, C.: Die Werkzeugwandtemperatur als Basis zur Qualitätssicherung. In: Steinko, W. (Hrsg.): *Optimierung von Spritzgießprozessen*. Hanser, München 2008, S. 475
- 3 Bader, C.: Einrichten, Steuern und Regeln von Werkzeugen. In: Mennig, G. (Hrsg.): *Werkzeugbau in der Kunststoffverarbeitung*. Hanser, München 2008, S. 644
- 4 Priamus Patentschrift EP 1 372 934 B1

**DIE AUTOREN**

DIPL.-ING. (FH) CHRISTOPHERUS BADER, geb. 1962, ist seit 2001 Geschäftsführer der Priamus System Technologies AG, Schaffhausen/Schweiz.

ING. (B. SC.) HENK DERKX, geb. 1954, ist seit 2006 Senior Process Engineer, Process Development, bei Philips Lighting BV, Uden/Niederlande.

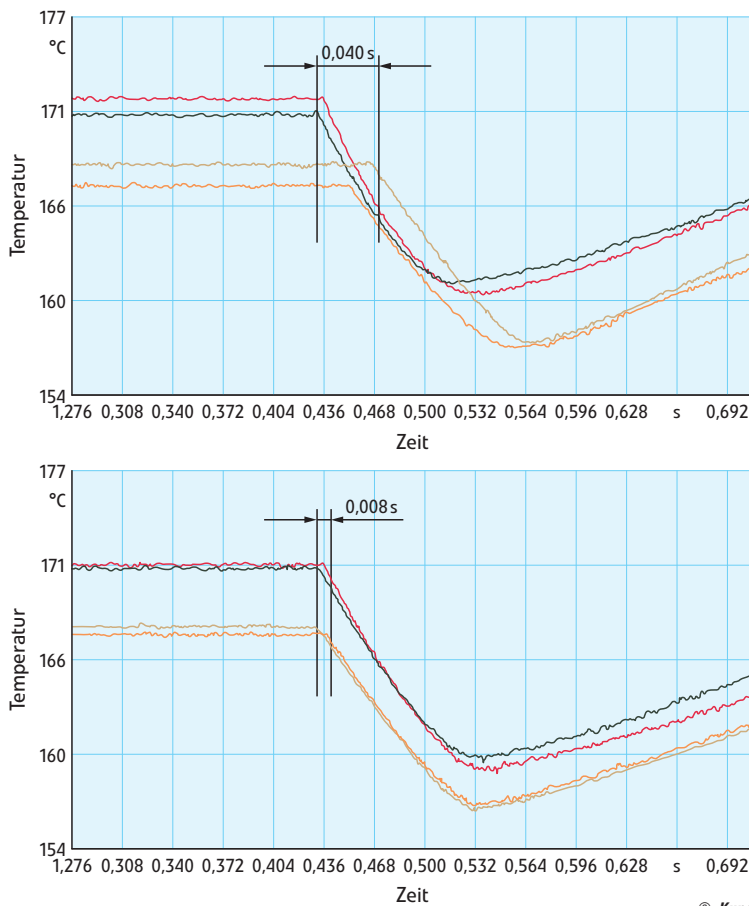
**SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL**

**The Time is Ripe**

**HOT-RUNNER CONTROL.** *Systems for automatic balancing of hot-runner systems are now used extensively in a wide field of applications and have proven especially successful in medical technology. This experience has led to the development of control applications for specialty areas, such as ceramic injection molding and processing of liquid silicone (LSR). This necessitated modifying the control systems to widely differing requirements.*

NOTE: You can read the complete article in our magazine *Kunststoffe international* and on our website by entering the document number **PE110127** at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)

**Eliminierung der Füllzeitunterschiede**



© Kunststoffe

**Bild 7. Werkzeugwandtemperatur-Signale eines 4-fach-LSR-Spritzgießwerkzeugs im unbalancierten und im balancierten Zustand. Das Priamus Fill System kompensiert die unterschiedlichen Füllzeiten mithilfe automatisch berechneter Verzögerungszeiten über die Verschlussdüsen** (Bild: Priamus)