

# Die Kühlzeit als Variable

**Qualitätssteigerung.** Was, wenn beim Spritzgießen nicht eine vorab definierte Kühlzeit den Entformungszeitpunkt bestimmt, sondern eine im laufenden Prozess detektierte Formteilmtemperatur das Ende der Kühlzeit? Der Lohn sind konstante Formteileigenschaften und Zykluszeitgewinn. Die Grundlagen und wie dies in der Praxis aussieht, vermittelt dieser Bericht.

**PAUL THIENEL  
BODO SCHUMACHER  
OLIVER SCHNERR**

Der stark zunehmende Kostendruck in der Spritzgießindustrie, verursacht durch Migrationsbestrebungen in Billiglohnländer, zwingt die Verarbeiter dazu, kostensenkende Maßnahmen schnellstmöglich umzusetzen, z. B. neue Produktionsverfahren, eine höhere Integration und logistische Veränderungen. Daneben bieten auch laufende Produktionen erhebliches Einsparpotenzial. Ein Ansatzpunkt ist die Zykluszeit, die um bis zu 40 % über dem kürzestmöglichen Wert liegen kann. Der Grund dafür liegt in einer unzureichenden thermischen Werkzeugauslegung und zu langen Restkühlzeiten, die meist subjektiv und abschätzend eingestellt werden. Um Prozess- und Werkzeugtoleranzen, z. B. Temperatur- und Regelschwankungen, auszugleichen und die Produktion in einen stabilen Zustand zu versetzen, schlägt der Maschineneinrichter häufig einen Sicherheitsfaktor auf, mit dem er nicht optimale Zykluszeiten und damit erhebliche finanzielle Einbußen in Kauf nimmt.

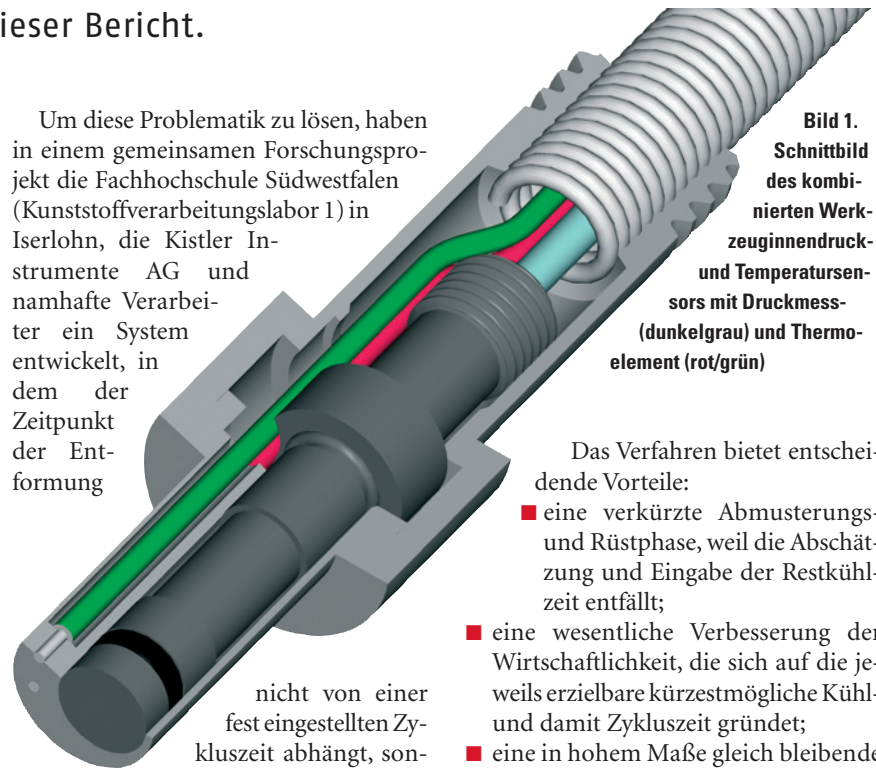
## Kühlzeit berechnet sich nach Formteilmtemperatur

Die Kühlzeit drückt sich nicht nur direkt in den Prozesskosten aus, sondern hat auch erheblichen Einfluss auf die Qualität, die ihrerseits die Effizienz der Produktion beeinflusst. Die heute ausschließlich als Fixwert vorgegebene Restkühlzeit kann die sporadisch in der Fertigung auftretenden Störungen, wie Schwankungen des Prozesses, der Maschinensteuerung und des Materials, nicht ausgleichen. Die Folge sind Änderungen des Verzugs, der Maßhaltigkeit, der Oberflächen- und weiteren Formteileigenschaften während der Fertigung einer Losgruppe.

Um diese Problematik zu lösen, haben in einem gemeinsamen Forschungsprojekt die Fachhochschule Südwestfalen (Kunststoffverarbeitungslabor 1) in Iserlohn, die Kistler Instrumente AG und namhafte Verarbeiter ein System entwickelt, in dem der Zeitpunkt der Entformung

nicht von einer fest eingestellten Zykluszeit abhängt, sondern davon, wann das Formteil einen definierten thermischen Zustand erreicht. Dieses Vorgehen hält nicht mehr die Kühlzeit konstant, sondern die thermischen Eigenschaften des Formteils. Der thermische Zustand des Formteils wird im Prozess, Zyklus für Zyklus, durch Messung der Temperatur der Formteiloberfläche und des Werkzeuginnen-drucks bestimmt. Die Restkühlzeit wird automatisch berechnet und direkt an die Maschinensteuerung übergeben.

<b>i</b>	<b>Hersteller</b>
<p><b>Kistler Instrumente AG</b>                  Eulachstr. 22                  CH-8408 Winterthur                  Schweiz                  Tel. +41 (0) 52/2 24 11 11                  Fax +41 (0) 52/2 24 14 14                  info@kistler.com                  www.kistler.com</p>	



**Bild 1.** Schnittbild des kombinierten Werkzeuginnendruck- und Temperatursensors mit Druckmess- (dunkelgrün) und Thermoelement (rot/grün)

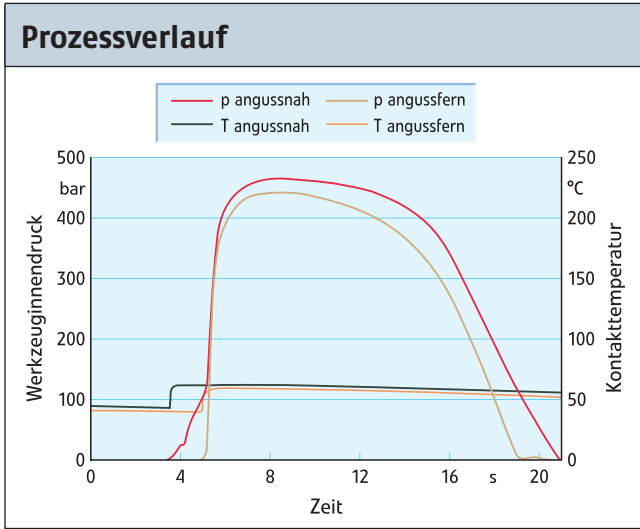
Das Verfahren bietet entscheidende Vorteile:

- eine verkürzte Abmusterungs- und Rüstphase, weil die Abschätzung und Eingabe der Restkühlzeit entfällt;
- eine wesentliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit, die sich auf die jeweils erzielbare kürzestmögliche Kühl- und damit Zykluszeit gründet;
- eine in hohem Maße gleich bleibende Formteilqualität, die durch die konstante Entformungstemperatur bedingt ist.

## Sensor zur kombinierten Druck- und Temperaturmessung

Ebenso wie der verwendete Kunststoff bestimmt die Formteilgeometrie die ideale Entformungstemperatur. Aufgrund der Komplexität der Schwindungs- und Verzugsvorgänge und der im Vorfeld nicht exakt bekannten Werkzeugwand- und Schmelzetemperaturen ist es nicht möglich, die Entformungstemperatur für ein Spritzgussteil genau vorherzubestimmen. Lediglich eine Abschätzung ist durchführbar, die auf Richtwerten, z. B. von Rohstoffherstellern und der Erfahrung von Einrichtern, beruht; vor allem, da zum Zeitpunkt der Entformung bei üblichen Wanddicken die Temperatur über den Formteilquerschnitt nicht vollständig ausgeglichen ist und immer ein Temperaturgefälle von ▶

© 2004 Carl Hanser Verlag, München www.kunststoffe.de/Kunststoffe-Archiv Nicht zur Verwendung in Intranet- und Internet-Angeboten sowie elektronischen Verteilern



**Bild 2. Mit dem kombinierten Werkzeuginnendruck- und Temperatursensor gemessene Prozessverläufe angussnah und -fern**

Werkzeugwandtemperatur und die Massetemperatur zu Beginn des Abkühlprozesses bekannt sein. Die beiden letztgenannten Größen sind jedoch wie erwähnt im Allgemeinen nicht bekannt. Natürlich lässt sich die Massetemperatur während des Spritzgießzyklus experimentell mit Thermoelementen erfassen, die für jeden Zyklus neu in die Kavität eingebracht werden müssen. Diese Art der Temperaturbestimmung ist jedoch für die Fertigung ungeeignet und wird daher meist nur für wissenschaftliche Untersuchungen eingesetzt.

Daraus ergibt sich für die automatische Berechnung der Restkühlzeit in der Serienfertigung die Forderung, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem sich der Verlauf der Werkzeugwandtemperatur und die Massetemperatur zum Beginn der Kühlung, also nach dem eigentlichen Formfüllvorgang, exakt bestimmen lässt. Diese Forderung führt zum Einsatz eines kombinierten Druck-/Temperatursen-

der Formteilmitte zum Formteilrand besteht.

Zur Bestimmung des idealen Entformungszeitpunkts wird daher häufig die allgemeine Kühlzeitgleichung benutzt.

Damit lässt sich theoretisch die Restkühlzeit berechnen. Um bei vorgegebener Temperatur den Entformungszeitpunkt bestimmen zu können, müssen die Eigenschaften des Kunststoffes, die mittlere



**Bild 3. Sporadisch auftretender Weißbruch am Formteil ohne automatische Kühlzeitberechnung**



**Bild 4. SmartAmp-Ladungsverstärker mit integrierter automatischer Kühlzeitberechnung**

sors (Bild 1). Die Temperaturmessung ist bei dieser speziellen Sensorbauart bis an die Oberfläche des Sensors geführt und erfasst die Kontakttemperatur zur Schmelze, sobald diese den Sensor erreicht. Vor diesem Zeitpunkt registriert der Sensor exakt die Werkzeugtemperatur und liefert somit die notwendigen Informationen über den Verlauf der Werkzeugwandtemperatur. Der integrierte Werkzeuginnendrucksensor detektiert den Zeitpunkt der volumetrischen Füllung, also den Beginn der Abkühlung, exakt (Bild 2). Somit sind alle Informationen verfügbar, um mit weiteren Algorithmen die Kühlzeitformel Zyklus für

Zyklus automatisch im Prozess zu lösen und die exakte Kühlzeit zur Einleitung des Entformungsvorgangs an die Spritzgießmaschine zu übergeben.

### Erwartung bestätigt sich in der Produktion

Das vorgestellte Verfahren wurde zwischenzeitlich an einem großen Gehäuseteil (Formteilmgewicht ca. 1 kg) aus ABS getestet. Dessen Oberfläche ist hochglanzpoliert und muss absolut fehlerfrei sein. Der Prozess hat eine Gesamtzykluszeit von 61 s, von der 42 s auf die Kühlzeit entfallen. Die mittlere Werkzeugtemperatur beträgt 62 °C. Nach intensiver manueller Optimierung lassen sich bei der dann eingestellten konstanten Kühlzeit Formteile mit ausreichender Qualität produzieren. Bei einer Verkürzung der Kühlzeit auf einen festen Wert von 40 s befindet sich der Prozess im qualitativen Grenzbereich (Tabelle 1). In ungleichmäßigen Abständen tritt Weißbruch auf der Sichtfläche der Formteile auf (Bild 3). Dieser wird durch einen Auswerferstift verursacht, da das Formteil zum Entformungszeitpunkt noch nicht die richtige Temperatur erreicht hat. Diese Reduzierung der Kühlzeit um 2 s macht eine 100 %-ige Sichtkontrolle aller Formteile erforderlich.

Durch den Einsatz der automatischen Kühlzeitberechnung bei einer konstanten Entformungstemperatur von 72 °C und ansonsten natürlichen Parameterschwankungen wird eine Kühlzeit zwischen 39,8 und 40,3 s erreicht. Hierbei tritt, auch über einen längeren Produktionszeitraum, kein Weißbruch auf. Die Kühlzeit wurde auf diese Weise im Vergleich zu dem mit einem (praxisüblichen) Sicherheitspuffer gefahrenen Zyklus um 5 % reduziert.

Um das Systemverhalten zu überprüfen, wird die mittlere Werkzeugtemperatur auf 70 °C erhöht. Das System verlängert jetzt automatisch die Kühlzeit, um bei der gleichen Temperatur von 72 °C zu entformen. Die Formteiloberfläche ist auch hier fehlerfrei. Neben den Oberflächeneigenschaften gibt es weitere Prüfmaße an dem Formteil. Diese liegen bei allen aufgelisteten Einstellungen innerhalb der geforderten Toleranz, wenn die Entformungstemperatur konstant bleibt.

Dieses Beispiel zeigt, dass bei Prozessen, die manuell bis an ihre Grenzen optimiert worden sind, die automatische Berechnung der Kühlzeit – und damit des frühestmöglichen optimalen Ent-

	Kühlzeit [s]	Mittlere Werkzeugtemperatur [°C]	Entformungstemperatur [°C]	Qualität
Konstante Restkühlzeit	42	62		OK
Konstante Restkühlzeit	40	62	ca. 72	Unregelmäßig Weißbruch
Automatische Kühlzeitberechnung	39,8 – 40,3	62	72	OK

**Tabelle 1. Die automatische Kühlzeitberechnung reizt die Zykluszeit ohne Sicherheitsaufschlag aus**

formungszeitpunkts – eine weitere Verkürzung der Zykluszeit erschließen kann, und dass dabei die Randbedingung einer optimalen Qualität eingehalten wird.

### Integration in die Spritzgießmaschine

Die geschlossene Integration dieses Verfahrens in Spritzgießmaschinen ist von entscheidender technischer Bedeutung. Verfahren, die regelnd in Prozesse eingreifen, müssen prozesssicher in Maschinen eingebunden werden. Bei der Um-

setzung dieses Verfahrens wurde eine bewährte Lösung eingesetzt: Der Algorithmus wurde in einen industriellen Ladungsverstärker integriert (Bild 4). Diese Technik setzt Kistler seit Jahren für die automatische Optimierung des Umschaltpunkts ein. Der intelligente Ladungsverstärker wird vollständig in die Steuerung der Spritzgießmaschine integriert. Damit ist eine größtmögliche Prozesssicherheit gewährleistet. ■

#### DIE AUTOREN

PROF. DR.-ING. PAUL THIENEL, geb. 1944, ist Hochschullehrer an der Fachhochschule Südwest-

falen, Iserlohn, und dort Leiter des Kunststoffverarbeitungslabors I (KVL 1).

DIPL.-ING. BODO SCHUMACHER, geb. 1973, ist Laboringenieur im KVL 1 der FH Südwestfalen, Iserlohn.

DR.-ING. OLIVER SCHNERR, geb. 1967, ist Leiter des Produktmanagements der BU Plastics der Kistler Instrumente AG, Winterthur/Schweiz.

#### SUMMARY PLAST EUROPE

### Cooling Time as Variable

**INCREASED QUALITY.** *The cooling time has a crucial influence on the cycle time and is therefore a significant factor in the economy of the injection moulding process. An automatic calculation based on the cavity pressure and the part surface temperature in the cycle permits precise determination of the optimum remaining cooling time, and therefore maximises the efficiency of the process with optimum part properties.*

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE102996** on our website at [www.kunststoffe.de/pe](http://www.kunststoffe.de/pe)