

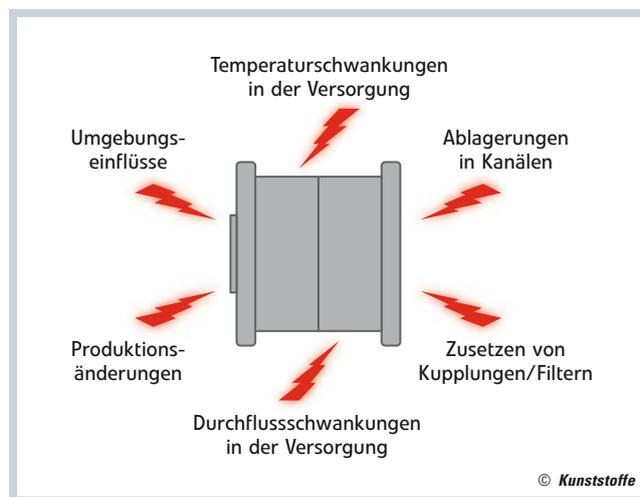
# Versteckte Potenziale heben

**Werkzeugtemperierung.** Zykluszeitverkürzung, Ausschussminimierung und das Erhöhen der Prozesssicherheit sind wesentliche Wettbewerbsfaktoren im Spritzgießbetrieb. Immer stärker setzen Unternehmen deshalb auf hochpräzise Spritzgießmaschinen – oft in Kombination mit ebensolchen Systemen zur Prozessüberwachung. Ein wesentlicher Einflussfaktor wird aber häufig übersehen: die Werkzeugtemperierung.

**FLORIAN RASCHKE  
JOSEF GISSAUF  
GEORG STEINBICHLER**

Um auch über lange Zeiträume hinweg eine hohe Reproduzierbarkeit zu gewährleisten, müssen wichtige Parameter im Fertigungsprozess konstant gehalten werden. Heutige Spritzgießmaschinen bieten dem Verarbeiter die Möglichkeit, eine Vielzahl an Prozessgrößen zu überwachen und zu dokumentieren. Über den aktuellen Zustand der Temperierung sind im laufenden Prozess aber in der Regel nur wenige Informationen verfügbar. Dies ist umso erstaunlicher, als die Temperierung sowohl auf die Produktqualität als auch auf die Produktivität einen großen Einfluss hat und gleichzeitig einer Reihe von Stör- und Einflussgrößen unterliegt (Bild 1). Da passt es ins Bild, dass einer Untersuchung zufolge im Schnitt 24 % des Ausschusses auf Fehler in der Werkzeugtemperierung zurückzuführen sind [1].

Um diese Einflussfaktoren auszuschließen, gilt es, auch die Durchflussmenge der einzelnen Temperierkreise sowie die Vor- und Rücklauftemperatur zu erfassen, zu überwachen und gegebenenfalls nachjustieren. Diesen Aufgaben sind die häufig eingesetzten Schwebekörper-Durchflussregler allerdings nicht gewachsen. Die Engel Austria GmbH, Schwertberg/Österreich, hat deshalb ein in die Steuerung der Spritzgießmaschinen integriertes Temperierwasserverteilsystem mit elektronischer Überwachung entwickelt und auf den Markt gebracht.



**Bild 1. Die Werkzeugtemperierung unterliegt einer Reihe von Stör- und Einflussgrößen** (Bilder: Engel)

## Moderne Verteilsysteme erhöhen die Prozesssicherheit

Werden mehrere Temperierkreise mit der gleichen Wasser- bzw. Öltemperatur betrieben, stellt sich spätestens beim Rüsten des Werkzeugs die Frage, ob die Medienversorgung seriell oder parallel an die Temperierkanäle des Werkzeugs angeschlossen werden soll. Grundsätzlich begünstigt die Parallelschaltung einen hohen Gesamtdurchfluss, und die Temperaturdifferenzen zwischen Werkzeugeingang und -ausgang sind aufgrund der kürzeren Temperierkanalstrecke kleiner. Dies kann sich wiederum positiv auf die Formteilqualität auswirken – beispielsweise durch geringeren Verzug. Dieser große Vorteil der Parallelschaltung sollte aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Medienverteilung unkontrolliert erfolgt. Das Risiko, dass sich einzelne Kreise unbemerkt zusetzen, ist hoch [2].

Mit dem Engel Flow Monitoring System (Bild 2) – kurz Engel flomo – ist es möglich, die Vorteile der Parallelschaltung mit einer hohen Prozesssicherheit zu kombinieren. Das kompakte, manuell einstellbare Wasserverteilsystem, dessen integrierte Sensorik Durchflüsse, Temperaturen und Drücke erfassen kann, wird direkt an der Spritzgießmaschine montiert – auf Wunsch und wenn es die Platzverhältnisse erlauben, auch in unmittelbarer Nähe zum Werkzeug. Die Messwerte werden an die Maschinensteuerung →



**Bild 2. Engel flomo ist ein kompakt gebauter Temperierwasserverteiler mit elektronischer Überwachung**

**ARTIKEL ALS PDF** unter [www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de)  
Dokumenten-Nummer KU111191

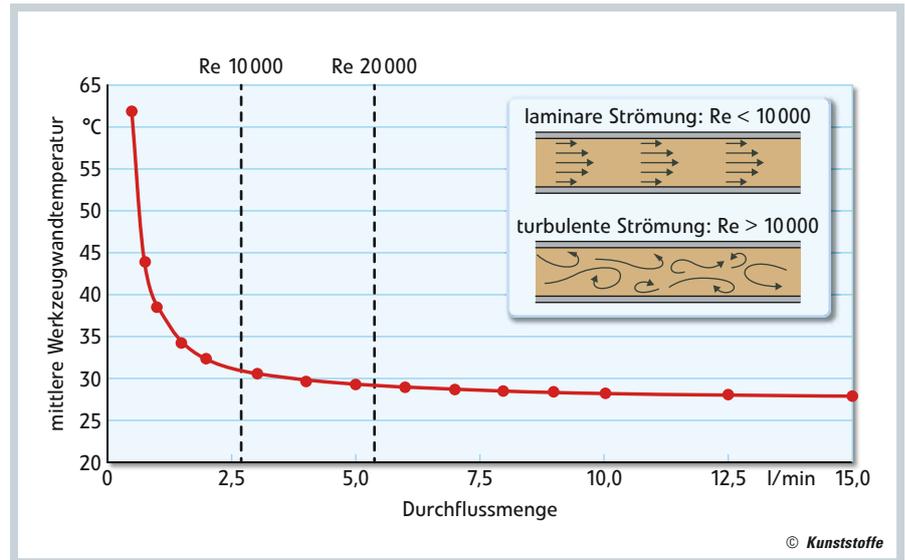
übertragen, sodass sie visualisiert, überwacht und dokumentiert werden können. Die Integration in die Maschinensteuerung erlaubt zudem eine komfortable Bedienung.

Wasserverteilsysteme dieses Typs sind aufgrund ihrer elektronischen Ausstattung zwar teurer als herkömmliche Schwebekörper-Durchflussregler, die Praxis zeigt jedoch, dass die Anschaffung sich schnell amortisieren kann. Ein Automobilzulieferer, der inzwischen Engel flomo einsetzt, fertigt Formteile aus PA in einem 2-Kavitäten-Werkzeug. Die fünf Temperierkreise wurden zuvor über Schwebekörper-Durchflussregler versorgt. Im Laufe der Produktion hatten sich Verunreinigungen im Temperierwasser an einer Schnellkupplungsverbindung angelagert und den Durchfluss in diesem Temperierkreis vollständig unterbrochen, ohne dass dies jemand bemerkte.

Vor dem Versand war die Formteilgeometrie noch in Ordnung, erst die Eingangskontrolle beim Kunden stellte an einigen Teilen unzulässige Maßabweichungen fest. Als Folge wurde die gesamte Lieferung reklamiert. Erst nach langwieriger Suche konnten Techniker den fehlenden Durchfluss als Ursache ausmachen. Dieser Fehler, der eine Nachschwindung an den Formteilen verursachte, war kostspielig: Der Gesamtschaden für den Automobilzulieferer belief sich auf knapp 30 000 EUR.

### Turbulente Strömungen sind gefragt

Moderne Verteilsysteme bieten die Chance, Fehler dieser Art frühzeitig zu erkennen und gegenzusteuern, bevor Schlechteile in den Versand gelangen. Gleichzei-



**Bild 3. Die Werkzeugwandtemperatur ist von der Durchflussmenge des Kühlwassers abhängig (Kühlwassertemperatur im abgebildeten Prozess: 20 °C)**

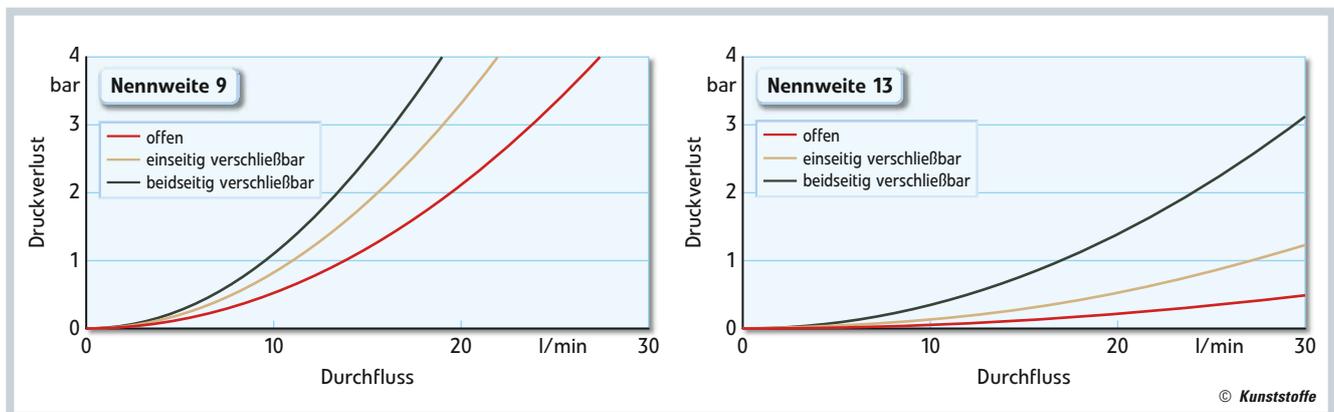
tig stellen die Systeme dem Anwender neue Parameter zur Verfügung, die zur Prozessoptimierung genutzt werden können, z. B. die Durchflussmenge.

Der Wärmehaushalt eines Spritzgießwerkzeugs wird von den Volumenströmen in den einzelnen Temperierkreisen erheblich beeinflusst. Aber wer kennt schon die für seinen Prozess idealen Durchflussmengen? Grundsätzlich gilt: Je höher der Durchfluss, desto besser der Wärmeaustausch zwischen Werkzeug und Temperiermedium und desto geringer die Temperaturdifferenz zwischen Werkzeugeingang und -ausgang. In vielen Betrieben ist deshalb zu beobachten, dass die Durchflussregler aller Kreise sicherheitshalber vollständig geöffnet sind. Ob die einzelnen Durchflussmengen dann zu gering, unnötig hoch oder gerade richtig sind, bleibt ein Rätsel. Die Technologieentwickler von Engel haben sich

mit der Frage der optimalen Durchflussmenge in Temperierkreisen intensiv auseinandergesetzt und eine Vielzahl an Simulationen und Versuchen durchgeführt. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass die minimal erforderliche Durchflussmenge im Wesentlichen von zwei Faktoren bestimmt wird:

- der Temperaturerhöhung zwischen Werkzeugeintritt und -austritt sowie
- der Reynoldszahl.

Die maximal zulässige Temperaturerhöhung sollte nicht überschritten werden. Laut [3] liegt sie beim Standard-Spritzgießen zwischen 3 und 5 K und beim Präzisions-spritzgießen zwischen 1 und 3 K. Um den tatsächlichen Einfluss der Temperaturerhöhung auf die thermische Homogenität eines Formteils bei der Abkühlung zu ermitteln, empfiehlt sich in vielen Fällen die Anwendung einer Spritzgießsimulation.



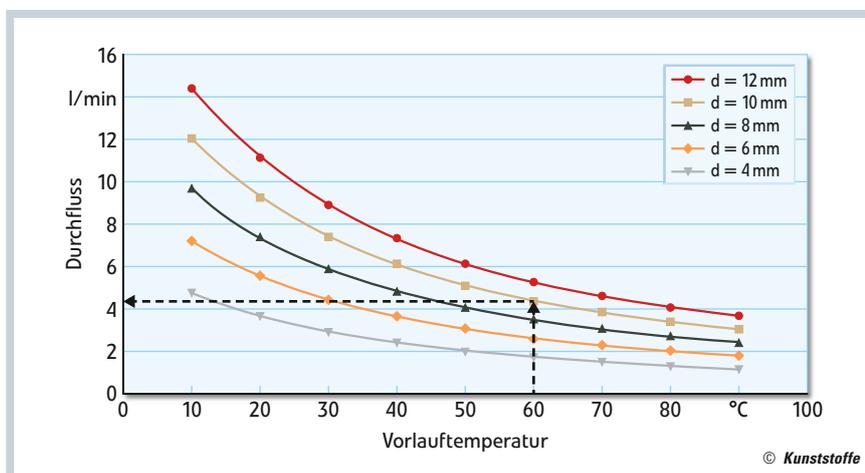
**Bild 5. Schnellkupplungen verursachen Druckverlust – je nach Ausführung und Nennweite in unterschiedlichem Maß. Bei Nennweite 13 (rechts) verursacht die einseitig verschließbare Ausführung gegenüber der offenen Variante einen rund 2,5-fach, die beidseitig verschließbare Variante sogar einen mehr als 6-fach höheren Druckverlust. Bei Nennweite 9 (links) zeigt sich, dass die einseitig verschließbare Ausführung gegenüber der offenen Variante einen rund 1,5-fach höheren Druckverlust aufweist, die beidseitig verschließbare Variante sogar einen mehr als doppelt so hohen Druckverlust**

Die Reynoldszahl  $Re$  charakterisiert die Turbulenz der Strömung. Diese muss so deutlich ausgebildet sein, dass sich systembedingte Durchflussschwankungen nicht nennenswert auf die Werkzeugwandtemperatur auswirken. Ab einer Reynoldszahl von 10 000 ist eine turbulente Strömung vollständig ausgebildet. Dieser Wert dient in erster Näherung zur Definition der minimal erforderlichen Durchflussmenge. Wie hängt nun die mittlere Werkzeugwandtemperatur von der Durchflussmenge ab? Während die Temperaturänderung bei geringen Durchflussmengen (Reynoldszahl  $Re < 10\,000$ ) sehr deutlich ausfällt, ist bei großen Durchflüssen nur noch ein sehr geringer Einfluss auf die Werkzeugwandtemperatur zu erkennen (**Bild 3**). Reynoldszahlen  $Re < 10\,000$  stehen wegen des

Durchfluss von 4,5 l/min erforderlich (schwarze Pfeile in der Grafik).

### Hydraulische Anbindungen nicht unterschätzen

Oftmals lassen sich die erforderlichen Durchflussmengen nicht auf Antrieb erreichen. Zu schwach dimensionierte oder verschlissene Pumpen können Gründe dafür sein. Eine einfache Möglichkeit, die Durchflussmengen dennoch zu steigern, besteht darin, die hydraulischen Werkzeuganbindungen zu optimieren. Lange Schläuche zwischen Temperiermedienversorgung und Werkzeug, kleine Schlauchdurchmesser und eine Vielzahl von druckmindernden Schnellkupplungen sind nur einige Charakteristika von hydraulischen Werkzeuganbindungen,



**Bild 4.** Die zum Erreichen der optimalen Reynoldszahl ( $Re = 20\,000$ ) erforderliche Durchflussmenge ergibt sich aus der Vorlauftemperatur und dem Bohrungsdurchmesser ( $d$ ) der Temperierkanäle

verringerten Wärmeaustauschs für eher unwirtschaftliche Prozesse. Zudem zeigt der steile Abfall der Kurve, dass die Werkzeugwandtemperatur empfindlich auf kleine Durchflussschwankungen reagiert. Aus diesem Grund wird empfohlen, die Durchflussmenge so zu wählen, dass  $Re > 20\,000$  erreicht wird. Die Charakteristik des Kurvenverlaufs ist allgemeingültig für alle Spritzgießprozesse.

Die Reynoldszahl ihrerseits ist von drei Faktoren abhängig:

- vom Durchfluss,
  - vom Bohrungsdurchmesser und
  - von der Viskosität, die wiederum stark von der Temperatur beeinflusst wird.
- Mit welchen Durchflussmengen die empfohlene Reynoldszahl  $Re = 20\,000$  erreicht werden kann, lässt sich aus einer Grafik ablesen (**Bild 4**). Wird beispielsweise Wasser mit einer Vorlauftemperatur von 60 °C durch eine Bohrung mit einem Durchmesser von 10 mm geleitet, so ist ein

wie sie in vielen Spritzgießbetrieben zu finden sind. Jede dieser Komponenten verursacht Druckverlust und ist so für die Minderung des Durchflusses mitverantwortlich.

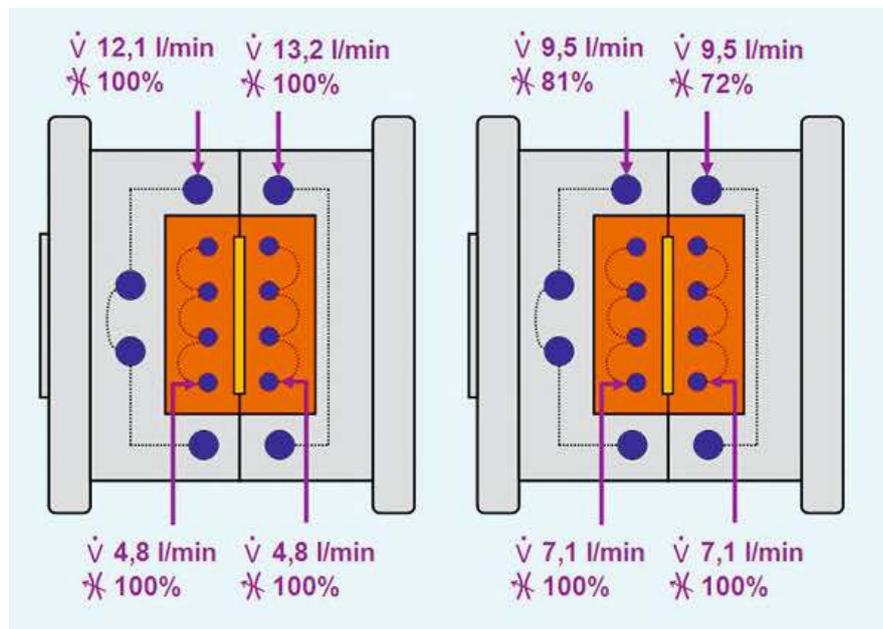
Zu den größten „Druckverbrauchern“ zählen neben den Temperierkanälen im Werkzeug im Regelfall Schnellkupplungsverbindungen. Bei Schnellkupplungen unterscheidet man zwischen der offenen, der einseitig verschließbaren und der beidseitig verschließbaren Ausführung. Die Druckverlustfunktionen unterscheiden sich dabei je nach Ausführung (**Bild 5**). Für Nennweite 13 (rechts) ist zu erkennen, dass die einseitig verschließbare Ausführung gegenüber der offenen Variante einen rund 2,5-fach höheren Druckverlust, die beidseitig verschließbare Variante sogar einen mehr als 6-fach höheren Druckverlust verursacht. Für Nennweite 9 (links) zeigt sich, dass die Druckverluste gegenüber Nennweite 13 gene- →

rell deutlich höher sind. Die einseitig verschließbare Ausführung weist hier gegenüber der offenen Variante einen rund 1,5-fach höheren, die beidseitig verschließbare Variante sogar einen mehr als doppelt so hohen Druckverlust auf. Generell gilt es deshalb, verschließbare Schnellkupplungsverbindungen in Temperiersystemen zu vermeiden oder entsprechend groß zu dimensionieren.

**Prozessoptimierung durch hydraulischen Abgleich**

Trotz sorgfältiger Auswahl der Komponenten kann es vorkommen, dass sich in einzelnen Temperierkreisen ein zu geringer Durchfluss einstellt. Sind die hydraulischen Widerstände der Kreise sehr unterschiedlich, wählt das Wasser den Weg des geringsten Widerstands. Ein hydraulischer Abgleich – eine gezielte Drosselung der Durchflussmengen in den einzelnen Temperierkreisen – kann hier Abhilfe schaffen. Auf diese Weise werden Ungleichgewichte in der Wasserverteilung kompensiert. Verteilsysteme wie Engel flomo verfügen über Ventile zur Einstellung des Durchflusses.

Die Durchflussverteilung bei der Herstellung eines flächigen Formteils aus PP mit einer Wanddicke von 2 mm soll das Problem verdeutlichen (Bild 6). Im Bereich der Werkzeugeinsätze sind die Temperierbohrungen mit einem Durchmesser von 6 mm, im Stammwerkzeug mit 10 mm ausgeführt. Die Kühlwassertemperatur beträgt 20 °C. Der höhere hydraulische Widerstand in den Einsätzen bewirkt, dass der Großteil des Wassers durch das Stammwerkzeug fließt, während die größte Wärmemenge eigentlich aus den Einsätzen abzuführen wäre (links). Wird durch die Drosselung der Durchflüsse im Stammwerkzeug der hydraulische Widerstand erhöht, fließt mehr Wasser durch



**Bild 6. Natürliche Durchflussverteilung ohne hydraulischen Abgleich (links) und Durchflussverteilung nach hydraulischem Abgleich (rechts). Durch diese einfache Maßnahme lässt sich der Wärmeaustausch zwischen Werkzeug und Temperiermedium erhöhen**

die Einsätze. Als Folge steigt der Durchfluss von 4,8 auf 7,1 l/min (rechts) und liegt damit über dem empfohlenen Wert von 5,7 l/min (Bild 4). Diese einfache Maßnahme erhöht den Wärmeaustausch zwischen Werkzeug und Temperiermedium, eine Verkürzung der Kühlzeit um 7 % war die Folge. Gleichzeitig wurde die Temperaturerhöhung zwischen Werkzeugeintritt und -austritt reduziert.

**Fazit**

Eine dem Bedarf angepasste Regelung der Durchflussmengen im Werkzeug kann wesentlich zur Qualitäts- und Produktivitätssteigerung beim Spritzgießen beitragen. Moderne Kühlwasserverteiler mit Durchflussmessern und Temperatursensoren bilden die Basis zur Optimierung und lückenlosen Überwachung der bislang oft unterschätzten Prozessparameter. ■

**LITERATUR**

- 1 Menges, G.; Auffenberg, D.; Hüttner, H.-J.: Ausschussreduzierung in der Spritzgießverarbeitung. Kunststoff-Berater Ausgabe 18 (1973) 8
- 2 Geisser, P.: Tempertechnik – Theorie und Praxis. 1. Auflage. HB Therm AG, St. Gallen, 2010
- 3 Zöllner, O.: Anwendungstechnische Informationen 1104 – Optimierte Werkzeugtemperierung. Bayer AG, 1997

**DIE AUTOREN**

FLORIAN RASCHKE M.SC., geb. 1985, ist Projektleiter in der Abteilung Entwicklung Prozesstechnologie der Engel Austria GmbH, Schwertberg/Österreich; florian.raschke@engel.at

DIPL.-ING. JOSEF GIESSAU, geb. 1968, leitet die Abteilung Entwicklung Prozesstechnologie bei Engel; josef.giessauf@engel.at

PROF. DR.-ING. GEORG STEINBICHLER, geb. 1955, ist Leiter Forschung und Entwicklung Technologien bei Engel und Vorstand des Instituts für Polymerspritzgießtechnik und Prozessautomatisierung an der Johannes Kepler Universität, Linz/Österreich; georg.steinbichler@jku.at

**SUMMARY**

**LEVERAGING HIDDEN POTENTIAL**

MOLD TEMPERATURE CONTROL. Reduced cycle time, minimized rejects and increased process reliability are significant competitive advantages in injection molding. Companies are therefore increasingly relying on high-precision injection molding machines – often in combination with appropriate process monitoring systems. An important factor that is often overlooked is mold temperature control.

Read the complete article in our magazine

**Kunststoffe international** and on

[www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)