

Wer bremst, verliert

Integrierte Temperierlösung für weniger Ausschuss und eine höhere Energieeffizienz

In den letzten zehn Jahren ist die Werkzeugtemperierung zunehmend in den Fokus der Spritzgießer gerückt. Eine optimale Ergänzung zu geregelten Wasserverteilern bilden Temperiergeräte mit drehzahl geregelter Pumpe. Durch deren Integration in die Maschinensteuerung ergeben sich Synergien, die ein einfaches Ermitteln der tatsächlich erforderlichen Durchflussmengen, eine automatische Einstellung der Pumpendrehzahl und dadurch eine deutliche Reduktion des Energieverbrauchs ermöglichen.

Während heute auf modernen Spritzgießanlagen Verfahrensbewegungen auf wenige Mikrometer genau geregelt werden, bei Zykluszeiten um Hundertstelsekunden gerungen wird und hocheffiziente Antriebssysteme den Energieverbrauch minimieren, wird einem anderen wesentlichen Einflussfaktor häufig zu wenig Beachtung geschenkt. Die Rede ist von der

Werkzeugtemperierung. Wie schon vor 30 Jahren wird der Durchfluss in vielen Fällen noch heute über Schwebekörper-Durchflussregler („Wasserorgeln“) eingestellt, die keine wirkliche Überwachung der Temperaturen und Durchflüsse gestatten. Dabei kann ein schlecht temperiertes Werkzeug schnell zur Ursache von Ausschuss werden.

In den letzten Jahren entwickelte sich jedoch ein Trend dahin, die Temperierparameter mit elektronischen Wasserverteilern zu überwachen und zu regeln. Manuell einstellbare Ausführungen bieten bereits den großen Vorteil der Prozessüberwachung. Gerade in der Medizintechnik und Automobilindustrie wird die Dokumentation wichtiger Prozessparameter gefordert. Geregelte Ausführungen sind darüber hinaus in der Lage, die Durchflussmengen konstant zu halten, selbst wenn beispielsweise Druckschwankungen in der Versorgung auftreten. Dazu werden die gewählten Einstellungen gemeinsam mit den Teiledaten gespeichert.

Welche Durchflussmengen sind erforderlich?

Bei der Ermittlung der richtigen Durchflussmengen sind zwei Ziele anzustreben:

- Turbulente Strömung [1]: Diese stellt einen guten Wärmeübergang zwischen Werkzeug und Temperiermedium sicher. Die Turbulenz der Strömung wird durch die Reynoldszahl beschrieben. In ihre Berechnung gehen der Temperierkanaldurchmesser, der Durchfluss sowie die Dichte und Viskosität von Wasser ein.
- Gleichmäßige Temperaturverteilung: Durch die Aufnahme oder Abgabe von Wärme ändert sich die Temperatur des Temperiermediums über die Länge des Temperierkanals. Somit stellen sich auch in vorlaufnahen Formnestbereichen andere Wandtemperaturen ein als in der Nähe des Rücklaufs. Dieser Unterschied muss so weit minimiert werden, dass sein Einfluss auf die Bauteilqualität in einem akzeptablen Rahmen bleibt.

Durch Messung der Medientemperatur im Vor- und Rücklauf eines Temperierkanals lässt sich die Temperaturdifferenz (ΔT) ermitteln. Sie ist ein Maß für die Gleichmäßigkeit der Tempera-



Engel wird mit den neuen von HB-Therm entwickelten Temperiergeräten mit dem Namen e-temp zum Systemanbieter im Bereich Temperierung und kann damit neue Funktionen anbieten (© Engel)

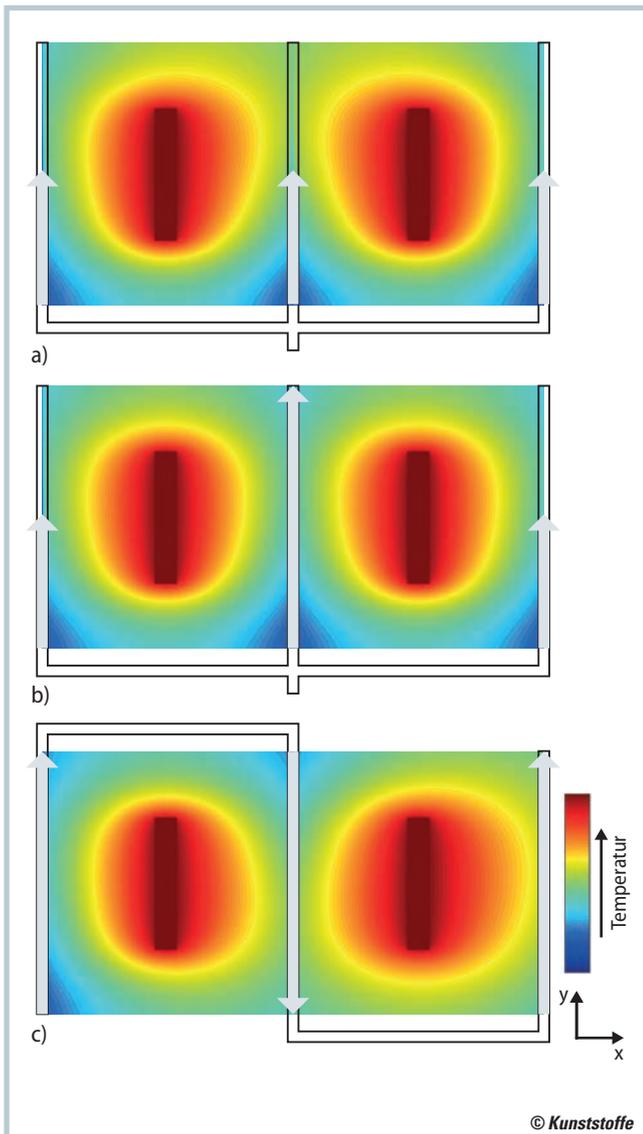


Bild 1. Simulierte Wärmeverteilung in einem Werkzeug mit zwei Kavitäten und drei Temperierkanälen. Die Pfeilrichtung gibt die Fließrichtung des Temperiermediums an, die Pfeillänge repräsentiert die Durchflussmenge (Quelle: Engel)

turverteilung im Werkzeug und somit im Gegensatz zur Durchflussmenge ein wichtiger Qualitätsparameter. Aus der Literatur [2] sind Richtwerte für empfohlene maximale Temperaturdifferenzen bekannt (siehe auch **Kasten „Praxistipp“**, S. 35). Geregelt Wasserverteilsysteme wie Engel e-floMo bieten die Möglichkeit, wahlweise die Durchflussmenge oder die Temperaturdifferenz für jeden Kreis separat zu regeln. Der Vorteil der ΔT -Regelung ist, dass sich die individuell benötigte Durchflussmenge für jeden Temperierkreis automatisch einstellt.

Die Temperaturdifferenz ist eine universelle Größe – sowohl für kleine als auch für große Werkzeuge können die gleichen Einstellwerte gewählt werden. Die Sensorik muss möglichst werkzeugnah platziert sein, um die tatsächlich im Werkzeug entstandene Temperaturdifferenz zu messen – nicht erst nachdem das Wasser in langen Schläuchen abgekühlt ist. Die Messung der Temperaturdifferenz im Temperiergerät ist aus diesem Grund nur bedingt aussagekräftig. Es empfiehlt sich die Mes-

sung in einem Wasserverteiler, der möglichst nahe am Werkzeug montiert ist.

Wie eine thermische Simulation (**Bild 1**) veranschaulicht, erwärmt sich das Wasser entlang seiner Fließrichtung; dementsprechend steigt auch die Temperatur im Werkzeug. Dieser Effekt verringert sich mit steigender Durchflussmenge. Je nach Einstellung des Temperiersystems offenbaren sich Unterschiede in der Wärmeverteilung.

Parallelschaltung der drei Temperierkreise bei gleichen Durchflussmengen: Die gängige Annahme, dass identisch eingestellte Durchflussmengen für gleiche Verhältnisse sorgen, ist hier falsch. Das Wasser wird im mittleren Temperierkanal stärker als in den beiden äußeren Kanälen erwärmt, da es Wärme aus beiden Kavitäten aufnimmt. Die Bauteile in den beiden Kavitäten sind daher zur Mitte des Werkzeugs hin wärmer als in Richtung des linken und rechten Werkzeugrands (**Bild 1a**).

Parallelschaltung der drei Temperierkreise bei gleichen Temperaturdifferenzen: Die Durchflussmenge im mittleren Kanal wird automatisch verdoppelt, es erfolgt eine bedarfsgerechte Wärmeabfuhr. Beide Formnester sind damit gleichmäßig temperiert (**Bild 1b**).

Serienschaltung der drei Temperierkreise: Die Medientemperatur am Eingang zum zweiten und dritten Kanal entspricht jeweils der Ausgangstemperatur aus dem vorigen Kanal. Es entstehen unterschiedliche Temperaturen rund um die Formnester. Die Temperaturverteilung ist ungleichmäßiger als bei der Parallelschaltung. Dieser Effekt lässt sich nur durch eine Erhöhung der Durchflussmenge reduzieren (**Bild 1c**).

Für eine bedarfsgerechte Medienverteilung in den einzelnen Kreisen müssen die Durchflussmengen im Verteiler individuell gedrosselt werden. Gleichzeitig läuft die Pumpe des Temperiergeräts auf Nenndrehzahl. Sie arbeitet also gegen den Widerstand des Wasserverteilers. Das „Bremsen“ des Durchflusses verursacht in diesen Fällen Energieverluste. Die Situation wäre damit vergleichbar, wenn man bei einer Autofahrt mit Vollgas die Geschwindigkeit mit dem Bremspedal regeln würde.

Miteinander statt gegeneinander

Abhilfe und damit eine erhebliche Energieeinsparung verschafft die Verwendung von Temperiergeräten mit drehzahl geregelter Pumpe und eine auf den Wasserverteiler abgestimmte Ansteuerung der Pumpe durch die Spritzgießmaschine.

Temperiergeräte mit drehzahl geregelten Pumpen sind seit einigen Jahren am Markt erhältlich [3]. Die Einstellung einer Drehzahl ist für den Bediener jedoch schwierig. Hilfsmittel werden z. B. mit Vorgaben für den Durchfluss oder die Temperaturdifferenz angeboten. Wird am Temperiergerät eine Temperaturdifferenz geregelt, hat man wie oben beschrieben den Nachteil der langen Schläuche bis zum Werkzeug und der dadurch erhöhten Wärmeverluste. Man misst somit nur bedingt prozessrelevante Temperaturdifferenzen.

Bei Verwendung eines nachgeschalteten Wasserverteilers ergibt eine Regelung der Temperaturdifferenz im Temperiergerät wenig Sinn, da hier eine Mischtemperatur aller Verteilerkreise geregelt wird. Diese hat keine Aussagekraft über die Temperaturverhältnisse in den einzelnen Werkzeugkreisen.

Der Vorteil der Temperierlösung von Engel, bestehend aus dem Temperierwasserverteiler e-floMo und dem von HB- ➤

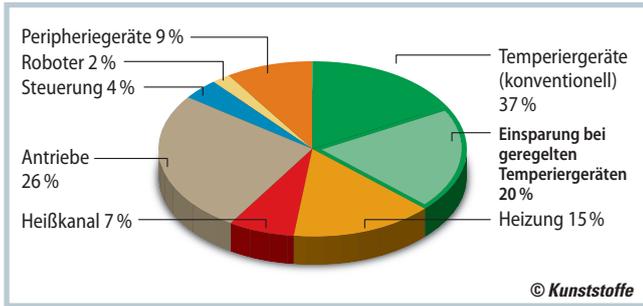


Bild 2. Durch die automatische Drehzahlregelung konnte der Gesamtenergieverbrauch der Spritzgießanlage um 20 % reduziert werden (Quelle: Engel)

Therm gelieferten Temperiergerät e-temp (Titelbild), liegt darin, dass die Software iQ flow control das Zusammenspiel beider Komponenten automatisch optimiert. Wird der Verteiler in einer der Betriebsarten Durchfluss- oder Temperaturdifferenzregelung betrieben, regelt die Spritzgießmaschinensteuerung die Pumpendrehzahl automatisch auf den minimal erforderlichen Wert. Der Clou dabei: Der hydraulische Widerstand im Verteiler wird reduziert. Die Ventile werden so weit wie möglich geöffnet, während gleichzeitig die Drehzahl reduziert wird. Die Durchflüsse in den Werkzeugkreisen bleiben durch die intelligente Regelung jedoch unverändert. Die reduzierte Drehzahl der Pumpe verringert folgerichtig den Energieverbrauch.

Die Temperiergeräte haben in der Regel einen erheblichen Anteil am Gesamtenergieverbrauch der Spritzgießanlage. Dies resultiert meist nicht aus der erforderlichen Heizleistung, die im unteren Temperaturbereich (<70–80°C) hauptsächlich bei Produktionsstart benötigt wird, sondern aus der Leistungsaufnahme der Pumpe, die bei konventionellen Geräten mit konstant hoher Drehzahl läuft.

Beispielhaft wurde der Energieverbrauch einer Spritzgieß-Produktionszelle gemessen (Bild 2). Auf einer vollelektrischen

Spritzgießmaschine Engel e-motion 170/80 TL mit zwei integrierten Temperiergeräten e-temp H8-100 wurden mit einem Schussgewicht von jeweils 71 g Musterteile aus ABS gefertigt. Die Zykluszeit lag bei 10 s. Die Vorlauftemperaturen betragen 50°C. Im Normalbetrieb – mit ausgeschalteter Drehzahlregelung – betrug der Anteil der Temperiergeräte am Gesamtenergieverbrauch der Anlage 37%. Das Aktivieren von iQ flow control verringerte die Energieaufnahme der Temperiergeräte um etwa die Hälfte, ohne dass sich der Durchfluss dabei geändert hätte. Für die gesamte Anlage bedeutete dies eine Energieeinsparung von 20% bei gleichbleibenden Produktionsbedingungen.

Temperiergerät und Wasserverteiler im Duett

Bild 3 zeigt die gemessene Pumpenleistung für die Temperierung zweier Temperierkreise mit unterschiedlichem Druckverlust, jeweils für Einzelkreisbetrieb, Serien- und Parallelschaltung.

- Die Einzelkreisverschlauchung benötigt in Summe die geringste Pumpenleistung. Dafür ist jedoch für jeden Kreis ein eigenes Temperiergerät erforderlich.
- Die Parallelschaltung benötigt nur geringfügig mehr Pumpenleistung, hierbei kann jedoch durch die Verwendung des Wasserverteilers ein Temperiergerät eingespart werden.
- Um bei der Serienschaltung die gewünschte Temperaturdifferenz von 3K zu erreichen, ist ein doppelt so hoher Durchfluss erforderlich, weil nun Wärme aus den beiden Temperierkanälen mit nur einer Versorgung abgeführt werden muss. Aufgrund des höheren erforderlichen Durchflusses und des längeren Weges, den das Medium zurücklegen muss, ergibt sich ein deutlich höherer Druckverlust.

Letztlich ist die Energieaufnahme des Temperiergeräts bei der Serienschaltung mehr als doppelt so hoch wie bei der Parallelschaltung.

Bild 3. Erforderliche Pumpenleistung für die Temperierung zweier Temperierkreise mit unterschiedlichen Druckverlusten. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Durchflussmengen so gewählt, dass sich eine maximale Temperaturdifferenz von 3 K einstellt (Quelle: Engel)

Schaltung	Schematische Darstellung	Kreis	Durchfluss [l/min]	Druckdifferenz [bar]	Drehzahl [1/min]	Pumpenleistung [W]
Einzelkreise		A	5	0,1	1000	151
		B	5	0,7	1390	188
Parallelschaltung		A	5	0,7	2050	380
B	5					
Serienschaltung		A+B	10	3,4	2950	802

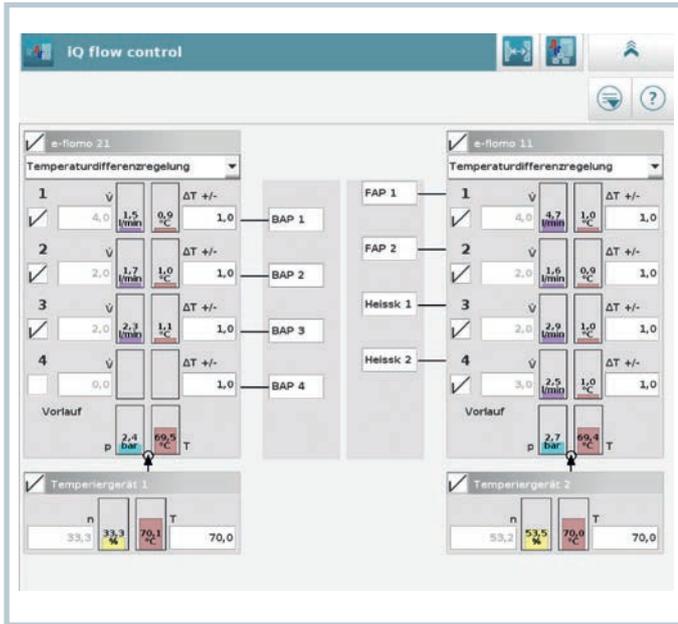


Bild 4. Um das System, bestehend aus Temperiergerät und Verteiler, übersichtlich darzustellen, wurde ein neues Benutzer-Interface entwickelt. Alle Temperierkomponenten sind auf einer Seite zusammengefasst. Zentral angeordnet ist das symbolhaft dargestellte Werkzeug mit seinen Temperierkreisen (© Engel)

Blick aufs Ganze

Temperiergerät und Wasserverteiler verschmelzen zu einem Temperiersystem. Die logische Konsequenz daraus ist die Darstellung der Istwerte in einer Gesamtübersicht (**Bild 4**). Das erleichtert dem Praktiker die Arbeit bei der Einstellung, Überwachung und Fehlersuche.

Rechts auf der Übersichtsseite sind die Komponenten dargestellt, die der festen Aufspannplatte zugeordnet sind, links jene der beweglichen Aufspannplatte. Die zugehörigen Temperiergeräte befinden sich unterhalb der Verteiler. Temperierkreise, Verteiler und Temperiergeräte können hier ein- und ausgeschaltet werden. Die wichtigsten Istwerte werden dargestellt, Sollwerte können direkt eingegeben werden. Lösen einzelne Komponenten Alarm aus, so ist dies ebenfalls auf einen Blick zu sehen.

Auf der K2016 hat Engel die neue Temperierlösung zum ersten Mal präsentiert. Die Temperiergeräte e-temp mit drehzahl geregelter Pumpe wurden gemeinsam mit HB-Therm entwickelt. Sie werden über OPC UA in die CC300-Steuerung der mit e-flo-mo ausgestatteten Engel-Spritzgießmaschinen integriert (**Bild 5**).

Ausblick

In der Kunststoffindustrie setzt sich OPC UA (Open Platform Communication Unified Architecture) für die Kommunikation zwischen vernetzten Spritzgießmaschinen, Peripheriegeräten, Sensoren und Anwendungen immer stärker durch [4]. Das industrielle Kommunikationsmodell ermöglicht die plattformunabhängige, leistungsstarke, sichere und flexible Verständigung sowohl innerhalb der Shopfloor-Ebene als auch mit übergeordneten Leitsystemen wie MES und ERP. Die OPC-UA-Integration ist

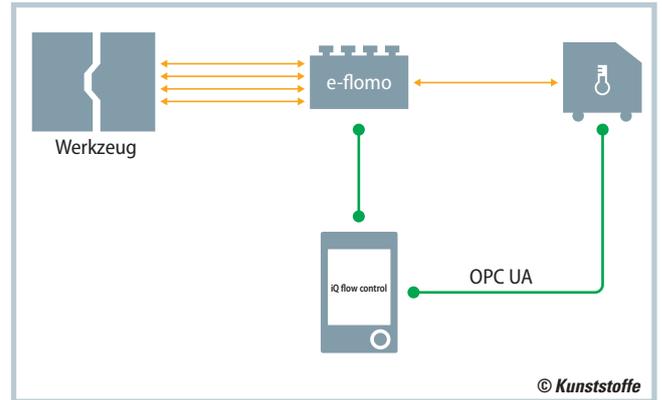


Bild 5. Die Temperiergeräte des Typs e-temp von HB-Therm werden über OPC UA in die CC300-Steuerung der Engel-Spritzgießmaschine integriert. OPC UA setzt sich als Kommunikationsstandard für die smarte Fabrik der Zukunft immer stärker durch (Quelle: Engel)

ein wichtiger Baustein der „inject.4.0“-Plattform von Engel und manifestiert sich zudem in den Gremien des Dachverbands der europäischen Kunststoff- und Gummimaschinenbauer Euro-map, die sich in ihren Empfehlungen für den Datenaustausch über OPC UA aussprechen.

Für die Integration von Temperiergeräten hat Engel nun gemeinsam mit HB-Therm – aufbauend auf den vollen Funktionsumfang von OPC UA – ein Kommunikationsmodell definiert. Zukünftig möchte der Spritzgießmaschinenbauer dieses Modell weiteren Temperiergeräteherstellern anbieten. ■

Praxistipp

Empfohlene maximale Temperaturdifferenzen zwischen Vorlauf und Rücklauf:
Technische Teile, Präzisionsteile: 1 bis 3 K
Standardteile: 3 bis 5 K

Die Autoren

Dipl.-Ing. Mathias Schläger ist Projektleiter in der Abteilung Entwicklung Prozesstechnologie bei der Engel Austria GmbH in Schwertberg/Österreich; mathias.schlaeger@engel.at

Dipl.-Ing. Christoph Balka ist Projektleiter in der Abteilung Entwicklung Prozesstechnologie bei Engel; christoph.balka@engel.at

Dipl.-Ing. Josef Gießauf leitet die Abteilung Entwicklung Prozesstechnologie bei Engel; josef.giessauf@engel.at

Service

Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2432541

English Version

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