

Anleitung zum Energiesparen

Wie schnell sich Energieeffizienz in der Temperiertechnik auszahlen kann

Die neuen, intelligenten Temperiergeräte von Single sparen bei typischen Anwendungen zwischen 40 und 70 % Energie ein. Dieser Energiesparbetrieb wirkt sich zusätzlich positiv auf den Kühlwasserverbrauch sowie die Lebensdauer der Pumpe aus. Die höheren Kosten für diese Option amortisieren sich in kurzer Zeit.

Die Kunststoffverarbeitung gehört zu den energieintensiveren industriellen Fertigungsprozessen. Ein wesentlicher Kostenfaktor sind daher die Energiekosten. Etwa 20 % der Treibhausgasemissionen beim Spritzgießen entstehen durch die Spritzgießmaschine, und bis zu 10 % entfallen auf die Peripherie, also auch

Werkzeug nehmen nur einen geringen Anteil ein. In der Produktionsphase hält das Temperiergerät die Temperatur und ruft, da es im Teillastbetrieb arbeitet und die Energiebilanz im Produktionsprozess fast ausgeglichen ist, oft nur sehr wenig Leistung ab. Daher kann die Pumpe auch im Teillastbetrieb laufen: Die Pum-

für eine energieeffiziente Regelung in weniger als einem Jahr.

Die adaptive Regelstrategie

In der Praxis wird im Temperierprozess die erforderliche Heiz- und Kühlleistung genau geregelt. Die für die Förderung des

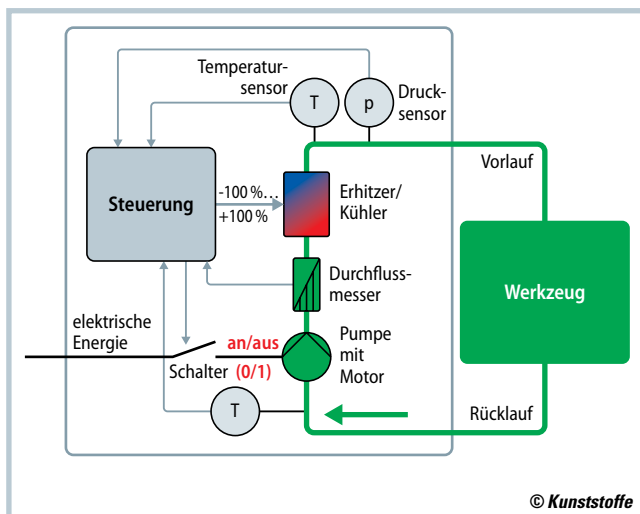


Bild 1. Im traditionellen Temperierkreislauf ist die Pumpe im normalen Betrieb ständig eingeschaltet und läuft deshalb im Vollastbetrieb (Quelle: Single)

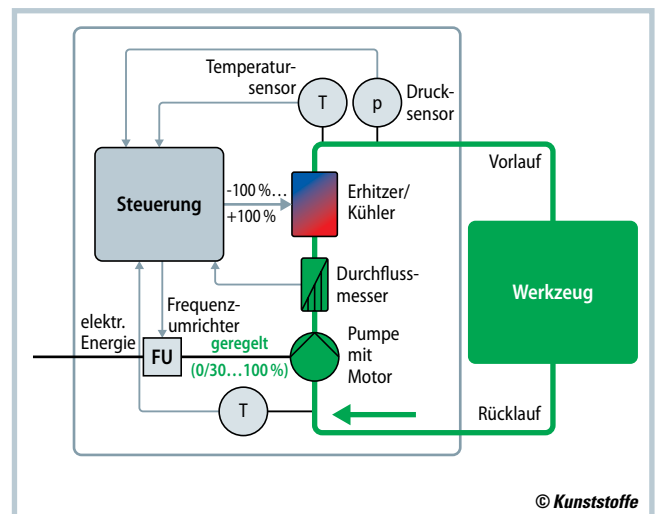


Bild 2. Temperierkreislauf mit adaptiver Steuerung. Die Drehzahl der Pumpe wird mittels Frequenzumrichter bedarfsgerecht eingestellt. Das spart Energie (Quelle: Single)

die Temperiertechnik [1]. Frühe Untersuchungen berichten bereits davon, dass man bei der Extrusion bis zu 5 % der Gesamtenergie durch geregelte Zylinder- bzw. Werkzeugtemperierung sparen kann. Beim Spritzgießen sind es bis zu 10 % [2].

Der Energieverbrauch beim Temperierprozess wird im Wesentlichen durch die Produktionsphase bestimmt; die Aufheiz- und Abkühlphasen für das

pe soll also bedarfsgesteuert arbeiten, um Energie zu sparen.

Im konventionellen Betrieb betragen die Motorleistungen selbst bei kleinen bis mittleren Gerätegrößen zwischen 0,5 und 2,8 kW. Bei einem Temperiergerät mit 1 kW Motorleistung kommen so im Zweischichtbetrieb allein durch den Motorantrieb Stromkosten in Höhe von 720 EUR pro Jahr zusammen. Vor diesem Hintergrund amortisieren sich die Zusatzkosten

Temperiermediums benötigte Pumpe wird jedoch nur geschaltet (**Bild 1**), d. h. im normalen Betrieb läuft sie auf 100 %. Während der Betriebszeit eines Temperiersystems werden verschiedene Prozessschritte durchlaufen. Nach dem Einschalten heizt das Gerät das Werkzeug mit voller Heizleistung auf die Zielwerkzeugtemperatur auf. Nach dem Start der Teileproduktion hält das Temperiergerät die Temperatur. Dazu muss es die Wärmebilanz zwi-



Bild 3. Geräte mit adaptiver Regelung des Volumenstroms ermöglichen signifikante Energieeinsparungen im Produktionsprozess (© Single)

schen der in den Produktionsprozess einströmenden sowie der daraus abfließenden Energie ausgleichen.

In der Regel arbeitet das Gerät hier in Teillastbetrieb. In mittleren Temperaturbereichen (80 bis 120 °C) ist die Energiebilanz fast ausgeglichen, das Temperiersystem ruft dann nur eine geringe Leistung ab. Nach Produktionsende wird der gesamte Prozess abgekühlt, auch hier läuft das Temperiersystem unter voller Last. Daneben kann es bei Störungen im Produktionsprozess zu einem „Standby“-Betrieb kommen, bei dem ebenfalls nur geringe Wärmeverluste ausgeglichen werden müssen.

Aufheiz- und Abkühlphase nehmen im Vergleich zur Produktion nur einen geringen Zeitanteil in Anspruch. Der Ansatz ist nun, während dieses Zeitraums die Pumpe bedarfsgesteuert zu betreiben. Dazu wird die Pumpendrehzahl über einen Frequenzumformer auf das richtige Maß reduziert (**Bild 2**). Die Energieaufnahme der Pumpe sinkt näherungsweise im Schnitt mit der dritten Potenz der Drehzahl. Das Potenzial dieses Hebels ist erheblich. Theoretischen Abschätzungen zufolge führt ein Absenken der Drehzahl um 20% zu einer Energieeinsparung von 49%. Um die Temperatur weiterhin exakt regeln zu können, wird ein minimaler Stellgrad benötigt. In Geräten der Single Temperiertechnik GmbH, Hochdorf, liegt dieser bei 30% –



Bild 4. Wie substantziell die Einsparung ist, zeigt sich anhand einer typischen Anwendung, dem Spritzgießen von Stapelkästen (© Single)

bei dieser Drehzahl beträgt die Energieaufnahme weniger als 10% der Nennleistung.

Dabei sind unterschiedliche Strategien denkbar, die alternativ und frei wählbar in den intelligenten Steuerungen der Single-Geräte implementiert sind (**Bild 3**), solange die jeweils benötigten Sensoren verbaut sind:

- Am Temperiergerät lässt sich beispielsweise die Drehzahl der Pumpe als Prozentwert der Maximaldrehzahl einstellen.
- In Verbindung mit einer Durchflussmessung lässt sich der Volumenstrom genau regeln; der Anwender gibt in dem Fall einen Sollwert in l/min ein.
- Bei druckempfindlichen Verbrauchern kann ein Druck-Maximalwert eingestellt werden (nur mit Regler „SCT Professional“). So lässt sich der Druck besser steuern als mit einem Überströmventil, das im Falle von verschmutzten Medien fehleranfällig ist.
- Die intelligenteste Form der Drehzahlregelung ist die ΔT -Regelung. Mit ΔT ist die (sensorisch ermittelte) Temperaturdifferenz am Werkzeug zwischen Vorlauf und Rücklauf definiert. Hier gibt der Anwender einen Maximalwert für ΔT ein, der für die geforderte Teilequalität nicht überschritten werden darf. Dafür sorgt das Gerät durch geeignete Drehzahlregelung.

Single empfiehlt die letztgenannte Option, weil sie keinen Eingriff des Bedieners erfordert und automatisch die Drehzahl in den verschiedenen Zuständen auf dem richtigen Wert hält. Damit lässt sich der Energieverbrauch deutlich (im Durchschnitt über 40%) verringern – und zwar ohne Qualitätsverlust für das Bauteil, wie etliche Kundenreferenzen aus dem Be-

reich Konsumgüter, Medizintechnik und Automobilbau sowie unabhängig durchgeführte Versuche zeigen.

Erfreuliche Nebeneffekte

Mehrere reproduzierbar ausgelegte Versuchsreihen [4] haben nachgewiesen, dass Anwender mit Single-Geräten (mit drehzahl geregelter Pumpe) den Energieverbrauch erheblich senken können. Im Saldo lag die Ersparnis bei niedrigen Prozesstemperaturen um 30 °C bei rund 70%, bei höheren Temperaturen um 100 °C bei maximal 39%, jeweils bei gleichbleibender Teilequalität. Vergleichsbasis sind typische Einstellungen, wie sie in der Praxis anzutreffen sind. In beiden Fällen war die Temperaturregelung sowohl bei der Kühlung als auch bei der Heizung im Teillastbereich.

Zusätzlich können sich die Einsparungen positiv auf den Kühlwasserverbrauch (bei niedrigen Temperaturen) auswirken. Auch das verbessert die Bilanz, denn das Kühlwasser muss ebenfalls mit Energieaufwand zur Verfügung gestellt werden. Und es ist zu erwarten, dass die reduzierte Drehzahl die Lebensdauer der Pumpe durch Schonung von Lager und Gleitringdichtung verlängert. Je nach Prozessparametern zahlen sich die Kosten für diese Option in einem überschaubaren Zeitraum von etwa einem Jahr aus.

Die Versuchsreihen im Detail

In der Praxis werden die Parameter für die Temperiergeräte im Prozess aus Erfahrung eingestellt. Temperiergeräte mit der Möglichkeit, die Pumpenleistung stark nach unten zu regeln, führen zu deutlichen Energieeinsparungen in der Temperiertechnik von bis zu 50%. Dies lässt sich eindrucksvoll am Beispiel der Fertigung von Stapelkästen zeigen (**Bild 4**).

In der ersten Versuchsreihe verarbeitet die Spritzgießmaschine ein ABS. Am Temperiergerät ist ein Sollwert von 30 °C eingestellt, bis ein eingeschwungener thermischer Zustand erreicht wird. Der Vorlauf beträgt 30,8 °C, der Rücklauf 32,7 °C. Die Durchflussmenge beträgt 6,1 l/min bei voller Pumpendrehzahl. Der Energieverbrauch liegt bei ca. 980 W und wurde mit einem professionellen 3-Phasen-Leistungsmessgerät ermittelt.

Der Stellgrad Kühlen liegt bei ca. 30%, d.h. die Heizung ist aus und die auf- ➤

genommene Leistung geht fast komplett in den Motorantrieb der Pumpe, abzüglich ca. 30 W für die Gerätesteuerung sowie die Ansteuerung von Ventilen.

Vom eingeschwungenen thermischen Zustand aus wird der Volumenstrom sukzessive auf 5, 4 und 3 l/min reduziert (**Tabelle 1**). Die produzierten Teile sind mit diesen Parametern immer noch in Ordnung. Der Energieaufwand liegt zuletzt bei rund 29,6% vom Ausgangswert, d. h. es wird mit 70,4% weniger elektrischer Energie für das Temperiersystem produziert. Bemerkenswert ist darüber hinaus, dass der Stellgrad Kühlen von anfangs 30% bei voller Pumpendrehzahl auf rund 20% abgenommen hat. Das heißt im Umkehrschluss, dass 10% Stellgrad nur benötigt wurden, um 690 W (980 W Vollast – 290 W Teillast) Antriebsleistung des Temperiersystems zu kompensieren. Das Gerät arbeitet also nicht nur effizienter, es verbraucht in diesem Arbeitspunkt auch weniger Kühlwasser. Die Einsparung durch die reduzierte Antriebsleistung der Kühlwasser-Umwälzpumpe sowie ein eventuell vorhandenes Kühlregat sind in dieser Betrachtung noch gar nicht enthalten.

Das Temperiersystem erlaubt auch eine selbstständige Anpassung der Pumpendrehzahl unter Berücksichtigung des Arbeitspunkts. Der Anwender braucht nur ein Toleranzfenster für seinen Prozess einzustellen (ΔT -Regelung). Die Versuchsergebnisse (**Tabelle 2**), verdeutlichen die Energieersparnis, erzielt einmal mit einem eingestellten ΔT von maximal 5 K, und – entsprechend deutlicher sichtbar – einmal bei einem ΔT von 6 K.

Nach Umrüsten des Materials auf Polycarbonat (PC) wird die Solltemperatur in der zweiten Versuchsreihe auf 100°C angehoben. Das Gerät heizt bis zum Erreichen der Zieltemperatur mit voller Leis-

Parameter	Grundeinstellung	Reduktion des Volumenstroms auf		
		5 l/min	4 l/min	3 l/min
Vorlauf	30,8 °C	30,2 °C	30,2 °C	30,1 °C
Rücklauf	32,7 °C	32,8 °C	33,2 °C	33,7 °C
ΔT (VL/RL)	1,9 K	2,6 K	3,0 K	3,6 K
Durchfluss	6,1 l/min	5,0 l/min	4,0 l/min	3,0 l/min
Stellgrad Pumpe	100 %	84 %	70 %	55 %
Leistungsaufnahme	980 W	670 W	440 W	290 W
Druck im Vorlauf	4,2 bar	3,0 bar	2,1 bar	1,4 bar

Tabelle 1. Versuchsreihe mit Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) bei ca. 30°C: Die Reduktion des Volumenstroms führt bei gleichbleibender Teilequalität dazu, dass der Energieverbrauch von knapp 1 kW auf rund 300 W fällt (Quelle: Single)

Parameter	Grundeinstellung	ΔT -Regelung 5 K	ΔT -Regelung 6 K
		(Automatikbetrieb)	(Automatikbetrieb)
Vorlauf	30,8 °C	30,2 °C	30,0 °C
Rücklauf	32,7 °C	32,9 °C	33,3 °C
ΔT (VL/RL)	1,9 K	2,7 K	3,3 K
Durchfluss	6,1 l/min	5,1 l/min	4,1 l/min
Stellgrad Pumpe	100 %	86 %	71 %
Leistungsaufnahme	980 W	700 W	460 W
Druck im Vorlauf	4,2 bar	3,2 bar	2,2 bar

Tabelle 2. Automatischer Regelbetrieb mit Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) bei ca. 30°C. Bei einem Toleranzfenster ΔT von 5 K bzw. 6 K regelt das Temperiersystem die Pumpendrehzahl selbstständig und führt zu einer starken Energieeinsparung von gut 500 W (Quelle: Single)

tung, es werden 5,37 kW gemessen. Bei Vollast beträgt die Durchflussmenge 5,6 l/min, der Energieverbrauch liegt bei ca. 993 W. Bei rund 100°C hält sich der Energiehaushalt fast die Waage, was an dem geringen ΔT von ca. 0,5 K zu erkennen ist.

Wiederum wird der Volumenstrom sukzessive auf 5, 4 und 3 l/min reduziert (**Tabelle 3**). Da der Wärmehaushalt näherungsweise ausgeglichen ist, ist das ΔT gering, in allen Fällen deutlich unter 1 K. Daher hat die Reduktion auch keine Auswirkung auf die Qualität der Teile.

Bei Vollast bringt die Pumpe noch so viel Energie ins System, dass das Temperiersystem leicht gegenkühlen muss. Bei reduzierter Drehzahl muss das System etwas heizen, was der Energieeinsparung dezent entgegenwirkt. Im Saldo

wird aber bis zu 39% der Energieaufnahme gespart.

Im nächsten Schritt wird (wie zuvor mit ABS) eine maximale Abweichung von Sollwert zu Istwert von 2 K sowie zwischen Vorlauf und Rücklauf von 5 K eingestellt. Das Temperiersystem steht beim Hochheizen auf Automatikbetrieb. Bis zur Solltemperatur läuft die Pumpe auf voller Drehzahl, dann regelt das System selbstständig auf rund 50% Stellgrad herunter.

Auswertung und Analyse

Im Versuch mit niedrigen Temperaturen zeigt sich, dass mit sinkender Drehzahl die Differenz zwischen Vorlauf und Rücklauf steigt (**Tabellen 1 und 2**). Dies war erwartet worden und ist nur bis zu einer

Parameter	Grundeinstellung	Reduktion des Volumenstroms auf			Automatikbetrieb 2 K/5 K
		5 l/min	4 l/min	3 l/min	
Vorlauf	100 °C	100 °C	100 °C	100 °C	100 °C
ΔT (VL/RL)	0,5 K*	< 0,5 K*	< 0,5 K*	< 0,5 K*	0,8 K
Durchfluss	5,6 l/min	5,0 l/min	4,0 l/min	3,0 l/min	2,2 l/min
Stellgrad Pumpe	100 %	89 %	75 %	61 %	50 %
Leistungsaufnahme mit Heizung	993 W	769 W	611 W	439 W	327 W

* Maximalwert ist kleiner als die Genauigkeit der vorhandenen Fühler von 0,5 K und daher unkritisch

Tabelle 3. Versuchsreihe mit Polycarbonat (PC) bei ca. 100°C: Auch hier sorgt die Reduktion des Volumenstroms für eine substanzielle Energieeinsparung – bei gleichbleibender Teilequalität (Quelle: Single)

gewissen Grenze tolerabel, weil danach die Teilequalität sinkt. Hier sind individuelle Versuche notwendig, um den exakten Betriebspunkt festzulegen, bei dem die Teilequalität noch den Anforderungen entspricht. Es zeigt sich allerdings auch, dass die Pumpenleistung zu einer Erwärmung des Systems führt. Insbesondere bei sehr kalten Anwendungen mit geringen Differenzen zwischen Umlauf und Kühlwasser ist das kontraproduktiv, weil hier die Kühlleistung des Wärmetauschers nur noch gering ist und ein signifikanter Anteil den Energieeintrag der Pumpe kompensieren muss. Eine moderate Reduktion der Drehzahl kann in solchen Fällen die effektive Kühlleistung des Geräts erhöhen.

Im Versuch mit höheren Temperaturen zeigt sich, dass bei Volllast die Pumpenleistung zur Aufheizung beiträgt (**Tabelle 3**). Durch die Reduktion der Pumpenleistung musste die Heizung vermehrt aufgeschaltet werden, sodass ein Teil der Energieersparnis der Pumpenleistung von der Heizung aufgezehrt wird. Die bestmögliche Ersparnis lag bei 39%.

Der Energieverlust des Systems beträgt rund 500 bis 600 W, abgeleitet von der Energieaufnahme des Temperiergeräts, abzüglich des geschätzten Eigenverbrauchs des Temperiersystems. Im vorliegenden Fall liegt weiteres Potenzial

zur Energieersparnis in einer Isolierung von Schläuchen und Werkzeug.

Ein bis zwei Jahre Amortisationsdauer

Bei einem angenommenen Strompreis von 17 Cent pro kWh, einem Zweischichtbetrieb mit sechs Arbeitstagen und einer Reduktion des Energieverbrauchs von 50% bzw. 500 W liegt das Energieeinsparpotenzial im vorliegenden Fall bei:

$$50 \text{ Wo p.a.} \times 96 \text{ h/Wo} \times 0,5 \text{ kW} \times 17 \text{ Cent/kWh} = 408 \text{ EUR pro Jahr}$$

Der Preis je benötigter Zusatzausstattung (Regler, Frequenzumrichter, Sensorik, Software mit adaptiven Regelalgorithmen) beträgt 499 EUR. Die Kosten für die Zusatzausstattung zahlen sich also in ungefähr einem Jahr aus. Dabei sind die Ersparnisse durch die längere Lebensdauer der Komponenten, geringeren Kühlwasserverbrauch etc. nicht berücksichtigt.

Die genaue Einsparung hängt natürlich von der jeweiligen Anwendung und den Einsatzbedingungen ab. Sie wird umso größer sein,

- je größer die Leistungsreserven der Pumpe sind,
- je wechselnder die Einsatzbedingungen sind (verschieden große Temperaturen und Werkzeuggrößen, bei denen das Gerät für den Fall mit dem höchsten Leistungsbedarf ausgelegt ist),
- je häufiger Stillstände und Umrüstungen auftreten, bei denen das Gerät „Standby“ läuft.

Ebenfalls großes Potenzial haben Prozesse in der Composite-Verarbeitung, bei denen in langen Zyklen von bis zu 24 h nur kurzzeitig mit Volllast geheizt und gekühlt werden muss. Während die Temperatur gehalten wird, besteht nur ein relativ geringer Energiebedarf, weil hier nur Wärmeverluste zu kompensieren sind. In dieser Zeit kann das Gerät auf den minimalen Pumpen-Stellgrad heruntergefahren werden.

Fazit

Die Versuchsreihen haben gezeigt, dass mit einer drehzahlgeregelten Pumpe und einer adaptiven Regeltechnik signifikante Energieeinsparungen zwischen 40 und 70% möglich sind. Die erforderliche Zusatzinvestition zahlt sich so in rund einem Jahr aus. ■

Die Autoren

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Frank Spork ist Consultant bei der Single Temperiertechnik GmbH, Hochdorf; f.spork@single-temp.de

Dr.-Ing. Babak Farrokhzad ist Director Sales and Marketing bei Single; b.farrokhzad@single-temp.de

Dipl.-Kfm. Harald Ortegel ist bei Single verantwortlich für Marketing & Communication; h.ortegel@single-temp.de

Service

Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/1520274

English Version

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