

Wie man Energieflüsse und Scherenergie sichtbar machen kann

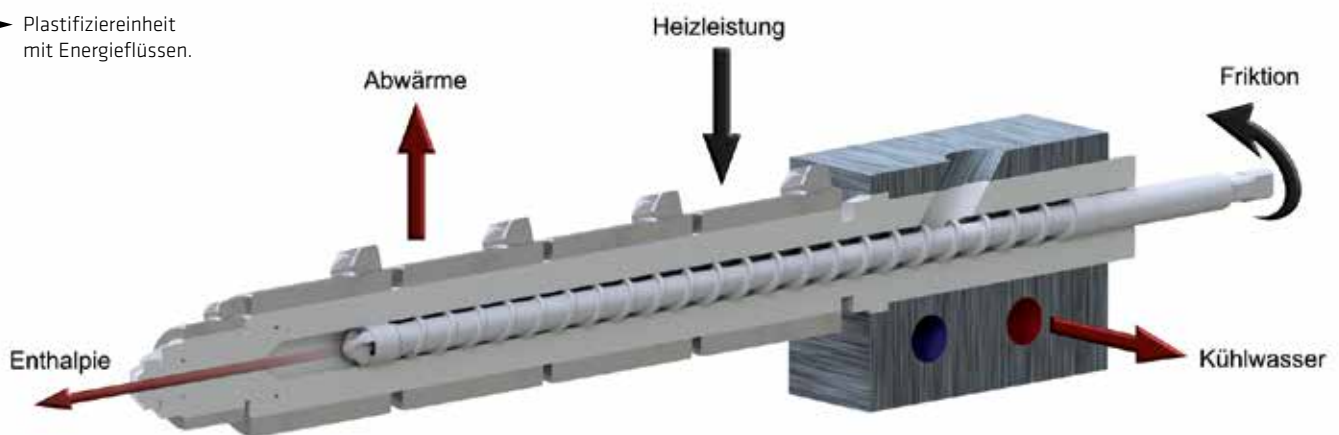
Transparenz der Plastifizierung spart Energie

Mithilfe einfacher Messungen lassen sich die **Energieflüsse** in einer **Spritzgießmaschine** erfassen und darstellen. Ein Start-up-Unternehmen hat untersucht, wo die eingebrachte Ener-

gie verbraucht wird und wie hoch die Verluste sind. Eine solche **Analyse** ist nicht nur energetisch interessant, sie bietet auch die **Basis für Prozessoptimierungen**, da unter anderem der An-

teil, der über die Schnecke eingebrachten **Scherwärme am Aufschmelzprozess**, sichtbar wird.

► Plastifiziereinheit mit Energieflüssen.



Bildquelle: inmex

Der Energieverbrauch einer Spritzgießmaschine steht heute ganz selbstverständlich im Fokus für den Maschinenbetreiber. Die Energieeffizienz einer Anlage ist in den letzten Jahren zum Auswahlkriterium bei der Anschaffung neuer Maschinen und ein Qualitätsmaßstab geworden. Doch wie verteilt sich der Gesamtenergieverbrauch innerhalb der Maschine und welche Energieströme beeinflussen dabei direkt den Produktionsprozess? Mithilfe detaillierter Energiemessungen, wie sie das Start-up Inmex aus Sankt Augustin anbietet, lassen sich die Energieflüsse sichtbar machen und der Plastifizierungsprozess genauer beleuchten.

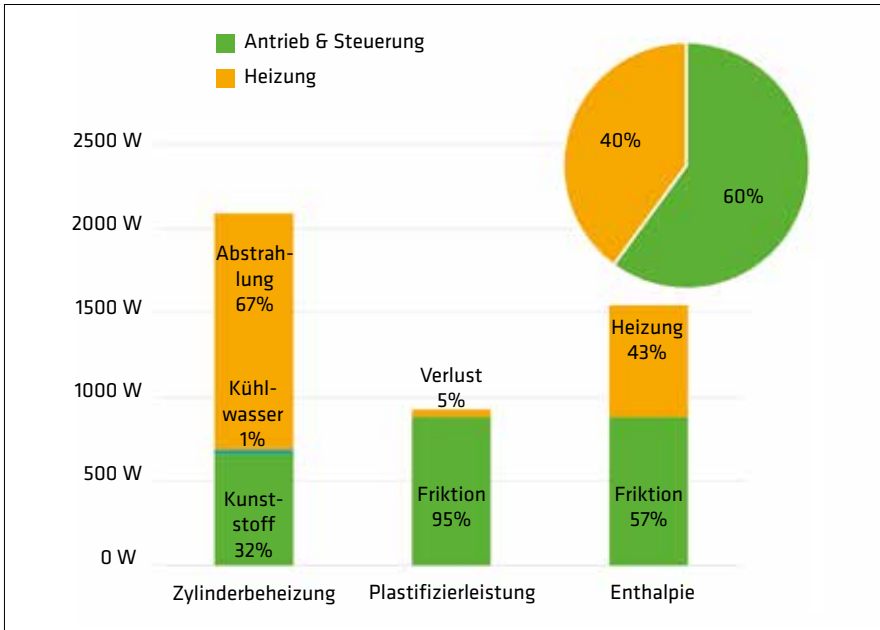
Mittlerweile verfügen viele Spritzgießer, unter anderem im Rahmen von Energiemanagementsystemen, über eigene Möglichkeiten, den Stromverbrauch ihrer Maschinen zu erfassen. Teils kommen mobile Messgeräte zum Einsatz, die eine energetische Momentaufnahme liefern, teils werden die Verbräuche ganzer Produktionslinien dauerhaft mitgeschrieben.

Momentaufnahme des eingeregeltten Prozesses

Auch vom Maschinenhersteller erfährt der Anwender Unterstützung: Bei fast allen neueren Modellen wird der Energieverbrauch auf dem Bedienpanel der Maschine angezeigt, meist unterteilt

zwischen Antrieb und Heizung, zum Teil sogar je Maschinenachse. Zusätzlich ist es möglich, die Erfassung und Dokumentation der Energiedaten in ein zentrales Informationssystem, beispielsweise das Arburg-Leitrechner-System, einzubinden und auszuwerten.

Bei Inmex geht man noch einen Schritt weiter. Im Zuge einer Energieeffizienzanalyse werden nicht nur die einzelnen Verbraucher der Maschine vermessen. Über zusätzliche Sensorik und einfache Berechnungen werden weitere Energieflüsse ermittelt, insbesondere rund um die Plastifiziereinheit. Dabei handelt es sich nicht um dauerhaft an die Maschine angeschlossene Messtechnik, sondern immer um



▲ Ergebnisse der Energiemessung bei Busch-Jäger.

eine einmalige Messung im eingeregulierten Zustand. Die Messung bildet eine Momentaufnahme einer definierten Anwendung auf einer bestimmten Maschine ab. Läuft der Prozess konstant, ist – in Abhängigkeit von der Zykluszeit – schon eine vergleichsweise kurze Messung von 15 min ausreichend, um den Energieverbrauch mit einer Genauigkeit von mindestens $\pm 2\%$ zu beziffern. Besonders bei Dauerläufern, die über Jahre hinweg das gleiche Produkt fahren, ersetzt die einmalige Messung aufwendige Messtechnik, die für eine kontinuierliche Überwachung nötig wäre.

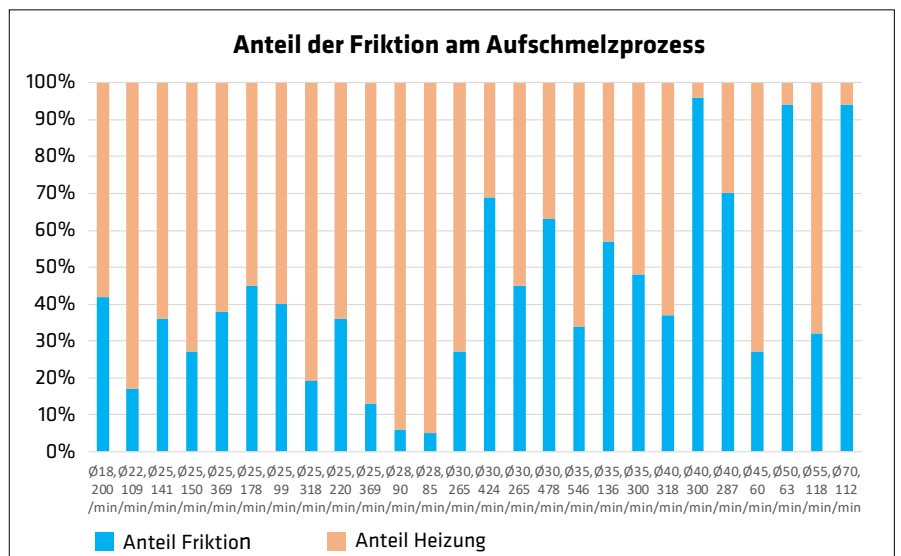
Eine wichtige Grundlage für das Durchführen und Auswerten von Energiemessungen ist, sich dessen bewusst zu sein, was man gemessen hat. Meist wird eine Messung des Energieverbrauchs (in kWh) über einen bestimmten Zeitraum (in h) durchgeführt. Soll dieser Wert vergleichbar zu beurteilen sein, so geschieht dies über die durchschnittliche Leistung der Maschine (in kW). Es wird der Quotient aus Energieverbrauch und Zeit gebildet. Führt man beispielsweise eine Energiemessung über eine Dauer von 15 min durch und misst einen Energieverbrauch von 2,5 kWh, so ergibt sich eine durchschnittliche Leistung

von 10 kW aus der Rechnung $2,5 \text{ kWh} / 0,25 \text{ h}$.

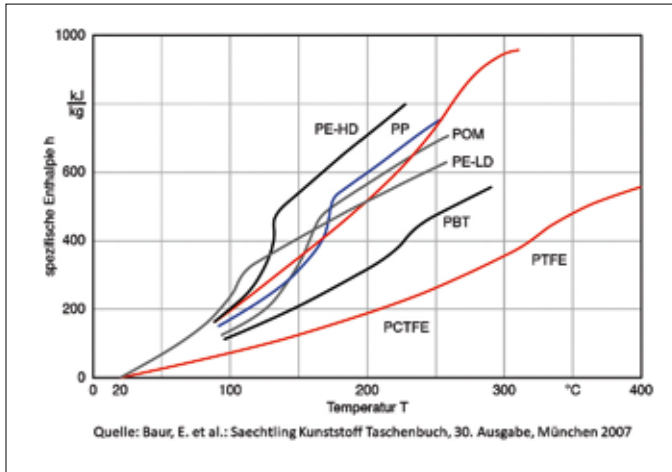
Gerade bei elektrischen Maschinen ist die Messung des Stromverbrauchs denkbar einfach, wenn man über das richtige Equipment verfügt. Hier kann der Energieverbrauch jeder Achse über das Messen von Strom und Spannung am jeweiligen Umrichter erfasst werden, ebenso wie der Gesamtenergieverbrauch an der Zuleitung und der Heizenergieverbrauch. Interessant für den Plastifizierprozess sind hier vor allem die Zylinderbeheizung und der (elektrische) Schneckenantrieb, dessen

abgegebene Nutzleistung annähernd mit der in den Kunststoff eingebrachten Friktionswärme gleichzusetzen ist. Auch bei hydraulischen Maschinen lässt sich dieser Wert bestimmen, wengleich hier der Aufwand größer ist. Über Drucksensoren in Vor- und Rücklauf des Hydromotors, welche meist problemlos über T-Stücke in die Schnittstellen zwischen Schneckenantrieb und Hydraulikschläuchen eingesetzt werden können, ergibt sich die Druckdifferenz. In Verbindung mit der Baugröße des Hydromotors (z. B. 125 ccm), der Schneckendrehzahl (z. B. 150 min^{-1}) und dem sich daraus ergebenden Volumenstrom kann die hydraulische Leistung berechnet werden, die dem Schneckenantrieb zugeführt wird.

$P_{\text{hydr}} = \Delta P * Q =$
 $(26 \text{ bar} - 1 \text{ bar}) *$
 $(150/\text{min} * 125 \text{ cm}^3) * 1,67 =$
 $25 \text{ bar} * 18,75 \text{ l/min} * 1,67 = 781 \text{ W}$
 Zu beachten ist bei dieser Rechnung, dass für die Umrechnung der Einheiten in Watt mit dem Faktor 1,67 multipliziert werden muss. Das Ergebnis entspricht der dem Hydroantrieb im Moment des Dosierens zugeführten Leistung. Um dies im Hinblick auf die Gesamtleistung der Maschine einordnen zu können, muss der Wert ins zeitliche Verhältnis zur Zykluszeit gesetzt werden. Dazu multipliziert man die Leistung in [W] mit dem Quotienten aus



▲ Unterschiedliche Anteile der Scherwärme in verschiedenen Prozessen.



◀ Spezifische Enthalpie teilkristalliner Kunststoffe.

Dosierzeit (z. B. 5 s) und Zykluszeit (z. B. 15 s). Zusätzlich muss der Wirkungsgrad des Hydromotors berücksichtigt werden, wenn man über die zugeführte Leistung auf die abgegebene Leistung und damit die Friktion schließen will. Der Wirkungsgrad ist dem Datenblatt des Motors zu entnehmen und liegt in diesem Beispiel bei 0,7, also in einem nicht optimalen Bereich. Auch schlechtere Werte bis zu 0,6 sind, in Abhängigkeit von der Drehzahl und dem Drehmoment, keine Seltenheit bei hydraulischen Schneckenantrieben.

$P_{\text{hydr}} = 781 \text{ W} \cdot 5 \text{ s} / 15 \text{ s} \cdot 0,7 = 182 \text{ W}$
 Ist der Wert der Friktionswärme bekannt, lässt sich der Anteil am Aufschmelzprozess leicht ermitteln. Dafür wird die Enthalpie des Werkstoffs in Bezug auf den Volumenfluss benötigt. Die Enthalpie ist ein Maß für die Mindestenergie, die nötig ist, um eine bestimmte Menge eines bestimmten Materials auf eine vorgegebene Temperatur zu erwärmen. Um die Enthalpie bestimmen zu können, benötigt man neben dem Materialdurchsatz [m] (z. B. 2 kg/h) die spezifische Enthalpie des Kunststoffs, die einschlägiger Fachliteratur zu entnehmen ist. So liegt die spezifische Enthalpie [h] von PP bei 200 °C bei 600 kJ/kg.

$$\text{Enthalpie} = h \cdot \dot{m} =$$

$$600 \text{ kJ/kg} \cdot 2 \text{ kg/h} \cdot 0,278 = 334 \text{ W}$$

Bei Multiplikation der beiden Werte miteinander und dem SI-Anpassungsfaktor von 0,278 ergibt sich ein Energiebedarf von 334 W, um den Kunststoff aufzuschmelzen. Nun kann eine

Aussage über den Anteil der Friktion an der Aufschmelzleistung getroffen werden. Sie liegt in diesem Beispiel bei 55 % (182 W / 334 W). Die Kenntnis der auf diese Weise ermittelten Scherwärme kann in vielen Fällen helfen, anwendungstechnische Probleme zu lösen, die entweder auf ein zu hohes oder zu niedriges Maß an Friktion zurückzuführen sind. Unter Umständen kann dann über eine Veränderung von Prozessparametern wie Staudruck oder Schneckendrehzahl eine Prozessoptimierung angesetzt werden.

Scherwärme ist ein Unsicherheitsfaktor

Darüber hinaus ist der Anteil der Scherwärme am Plastifizierungsvorgang und deren Unkenntnis ein gewisser Unsicherheitsfaktor. Nicht selten herrscht die Annahme, dass der Kunststoff zu 80 % oder gar vollständig durch die Reibung mit der Schnecke aufgeschmolzen wird. Dies mag in gewissen Anwendungsfällen stimmen, ist aber von vielen Faktoren abhängig und oftmals gar nicht zutreffend. Der Anteil der Friktionswärme am Aufschmelzprozess bei 26 verschiedenen Anwendungen ist grafisch dargestellt. Zur weiteren Information hinsichtlich der Anwendungen sind Schnecken-

durchmesser und -drehzahl aufgeführt. Neben diesen gibt es zahlreiche weitere Einflussfaktoren, die an dieser Stelle ebenso hätten genannt werden können. Die Grafik zeigt, wie unterschiedlich der Anteil der Scherwärme ausfallen kann. Es ist durchaus möglich, dass er bei 95 % liegt, ebenso kommt es vor, dass er nur 5 % beträgt. Im Mittel offenbaren die hier untersuchten Anwendungsfälle einen Anteil der Scherenergie am Aufschmelzprozess von 43 %.

Die Restenergie, welche für den Aufschmelzprozess benötigt wird, wird von der Zylinderbeheizung zugeführt. Die Differenz zwischen dieser Restenergie und der insgesamt zugeführten Heizleistung entspricht den Abwärmeverlusten der Plastifiziereinheit; einerseits über deren Oberfläche über Strahlung und freie Konvektion, andererseits über die Einzugszonenkühlung. Die darüber abgeführte Energie kann ebenfalls mit zusätzlicher Sensorik bestimmt werden. Allerdings macht eine geregelte Einzugszonenkühlung, deren Sollwert nicht zu niedrig vorgegeben ist, diese Messung meist überflüssig. In der Regel wird nur wenig Leistung abgeführt. Sie ist für einen energieeffizienten Produktionsbetrieb und eine stabile Prozessführung absolut zu empfehlen. Grundsätzlich gilt: Je höher die zugelassene Einzugsstemperatur, umso geringer die Energieverluste. Allerdings ist auch hier Vorsicht geboten: Zu hohe Einzugsstemperaturen führen oft zu einem schlechten Einzugsverhalten, unregelmäßigen Dosierzeiten und einem übermäßigen Anteil an Friktion. Um die über das Kühlwasser abgeführte Wärme zu ermitteln, müssen die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf sowie der Durchfluss gemessen werden. Sie lässt sich nach folgender Formel ermitteln: $P_{\text{EZ}} = Q \cdot c \cdot \Delta T \cdot 16,67$
 [Q] steht dabei für den Durchfluss in l/min, [c] ist die spezifische Wärmekapazität von Wasser (4,19 kJ/kgK), [ΔT] die Temperaturdifferenz und 16,67 der Anpassungsfaktor für Nutzung der nicht-SI-Einheiten. Das Start-up führte

Web-Tipp

► Short-URL:
www.plastverarbeiter.de/95513

eine Energieeffizienzanalyse bei Busch-Jaeger Elektro, Bad Berleburg, durch. Vermessen wurde eine teilelektrische Arburg 520 H 1500-400 Ø35, auf der PC mit einem Durchsatz von 11,4 kg/h verarbeitet wurde.

Energiemessung in der Praxis

Die über das Kühlwasser abgeführte Wärme lag mit 20 W aufgrund der geregelten Einzugszone in einem verschwindend kleinen Bereich. Um den Kunststoff aufzuschmelzen, wurde eine Leistung von 1,5 kW benötigt, die zu 57 % dissipativ über die Schnecke eingebracht wurde. Die eingebrachte Heizleistung (2,09 kW) abzüglich der Differenz zwischen Enthalpie und Friktion (665 W) entspricht den Abwärmeverlusten der Plastifiziereinheit (1,4 kW). Der Wirkungsgrad der Zylinderbeheizung liegt damit bei 32 %, einem Wert, der sicherlich nicht zufriedenstellend ist. Dennoch ist der spezifische Energieverbrauch der Maschine mit 0,46 kWh/kg als sehr gut zu beurteilen. Dies ist jedoch nicht allein auf die Maschine, sondern vor allem auf die Abstimmung der Maschine auf die Anwendung zurückzuführen. Gemeinhin gilt, dass jede noch so effiziente Maschine mit einer ungeeigneten Anwendung sehr energieineffizient werden kann. Das Ergebnis der vorliegenden Energiemessung bietet dennoch weiteres Optimierungspotential. Durch den Einsatz einer energieeffizienten Plastifiziereinheit von Inmex könnte ein Großteil der 1,4 kW Abwärmeverluste zusätzlich eingespart werden. „Die detaillierte Energiemessung hat uns bestätigt, wie effizient unsere

Dauerläufermaschine produziert“, freut sich Jens Riedesel, Produktionsleiter bei Busch-Jaeger. „Dies unterstützt unser nachhaltiges Denken und Handeln und ist ein Beitrag, den Anforderungen der ISO 14001 und 50001 gerecht zu werden. Trotz zeitgemäßer Produktionstechnik gibt es aber immer noch wirtschaftlich sinnvolle Ansätze zur weiteren Optimierung. Daher setzen wir zukünftig auf energieeffiziente Plastifizierteknik von inmex.“ ■

Autor
Axel Ifland
ist Geschäftsführer von Inmex in Sankt Augustin.

Kontakt

► Inmex, Sankt Augustin
info@inmex.de



Energieeffiziente Plastifizierteknik

- 55 % Energieersparnis
- Verbesserte Homogenität
- Schutz gegen Verschmutzung
- Nachrüstbar für jede Maschine

