



## Energieeinsparpotentiale in der kunststoffverarbeitenden Industrie<sup>1</sup>

J. Wortberg, R. Michels, M. Neumann<sup>2</sup>

### Einleitung

Wenn über die Standortfrage Deutschland gesprochen wird, ist immer wieder das Argument zu hören, dass Deutschland zu den Ländern mit den weitreichendsten Umweltauflagen gehört, die letztlich häufig zu Wettbewerbsnachteilen führen würden. Dies Argument überzeugt immer weniger, weil zunehmend der nachsorgende Umweltschutz durch emissionsarme Produktionsverfahren substituiert wird. Und dieser erhöht die Stoffausbeute und senkt die Betriebs- und Kapitalkosten. Das gleiche gilt für die rationelle Nutzung von Energie in den Betrieben.

Hier schließt sich nun der Kreis. Diejenigen Unternehmen, die ihre Prozesse energetisch optimiert betreiben, verhalten sich nicht nur umweltverantwortlich, sondern sie können durch Energiekosteneinsparungen ihre Rentabilität und damit ihre Wettbewerbsfähigkeit steigern. Somit sollte der Aspekt des rationellen Umgangs mit Energie zur Chefsache werden, auch in der kunststoffverarbeitenden Industrie mit einem durchschnittlichen Energiekostenanteil an den Produktionskosten von 3 %, die nicht selten um mehr als 30 % reduziert werden könnten. Beispielsweise kann man beim Spritzgießen durch vollelektrisch angetriebene Maschinen Energieeinsparungen formteilabhängig zwischen 30 bis 70 % erzielen. Die höheren Einsparungen werden im Teillastbetrieb erreicht, der zwar vermieden werden sollte, jedoch häufig im Betrieb zu beobachten ist (siehe unten).

Das primäre Ziel eines jeden Kunststoffverarbeiters ist darauf ausgerichtet, seine Rentabilität zu steigern. Um dies zu erreichen, gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten. Die erste besteht darin, den Umsatz zu steigern, d. h. den Durchsatz durch kürzere Zykluszeiten beim Spritzgießen zu erhöhen oder einen höheren Durchsatz beim Extrudieren zu realisieren. Dies war in der Vergangenheit der Bereich, mit dem man sich sehr intensiv beschäftigt hat und weiter beschäftigen wird. Die zweite Möglichkeit besteht darin, seine Produktions-

---

<sup>1</sup> Die Erstellung dieses Fachartikels wurde vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom" finanziell gefördert.

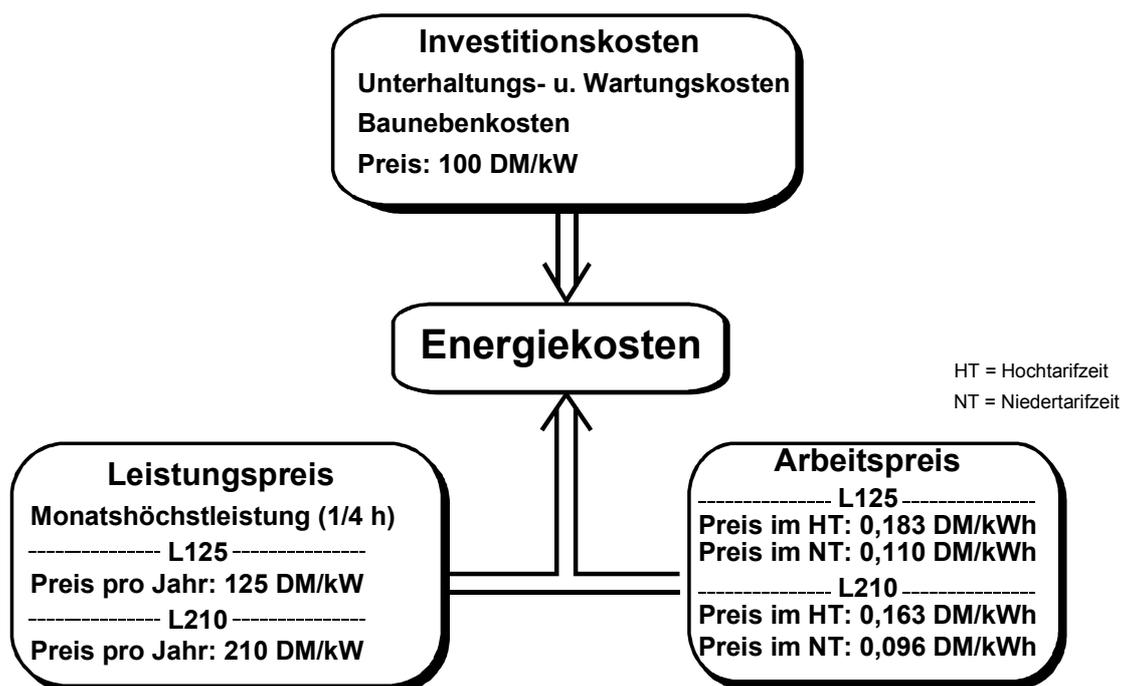
<sup>2</sup> alle vom Institut für Konstruktionslehre und Kunststoffmaschinen der Universität-GH Essen

kosten zu minimieren. Das bedeutet beispielsweise die Senkung des Ausschussanteils oder allgemein der effiziente Einsatz des Rohmaterials, aber auch die Senkung von Lohn-, Wartungs- und Reparaturkosten sowie die bessere Nutzung der eingesetzten Energie. Insbesondere zum letzten Punkt wurden zwar in der Vergangenheit die Grundlagen erarbeitet (Rothe, 1981; Eckhardt, 1995), eine konsequente Umsetzung im Betrieb hat häufig jedoch noch nicht stattgefunden.

## 1 Die Struktur der betrieblichen Energiekosten

Fast 60 % des Energiebedarfs eines kunststoffverarbeitenden Betriebs ist elektrische Energie. Da Strom deutlich teurer als Brennstoffe oder Wärme ist, betragen die Stromkosten mehr als 85 % der Energiekosten. Zum Ausschöpfen der Energiekosten-Minderungspotentiale muss zunächst klar sein, dass die Energiekosten nicht nur vom spezifischen Energieverbrauch abhängen, sondern auch von Energiekostenstrukturen. Die Stromkosten setzen sich aus drei Anteilen zusammen (siehe Abbildung 1):

Abbildung 1: Zusammensetzung der Energiekosten mit exemplarischen Preiseinheiten (Zahlenmaterial der RWE Energie AG 1995)



- Da ist zunächst der Investitionsaufwand, der getätigt werden muss, um eine Anlage oder Maschine mit Strom oder Wärme zu versorgen. Dieser Anteil hängt maßgeblich von der installierten Leistung ab (z. B. Transformatoren, Schaltanlagen, Strom- und Warmwasserleitungen, Kesselanlagen). Je Kilowatt kann hier pauschal mit einer einmaligen Investitionssumme von ca. 100 DM gerechnet werden. Häufig sind bei erhöhter Anschlussleistung auch höhere Wartungskosten zu erwarten. Der Verarbeiter sollte bei der

Anschaffung seiner Anlagen durchaus die installierte Leistung kritisch prüfen und Rücksprache mit dem Hersteller halten, ob die installierte Leistung für seine Vorhaben auch tatsächlich erforderlich ist. Der Maschinenhersteller selbst ist aufgerufen, seine Maschinen so auszulegen, dass die installierte Leistung einem durchschnittlichen Bedarf nahe kommt. Eingerechnete Reserven, die ungenutzt bleiben, verursachen hinsichtlich der Anschaffung und im Betrieb unnötige Kosten.

- Ein zweiter Energiekostenanteil berücksichtigt den Spitzenverbrauch beim Strom, d. h. die **Leistungsspitze**. Die sogenannten Leistungskosten werden vom Energieversorger ermittelt. Hierzu wird über das gesamte Jahr die Leistungsanspruchnahme des Betriebs registriert und der Zeitraum einer oder mehrerer  $\frac{1}{4}$  Stunden herangezogen, in denen die größte Leistung abgenommen wurde. Diese Leistungsspitze wird dann für das ganze Jahr zugrundegelegt. Wichtig ist folglich, hohe Spitzenverbräuche zu vermeiden. Eine Planung der Arbeitsabläufe sollte diesen Aspekt genügend berücksichtigen. Die meisten Energieversorger haben bezüglich derartiger Anfragen auch Beratungsstellen eingerichtet, die bei der Optimierung und Spitzenbegrenzung behilflich sind.
- Der dritte Anteil berücksichtigt nun den gesamten Stromverbrauch und geht in die **Arbeitskosten** ein. Hier sind verschiedene Tarife anzutreffen. Ebenso sind verschiedene Rabattstufen zu berücksichtigen (vgl. Abbildung 1). Die genauen Werte sind dem jeweiligen Vertrag und der Preisregelung mit dem Energieversorger zu entnehmen. Der Preis pro Kilowattstunde unterscheidet sich deutlich durch den Zeitraum, in dem sie verbraucht wird. Es gilt i. a. eine Hochtarifzeit und eine Niedertarifzeit. Die Niedertarifzeit gilt meistens von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr. In der Niedertarifzeit kann abhängig von den Gegebenheiten die Kilowattstunde bis zu 60 % weniger kosten. Dies ist eine nutzbare Kosteneinsparung, falls dies z. B. beim Dreischichtbetrieb genutzt werden kann.

Somit geht es nicht allein um die Senkung des Energieverbrauchs, sondern es sollte auch überlegt werden, ob Produktionsprozesse in die günstige Niedertarifzeit verlegt werden können. Dies kann zum Teil durch entsprechend automatisierte Vorgänge ausgenutzt werden. Das Kostensenkungspotential hängt vom Einzelfall ab. Da jedoch in vielen Fällen keine oder nur geringe zusätzliche Investitionskosten anfallen, sollte dieser Aspekt genau geprüft werden.

Im folgenden soll für verschiedene Kunststoffverarbeitungsprozesse exemplarisch gezeigt werden, wie und wo eine **Senkung des spezifischen Energiebedarfs** realisiert werden kann. Oberstes Ziel bei allen Prozessen muss es sein, so wenig Energie wie nötig zu verbrauchen und das bei möglichst gleichbleibender oder verbesserter Produktivität und Produktqualität. Wie auftretende Verluste reduziert werden können, soll beim Spritzgießen und der Extrusion näher erläutert werden. Da bestimmte Wärmeverluste nicht prinzipiell vermeidbar sind, sollten Maßnahmen zur sinnvollen Weiternutzung dieser Wärmemengen ergriffen werden.

## 2 Stromeinsparpotentiale der Spritzgießtechnik

Abhängig vom Formteil und den sonstigen Randbedingungen wird der Energiekostenanteil eines Spritzgießteiles mit ca. 4 % der Herstellkosten beziffert, was häufig dazu führt, dass Energieeinsparbemühungen damit abgetan werden, dass sich der Aufwand hier kaum lohne. Diese Argumentationsweise kann man damit entkräften, dass eine durchaus mögliche Verminderung des spezifischen Energiebedarfs um 25 bis 30 % die Umsatzrendite um einen Prozentpunkt erhöht. Prinzipiell können beim Spritzgießprozess **drei Ansatzpunkte für Energieeinsparungen** unterschieden werden. Ein Einfluss kann ausgeübt werden über

- die eigentliche Prozessführung,
- die Antriebstechnik der Spritzgussmaschine und deren Ausstattung und der zugehörigen Peripherie sowie
- durch die Nutzung von speziellen Spritzgießverfahren.

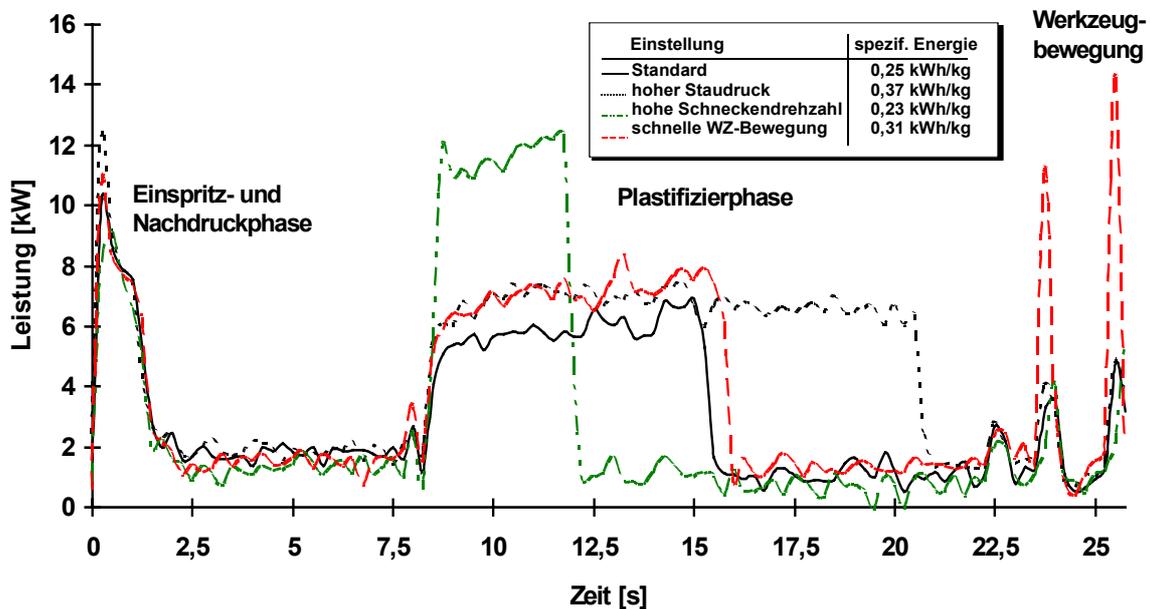
Die Größe der einzelnen Einsparpotentiale hängt stark vom Einzelfall ab. Der Verarbeiter sollte bemüht sein, zunächst die Potentiale auszunutzen, die mit einem **geringen Investitionsaufwand** erreicht werden können. Diese sind sicherlich bei der **Prozessführung** sowie bei der **Ausstattung der Maschine und der Peripherie** zu erreichen.

Bei der Prozessführung ist eine richtige Maschineneinstellung dann gefunden, wenn sich ein robuster Betriebspunkt mit einer kurzen Zykluszeit, einer ausreichenden Qualität und einem geringen Energiebedarf einstellt. Um den Prozess zu optimieren, müssen dem Einrichter Hilfsmittel an die Hand gegeben werden. Ein in die Maschine integriertes Leistungsmessgerät kann die aufgenommene Leistung bzw. den benötigten Strom während des Zyklus sichtbar machen. Nur so kann der Einrichter erkennen, wie sich Änderungen der Maschineneinstellungen auf den spezifischen Stromverbrauch auswirken. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse müssen dann in Verbindung mit der erreichten Zykluszeit und der produzierten Qualität bewertet werden.

Das Spritzgießen ist ein diskontinuierlicher Prozess, bei dem der Leistungsbedarf während des Zyklus sehr unterschiedlich ist. Abhängig vom Material und der Formteilgeometrie ergeben sich in den einzelnen Phasen unterschiedlich hohe Energieverbräuche. Abbildung 2 zeigt für ein Formteil und ein Material, wie sich die Variation verschiedener Parameter auf den Leistungs- und Strombedarf auswirkt. Dabei wurde stets die geforderte Formteilqualität erreicht und die Zykluszeit lag in sehr engen Toleranzen. Man sieht an diesem Beispiel, dass durch die Prozessführung deutliche Unterschiede erreicht werden können.

Auffällig und verständlich ist der Einfluss des Staudrucks auf den Stromverbrauch. Dieser führt über zusätzliche Dissipation zu einer Schmelzetemperaturerhöhung, so dass es letztlich zu einer erhöhten Wärmeabfuhr an die Umgebung kommt. Demzufolge sollte so plastifiziert werden, wie dies für die Produktqualität tatsächlich nötig ist. Eine Verbesserung ist durch andere Schneckenkonzepte bspw. mit anderen Aufschmelzprinzipien und Scher- und Mischteilen möglich.

Abbildung 2: Leistungs- und spezifischer Strombedarf einer Spritzgußmaschine über einen Zyklus bei verschiedenen Parametereinstellungen



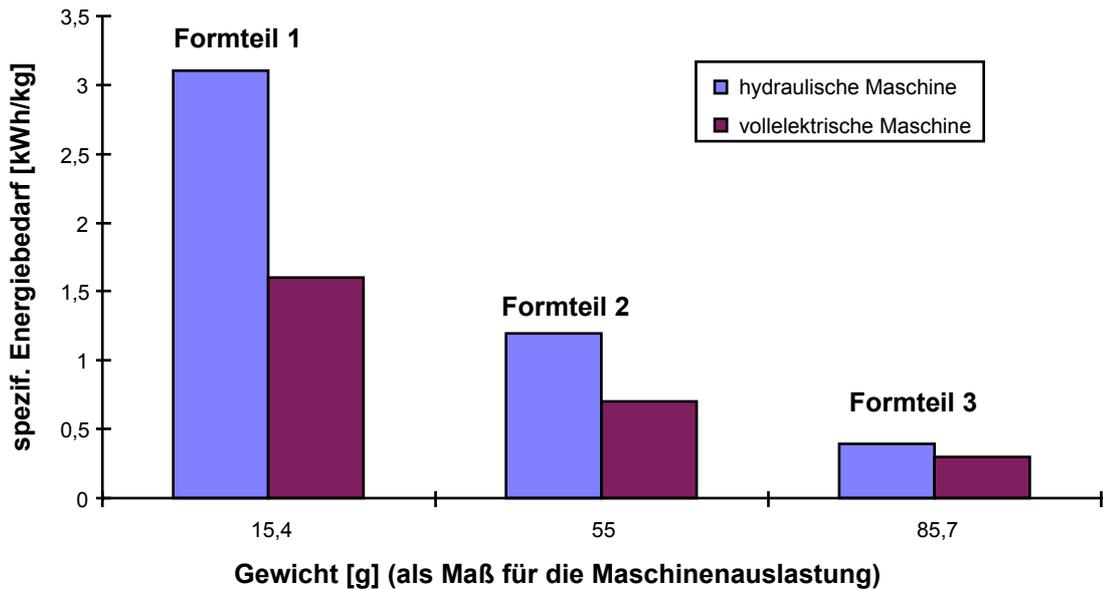
Leistungsspitzen liegen erwartungsgemäß während der Einspritzphase vor (vgl. Abbildung 2). Darüber hinaus werden hohe Leistungen zum Teil auch bei extrem schnellen Werkzeugbewegungen und schnellem Schließkraftaufbau benötigt. Hier muss im Einzelfall dann geprüft werden, ob die erreichte Zykluszeiteinsparung auch tatsächlich den höheren Leistungsbedarf und den erhöhten Werkzeug- und Maschinenverschleiß rechtfertigt.

Den größten Effekt auf den spezifischen Strombedarf übt jedoch die Spritzgießmaschine selbst aus. Hier sind zwei wichtige Aspekte zu unterscheiden:

- Zum einen gilt es, die **richtige Zuordnung von Formteil und den daraus abgeleiteten Maschinenanforderungen** zur verwendeten Maschinengröße festzulegen. Hier ist die Arbeitsvorbereitung gefordert. Diese muss sich deutlich vor Augen führen, dass der Wirkungsgrad der Maschine, und dies gilt ganz besonders für hydraulische Maschinen, sehr stark vom Lastfall abhängt. Der Gesamtwirkungsgrad bei hydraulischen Spritzgießmaschinen liegt für den Vollastbereich bei Werten um 0,8, während er im Teillastbereich auf Werte um 0,4 absinkt. Bei **vollelektrisch angetriebenen** Spritzgießmaschinen ist der Abfall des Wirkungsgrades nicht so dramatisch. Der Gesamtwirkungsgrad einer vollelektrischen Maschine bewegt sich in Bereichen von 0,7 bis 0,9 (Lampl, 1994).
- Wie stark sich eine **Überdimensionierung der Maschine** bezogen auf das Formteil auswirkt, ist in Abbildung 3 erkennbar. Der spezifische Strombedarf je kg Produkt ist bei geringer Auslastung (Formteil 1) um ein Vielfaches höher, als wenn die Maschine nahe der Auslastungsgrenze (Formteil 3) betrieben wird. Dies ist letztlich auch ein wichtiges Argument für holmlose Maschinenkonzepte. Immer dann, wenn diese Schließgestellart aufgrund der großen nutzbaren Aufspannplatte Werkzeuge aufnehmen

kann, die nur wegen dieser Maße und nicht etwa wegen der benötigten Plastifizierleistung oder nötigen Schließkraft auf einer größeren Maschine betrieben werden müssten, ergeben sich Vorteile bei den laufenden Kosten u. a. durch deutlich niedrigere Stromverbräuche.

Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Maschinenantrieb und Auslastung von Spritzgießmaschinen auf den spezifischen Strombedarf



Neben der richtigen Zuordnung, die bei einer ausreichend vorhandenen Maschinenpalette nur eine professionelle Organisation und nicht das Budget fordert, kann massiv über die Antriebsart der Spritzgießmaschine auf den Strombedarf Einfluss genommen werden. Die am Markt heute noch vorherrschende hydraulische Maschine wurde energetisch dem unterschiedlichen Leistungsbedarf während des Zyklus angepasst. Im Bereich der Plastifizierung werden die **hydraulischen Antriebe** schon seit längerem vereinzelt durch **elektrische Antriebe ersetzt**. Hier ist der elektrische Antrieb aufgrund seines besseren Wirkungsgrades und der einfachen Getriebe, die für die rotatorische Bewegung erforderlich sind, dem hydraulischen Antrieb oft überlegen.

Will man noch bessere Gesamtwirkungsgrade erzielen, so müssen auch andere Bewegungen elektrisch angetrieben werden. Nur so können die Energieverluste, die bei Hydrauliksystemen infolge von Leckströmen und Drosselverlusten anfallen und die durch eine Ölkühlung kompensiert werden müssen, vermieden werden. Dass derartige hybride oder vollelektrische Maschinenkonzepte derzeit meistens in der Anschaffung noch teurer sind, sollte ein Unternehmen nicht davon abhalten, zu prüfen, ob sich eine mögliche Investition durch die Einsparungen bei den laufenden Kosten amortisiert. Dabei sind auch die Kosten für die Ölver- und -entsorgung zu berücksichtigen sowie weitere Vorteile, die diese elektrisch angetriebenen Maschinen aufweisen. Hierzu werden immer wieder Vergleichswerte zum Energiebedarf zwischen elektrischen und hydraulischen Maschinen angeführt. Die

Werte, die von 30 bis 70 % reichen, hängen natürlich stark vom zu vergleichenden Formteil und der damit verbundenen Zykluszeit und von dem zum Vergleich herangezogenen hydraulischen Maschinentyp (Konstantpumpe, Regelpumpe, Speicherbetrieb etc.) ab, konnten aber anhand eigener Messungen im Mittel bestätigt werden (Thoma, 1992; Robert, 1993).

Häufig sind es aber auch **Details in der Verarbeitung**, die in der Summe doch einen nennenswerten Beitrag zur Stromeinsparung bringen. Diesbezüglich sollen nur einige Beispiele skizziert werden, die für viele Betriebe schon zur Selbstverständlichkeit geworden sind. Die Reduzierung der abgeführten Wärme an die Umgebung ist z. B. durch eine **Isolierung der Plastifiziereinheit** möglich, die von vielen Maschinenherstellern bereits serienmäßig angeboten wird. Bei Werkzeugen, die mit deutlichen höheren Temperaturen als der Umgebungstemperatur temperiert werden, sollten die Werkzeuge auch hinsichtlich einer höheren Reproduzierbarkeit der thermischen Randbedingungen und damit einhergehender Formteilqualität durch Wärmedämmplatten von der Maschine thermisch getrennt werden. Die **Zuleitungen** sind **so kurz wie nötig** auszuführen und unter Umständen zusätzlich zu isolieren. Im Werkzeug kann häufig auch durch die Integration von Heißkanalverteilersystemen Energie eingespart werden. Entnahmeperipherie sollte ebenso wie die Spritzgießmaschine auf die Formteilgröße zugeschnitten sein und Förderbänder sollten passend zum Zyklus getaktet betrieben werden.

Um derartige Einsparpotentiale im eigenen Betrieb aufzudecken, kommt es entscheidend darauf an, dass die **Mitarbeiter** vor Ort für die energetische Optimierungsaufgabe **sensibilisiert** werden.

In der jüngsten Vergangenheit sind verschiedene **Sonderverfahren des Spritzgießens** wie das Gasinjektionsverfahren, das Mehrkomponentenspritzgießen u. a. zur Serienreife entwickelt worden. Auch durch den Einsatz dieser innovativen Verfahren kann, neben anderen Vorteilen, mitunter auch Strom eingespart werden. Dies muss im jedoch im Einzelfall durchkalkuliert werden und würde an dieser Stelle zu weit führen (Jaroschek, 1995).

Sind Verluste nicht völlig zu vermeiden, z. B. durch die notwendige Ölkühlung oder die Kühlung der Einzugszone, so lohnt es sich, diese anfallende Wärme in die vorhandene Heizanlage einzuspeisen. Dies gilt auch für die Abwärme aus Extrudern (s. u.), deren konsequente Nutzung zu einem Verzicht der konventionellen Kessel- und Schornsteinanlage führen kann. Brennstoffeinsparungen von 700 000 kWh/a und Investitionskosteneinsparungen von 120.000,- DM wurden bereits realisiert (Schwarze, 1996).

### 3 Stromeinsparpotentiale der Extrudertechnik

Auch auf dem Gebiet der Extrudertechnik müssen energiesparende Alternativen kritisch auf ihre Rentabilität und Einsetzbarkeit hin untersucht werden. Dieser Beitrag konzentriert sich auf die in vielen Extrusionsanlagen eingesetzten Einschneckenextruder mit elektrischem Antrieb. Als Sonderbauform findet man heute nur noch bei einzelnen Blasformmaschinen kontinuierlich betriebene Extruder mit hydraulischem Antrieb, die gegenüber den

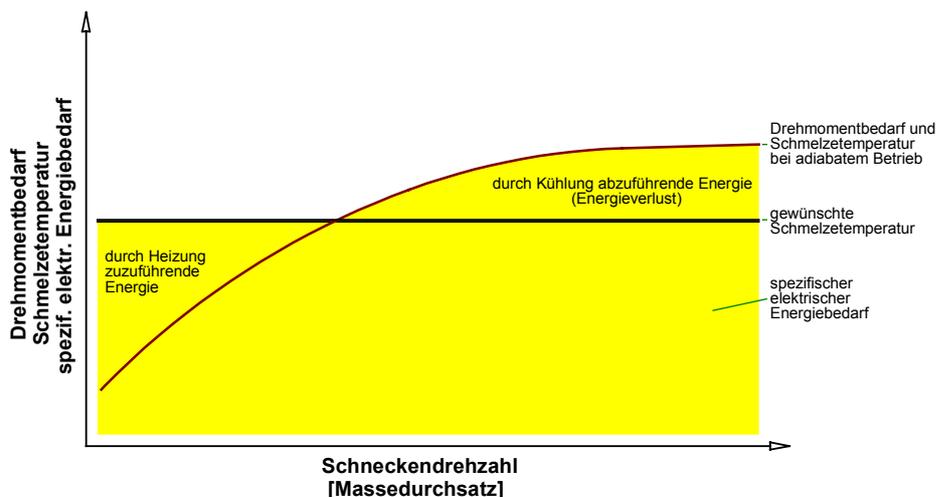
sonst durchweg aus einem Elektromotor mit nachgeschaltetem Getriebe bestehenden Schneckenantrieben systembedingt einen erheblich höheren Verbrauch aufweisen. Bisher hat bei den Extrudern die Suche nach Möglichkeiten zur Strom einsparung nicht im Vordergrund gestanden. Bei der Auslegung und Konstruktion wurden vielmehr Kriterien wie hohe spezifische – auf den Schneckendurchmesser bezogene – Durchsatzleistung und hohe Schmelzequalität bevorzugt. Besonders die Forderung nach hoher Durchsatzleistung hat dabei zu Bauarten und Betriebsbereichen mit einem relativ hohen spezifischen Energieverbrauch geführt.

Zur genaueren Analyse der Energieeinsparmöglichkeiten bei Extrudern ist es sinnvoll, im folgenden einerseits den Leistungsbedarf und die Energieverluste der **Plastifiziereinheit** und andererseits die Energieeffizienz des **Extruderantriebs** zu betrachten. Die Schnittstelle zwischen diesen beiden Baugruppen ist der Schneckenzapfen, über den die Antriebsleistung vom Getriebe auf die Schnecke übertragen wird. Zur Plastifiziereinheit gehören daher die Extruderschnecke, Einzugszone und Zylinder mit ihren Heizungen und Kühleinrichtungen; zum Extruderantrieb der Antriebsmotor und das Getriebe mit der Rückdrucklagerung sowie, sofern vorhanden, das Keilriemenpaket zwischen Motor und Getriebe.

### 3.1 Plastifiziereinheit

Der Drehmomentbedarf einer typischen Einschneckenplastifiziereinheit bei verschiedenen konstanten Schneckendrehzahlen ist in der allgemeinen Darstellung (vgl. Abbildung 4) sowohl für Extruder mit glatter Einzugszone als auch für Nutbuchsenextruder zutreffend. Da bei letzteren der Massedurchsatz proportional zur Schneckendrehzahl ist, kann die x-Achse auch mit dem Massedurchsatz bezeichnet werden.

Abbildung 4: Drehmomentbedarf und Schmelzetemperatur von Einschneckenextrudern in Abhängigkeit der Schneckendrehzahl



Die am Schneckenzapfen eingebrachte Antriebsleistung wird bei Extrudern vollständig dissipativ in die Erwärmung der Schmelze umgesetzt. Der Schmelzetemperaturverlauf würde deshalb qualitativ dem Drehmomentverlauf entsprechen, sofern Heizungen und Kühlvorrichtungen nicht in Betrieb sind und der Wärmeverlust an die Umgebung vernachlässigbar gering ist (adiabater Betrieb).

Die vom Verarbeiter gewünschte Schmelzetemperatur ist jedoch konstant und richtet sich nach dem verarbeiteten Material und der Weiterverarbeitung hinter dem Extruder. Grundsätzlich sollte sie so niedrig wie möglich sein, um beim Aufschmelzen den Energieeinsatz und die Materialbelastung sowie beim Abkühlen den Zeitbedarf gering zu halten. Für die in der Praxis gewünschten Temperaturen muss bei geringen Schneckendrehzahlen zusätzlich zur Antriebsleistung über Zylinderbeheizung Wärmeenergie zugeführt werden, da die durch Dissipation eingebrachte Energie nicht ausreicht (vgl. Abbildung 4). Bei hohen Drehzahlen ist dagegen in der Regel eine Kühlung der Schmelze in den letzten Zonen des Extruderzylinders notwendig, weil die in Wärme umgesetzte Antriebsenergie zu groß ist. Bei Polyolefinen (Polyethylen, Polypropylen) entspricht eine Abkühlung um 10 °C ungefähr einem Energieverlust von 10 %. In der Praxis ist oft eine Abkühlung um 20 °C notwendig, so dass häufig ein Energieverlust von etwa 20% entsteht.

Aus der Sicht einer optimalen Nutzung der eingesetzten elektrischen Energie wäre der Betrieb von Extrudern daher nur unterhalb der Grenzdrehzahl sinnvoll, bei der die dissipativ in Wärme umgesetzte Antriebsenergie genau zur Erreichung der gewünschten Schmelzetemperatur ausreicht. In der Praxis wird jedoch in der Regel eine möglichst hohe Durchsatzleistung und damit eine hohe Schneckendrehzahl angestrebt, um mit möglichst kleinen Extrudern und geringen Investitionskosten einen hohen Ausstoß zu erreichen. Besonders deutlich wird diese Vorgehensweise bei den vielfach nachträglich durchgeführten Masseeinsatzsteigerungen an vorhandenen Extrudern, die mit Hilfe von geänderten Schnecken und leistungsgesteigerten Antrieben vor allem über höhere Schneckendrehzahlen realisiert werden. Hierbei ist häufig von untergeordneter Bedeutung, dass der höhere spezifische Strombedarf bei hohen Drehzahlen zu höheren Stromkosten führt.

Es gibt unterschiedliche Konzepte zur Optimierung der Schneckengeometrie, durch die der energetisch günstige Betriebsbereich zu höheren Drehzahlen hin verschoben werden kann. Darüber hinaus können Wärmerohre in der Schnecke eingesetzt werden, um Wärmeenergie von der Schneckenspitze nach hinten, in den Bereich der Aufschmelzzone zu leiten. Zusätzlich sollte auch an eine Nutzung der dann noch von den vorderen Zylinderzonen abzuführenden, in Form von erwärmter Luft anfallenden Verlustwärme für Heizungs- oder Trocknungszwecke gedacht werden. Auf all diese Möglichkeiten sollte der Betrieb beim Kauf neuer Extruder und der Umrüstung bestehender Anlagen achten.

Die Forderungen nach hohen und gegendruckunabhängigen Durchsatzleistungen haben zum bevorzugten Einsatz von Nutbuchsentrudern bei der Polyolefinverarbeitung geführt. Gegenüber den Extrudern mit glatter Einzugszone, die diesen Anforderungen nicht so gut entsprechen können, ist durch die zur Aufrechterhaltung der Förderwirkung notwendige Flüssigkeitstemperierung der genuteten Einzugszone häufig ein zusätzlicher Verlust an

Antriebsenergie gegeben. Die in älteren Untersuchungen ermittelten Kühlleistungen von bis zu 50% der Antriebsleistung wurden fälschlich oft als Maß für die Wirksamkeit der Förderwirkung der Einzugszone angesehen. Sie sind aber vielmehr Energieverluste, die ohne einen Verlust an Förderwirksamkeit durch die geometrische Optimierung der Nutbuchse und der Schneckengeometrie wesentlich gesenkt werden können. Außerdem ist es sinnvoll, die Kühlleistung zu verringern und die Nutbuchse bei einer so hohen Temperatur zu betreiben, dass ein Aufschmelzen im Bereich der Nutbuchse und der Verlust der Förderwirksamkeit gerade noch nicht stattfinden. Mit diesen Maßnahmen lassen sich die Energieverluste der Nutbuchse auf 5 bis 10 % verringern.

### 3.2 Extruderantrieb

Als Extruderantrieb werden derzeit überwiegend Gleichstrommotoren mit einem nachgeschalteten zwei- oder dreistufigen Stirnradgetriebe zur Drehzahlanpassung verwendet. Die Rückdrucklagerung der Schnecke ist meistens in das Getriebe integriert. In letzter Zeit werden Motor und Stirnradgetriebe von einigen Herstellern zunehmend direkt, ohne den bisher verwendeten, zwischengeschalteten Keilriementrieb verbunden. Die Energieverluste der Antriebskomponenten eines mittelgroßen typischen Einschneckenextruders mit ca. 55 kW Motorleistung betragen insgesamt 18 bis 21 % (vgl. Abbildung 5). Der Verzicht auf das Keilriemenpaket verbessert den Wirkungsgrad um 3 bis 5 %.

Abbildung 5: Energieverluste des energieoptimierten KKM-Extruders im Vergleich zu konventionellen Extrudern für eine Antriebsleistung von 55 kW

	typische Einschneckenextruder		energieoptimierte Extruder	
Antriebssystem	Stromrichter	0,75	Frequenzumrichter	2
	Gleichstrommotor	12	Asynchronmotor	6-8
	Keilriemenpaket	3-5	Zahnriementrieb	2
	Stirnradgetriebe	3-4		
	Drucklager	<u>0,5</u>	Drucklager	<u>0,5</u>
		18-21		10-13
Plastifizier-Einheit	gekühlte Nutbuchse	10-20	gekühlte Nutbuchse	5
	Wärmeverlust	5-10	Wärmeverlust	0
	Zylinderkühlung	0-20	Zylinderkühlung	0-20

Bei Teillast und niedrigeren Drehzahlen als der Nenndrehzahl sind die prozentualen Verluste in allen Antriebskomponenten größer. Deshalb ist eine **Überdimensionierung des Antriebs und der Betrieb bei Teillast aus energetischer Sicht nicht sinnvoll**. Diese Be-

trachtungsweise konkurriert jedoch mit der Schonung der Antriebskomponenten durch den Teillastbetrieb, die oftmals zur Vermeidung von Verschleiß und Ausfällen angestrebt wird.

In Abbildung 5 sind auch die Energieverluste der Antriebskomponenten eines am Institut für Konstruktionslehre und Kunststoffmaschinen der Universität-GH Essen entwickelten energieoptimierten Extruders gleicher Baugröße dargestellt. Statt des Gleichstrommotors wird hier ein **Drehstromantrieb mit Frequenzumrichter** und Standard-Asynchronmotor eingesetzt, der bei Einbeziehung des Umrichters einen um ca. **5 % besseren Wirkungsgrad** auch den Vorteil der Wartungsfreiheit und höheren Schutzklasse besitzt. Außerdem belastet der Frequenzumrichter das Stromnetz im Gegensatz zum Stromrichter des Gleichstromantriebs kaum mit Blindleistung. Wegen der bei größeren Antrieben zur Zeit noch etwas höheren Investitionskosten scheuen viele Extruderhersteller den Einsatz von Drehstromantrieben. Aufgrund der aufgeführten Vorteile ist aber eine Verdrängung der Gleichstromantriebe absehbar, auch durch eine relativ leicht mögliche Umrüstung von bestehenden Anlagen.

Als energiesparende Alternative zum Stirnradgetriebe verfügt der energieoptimierte Extruder weiterhin über einen wartungsfreien **Hochleistungs-Zahnriemen** zur direkten Verbindung von Motor- und Schneckenwelle. Der Zahnriemen besitzt gegenüber der Kombination von Keilriemenpaket und Stirnradgetriebe einen um **4 bis 7 % besseren Wirkungsgrad** und erlaubt wie der Keilriemen eine nachträgliche Änderung des Übersetzungsverhältnisses. Wegen des geringeren maximal möglichen Übersetzungsverhältnisses muss er jedoch mit einer relativ schnell laufenden Schnecke kombiniert werden und eignet sich daher nicht für eine Nachrüstung.

### Schlussbemerkung

Es bleibt festzuhalten, dass in der Kunststoffverarbeitung noch erhebliche Stromeinsparpotentiale vorliegen, die je nach betrieblicher Situation zwischen etwa 10 bis 30 % liegen. Ein Teil lässt sich durch ohne Investitionsaufwand durch Optimierung der Maschineneinstellung nutzen, weitere Verbesserungen erschließen sich durch verhältnismäßig geringe Investitionen. Für das volle Ausnutzen der Potentiale sind jedoch mitunter höhere Investitionen zu tätigen oder Reinvestitionszyklen abzuwarten. Hier sind die Hersteller von Anlagen und Maschinen aufgerufen, ihre stromeffizienten Produkte entsprechend zu vermarkten. Mittelfristig kann Energiesparen auch als Marketingaspekt und somit indirekt als wirtschaftlicher Faktor an Bedeutung gewinnen, wenn ähnlich der Qualitäts-Audits Öko-Audits an Stellenwert gewinnen.

### Hinweise zu Beratungs- sowie Finanzierungshilfen

An wen soll man sich aber wenden, wenn eine externe, herstellerneutrale Beratung als sinnvoll erscheint? Einige wesentliche Beratersmittlungsinstitutionen sind in der Tabelle 1 genannt; und dazu noch ein Hinweis, dass guter Rat nur halb so teuer als gedacht sein kann:

- **Energieeinsparberatungen** werden auch mit öffentlichen Geldern gefördert: Der Zuschuss beträgt 40 % der Beratungskosten; höchstens jedoch 3200,- DM je Beratung und maximal 6400,- DM pro Antragsteller innerhalb eines Zeitraums von fünf Jahren. Die Beratung muss dazu bis zum 31.12.2000 begonnen werden. Rechtlich selbständige Unternehmen aus den Bereichen der gewerblichen Wirtschaft (Umsatzgrenze 30 Mio. DM) und der wirtschaftsnahen Freien Berufe (Umsatzgrenze 2 Mio. DM) können förderungsfähige Beratungen nur von selbständigen Beratern oder Beratungsunternehmen durchführen lassen, die die für den Beratungsauftrag erforderlichen Fähigkeiten besitzen. Näheres erfährt der Leser bei den in der Tabelle genannten Institutionen oder über das Bundesamt für Wirtschaft (BAW; <http://www.bawi.de>), Eschborn. Auf der Internetseite des BAW findet sich auch die detaillierte Förderrichtlinie des Programms (<http://www.bawi.de/downloads/beratri.pdf>).

Tabelle 1: Energieberatungs- und -vermittlungsinstitutionen in Baden-Württemberg (Auswahl; Stand Oktober 1999)

Beratungsstelle	Ansprechpartner	
	Name	Telefon
Landesgewerbeamt Baden-Württemberg Informationszentrum Energie Willi-Bleicher-Str. 19 70174 Stuttgart	Herr Bouse	0711/123-2522 (Fax -2649)
Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg Griesbachstr. 10 76185 Karlsruhe	Herr Bunk	0721/98471-13 (Fax -20)
Landesinnungsverband der elektrotechnischen Handwerke Baden-Württemberg Voltastr. 12 70376 Stuttgart	Herr Mayerl	0711/95590666 (Fax 551875)
VEA – Bundesverband der Energie-Abnehmer e. V. Geschäftsstelle Wiesbaden Kreuzberger Ring 21 65205 Wiesbaden	Herr Wörsdörfer	0611/9748-428 (Fax -100)
Großabnehmerverband Energie Baden-Württemberg Breitlingstr. 35 70184 Stuttgart	Herr Rudolf	0711/23725-20 (Fax -99)
RKW Baden-Württemberg, Rationalisierungs- Kuratorium der Deutschen Wirtschaft e. V. Königstr. 49 70173 Stuttgart	Herr Kowollik	0711/22998-33 (Fax -10)
Ingenieurkammer Baden-Württemberg Energie- und Umweltberatung Zellerstr. 26 70180 Stuttgart	Herr Pfaus	0711/64971-21 (Fax -55)
Örtliche Energieversorgungsunternehmen		
Industrie- und Handelskammern, örtliche Handwerkskammern		

Für einen finanziellen Anreiz zur Sanierung von Anlagen kommt das **ERP-Energiesparprogramm** in Frage:

- Antragsberechtigt sind Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft mit einem Jahresumsatz bis zu 1 Mrd. DM. Das Vorhaben muss geeignet sein, die Wettbewerbs- und Leistungsfähigkeit des Unternehmens zu steigern. Anträge, die vor Beginn des Vorhabens eingereicht werden müssen, sind auf einem Formblatt über die Hausbank an die Deutsche Ausgleichsbank zu richten. Die Förderung besteht aus einem zinsgünstigen Darlehen (ein jeweils am Markt angepasster Zinssatz von z. B. 5,25 % p.a., Auszahlung: 100 %, Laufzeit: 15 Jahre mit 2 tilgungsfreien Anlaufjahren (Stand. 20.9.1999); aktuelle Konditionen über den Faxabruf der DtA unter 0228/831-3300 oder die WEB-Seite der DtA <http://www.DtA.de>). Die maximale Förderung beträgt 0,5 Mio. EURO pro Vorhaben.

## Literatur

- Eckhardt, H.: Reduzierung des Energieverbrauchs beim Spritzgießen Wirkungsfeld Spritzgießmaschine, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1995.
- Jaroschek, C.: Herstellkosten von Spritzgußteilen senken durch neue Techniken Wirkungsfeld Spritzgießmaschine. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1995.
- Lampl, A.: Gegenüberstellung verschiedener Antriebstechniken bei Spritzgießmaschinen. 13. Leobener Kunststoff-Kolloquium 1994.
- Landesgewerbeamt Baden-Württemberg – Informationszentrum Energie: Maßnahmen zur Energieeinsparung – Fördermöglichkeiten. 1994
- Robert, T., Michaeli, W.: Elektrik versus Hydraulik. Kunststoff Journal 93 (1993) Nr. 3.
- Rothe, J.: Energiefluss und -einsparung an Maschine und Werkzeug Rationalisieren im Spritzgießbetrieb. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1981.
- Schwarze, R., Alewelt, M.: Stufenplan zum Energiemanagement. Brennpunkt Energie. Energieagentur NRW (1996)1, S.3
- Thoma, H., Stillhard, B.: Elektrische Spritzgießmaschine – sparsam und genau. Kunststoffe '92 (1992) Nr. 10 S. 891 ff.