

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	83 (1992)
<b>Heft:</b>	23
<b>Artikel:</b>	Kennwerte betrieblicher Prozessketten : Energieverbrauchsanalysen mit Fallbeispiel aus der Kunststoffbranche
<b>Autor:</b>	Wolfart, Frieder
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-902903">https://doi.org/10.5169/seals-902903</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 12.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Kennwerte betrieblicher Prozessketten

## Energieverbrauchsanalysen mit Fallbeispiel aus der Kunststoffbranche

Frieder Wolfart

**Der Aufsatz beschreibt eine branchenunabhängige Methode zur Ermittlung und Bewertung des Energieverbrauchs von betrieblichen Prozessen und Prozessketten mit Hilfe von Kennwerten. Damit können energetische Schwachstellen der Betriebe ermittelt und Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie Energie sparsamer und rationell eingesetzt werden kann. Die Methode ist in unterschiedlichen Branchen mit Erfolg erprobt worden; einige interessante Ergebnisse aus der Branche Kunststoffspritzgiessen werden hier vorgestellt.**

**L'article décrit une méthode indépendante de la branche, permettant de déterminer et d'évaluer la consommation d'énergie de processus et de chaînes de processus d'exploitation à l'aide de valeurs caractéristiques. Cela permet de détecter des points faibles du point de vue énergétique des entreprises et mettre en évidence des possibilités pour une utilisation plus économique et plus rationnelle de l'énergie. Cette méthode a été testée avec succès dans diverses branches; quelques résultats intéressants tirés de la branche du moulage par injection de matières plastiques sont présentés ci-après.**

### Adresse des Autors

Frieder Wolfart, Dipl. Wirtschaftsingenieur,  
Ernst Basler und Partner AG, Zollikerstrasse 65,  
8702 Zollikon.

Der vorliegende Aufsatz beschreibt eine branchenunabhängige Methode zur Ermittlung und Bewertung des Energieverbrauchs von betrieblichen Prozessen und Prozessketten mit Hilfe von Kennwerten, welche im Rahmen des *Impulsprogrammes Ravel* durchgeführt wurde. Die ermittelten Kennwerte sollen die Basis für Quervergleiche sein und den Erfahrungsaustausch zwischen den Unternehmen fördern. Durch solche Vergleiche können energetische Schwachstellen der Betriebe ermittelt und Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie Energie sparsamer und rationell eingesetzt werden kann. Nach der Durchführung von Energiesparmassnahmen lässt sich dann auch deren Erfolg mit Hilfe der Kennwerte überprüfen.

Bei der Bildung der Kennwerte steht nicht die Genauigkeit im Vordergrund, sondern deren Praktikabilität. Die einzelnen Betriebe müssen ihre eigenen Kennwerte mit geringem Aufwand selbst erheben, berechnen und interpretieren können. Die Kennzahlen sollen sich weitgehend aus den vorhandenen betrieblichen Statistiken ableiten lassen; bei der Aufteilung von Produktionsverfahren in einzelne Produktionsschritte sollen möglichst allgemeingültige Abgrenzungen aufgegriffen werden.

Um die Verwendbarkeit der Methode in der Praxis zu gewährleisten, wurde diese beispielhaft in zwei industriellen Branchen angewendet. Die beiden untersuchten Branchen waren die Bierherstellung und das Kunststoffspritzgiessen. In den beiden Branchen wurden Arbeitsgruppen zusammengestellt, die sich regelmäßig trafen und das Projekt begleiteten. Bei einigen Firmen wurden zur Erprobung der Methode exemplarisch Daten erhoben und Kennwerte gebildet. Aufgrund der gewonnenen Erkennt-

nisse wurden bei allen beteiligten Firmen ein verstärktes Energiebewusstsein geschaffen und zahlreiche Massnahmen zur rationellen Energieverwendung geplant und zum Teil bereits realisiert. Die Arbeitsgruppen bestehen weiter und intensivieren den Erfahrungsaustausch über Energiekennzahlen.

Im folgenden wird die Methode kurz umrissen, und anschliessend werden einige interessante Ergebnisse aus der Branche des Kunststoffspritzgusses vorgestellt.

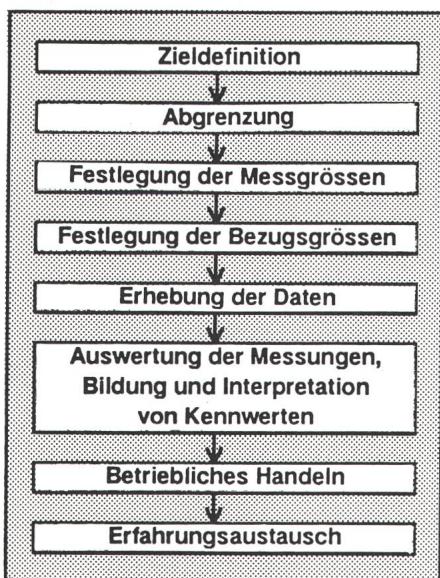
### Darstellung der Methodik

Die vorgeschlagene Methode zur Energieanalyse dient der Bewertung einzelner Herstellungsprozesse oder von Teilen davon mit geeigneten Kennwerten. Die Wahl der Methode erfolgte in Anlehnung an bei der Einführung von Datenverarbeitungssystemen üblichen Verfahren. Die Methodik wurde bewusst einfach und nachvollziehbar gestaltet, um die Anwendbarkeit in der industriellen Praxis zu gewährleisten.

### Zieldefinition – gut gefragt ist halb geantwortet

Aufgrund der komplexen Problemstellung und den oben dargelegten Grundsätzen wird bei der Bildung von Kennzahlen ein schrittweises und systematisches Vorgehen nach dem Schema gemäss Bild 1 angewendet.

Der erste Schritt bei der Bildung von Kennzahlen ist die Formulierung von konkreten Fragen, welche beantwortet werden sollen. Der Nutzen, der durch die Beantwortung der Fragen erwartet wird, sollte grob abgeschätzt werden, um den möglichen Mess-, Auswertere- und Interpretationsaufwand ableiten zu können. Die Zielformulierung ist Voraussetzung



**Bild 1** Methodisches Vorgehen zur Bildung von Kennwerten betrieblicher Prozesse

für die nachfolgenden Schritte. Einige mögliche Ziele von Energieanalysen sind:

- Erkennen energetischer Schwachstellen des Betriebes
- Erkennen von Faktoren, die den Energieverbrauch beeinflussen
- Bewertung von Anlagen/Anlageteilen/Maschinen bei der Neuanschaffung oder Sanierung
- optimale Belegung von Anlagen oder Maschinen
- optimale Betriebsorganisation
- Betriebsüberwachung/Motivation der Mitarbeiter
- verursachergerechte Energiekoostenverteilung
- Vergleich mit anderen Betrieben.

## Abgrenzung

Um eine genau definierte Aussage über die Energieflüsse zu erhalten, ist eine Abgrenzung nötig. Es soll nur untersucht werden, was der Beantwortung der gestellten Fragen (Zieldefinition) dient. Je näher man die Energieströme beim Verbraucher misst, desto weniger Störgrößen beeinflussen die Messungen, und desto leichter lassen sich die Ergebnisse interpretieren. Vereinfachungen und Vernachlässigungen müssen vorgenommen werden, sollen aber immer bewusst erfolgen. Die wichtigsten Punkte, die bei der Abgrenzung entschieden werden müssen, sind:

- Welche Teile des Betriebes sollen einbezogen werden?
- Kann/soll der betrachtete Prozess in Teile zerlegt werden?

- Welche Energien sollen betrachtet werden?
- Welcher Betriebszustand soll untersucht werden?
- Häufigkeit der Messungen?

## Festlegung der Messgrößen

Bei der Festlegung der Messgrößen gilt der Grundsatz: So wenig wie nötig messen. Oft lassen sich die fraglichen Werte aus bekannten Größen ableiten oder es ist möglich, mit wenig Messungen sowie etwas Überlegung und Rechenarbeit die gewünschte Information zu bekommen. Die möglichen Messstellen werden durch die betrieblichen Gegebenheiten bestimmt. Daher ist die genaue Kenntnis der Energieumwandlungs- und Verteilanlagen erforderlich. Gegebenenfalls müssen zunächst geeignete Pläne und Übersichten erstellt werden.

stimmenden Parameter und die zur Messzeit herrschenden Randbedingungen möglichst genau festgehalten werden, so dass die Messung später richtig interpretiert werden kann. Hierzu sind entsprechende Listen vorzubereiten und vorher zu testen.

## Auswertung der Messungen

Bereits vor der Messung sollte die Methode der Auswertung der Messergebnisse feststehen. Zur Auswertung gehört auch die Bildung und Interpretation von Kennwerten. Die Messergebnisse sind so aufzubereiten, dass sie hinsichtlich der gestellten Fragen interpretiert werden können. Hierzu eignen sich vor allem grafische Darstellungen.

## Betriebliches Handeln

Den innerbetrieblichen Abschluss eines solchen Rationalisierungsprojektes bildet die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse. Die ermittelten Möglichkeiten, wie Energie im Prozess rationeller eingesetzt werden kann, müssen in entsprechendes Handeln münden. Hierzu sind die notwendigen Kompetenzen und Verantwortlichkeiten zu schaffen. Ebenso müssen effiziente Kontrollinstrumente bereitgestellt werden, damit der Erfolg der Massnahmen im nachhinein kontrolliert werden kann.

## Erfahrungsaustausch

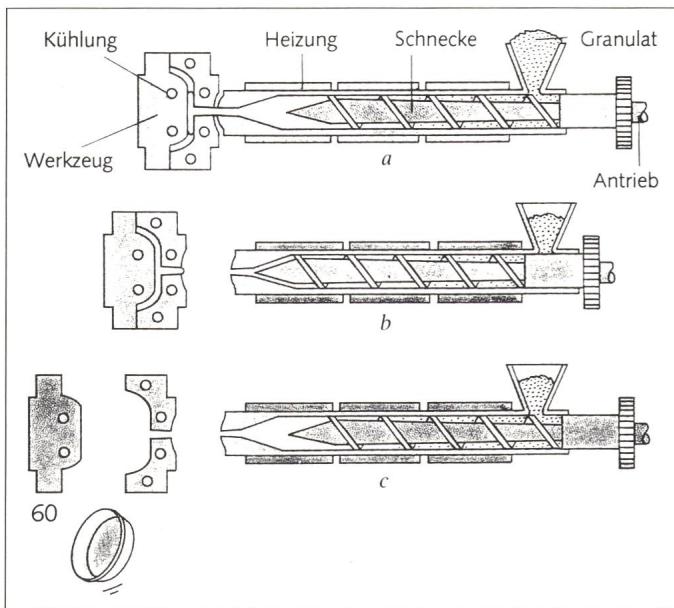
Durch den Erfahrungsaustausch zwischen Unternehmen der gleichen Branche können die gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen in bezug auf einen rationalen Einsatz von Energie verbreitet werden und so die

## Impulsprogramm Ravel

Ravel (*Rationelle Verwendung von Elektrizität*) ist ein vom Bundesamt für Konjunkturfragen initiiertes Impulsprogramm, dessen Zielsetzung direkt aus seiner Bezeichnung hervorgeht. Es hat bereits bedeutende Stromreserven aufgedeckt. Aus rund 60 Untersuchungsprojekten in Haustechnik, Gerätetechnik, Gewerbe und Industrie geht klar hervor, wo Strom verschwendet wird und mit welchen wirtschaftlichen Mitteln Strom besser genutzt werden kann.

Das Impulsprogramm will durch gezielte Weiterbildung von Fachleuten eine neue berufliche Kompetenz erzeugen. Das Weiterbildungsprogramm läuft von 1991 bis 1995, ist dreisprachig und wird geographisch sorgfältig über die ganze Schweiz verteilt angeboten. Rund 250 Spezialisten und Ausbildner arbeiten vertraglich gebunden für Ravel. Bis heute konnten über 2000 Fachleute für die Weiterbildung gewonnen werden; zudem haben 6000 Ravel-Fachbücher über den Kreis der Kursteilnehmer hinaus Interessenten erreicht.

Ravel arbeitet eng mit den Berufs- und Wirtschaftsverbänden zusammen. Aktionen werden durch die oder gemeinsam mit den bestehenden Organisationsstrukturen ausgelöst. Auch die Kantone und ihre Energiefachstellen und Baudirektionen sind Partner von Ravel. Ravel will für die schweizerische Wirtschaft neue Handlungsspielräume schaffen: als «heimliches» Stromreservoir, als Initiator von Investitions- und Entwicklungsvorhaben – oder kurz – als Trainer für energietechnische Fitness, einem wichtigen Konkurrenzfaktor der Zukunft.



**Bild 2**  
**Die Prozessschritte beim Kunststoff-spritzgiessen**

Figur aus «Kunststoffe, Werkstoffe unserer Zeit», Hg. ASKI, Zürich 1988

- a plastifizieren, einspritzen
- b abkühlen
- c entformen

einer neuen Maschine könnte der spezifische Energieverbrauch als ein Entscheidungskriterium nützlich sein.

– *Aufzeigen von Sparpotentialen:* Durch das Aufzeigen der wichtigsten Parameter, von denen der spezifische Energieverbrauch einer Maschine abhängt, könnte dieser gegebenenfalls optimiert werden.

– *Motivation:* Durch entsprechende Kennzahlen könnte der Energieverbrauch des Betriebes regelmässig erfasst und bewertet und somit die Mitarbeiter zum Energiesparen motiviert werden.

– *Optimierung von betrieblichen Abläufen:* Einen Einfluss auf den Energieverbrauch haben die Nebenzeiten der Maschinen (zum Beispiel Aufwärmeverfahren, Abschalten usw.). Die Möglichkeiten, durch eine verbesserte Betriebsorganisation diesen Verbrauchsanteil zu verringern, sollten untersucht werden.

### Die Abgrenzung des untersuchten Prozesses

Bild 3 zeigt auf der linken Seite die wichtigsten Prozessschritte und auf der rechten Seite die verwendeten Energie- und Materialinputs in der Form, wie sie die Prozessgrenze überschreiten. Da die Kennzahl mit möglichst einfachen Mitteln gebildet und nur der Fertigungsprozess selber betrachtet werden sollte, wurden folgende Systemabgrenzungen gewählt:

– Es wurden nur die Teilprozesse betrachtet, die in *einer* Maschine ab-

Effizienz und Innovationskraft der am Erfahrungsaustausch beteiligten Firmen steigern. Voraussetzung dafür ist, dass die beteiligten Firmen ihre Kennzahlen auf die gleiche Art und Weise ermitteln, das heisst, dieselben Systemabgrenzungen und Mess- und Bezugsgrossen wählen.

### Anwendungsbeispiel: Kunststoffspritzgiessen

In der Schweiz gibt es zurzeit rund 400 Firmen, bei denen das Kunststoffspritzgiessen zur Herstellung von Kunststoffteilen angewendet wird. Dieses Fertigungsverfahren ist relativ energieintensiv, die Elektrizitätskosten liegen bei ungefähr 2–5% der Fertigungskosten. Das Spektrum der hergestellten Teile reicht von Kleinheiten von weniger als 1 Gramm über weit verbreitete Gebrauchsgegenstände (zum Beispiel alle Kunststoffteile eines Telefons) bis zu Teilen von mehreren Kilogramm Gewicht (zum Beispiel Kunststoffkisten, Stossstangen u.v.m.).

### Beschreibung des Herstellverfahrens

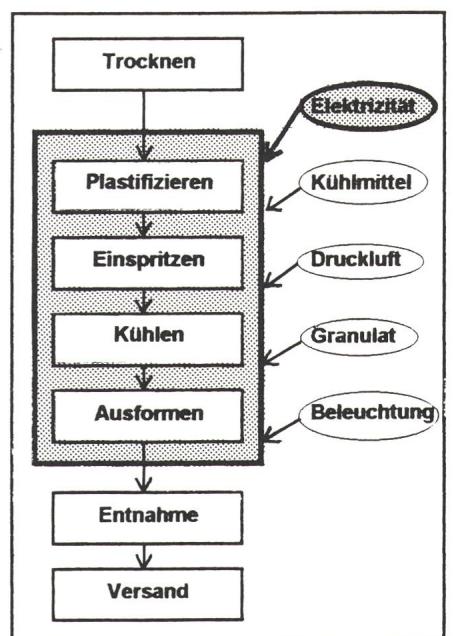
Das Kunststoffspritzgiessen erfolgt immer nach dem folgenden Schema (siehe auch Bild 2):

- Das Ausgangsmaterial ist Kunststoffgranulat, welches zum Teil vor der Verarbeitung noch getrocknet werden muss. Es kommen die unterschiedlichsten Kunststoffe (in der Regel Thermoplaste) zum Einsatz.
  - Über eine Schnecke wird das Granulat in den Spritzgusszyylinder gefördert. Dieser ist beheizt, so dass
- das Material aufschmilzt, vermischt und verdichtet wird.
- Das aufgeschmolzene Material wird durch ein Vorschieben der Schnecke durch die Düse, die sich am Ende des Zylinders befindet, in die Form gepresst.
  - Nachdem das Material in der (meist gekühlten) Form erstarrt ist, wird diese geöffnet und das fertige Teil ausgestossen.
  - Der Fertigungszyklus kann von neuem beginnen.
- Obwohl das Kunststoffspritzgiessen ein energieintensiver Prozess ist, weiss man über die Höhe des Energieverbrauchs, seine Bestimmungsfaktoren und die Möglichkeiten seiner Beeinflussung nur wenig. Aus einigen Veröffentlichungen lässt sich ableiten, dass bei den heute verwendeten Maschinentypen der weitaus grösste Teil der benötigten Energie durch Verluste im Hydrauliksystem bedingt ist und nur ein geringer Teil (etwa 5–20%) direkt zum Aufschmelzen und Verpressen des Kunststoffs benötigt wird.

### Zieldefinition

An der ersten Arbeitsgruppensitzung wurden von den am hier beschriebenen Untersuchungsprojekt beteiligten Firmen mehrere Ziele genannt, die mit der Bildung von Kennzahlen erreicht werden sollten:

- *Vergleich von verschiedenen Maschinen:* Durch maschinenspezifische Kennzahlen wäre es möglich, verschiedene Maschinen zu vergleichen. Für ein bestimmtes, zu fertigendes Teil könnte dann die effizienteste Maschine ausgewählt werden. Beim Kauf



**Bild 3** Systemabgrenzung Kunststoffspritzgiessen

laufen. Dies sind: Plastifizieren, Einspritzen, Kühlen, Ausformen.

- Die Maschine wurde als Ganzes betrachtet. Eine Aufteilung der Verbräuche auf die Prozessschritte (siehe Bild 3) erfolgte nicht.
- Es wurde nur der Elektrizitätsverbrauch betrachtet. Alle anderen in den Prozess eingebrachten Energien wurden ausgeklammert, ebenso die Energieformen, in welche die Elektrizität innerhalb der Maschine umgewandelt wird.
- Es wurde nur eine einmalige Messaktion der Verbräuche vorgenommen. Hierbei wurde der Normalbetrieb, ohne jegliche Einschränkung des Produktionsbetriebes, über einen Zeitraum von 2 Wochen betrachtet.

## Festlegung der Messgrößen

Aufgrund der Systemabgrenzung und unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten wurden die Messstellen und -größen festgelegt. Als geeignete Messstelle erwies sich die Stromzuführung zum Schaltschrank der Maschinen. An dieser Stelle war es möglich, die einer Maschine zugeführte elektrische Energie mittels Stromzangen abzugreifen. Es wurde ein modernes programmierbares Messgerät gewählt, welches über einen Zeitraum von 10 Tagen alle fünf Minuten die geforderten Messwerte speicherte.

## Die Wahl der Bezugsgrößen

Unter Berücksichtigung der vorhandenen Betriebsstatistiken wurden die folgenden Bezugsgrößen gewählt:

- Anzahl gefertigte Teile
- Menge verarbeiteter Kunststoff
- Menge (Gewicht) fertiger Teile

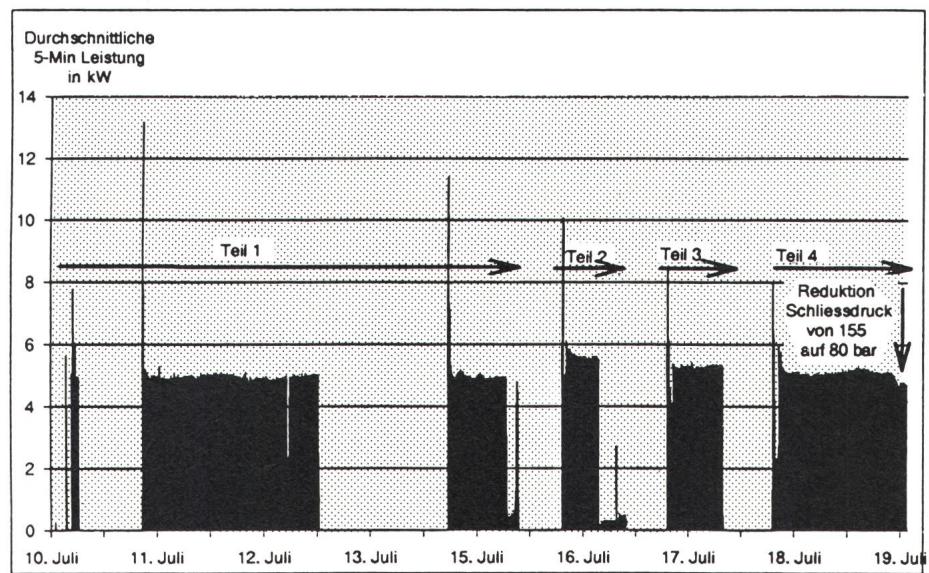


Bild 4 Grafische Darstellung der 5-Minuten-Stromverbräuche einer Spritzgiessmaschine

- Laufzeiten (aus Messprotokoll und Messaufzeichnung)
- Zykluszeit.

## Durchführung der Messungen

Das Messgerät konnte so im Schrank untergebracht werden, dass dieses den Fertigungsablauf in keiner Weise behinderte. Während der 10tägigen Messzeit lag ein vorbereitetes Protokoll neben der Maschine, auf welchem lediglich bei Eingriffen in den Fertigungsablauf (Ein- und Ausstellen der Maschine, Unterbrüche usw.) die Uhrzeit, der Zählerstand und der Grund des Eingriffs durch das Bedienpersonal zu vermerken war.

## Bildung und Interpretation der Kennwerte

Nach Beendigung der Messungen wurden die Messwerte auf eine Diskette übertragen und mit einem Tabellenkalkulationsprogramm auf dem

PC weiterverarbeitet. Die Auswertung erfolgte in zwei Schritten, nämlich (1) grafische Auswertung der 5-Minuten-Verbräuche und (2) Bildung von Kennwerten und deren grafische Darstellung.

## Grafische Auswertung der 5-Minuten-Verbräuche

Während der Messperiode wurden auf der untersuchten Kunststoffspritzgiessmaschine 4 verschiedene Teile hergestellt; die Auswertung der 5-Minuten-Verbräuche zeigt Bild 4. Um allgemeingültige Aussagen zu treffen, ist die Anzahl der gefertigten Teile zwar noch zu gering, tendenziell können jedoch bereits die folgenden Feststellungen getroffen werden:

- Bei allen Teilen lag der durchschnittliche Leistungsbedarf etwa bei 4,5 kW (30% der elektrischen Gesamtleistung der Maschine).
- Auffallend ist die hohe Anfahrspitze, die bei jedem Fertigungsblock auftritt und bis zum dreifachen Wert der Durchschnittswerte ansteigt. Die Spitze dauert jeweils 10–30 Minuten und ist in der Regel von einer ebenso langen Periode unterdurchschnittlichen Leistungsbedarfs gefolgt.
- Nach Erreichen der Sollstückzahl wurde am 15. und 16. Juli die Maschine erst einige Stunden später abgeschaltet.
- Am 19. Juli wurde zwischen 10.00 Uhr und 12.00 Uhr schrittweise der Schliessdruck von 155 auf 80 bar verringert. Deutlich erkennbar ist eine damit verbundene Reduktion

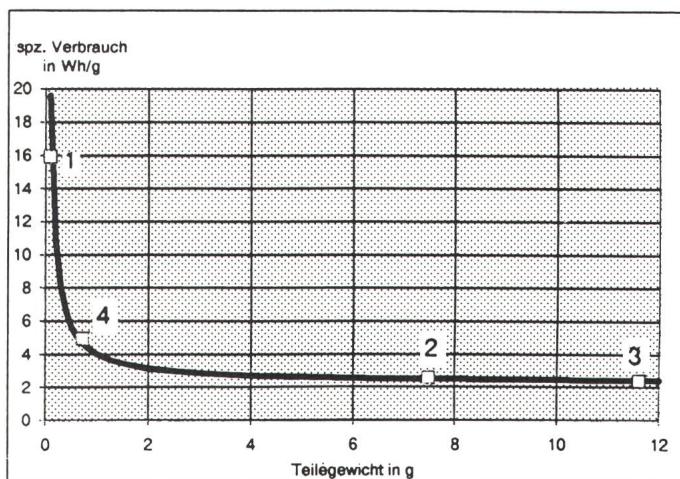
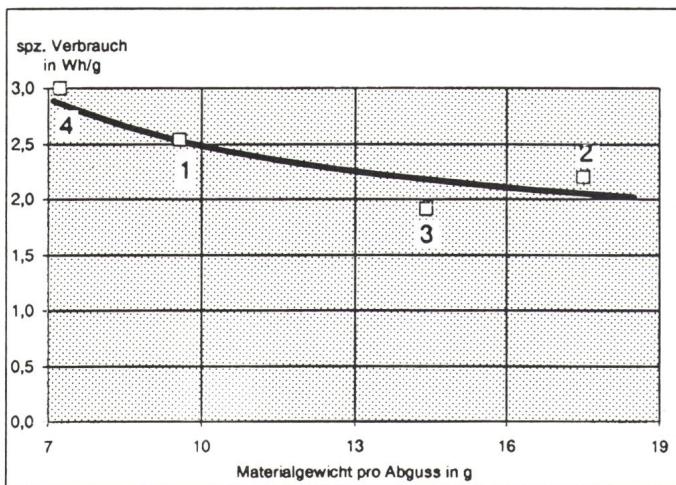


Bild 5  
Elektrizitätsverbrauch pro Gramm Teil in Abhängigkeit vom Teilgewicht



**Bild 6**  
Elektrizitätsverbrauch pro Gramm verarbeiteter Kunststoff in Abhängigkeit vom Materialgewicht pro Abguss

der Stromaufnahme von ungefähr 5,1 kW auf 4,6 kW, also eine Ersparnis von fast 10%!

#### Bildung von Kennwerten

Ein wichtiger Kennwert ist der Elektrizitätsverbrauch pro Gramm Teil. Er bewertet den Elektrizitätsverbrauch zur Herstellung eines nach dem Gewicht bestimmten Teils und bezieht sich somit auf eine Eigenschaft des Endprodukts. Die Resultate sind in Bild 5 dargestellt. Bei der untersuchten Maschine schwankten die Werte zwischen 16 und 2,4 Wh/g. Erwartungsgemäß wurde zur Herstellung kleinerer Teile spezifisch mehr Energie benötigt als für grössere. Die eingezzeichnete Trendkurve zeigt bei kleineren Teilen einen überaus steilen Anstieg des spezifischen Verbrauchs. Da noch weitere Parameter den spezifischen Verbrauch beeinflussen, reicht die geringe Zahl der Messwerte jedoch nicht aus, um den Verbrauch eines neuen Teils präzise vorherzusagen.

Der Kennwert «Elektrizitätsverbrauch pro Gramm verarbeiteter Menge Kunststoff in Abhängigkeit vom Materialgewicht pro Abguss» bewertet den Energieaufwand zum Verarbeiten einer bestimmten Materialmenge, ohne zu berücksichtigen, ob das verarbeitete Material für den Anguss (Verlust) oder das Teil selbst benötigt wird (Bild 6). Er kann zum Beispiel als Mass dafür dienen, ob das Werkzeug und die Maschine gut aufeinander abgestimmt sind. Ein ungünstig konstruiertes Werkzeug (mit einem hohen Anteil Anguss) kann mit dieser Zahl jedoch nicht identifiziert werden. Der Kennwert schwankt zwischen 1,9 und 3,0 Wh/g. Es ist wieder ein Abnehmen des spezifischen Verbrauchs mit der Zunahme der pro Ab-

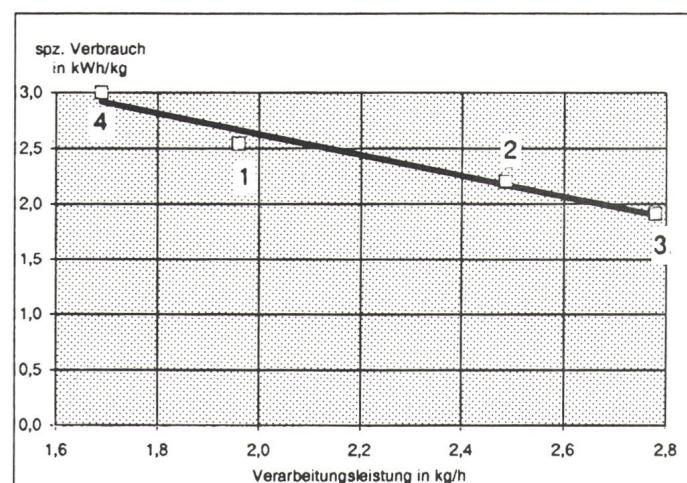
guss verspritzten Materialmenge verbunden. Bei der Interpretation dieser Kennzahl ist zu beachten, dass Teile, die ein ungünstigeres Verhältnis eingesetztes Material zu Teilegewicht haben, «belohnt» werden.

In Bild 7 ist derselbe Kennwert wie in Bild 6 abgebildet, jedoch diesmal in Abhängigkeit von der stündlich verarbeiteten Kunststoffmenge (Verarbeitungsleistung). Bei den 4 untersuchten

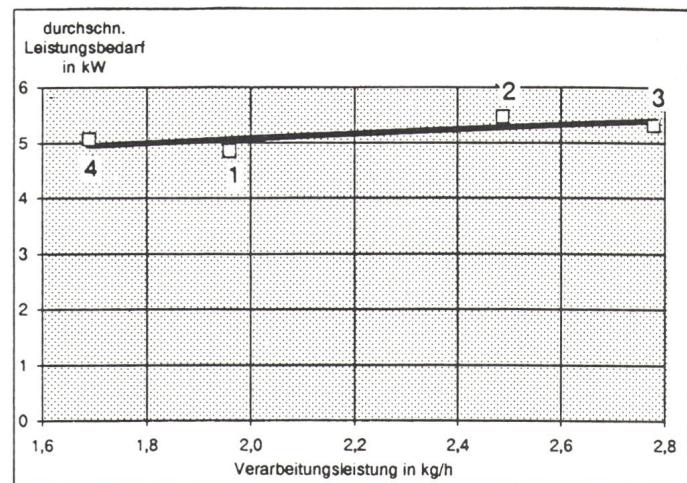
Teilen schwankte diese zwischen 1,7 und 2,8 kg Kunststoff pro Stunde. Der spezifische, auf die verarbeitete Menge Kunststoff bezogene Stromverbrauch schwankte hierbei zwischen 1,9 und 3,0 kWh pro kg. Auf dem Bild 7 ist zu erkennen, dass bei höheren Verarbeitungsleistungen der spezifische Verbrauch deutlich sinkt, die Maschine dann also effizienter arbeitet.

In Bild 8 ist der durchschnittliche elektrische Leistungsbedarf in Abhängigkeit von der Verarbeitungsleistung (verarbeitete Menge Kunststoff pro Stunde) dargestellt. Die Kennzahl schwankte nur zwischen 4,8 und 5,5 kW. Die im Bild eingezzeichnete Trendkurve verläuft fast horizontal. Dies bedeutet, dass der elektrische Leistungsbedarf nahezu unabhängig von der Verarbeitungsleistung ist, also grösstenteils zur Deckung von Verlusten innerhalb der Maschine benötigt wird. Die Kennzahl «Elektrizitätsverbrauch pro Stunde», also der durchschnittliche elektrische Leistungsbedarf in Abhängigkeit von der Verarbeitungsleistung, ist ein gutes Mass

**Bild 7**  
Elektrizitätsverbrauch pro verarbeitete Menge Kunststoff in Abhängigkeit von der stündlich verarbeiteten Kunststoffmenge (Verarbeitungsleistung)



**Bild 8**  
Elektrizitätsverbrauch pro Stunde in Abhängigkeit von der stündlich verarbeiteten Kunststoffmenge (Verarbeitungsleistung)



zur energetischen Bewertung einer Spritzgiessmaschine.

## Betriebliche Konsequenzen

Zunächst kann festgestellt werden, dass allein die Diskussionen über die Möglichkeiten des rationellen Elektrizitätseinsatzes zu einer Sensibilisierung bei den beteiligten Unternehmen führte. Rationeller Energieeinsatz setzt den Willen aller Mitarbeiter eines Betriebes und deren dauernde Aufmerksamkeit voraus. Vor allem durch zahlreiche Einzelmaßnahmen, die oft alles andere als spektakulär sind, können Erfolge erreicht werden. Die Umsetzung der Erkenntnisse erfolgte daher zum Teil indirekt und lässt sich nicht allein an einzelnen Massnahmen oder Aktionen quantifizieren. Einzelne Punkte, zu deren Klärung die Bildung der Kennzahlen und die Diskussion in der Arbeitsgruppe beitrug, seien hier besonders hervorgehoben:

- Der Grundverbrauch (Stillstandsverluste) einer Maschine wird um so bedeutender, je mehr diese überdimensioniert ist. Aus energetischen Gründen sollte daher ein Kunststoffteil auf der kleinstmöglichen Maschine produziert werden und ein Werkzeug so viele Formnester haben, wie die vorgesehene Maschine verkraften kann.
- Die heute verwendete Technologie hydraulischer Antriebe führt zu sehr geringen Prozesswirkungsgraden. Je nach Regelung können bessere Maschinen im Energieverbrauch um den Faktor 2 günstiger liegen als schlechtere. Es wäre daher vorteilhaft, die einzelnen Maschinen eines Betriebes auszumessen und energetisch zu bewerten. Hierdurch könnten dann die energetisch günstigeren Maschinen bevorzugt in der Produktion eingesetzt werden und bei Neuanschaffungen der Kauf ungünstiger Maschinen vermieden werden.
- Ziel der Messungen und Kennwertbildung war es, Angaben darüber zu finden, welche Parameter welchen Einfluss auf den Energieverbrauch haben, das heisst, ob und wie durch die

## Ravel in der Industrie

Die rationelle Verwendung elektrischer Energie in der Industrie wird im Ravel Ressort Industrie unter Leitung von Prof. Dr. Daniel Spreng, Forschungsgruppe Energieanalysen der ETH Zürich, bearbeitet. Dieses Ressort startet ab 1993 auf breiter Basis mit Weiterbildungsveranstaltungen für Ingenieure, Energiefachleute und Führungskräfte der Industrie. Bereits fest stehen beispielsweise:

- dreitägiger Kurs für technische und kaufmännische Kaderleute und Energiebeauftragte der Industrie zum Thema Energiemanagement in der Industrie, am 25./26./27. Februar in Zürich, Träger VSM, Auskünfte bei Herrn E. Widrig, Telefon 01 384 48 44,
- zweitägiger Kurs für Ingenieure und Konstrukteure zum Thema Auslegung und Betriebsoptimierung von elektrischen Antrieben, am 20./21. Januar 1993 in Zürich. Auskünfte bei Dr. R.E. Neubauer, Tel. 01/256 27 25,
- Symposium für Industrieführer zum Thema Ravel in der Industrie mit Bundesrat Jean Pascal Delamuraz und Referenten aus führenden Industrieunternehmen, am 20. April 1993 in Bern. Organisation durch das Bundesamt für Konjunkturfragen.

Die Ravel-Untersuchung, auf der der vorliegende Aufsatz basiert, ist ausführlich beschrieben im Band «Materialien zu Ravel: Kennwerte betrieblicher Prozessketten». Autoren: Frieder Wolfart, Thomas Bürki, Anton Klaus. Erhältlich bei der EDMZ, 3000 Bern. Bestellnummer 724.397.125 d. für Fr. 12.–. Die in diesem Untersuchungsprojekt gewonnenen Erkenntnisse werden zurzeit in ein Handbuch umgearbeitet, welches dem industriellen Praktiker anhand von anschaulichen Beispielen auf leicht verständliche Weise zeigt, wie er in seinem Betrieb Energieanalysen durchführen kann. Das Buch wird im Frühjahr 1993 unter dem Titel «Energieverbrauch im Industriebereich – Erfassung und Bewertung» erscheinen.

richtige Einstellung der Maschinen der Energieverbrauch optimiert werden kann. Aufgrund der Untersuchungen wurden in einer Firma die Einrichter angewiesen, den Schliessdruck zu minimieren, die Zykluszeiten so kurz wie möglich und die Temperaturen so tief wie möglich einzustellen.

Die Diskussion in der Arbeitsgruppe, die durch die Kennwerte auf eine solide Basis gestellt wurde, hat bei den beteiligten Firmen bereits zahlreiche betriebliche Verbesserungen ausgelöst. Weitere technische und betriebliche Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz der Betriebe sind geplant und können nun anhand der Kennwerte energetisch bewertet und systematisch realisiert werden. Das wichtigste Ergebnis der Arbeiten ist jedoch, dass bei allen beteiligten Firmen dem Energieverbrauch in Zukunft eine erhöhte Aufmerksamkeit zukommen wird, in dem Bewusstsein, dass das Erfassen und Beobachten der Energieflüsse im Betrieb mit wenig Aufwand möglich ist und der daraus sich ergebende Nutzen den Aufwand bei weitem übersteigt.

## Übertragbarkeit der Aussagen auf andere Branchen

Durch die Bildung von Kennwerten beim Kunststoffspritzgiessen und bei der Bierherstellung konnte bewiesen werden, dass die im vorliegenden Aufsatz vorgeschlagene Methode leicht anwendbar ist und in der Praxis in unterschiedlichen Branchen mit Erfolg benutzt werden kann. Es konnte auch gezeigt werden, dass es bei systematischem Vorgehen möglich ist, ganze Betriebe, einzelne Herstellverfahren oder bestimmte Prozessschritte miteinander zu vergleichen. Die Übertragbarkeit der vorgeschlagenen Methode auf andere industrielle Branchen oder Herstellprozesse kann somit als gegeben angesehen werden.

**Verdankung:** Besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Daniel Spreng, ETH Zürich, der das hier beschriebene Projekt initiierte, es engagiert begleitete und dabei zahlreiche Ideen einfließen liess.

# ixotherm 3000



- **ist extrem zugfest**
- **ist absolut wasserdicht**
- **lebt um Jahrzehnte länger**
- **und kostet erst noch weniger**

«ixotherm 3000» ist ein wegweisend neues Mittelspannungskabel mit erstaunlichen Eigenschaften. Wir haben es speziell konstruiert für die Verlegung ohne Armierung. Zwei eingebaute metallische Wasserdampfsperren garantieren eine absolute Wasserdichtigkeit von aussen wie von innen. Das bedeutet höchste Betriebssicherheit und eine längere Lebensdauer. Für sehr hohe Zugbelastungen sind im Mantel Zugentlastungselemente integriert, die dem Kabel eine außerordentlich hohe Zugfestigkeit verleihen und eine mechanische Überbeanspruchung der Isolation während der Verlegearbeiten verhindern. «ixotherm 3000» bedeutet in der Praxis: grössere Längen, weniger Muffen und zusammen mit dem Wegfall der Armierung, kleinere Gewichte, eine massive Senkung der Kosten – ohne die geringste Qualitätseinbusse.

**Dätwyler**

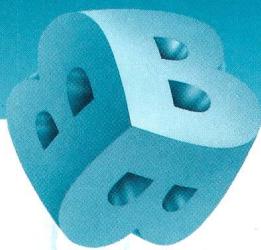
Gerne senden wir Ihnen ausführliche technische Unterlagen. Rufen Sie uns an: Unsere Fachleute beraten Sie kompetent.

Eine weitere  
Pionierleistung von

## Dätwyler

ein Unternehmen der Dätwyler Holding

**Dätwyler AG**  
Kabel und Systeme  
CH-6460 Altdorf, Telefon 044/4 11 22



# METRO

Die Unterflurstation

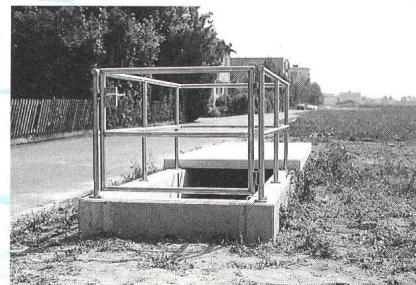
Mehlsecken

CH-6260 Reiden

Telefon 062 8120 20

Telefax 062 8129 38

- Sicherer Zugang
- Gute Belüftung



## F. Borner AG

Wieder einen Schritt voraus.

**NEUHEIT**



**Distanzschutz**

**Überstromschutz**

**Differentialschutz**

**Überwachungsrelais**

**Meßwertumformer**

zuverlässig und komfortabel geprüft mit der  
CMC-56 Prüfeinrichtung:

- ▲ Spannungen und Ströme **dreiphasig**
- ▲ Leistungsstark, universell:  
dieselbe Hardware für alle Anwendungen
- ▲ Portabel: Gewicht **nur 15 kg!**
- ▲ Höchste Genauigkeit: < 0,1% Fehler
- ▲ Komfortable Bedienung:  
bewährte Software vom Experten

Prüfen von Distanzrelais am Einbauort:  
Individuelles Einstellen aller Generatorgrößen, Vorgeben von  
Fehlerimpedanzen in der Impedanzebene, automatisches  
Aufnehmen von Staffelplänen und Anregekennlinien, ...

**OMICRON electronic**

D-8995 Sigmarszell, Postfach 36, Tel. (08388) 1010  
A-6845 Hohenems, Ang.-Kauffm.-Str. 8, Tel. (05576) 4010