



Rationelle Stromanwendung in der Ziegelindustrie¹

Thomas Münzer, Ulrich Leis²

Zusammenfassung

Die Energieanwendungstechnik in der Ziegelindustrie ist geprägt durch den Einsatz von Brennstoffen zur Bereitstellung von Prozesswärme für die Tunnelöfen und Trockner. Während im Brennstoffbereich ein Sinken des spezifischen Energieverbrauchs festzustellen ist, steigt der spezifische elektrische Energieverbrauch an. Insgesamt haben die Energiekosten einen Anteil von etwa 10 % an den Produktionskosten.

Im wesentlichen sind Stromeinsparungen in bestehenden Werken durch eine Verbesserung der Regelung von Trockner und Tunnelofen, sowie durch automatische Qualitätskontrollen vor dem Brennen zu erzielen. Bei Kammertrocknern lässt sich der **Stromverbrauch ohne große Investitionskosten** durch einfache Umstellung der Regelung **um bis zu 20 % senken**. Eine Modernisierung der Trocknerregelung bei Durchlauf Trocknern amortisiert sich vielfach schon in ca. 1 – 2 Jahren.

Eine weitere Senkung des Stromverbrauchs ist durch die Durchführung vieler Einzelmaßnahmen kleineren Umfangs möglich.

1 Rationelle Stromnutzung ist möglich – Beispiel Trockner

Der Energieverbrauchsschwerpunkt in der Ziegelindustrie liegt eindeutig bei der Wärmeanwendung. Dies führt wiederholt dazu, dass der rationellen Stromanwendung trotz der spezifisch deutlich höheren Strompreisen gegenüber den Brennstoffpreisen im betrieblichen Alltag vielfach zu wenig Beachtung geschenkt wird.

Die universell einsetzbare elektrische Energie findet Anwendung in allen Produktionsbereichen einer Ziegelei. Der größte Verbrauch ist bei Antrieben für Pumpen und Ventilato-

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

² beide MKL Ingenieurgesellschaft, München

ren sowie bei den übrigen Antriebsaggregaten festzustellen. Einsparungen im Bereich der elektrischen Energie sind primär durch die Vermeidung unnötigen Verbrauchs realisierbar.

Fallbeispiel: 20%-ige Stromverbrauchssenkung im Kammertrockner bei gleichzeitiger Kapazitätssteigerung

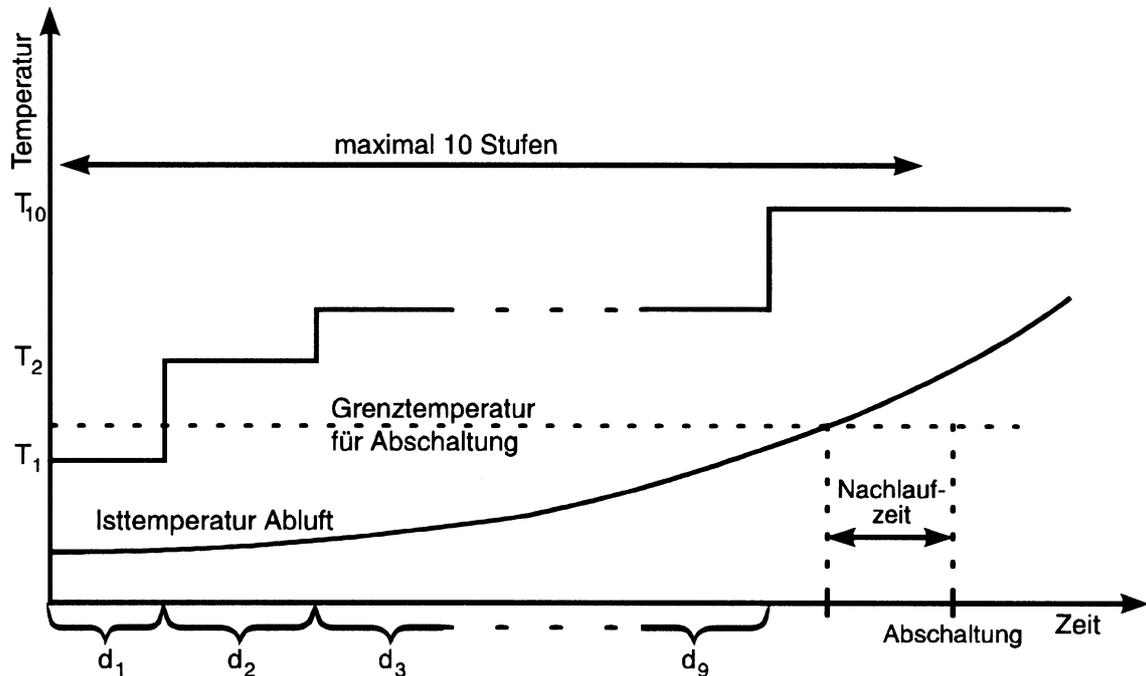
Der Stromverbrauch eines Kammertrockners ist durch den Betrieb der Umluft- und Abluftventilatoren bestimmt. Die Untersuchung des aus 9 Kammern bestehenden Trockners ergab, dass mit erheblichen, vermeidbaren Sicherheitszuschlägen gearbeitet wurde: Die Trocknersteuerung basierte auf einer Regelung der Zulufttemperatur in Verbindung mit Ziegelformat-abhängigen zeitgesteuerten Ablaufprogrammen. Um eine sichere Trocknung der verschiedenen Ziegelformate auch bei unterschiedlicher Rohlingsfeuchte zu gewährleisten, mussten die eingestellten Trockenzeiten mit hohen Sicherheitszuschlägen versehen werden.

Durch eine einfache Umstellung der Regelung konnten die Trockenzeiten um durchschnittlich ca. 20% verkürzt werden: Die Genauigkeit der Regelung der Zulufttemperatur wurde erhöht, was dann die Ermittlung und regelungstechnische Realisierung optimaler, Format-spezifischer Trockenkurven und Abschaltkriterien ermöglicht.

Zudem ließen sich durch diese Maßnahmen die Laufzeiten der Lüfter entsprechend verringern und damit auch der Stromverbrauch erheblich senken. Da die abgeschalteten Kammern in den Leerzeiten naturgemäß nicht beheizt werden müssen kamen noch Einsparungen auf der Brennstoffseite hinzu.

Wesentlich für den Erfolg der Maßnahmen war die Definition eines meßbaren Abschaltkriteriums (Trocken-Kriterium): Bei konstanter Zulufttemperatur ist die Höhe der Ablufttemperatur ein Maß für die Menge des momentan aus den Ziegelrohlingen verdampfenden Wassers. Je weniger Wasser verdunstet wird, d. h. je trockener die Ziegelrohlinge werden, desto höher steigt die Ablufttemperatur der Trockenkammer. Nach der Optimierung der Zulufttemperaturregelung konnten durch entsprechende Versuche im Betrieb für alle Ziegelformate Grenztemperaturen festgelegt werden. Sobald diese erreicht werden, erfolgt nunmehr automatisch das Abschalten der entsprechenden Trockenkammer (Abbildung 1). Der nunmehr ca. 2-jährige Betrieb zeigt, dass trotz erheblicher Verkürzung der Trockenzeiten optimale Trockenergebnisse erzielt werden.

Abbildung 1: Regelung eines Kammertrockners und Abschaltkriterium



2 Technische und betriebswirtschaftliche Potentiale

Die Möglichkeiten der rationellen Stromanwendung sind in Betrieben der Ziegelindustrie zumeist nur durch betriebsspezifische Ist-Zustands-Analysen zu identifizieren. Tabelle 1 zeigt das Beispiel einer elektrische Energiebilanz einer Ziegelei.

Tabelle 1: Elektrische Energiebilanz eines Ziegelwerkes

| Produktionsbereich | Strombedarf in % |
|---|---------------------|
| Aufbereitung des Rohmaterials und Transport | 13,6 |
| Walzwerk | 14,6 |
| Formgebung | 27 |
| Setzanlage | 2,8 |
| Trocknen | 18 |
| Brennen | 18 |
| Entladung | 3 |
| Verpackung | 3 |

Quelle: Fraschini, 1992

Einsparpotentiale durch Energiemanagement

Die Einrichtung eines Energiemanagementsystems ermöglicht eine objektive Kontrolle der Energieverbräuche und schafft die Basis für eine Zuordnung der Verbrauchsdaten zu den einzelnen Produktionsbereichen. Diese Informationen erleichtern das Aufspüren von Einsparpotentialen erheblich (Tönsing, 1996a). Darauf aufbauend kann unter Umständen die Überwachung der Spitzenlast und im nächsten Schritt die Einrichtung eines Lastmanagements erfolgen. Durch das Lastmanagement ist – bei im 24-Stunden-Verlauf schwankendem Strombezug – eine Verringerung der betrieblichen Leistungsspitze möglich, was teilweise zu erheblichen Einsparungen beim Leistungspreis führen kann. Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit eines Lastmanagements ist das Vorhandensein von Verbrauchern, die kurzfristig abgeschaltet werden können, ohne dadurch den Produktionsablauf negativ zu beeinflussen. Derartige Verbraucher sind in Ziegeleien z. B. im Bereich der Rohstoffaufbereitung zu finden.

Einsparungen durch Instandhaltung

Durch die regelmäßigen Kontrolle, Wartung und Instandhaltung der elektrischen und mechanischen Betriebsmittel lässt sich unnötiger Mehrverbrauch infolge von Verschleiß oder Defekten vermeiden. Auch in diesem Bereich bietet ein Energiemanagementsystem die Möglichkeit, durch die Überwachung verbrauchserhöhende Effekte frühzeitig zu erkennen und zu lokalisieren.

Einsparungen beim Trockner

Die wesentlichen Stromverbraucher beim Trocknen der Ziegelrohlinge sind die Zuluft-, Umluft- und Abluftventilatoren. Bei bestehenden Trocknern ergeben sich Einsparpotentiale auf Seiten der elektrischen Energie primär im Bereich verbesserter Regelungen. Ein typisches Beispiel hierfür ist im obigen Fallbeispiel ausgeführt.

Der Energieverbrauch des Trockners wird entscheidend vom Feuchtegehalt der Formlinge bestimmt. Durch den Einsatz einer Feuchterege lung im Bereich der Aufbereitung und Formgebung lassen sich unnötige Feuchtezugaben und somit unnötiger Dampfverbrauch sowie unnötiger zusätzlicher Verbrauch im Trockner vermeiden. Als bewährte Meßwertaufnehmer können hierbei Stromwandler, optische Messgeräte oder Plastometer eingesetzt werden.

Bei *Kammertrocknern* stehen die Format-abhängigen Trocken-Kurven sowie das Finden zuverlässiger Trocken-Endkriterien im Vordergrund. Vielfach erfolgt die Steuerung und das Beenden des Trockenvorgangs einzig über die Temperaturen in den Kammern. In Abhängigkeit vom jeweiligen Trockner und dem eingesetzten Rohstoff kann – insbesondere bei empfindlichen Materialien mit hoher Trockenschwindigkeit – eine Regelung mittels Temperatur- und Feuchtemessung von Vorteil sein.

Bei *Durchlaufrocknern* ist bislang die zonenweise Zuweisung fester Sollwerte für Temperatur und/oder Feuchte üblich. Bei entsprechender Reglereinstellung und gleichbleibender Schubrate erfährt der Formling auf seiner Trocknerreise einen Klimaverlauf, der mit dem einer Trockenkammer nahezu identisch ist. Eine gleichmäßige Schubrate ist jedoch z. B. aufgrund von Störungen der Pressen oder der Transporteinrichtungen in keinem Ziegelwerk zu erreichen. Um unter diesen Bedingungen eine optimale Trockenkurve zu erreichen, ist eine Regelung erforderlich, die zonenweise die Sollwerte des Trockners an die schwankenden Einschubraten anpasst. Dadurch sind Kapazitätserhöhungen von ca. 5 % zu erzielen. Der spezifische Energieverbrauch pro kg getrockneter Ware sinkt stromseitig um ca. 5 %, brennstoffseitig sind durch eine zusätzliche Anpassung der Temperaturen sogar noch höhere Einsparungen möglich.

Eine derartige Modernisierung der Trocknerregelung amortisiert sich vielfach in ca. 1-2 Jahren.

Neben der Optimierung bestehender Trockner ist die Auswahl des *Trockenverfahrens bei Neuinvestitionen* wesentlich für den Verbrauch an elektrischer Energie. Die Auswahl eines Trockners wird von vielen Kriterien wie z. B. den Material- und Produktspezifika beeinflusst. Eine zusätzliche Berücksichtigung des Wärme- und des Stromverbrauches bei der Auswahl des Trocknertyps ist jedoch in jedem Falle zu empfehlen: Der Kassetten-Schnell-trockner benötigt beispielsweise für den Trockenvorgang lediglich 5 – 7 kWh_{el} pro t getrocknetem Material. Gegenüber den derzeit üblichen Verfahren bedeutet dies eine Senkung des Stromverbrauchs um ca. 20%.

Einsparungen beim Tunnelofen

Im Bereich des Tunnelofens werden ca. 6 kWh elektrische Energie pro Tonne gebrannte Ware verbraucht. Einsparungen lassen sich hier primär durch kapazitätserhöhende Maßnahmen erzielen, die eine Senkung des spezifischen Stromverbrauchs bewirken können. Derartige Maßnahmen sind z. B. eine Optimierung der Brennkurven sowie eine Verbesserung der Ofenregelung. Durch eine entsprechende Brennzonenregelung können verschiedene Brennkurven gleichzeitig in einem Tunnelofen gefahren werden, was den Formatwechsel beschleunigt und damit auch die Ofenkapazität erhöht.

Einsparungen durch automatische Qualitätskontrolle vor dem Brennen

Eine automatische Qualitätskontrolle vor dem Brennvorgang verringert die Ausschussquote, vermeidet damit präventiv unnötigen Energieverbrauch für das Brennen und verringert den Rohstoffverbrauch, da das Material der aussortierten Rohlinge ohne aufwendige Verfahren wieder dem Prozess zugeführt werden kann. Mögliche Qualitäts-Messverfahren sind hierbei die optische Oberflächen- und Falzprüfung, die Prüfung auf Farbabweichung, die Klangprüfung zur Detektion von Kühlrissen sowie die Flügeligkeits- und Verkrümmungsmessung. Die erzielbaren Einsparungen sind stark abhängig von der Ausschussquote des jeweiligen Ziegelwerkes.

Einsparungen bei elektrischen Antrieben

Insbesondere im Bereich der Walzwerke sind in Ziegeleien hohe Antriebsleistungen erforderlich. Einsparungen lassen sich hier durch die Vermeidung von Überdimensionierungen sowie den Einsatz moderner Walzen erreichen.

Im Bereich der Formgebung stehen möglichen Stromeinsparungen vielfach Qualitätsanforderungen entgegen, die den Einsatz längerer Mundstücke nach sich ziehen, was wiederum tendenziell einen steigenden Stromverbrauch nach sich zieht.

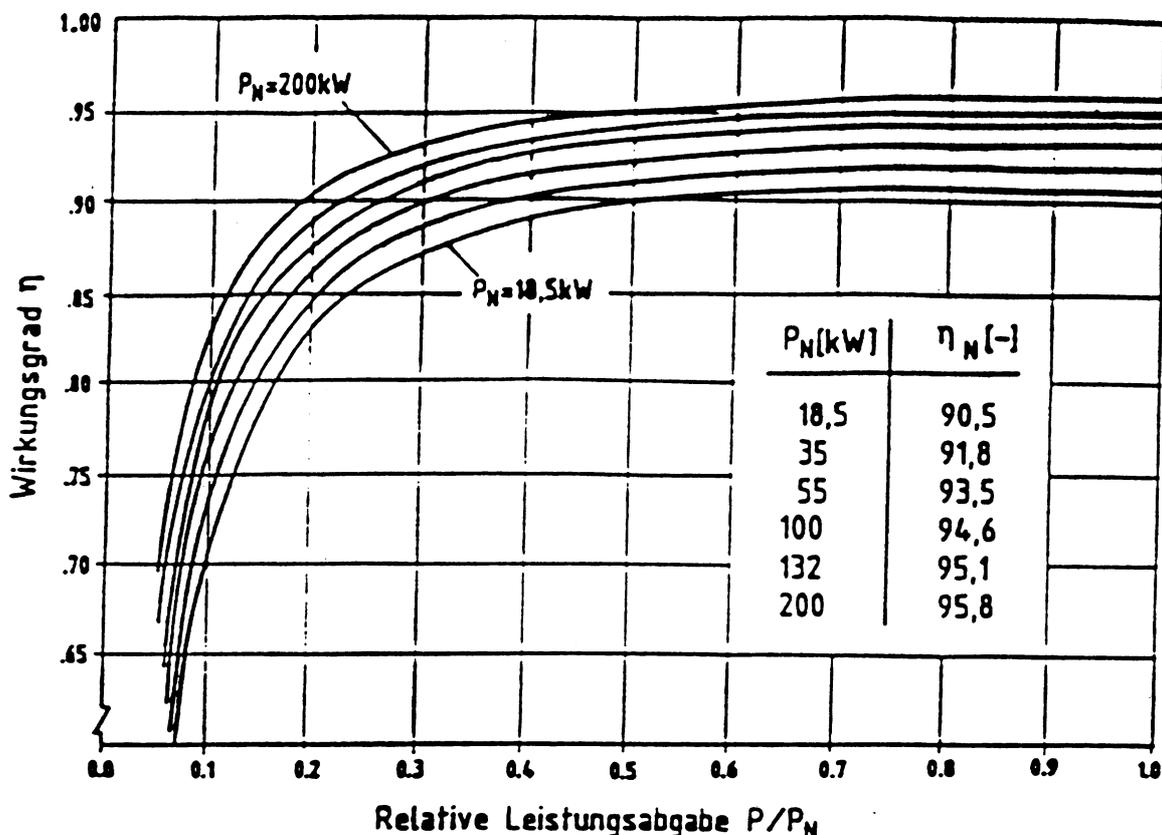
Die Energieoptimierung im Bereich der Antriebe ist durch einzelne Maßnahmen unter Berücksichtigung der Gesamtanlage vorzunehmen. Die Anpassung der Antriebe an den tatsächlichen Bedarf steht dabei im Vordergrund (Landwehr, 1996). Durch den Einsatz von Frequenzumrichtern zur Drehzahlsteuerung kann der Anlagenbetrieb im Hinblick auf die Auslastung flexibel und energiesparender gestaltet werden.

Über den gesamten Leistungsbereich von 1 bis 500 kW ist bei elektrischen Antrieben häufig eine Überdimensionierung der Antriebe anzutreffen. Eine Anpassung an den tatsächlichen Bedarf erhöht den Wirkungsgrad und den Leistungsfaktor und senkt somit den Strombedarf.

Im Abbildung 2 sind in Abhängigkeit von der relativen Belastung die Wirkungsgrade von vierpoligen Normmotoren mit Bemessungsleistungen von 18,5 kW bis 200 kW gezeigt. Im Bereich halber und voller Last ist der Wirkungsgrad nahezu unverändert. Der Austausch eines nur teilweise ausgenutzten Motors kann wirtschaftlich erst ab einer Belastung unter ca. 50 % erfolgen. Zumeist ist der Austausch bestehender Antriebe erst im Zuge einer ohnehin erforderlichen Ersatzinvestition wirtschaftlich. Insbesondere durch Messungen an bestehenden Aggregaten kann deren Auslastung und damit die erforderliche Leistung eines Ersatzantriebes vorab exakt bestimmt werden. Bei der Durchführung von ohnehin erforderlichen Ersatzinvestitionen können dann neben langjährigen Einsparungen bei den Betriebskosten auch erhebliche Einsparungen auf der Investitionsseite erzielt werden.

Drehzahlveränderbare Antriebe bieten sich insbesondere für Antriebe an, die im Betriebsverlauf unterschiedlichen Auslastungen unterliegen, beispielsweise Pumpen und Ventilatoren. Anwendungsbedingt können damit z.T. erhebliche Mengen an elektrischer Energie eingespart werden.

Abbildung 2: Wirkungsgrade elektrischer Antriebe in Abhängigkeit von deren relativer Belastung



Quelle: FfE, München

Einsparungen bei der Druckluftherzeugung und -verteilung

Die bedarfsgerechte Auslegung des Druckluftleitungsnetzes hat entscheidenden Einfluss auf den Energieverbrauch der Anlage (Kreisel, 1996). Ein Verzicht auf unnötige Angstzuschläge in der Planung wirkt sich zumeist deutlich auf den Stromverbrauch aus. Auch eine regelmäßige Überprüfung des Druckluftsystems auf Undichtigkeiten sowie deren Beseitigung reduzieren den Stromverbrauch für die Bereitstellung der Druckluft.

Einsparungen durch Kraft-Wärme-Kopplung

Die Kraft-Wärme-Kopplung ist die klassische Maßnahme zur Verringerung des Primärenergieeinsatzes für die gekoppelte Erzeugung mechanischer und thermischer Energie (Suttor, 1996). D. h. durch den Einsatz einer Kraft-Wärme-Kopplung erfolgt keine Senkung des Strombedarfs, sondern vielmehr eine Optimierung des Gesamtwirkungsgrades der Energieerzeugung. Voraussetzung für den wirtschaftlichen Betrieb ist die zeitliche Korrelation des betrieblichen thermischen und elektrischen Energiebedarfs. Ein wirtschaftlicher Einsatz in Ziegeleien ist zumeist nur dann möglich und sinnvoll, wenn nach

der thermischen Optimierung des Wärmeverbundes von Ofen und Trockner noch eine ausreichende Wärmesenke (Trocknung) mit mindestens 3000 – 4000 Vollbenutzungsstunden pro Jahr zur Verfügung steht.

Für die Kraft-Wärme-Kopplung in Ziegeleien kommen primär Verbrennungskraftmaschinen (Otto-, Dieselmotoren sowie Gasturbinen) in Frage. Welcher Anlagentyp unter den Bedingungen des jeweiligen Betriebes der wirtschaftlichste ist, hängt von einer Reihe von Parametern ab, z. B.

- Investitionskosten
- Betriebskosten (Wartungskosten, ...)
- Strombezugskosten und Brennstoffkosten
- Benutzungsdauer
- gefordertes Temperaturniveau
- Verhältnis von Strom- und Wärmebedarf sowie deren zeitliche Korrelation.

Einsparungen bei sonstigen Verbrauchern

Beleuchtung

Die Beleuchtung der Produktionsräume beansprucht nur einen geringen Anteil des gesamten Stromverbrauchs. Durch eine tageslichtabhängige sowie bedarfsgerechte zeitliche Steuerung der Beleuchtungseinrichtungen kann der Stromverbrauch zusätzlich gesenkt werden (Tönsing, 1996b).

Kälteanlagen

Elektrisch betriebene Kälteanlagen werden vielfach zur Klimatisierung der Ofenwarte eingesetzt. Eine verbesserte Isolierung der Warten sowie der Einsatz von Isolierglas ermöglichen Strombedarfssenkungen in diesem Bereich.

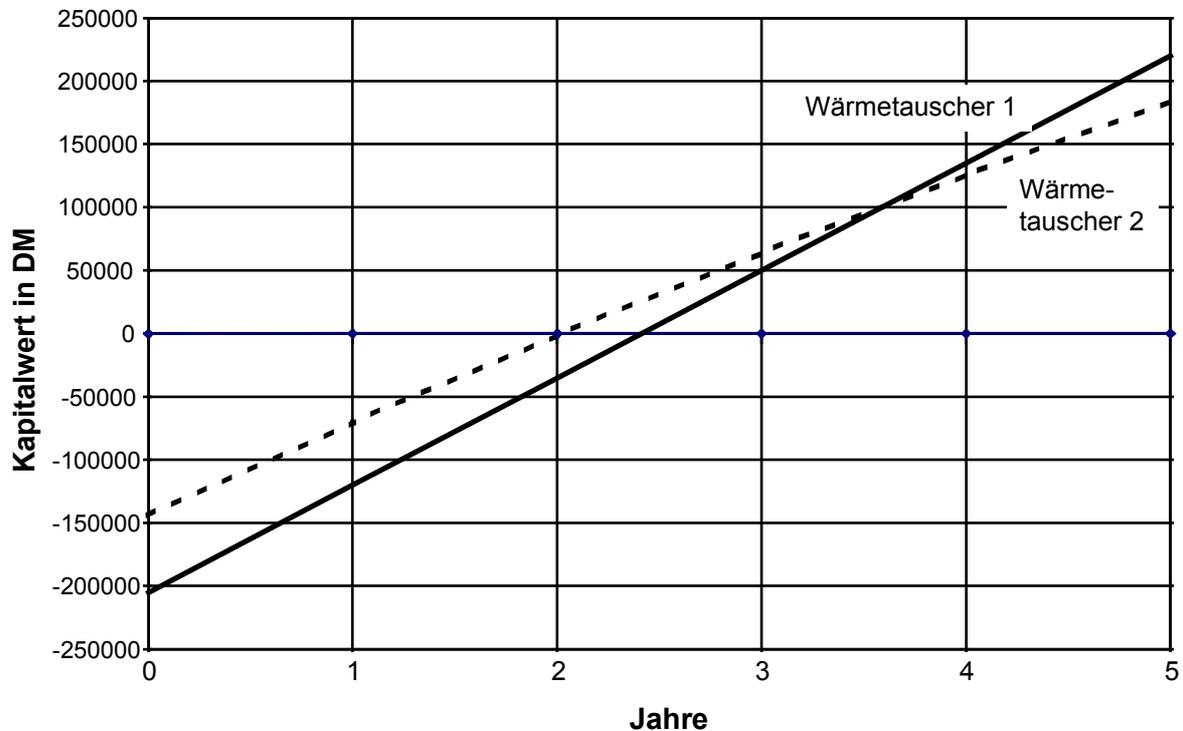
3 Umsetzung von Energiesparmaßnahmen

Geeignete Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die Verwendung der Amortisationszeit als Kriterium für Investitionsentscheidungen greift insbesondere im Bereich energietechnischer Investitionen zu kurz, da der Vermögensaspekt hierbei nicht erfasst wird.

Abbildung 3 zeigt dies am Beispiel zweier Alternativen für Rauchgaswärmetauscher einer Ziegelei: Wärmetauscher 2 weist eine Amortisationszeit von 2 Jahren auf, während die Amortisationszeit von Wärmetauscher 1 bei ca. 2,5 Jahren liegt. Eine Entscheidung nach dem Kriterium Amortisationszeit bedeutet somit die Entscheidung für Wärmetauscher 2. Die in Abbildung 3 ablesbaren kumulierten Kosteneinsparungen mit der Installation von Wärmetauscher 1 liegen jedoch ab dem vierten Betriebsjahr wesentlich höher als die von Wärmetauscher 2 (bei einem Kalkulationszins von 6%). Die wirtschaftlich vorteilhaftere Entscheidung ist somit die für Wärmetauscher 1, insbesondere unter Berücksichtigung einer zu erwartenden Nutzungsdauer von über 10 Jahren.

Abbildung 3: Vergleich der kumulierten Kosteneinsparungen zweier Wärmetauscher, Kalkulationszinssatz 6 % (Beispiel aus der Beratungspraxis der MKL-Ingenieurgesellschaft)



Das Beispiel zeigt deutlich die Vorteile der Kapitalwertmethode bei langfristigen Investitionsentscheidungen, wie sie im Bereich der Energietechnik zumeist vorliegen.

Verfügbarkeit von Know-how

Die Optimierung des Strombedarfs einer Ziegelei erfordert umfangreiches energietechnisches und verfahrenstechnisches Know-how. Geeignetes Fachpersonal ist in der überwiegend mittelständisch strukturierten Branche zumeist intern nicht verfügbar. Der Einsatz externer Dienstleister ist daher vielfach anzuraten. Der Bund fördert die **Energieeinsparberatungen** kleinerer und mittlerer Unternehmen mit öffentlichen Geldern [LGA 1994].

An wen soll man sich aber wenden, wenn eine externe, herstellernerneutrale Beratung als sinnvoll erscheint? Einige wesentliche Beratungsvermittlungsinstitutionen sind in der Tabelle 3 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 3: 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

FfE: Wirkungsgrade von Antrieben – Energieanwendungstechnik. TU-München: Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik 1030/86, München 1986

Fraschini, G: Kraft-Wärme-Kopplung – eine rationelle Alternative für die Ziegelindustrie. ZI Nr. 11 1992 S. 581ff

Händle, F.: Neue Herausforderungen für die Ziegelindustrie. ZI Nr. 7-8 1995 S. 515ff

Hien, J.: Dynamische Trockenkurve beim Durchlauftrockner. Keramische Zeitschrift Nr. 1 1995 S. 20ff

Kreisel, K.; Jochem, E.: *Druckluft rationell erzeugen und nutzen*. Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom", Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1996

Landesgewerbeamt Baden-Württemberg – Informationszentrum Energie: Maßnahmen zur Energieeinsparung – Fördermöglichkeiten, 1994

Landwehr, M.: *Stromsparen bei elektrischen Antrieben*. Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom", Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1996

Münzer, Leis (MKL-Ingenieurgesellschaft, München). Interne Daten aus verschiedenen Projekten in der Ziegelindustrie

o.N.: Ziegelwerk betreibt aktiven Umweltschutz durch Schnellbrand und Flugasche-Verwertung. Keramische Zeitschrift Nr. 3 1993 S. 160ff

o.N.: Innovative Technik im neuen Ziegelwerk Eichhorn. ZI Nr. 10 1995 S. 804ff

Rimpel, E.: Energiebedarf und CO₂-Minimierung. ZI Nr. 5 1992 S. 249ff

Rotzsch, C.: Einsatz von Feuchte-Regelanlagen in Aufbereitung und Formgebung. Keramische Zeitschrift Nr. 3 1993 S. 139ff

Suttor, W.; Jochem, E.: *Blockheizkraftwerke (BHKW) – Eine Möglichkeit zur Minderung von Energiekosten*. Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom", Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1996

Thater, H.: Anforderungen an eine moderne Trockentechnik in der Ziegelindustrie. ZI Nr. 11 1994 S. 802ff

Tönsing, E.: *Energiekostenreduzierung durch betriebliches Energiemanagement*. Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom", Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1996a

Tönsing, E.: *Stromsparende Beleuchtungssysteme – mehr Licht für weniger Kosten*. Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom", Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1996b

Vocht-Miells, R.: Die keramische Technologie. *Keramische Zeitschrift* Nr. 1 1994 S. 16ff

Wagner, J.: Automatische Qualitäts-Kontroll-Systeme für die Dachziegelindustrie. *Keramische Zeitschrift* Nr. 6 1995 S. 468ff