



Rationelle Anwendung von Strom in der Textilindustrie¹

Hans Karl Rouette², Ekkehard Tönsing³

Zusammenfassung

Strom wird in der Textilindustrie als sehr flexibler Energieträger geschätzt. Web- und Spinn-Maschinen sind mit relativ geringem Aufwand installierbar, weil sie nur eine Versorgung mit Strom und Druckluft benötigen. Wenn in der Textilveredlung die aufwendigen Dampfzuführleitungen vermieden werden können, weil die Maschine elektrisch und nicht durch Dampf beheizt würde, sind große Einsparungen bei den Investitionen möglich, da die Installationskosten bei einer Textilveredlungsmaschine zusätzlich ca. 1/3 der Maschinenkosten betragen.

Sehr rentabel sind organisatorische Maßnahmen zur Reduzierung der Stromkosten und des Strombedarfs. Hierzu zählt an erster Stelle die Vergleichmäßigung des Strombedarfs, z. B. durch geeignete Koordinierung der An- und Abfahrzeiten der Maschinen. Es sind **Amortisationszeiten von unter einem Jahr** bzw. Rentabilitäten von weit mehr als 20 % erreichbar.

Als technische Möglichkeiten zur Stromeinsparung kommen Effizienzverbesserungen bei den Antrieben der Textilmaschinen, im Bereich der Pumpen und bei der Lüftung in Frage. Neuinvestitionen oder die Nachrüstung bestehender Anlagen können sich in zwei bis drei Jahren amortisieren.

Aber auch durch vermehrten Stromeinsatz lässt sich Primärenergie einsparen. Genannt seien hier elektrische Trocknungsverfahren, die zusätzlich die Qualität der Textilprodukte verbessern können.

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

² Fachhochschule Niederrhein, Mönchengladbach

³ Fraunhofer-Institut Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe

Allgemeine Gesichtspunkte

In Baden-Württemberg gibt es heute etwa 400 Textilbetriebe [Statistisches Landesamt 1995]. Der Energieverbrauch dieser Betriebe belief sich auf ca. 760 GWh/a Strom und ca. 2200 GWh/a Brennstoffe. Der Anteil der Energiekosten in der Textilindustrie an den Produktionskosten betrug 3,0 % (in der Textilveredelung sogar 5,0 %), so dass höhere oder niedrigere Energiekosten durchaus einen Einfluss auf das jeweilige Betriebsergebnis haben können.

In den letzten 20 Jahren ist in der Textilindustrie ein Rückgang des spezifischen Brennstoffverbrauchs (für Trocknung, Flottenaufheizung, Färben, Thermoisolieren, Kondensieren, Lösemitteldestillation, ...) zu verzeichnen, während der spezifische Stromverbrauch nur unwesentlich gesunken ist. Gründe sind der vermehrte Stromeinsatz zu Trocknungszwecken und die steigende Automatisierung.

Strom wird im Bereich der Textilindustrie im wesentlichen zur Veredelung oder als Antriebsenergie insbesondere in den mechanischen Produktionsstufen eingesetzt. Im Rahmen einer sinnvollen und effizienten Stromnutzung sind dabei sowohl ökonomische als auch ökologische Erfolge anzustreben. Meist sind beide Betrachtungsweisen miteinander verknüpft und es werden gleichzeitig Kosten und Ressourcen eingespart.

Berücksichtigt man, dass ein Großteil Textilveredlungsmaschinen – zumal im Schichtbetrieb – als Großstromverbraucher häufigen An- und Abfahrzyklen unterworfen sind, so besteht bei nicht koordinierter Fahrweise aller Maschinen leicht die Gefahr von Stromverbrauchsspitzen. Diese Lastspitzen bestimmen den zu zahlenden Leistungspreis [Tönsing 1996], so dass die Stromrechnung bei nicht regeltem Stromverbrauch hoch ausfällt. Eine Vergleichmäßigung des Lastverlaufs (durch geeignete Koordinierung der An- und Abfahrzeiten bzw. durch Lastmanagement-Systeme) reduziert die Stromkosten. Da insbesondere organisatorische Maßnahmen nur geringe finanzielle Mittel erfordern, kann sich abhängig von den Gegebenheiten ein Vermeiden von Lastspitzen in weniger als einem Jahr amortisieren.

Vermehrter Stromeinsatz im Textilbetrieb zum Trocknen (IR oder HF), für chemische Reaktionen (Plasma; Beflocken) oder andere Veredelungsprozesse kann ökologische Vorteile aufgrund vermindertem Primärenergiebedarfs und wirtschaftliche Vorteile gegenüber Verbrennungsprozessen (zur Dampferzeugung, zur Wärmeenergienutzung in Öl-befeuerten Trocknern, in Textilveredelungsprozessen mit Anwendung von Aktivierungsenergie) bedeuten und die Qualität des Endprodukts verbessern.

Stromeinsparung in mechanischen Produktionsstufen (Spinnerei, Weberei, Wirkerei, Strickerei)

Hauptsächliche Energieanwendung sind der Antrieb von Maschinen (insbesondere Spinn- und Webmaschinen) und die Klimatisierung. Im Bereich der Antriebe bieten sich zwei grundsätzliche Möglichkeiten der Stromeinsparung an [Landwehr 1996]:

- Der Einsatz von energieeffizienteren Bauteilen im Antriebskonzept
- Der bessere Zuschnitt des Elektromotors auf die jeweilige Anwendung durch eine Systembetrachtung des gesamten Antriebs; hier liegen zahlreiche Möglichkeiten zu kostengünstigen, wirtschaftlichen Stromeinsparmöglichkeiten (z. B. Einsatz hocheffizienter Elektromotoren, ...).

Bei der Klimatisierung in der Textilindustrie gibt es neben der Antrieboptimierung (vgl. auch das Fallbeispiel Spinnerei) noch die Möglichkeit, eine Zonen- oder Direktklimatisierung einzelner Webmaschinen mit angepasster Luftfeuchtigkeit durchzuführen und damit auf eine einheitliche Klimaführung in den Websälen zu verzichten.

Fallbeispiel: Spinnerei [RAVEL 1994]

Im Rahmen des Reinvestitionszyklus galt es, in der Kämmerei-Vorbereitung die Klimatisierung von zwei identischen Zonen zu erneuern. Die Lüftungsfirma schlug eine Lüftungsanlage mit variablem Volumenstrom vor, doch beim Unternehmen bestanden Vorbehalte. Die Anforderungen an die Klimatisierung in einer Spinnerei sind wegen der Gefahr des Fadenrisses sehr hoch. Die Temperaturen müssen sich konstant zwischen 25 und 26 Grad Celsius, die Luftfeuchtigkeit zwischen 48 und 50 % bewegen. Um einen Vergleich zu haben, schlug die Lüftungsfirma vor, die eine Zone mit einer Lüftungsanlage mit konstantem Volumenstrom und die andere mit variablem Volumenstrom auszurüsten. Zusätzlich bot die Lüftungsfirma an, den etwa 40.000 DM teuren Frequenzumformer für die Anlage mit variabler Luftmengensteuerung vorerst kostenlos zu installieren. Erst wenn der Kunde zufrieden und die maßgebliche Reduktion des Stromverbrauchs erwiesen wäre, sollte sich dieser finanziell beteiligen. Nach eineinhalbjährigem Probetrieb zeigte sich eine jährliche Stromeinsparung gegenüber der Lüftungsanlage mit konstantem Volumenstrom von 80.000 kWh, so dass sich die energieeffizientere Lüftungsanlage in drei Jahren amortisierte (bei einer Lebensdauer von 15 Jahren entspricht dies einer internen Verzinsung von 33 %). Die Beteiligung der Lüftungsfirma am finanziellen Risiko erleichterte dem Textilunternehmen die Entscheidung zugunsten des stromoptimierten Systems. Vom fortschrittlichen Finanzierungsmodell konnten beide Firmen profitieren.

Stromeinsparung im Bereich der Textilveredlung

Textilveredlung, d. h. Entschlichten, Mercerisieren, Färben oder Ausrüsten, geschieht in wässriger Flotte, die durch Pumpenleistung an das Fasersubstrat herangeführt werden muss. Dazu sind Axialpumpen mit sehr steiler Pumpenkennlinie für hohe Leistungen ebenso in Gebrauch wie Zentrifugalpumpen mit flacherer Pumpenkennlinie. Der Arbeitspunkt der Pumpenkennlinie ist aber wesentlich vom zu durchströmenden, quellbaren Textilgut und den jeweils verwendeten Apparaturen und Rohrleitungen abhängig. Ein stufenloses Verstellen der Elektromotoren ist deshalb zum optimalen Fahren der Pumpe im Sinne der Stromkostensparnis in vielen Fällen unbedingt erforderlich. Heutige Drehstrommotoren, die bürstenfrei laufen, können leicht frequenzgesteuert werden

und lassen sich in ihrer Leistungsaufnahme somit optimal an die Prozessanforderungen anpassen.

Eine typische Arbeitsweise beim Einsatz von Pumpen ist die rhythmische Umkehrung der Flottenströmungsrichtung. Bei Axialpumpen geschieht dies durch Anhalten der Motordrehzahl und Umpolung der Drehrichtung. Die nötige Anfahrlleistung zum Bewegen der Flotte in die entgegengesetzte Richtung bringt leicht Stromspitzen und damit Strommehrkosten. Beim Einsatz von Zentrifugalpumpen sind zur Flottenumsteuerung ein aufwendiges Rohrsystem und Schieberarbeit erforderlich, was zu mehr Flotte im Apparat und damit zu einer höheren Abwassermenge führt. Eine technische Neuerung stellt die Axialpumpe mit verstellbaren Propellerflügeln dar. Die Pumpe läuft in eine Richtung durch ohne Halt; die Flottenumkehr erfolgt durch kontinuierliches Verschränken der Propellerflügel ohne Halt, so dass die Stromspitze durch die Anfahrlleistung bzw. der zugehörige Spitzenstromverbrauch gespart wird.

Fallbeispiel: Spanntrockenrahmen [Schlüter 1997]

In einem Textilveredlungsbetrieb wurde die zum Trocknen der Ware in einem Spanntrockenrahmen benötigte Luft durch Ventilatoren im Umluftstrom über dampfbeheizte Rippenrohrheizkörper geführt und auf 120 °C erwärmt. Der im Trocknungsprozess entstehende Wasserdampf wurde über einen Ventilator abgesaugt und über Dach nach außen geblasen.

Um Energie einzusparen, den spezifischen Warendurchsatz zu optimieren sowie Heißluftaustritt in die Produktionshalle bzw. Ansaugen von unverhältnismäßig großen Luftmengen aus der Produktionshalle zu vermeiden, wurden folgende Maßnahmen durchgeführt: Grundlegende Änderung der Zu- und Abluftführung, Wärmetauscher im Abluftstrom, stetig einstellbare Umluftmengen und Innendruckregelung im Rahmen. mittels drehzahlgeregeltem Abluftventilator. Aufgrund des Wärmetauschers wurde deutlich Energie zur Aufheizung der Zuluft in den Spanntrockenrahmen eingespart. Zusätzlich wurden die Antriebe der Umluftventilatoren auf Frequenzumrichterspeisung umgerüstet, so dass eine Regelung der Umluftmenge in Abhängigkeit der geforderten Restfeuchte und der gewünschten Warengeschwindigkeit möglich war.

Durch die Nachrüstung und Optimierung der Anlage konnte der Energieeinsatz deutlich gesenkt und der spezifische Warendurchsatz gesteigert werden. Die Investitionen amortisierten sich innerhalb von 2 Jahren bzw. brachten eine interne Verzinsung von mehr als 35 %. Außerdem wurde der Trocknungsprozess und damit die Produktqualität verbessert.

Fallbeispiel: Textildruckmaschinen [Hässig 1992]

Im grössten Schweizer Textilveredelungsbetrieb (rund 500 Mitarbeiter, jährlich ca. 8.7 Mio Laufmeter, Verarbeitung von Kleider- und Wäschestoffen sowie Heimtextilien und diversen Stoffen auf Werkvertragsbasis, jährlicher Umsatz ca. 68 Mio Franken) wurde eine Gesamtenergiebetrachtung vorgenommen. Dieser Textilveredelungsbetrieb konzentrierte sich auf den coloristisch und technisch anspruchsvollen, qualitativ hochstehenden Textildruck. Entsprechend waren die einzelnen Aufträge teilweise sehr klein.

Die durchgeführten Untersuchungen ergaben zwei Ansätze zur Realisierung von Sparpotentialen: Mit betrieblichen bzw. mit technischen Massnahmen. Zu den betrieblichen Massnahmen gehörten schaltungstechnische und organisatorische Vorkehrungen, die i. d. R. ohne oder mit sehr kleinen finanziellen Investitionen realisierbar waren:

- Trocknerbetriebszeiten von Hand optimaler den Notwendigkeiten anpassen. Maximal 4 Minuten vorheizen. Sofort nach Auslauf des Stoffes wieder ausschalten. Bei kurzen Resten eventuell schon vorzeitig ausschalten. Geschätzte Einsparung: Ca. 10% oder 0,6 kWh pro Schichtstunde und Ventilator. Für den ganzen Trockner: 1,25 kWh pro Schichtstunde (plus ca. 10% Einsparung beim Dampfverbrauch).
- Für viele Anwendungen (kleiner Feuchtigkeitsgehalt, kleine Geschwindigkeiten) reichte der Betrieb eines einzigen Umluftventilators aus.
- Bessere Instruktion des Personals bzw. bessere Überwachung der Anlagen

Technische Sparmassnahmen beinhalteten anlagentechnische Umbauten oder zu ändernde Neukonstruktionen:

- Nur ein Antrieb für beide Bürstenwalzen: Die beiden Bürstenwalzen liessen sich auch mit einem einzigen Antrieb genügend zuverlässig antreiben. Einsparungen von schätzungsweise 20% oder 0,13 kWh pro Schichtstunde durch einen besseren elektrischen und mechanischen Wirkungsgrad.
- Frequenzgeregelte Antriebe für die Trocknerventilatoren. Eine Leistungsanpassung im Trockner wäre nicht nur mit erheblichen Energieeinsparungen verbunden, sondern würde auch die Qualität verbessern. Das geschätzte Sparpotential betrug ca. 40 % oder ca. 4 kWh pro Schichtstunde.

Betriebliche Massnahmen standen für die untersuchte Firma klar im Vordergrund, da es sich überwiegend um Kleinauftragsfertigung handelte, so dass der Anteil an Nebenzeiten (Rüsten, Reinigen, Probeläufe) zu den eigentlichen Produktionszeiten sehr gross war. Der Hauptgrund für die gefundenen Sparpotentiale war, dass die Produktionsanlagen (Druckmaschinen) für eine kontinuierliche Produktion optimiert waren und weniger für ständige Umstellungen und Wechsel.

Steuerschranke an Textilveredlungsmaschinen sind aufwendig, und die frühere Relais-technik oder die heute übliche SPS-Steuerung brauchen als elektropneumatische Steuerung gewisse Druckluftmengen. Dabei sollte insbesondere der Bereitstellung der Steuerluft besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Von der Firma Then ist auf der ITMA 1995 erstmals in Mailand als Quantensprung im Bereich der Schaltschranktechnik das LON-System (Local operating Network) vorgeführt worden. Dieses Konzept führt zu sehr kleinen Schaltschränken, kurze Informationswegen und vor allem zu Energieeinsparungen bezüglich des Eigenverbrauchs. Das LON-System kann jedoch nicht Stand der Technik werden, wenn nicht andere Maschinenbauer im Bereich der Textilveredlung in dieses neue System Entwicklungskosten investieren. Je mehr Anwender teilnehmen, um so billiger werden die Zulieferer, und um so eher wird die LON-Technik betriebsbereit (ca. im Jahre 2000).

Vermehrter Stromeinsatz zur Primärenergieeinsparung

Strom könnte in einem wesentlich stärkeren Maß in der Textilveredlung eingesetzt werden, wenn das Innovationspotential auf diesem Gebiet intensiver genutzt würde, um den Gesamtenergieverbrauch zu reduzieren.

Ein klassisches Beispiel für Kostenersparnis durch Einsatz von Strom am richtigen Ort war in den 80er Jahren die Umstellung der Garntrockner von Konvektionstrocknung mit Heißluft auf die Hochfrequenz-Trocknung. Vorteil der Hochfrequenz-Trocknung ist die Selbstregulierung der Trocknung, da eine Garnspule nur so lange Strom aufnimmt, wie Feuchtigkeit in ihr vorhanden ist. Heute ist der Markt für Hochfrequenzgarntrockner weltweit ziemlich gesättigt, weil die Ersparnisse beim elektrischen Trocknen zu weitreichenden Umstrukturierungen der Garntrockner geführt haben. Nach anfänglicher Skepsis hat sich diese Innovation auf breiter Basis erfolgreich durchgesetzt.

Die Zurückhaltung der Textilindustrie gegenüber Neuheiten wie in den 80er Jahren z. B. gegenüber der Hochfrequenz-trocknung zeigt sich aktuell gegenüber der Anwendung von Plasmaverfahren (Niedertemperaturplasma im Vakuum). Man könnte dann Nassveredlungsprozesse auf elektrische Veredlung umstellen und ein enormes Einsparpotential realisieren.

Ein weite Verbreitung hat die kostengünstige Anwendung von Gleich- oder Wechselstrom im Bereich der Beflockung gefunden. Die Fasern werden dabei durch elektrostatische Aufladung in Kleber auf ein Flächengebilde oder auf Garn geschossen. Es entsteht dabei ein hochmodischer Velour-Plüsch-Artikel, der auch für technische Artikel und im Verpackungssektor Anwendung findet.

Kraft-Wärme-Kopplung

Aufgrund des hohen Strom- und Wärmebedarf bietet sich in der Textilindustrie der Einsatz von KWK für die gekoppelte Erzeugung mechanischer und thermischer Energie [Suttor, 1996] an, um Energiekosten zu reduzieren und um Primärenergie einzusparen. Vorausset-

zung für den wirtschaftlichen Betrieb ist die zeitliche Korrelation des betrieblichen Wärme- und Strombedarfs bzw. der Einsatz von Wärmespeicher zur Erreichung einer Gleichmäßigkeit. Für die Kraft-Wärme-Kopplung kommen verschiedene Anlagentypen (Otto-, Dieselmotoren, Dampf- oder Gasturbinen) in Frage. Die Auswahl hängt von zahlreichen Parametern ab, z. B.

- Investitionskosten
- Betriebskosten
- Brennstoffkosten
- Benutzungsdauer
- gefordertes Temperaturniveau
- Verhältnis zwischen Strom- und Wärmebedarf.

Finanzierungsmöglichkeiten

Werden Maßnahmen zur effizienteren Stromnutzung geplant, so ist es in der Regel hilfreich, auch die Beratung durch einen neutralen Dritten zu erwägen. Eine Beratung von außen bringt häufig neue Erkenntnisse und Denkansätze im Bereich der Energiekosteneinsparung, speziell dann, wenn auch Spezialisten aus anderen Branchen zu Rate gezogen werden. Häufig ist nicht bekannt, dass **Energiesparberatungen** auch mit öffentlichen Geldern gefördert werden.

An wen soll man sich wenden, wenn eine externe, herstellerneutrale Beratung als sinnvoll erscheint? Einige wesentliche Beratungsvermittlungsinstitutionen 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 1 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>).

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 Deut-

sche 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.

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		

Literatur

Hässig, W.; Naef, R.: *Elektrizitätsbedarf von Textildruckmaschinen*. Bundesamt für Konjunkturfragen Bern, 1992

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.
- RAVEL: *11 Praxislehrstücke, wie Ausgaben für RAVEL zur gewinnbringenden Investition werden*. Bundesamt für Konjunkturfragen Bern, 1994
- Schlüter, D.; Thiel, B.: *Energetische Verfahrens- und Anlagenoptimierung ist effektiv*. Melliand Textilberichte (1997) 4, S. 254
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg: *Statistisches Taschenbuch Baden-Württemberg*. 1995
- 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
- Tönsing, E.: *Energiekostenreduzierung durch betriebliches Energiemanagement*. Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom", Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1996.