



Strom- und Brennstoffeinsparpotentiale in kleineren und mittleren Unternehmen des Metallverarbeitenden Gewerbes¹

Ulrich Elsenberger, Steffen Roß, Annette Köpken, Ekkehard Tönsing²

Zusammenfassung

Der vorliegende Artikel zeigt auf Basis aktueller Erfahrungen aus der Beratungspraxis wirtschaftlich attraktive Potentiale zur Strom- und Brennstoffeinsparung in kleinen und mittleren Betrieben des Metallverarbeitenden Gewerbes auf. Schwerpunkt ist die Beschreibung der bisher eher vernachlässigten Potentiale und Maßnahmen zur rationellen Verwendung von elektrischer Energie in den Anwendungsbereichen

- Antriebe,
- Druckluft und
- Beleuchtung.

Ohne große Investitionen können die Energiekosten mittels Lastmanagement verringert werden, so dass sich Energie-Kontrollsysteme in weniger als einem Jahr amortisieren können.

Im Bereich der elektrischen Antriebe, auf die rund 60 % des industriellen Stromverbrauchs entfällt, führen neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der Leistungselektronik, bessere Anpassung der Antriebe an den Nutzenergiebedarf, Einsatz von Umrichtern für den Teillastbetrieb sowie Abschaltmaßnahmen bei Überschreitung bestimmter Leerlaufzeiten zu effektiven Einsparungen von bis zu 70 %. Auch hier lassen sich Amortisationszeiten von 1 – 2 Jahren erreichen.

Bedingt durch die hohen Umwandlungsverluste bei der Druckluftbereitstellung von über 90 % bieten sich hier hohe Einsparpotentiale. Besonders effizient sind Maßnahmen bei

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

² Ulrich Elsenberger, Steffen Roß, Annette Köpken: IC Consult, Aachen
Ekkehard Tönsing: Fraunhofer-Institut Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe

Wartung und Instandhaltung der Druckluftversorgung, so dass Amortisationszeiten von weniger als 2 Jahren erreicht werden können.

In der Beleuchtung lassen sich oftmals besonders wirtschaftliche Energiesparmaßnahmen realisieren. Energiesparlampen, verlustarme Vorschaltgeräte sowie hochentwickelte Leuchten und Beleuchtungssysteme ermöglichen wirtschaftliche Stromeinsparungen von bis zu 60 %, die sich bei Ersatz- und Neuinvestitionen in 1 – 4 Jahren rentieren.

1 Strom- und Brennstoffeinsparungen erhöhen die Wettbewerbsfähigkeit

Im Metallverarbeitenden Gewerbe stellen Energiekosten eine erhebliche betriebswirtschaftliche Belastung dar, die letztendlich den betriebswirtschaftlichen Gewinn bzw. die Wettbewerbsfähigkeit mindert. Dies gilt insbesondere in kleinen und mittleren Betrieben. Aktuelle Reihenuntersuchungen in Nordrhein-Westfalen haben gezeigt, dass sich in kleineren und mittleren Betrieben bereits mit geringen Investitionen der Energieverbrauch um 5 – 15 % senken lässt [IC Consult, 1995]. Hier reicht oft schon der sachgerechte, energieoptimierte Betrieb der vorhandenen Geräte durch qualifiziertes Personal.

Bedingt durch die vielfältigen Einsatzbereiche der Energie im Metallverarbeitenden Gewerbe bestehen eine Vielzahl von Optionen zur rationellen Energieverwendung. Dabei sollte generell folgende Idealhierarchie der Maßnahmenumsetzung beachtet werden:

- Vermeidung unnötigen Verbrauchs (z.B. Reduzierung der Maschinenleerlaufzeiten, Verhinderung der Überheizung von Räumen)
- Senkung des spezifischen Nutzenergieverbrauchs durch:
 - Einsatz energetisch optimaler Technologien (z.B. mechanische statt thermische Stofftrennung, Verdampfen in Vakuum, Kleben statt Schweißen),
 - Wärmedämmung,
 - Energieoptimierte Materialwahl (z.B. Sekundärrohstoffverwendung von Eisenschrott, Glas und Aluminium (10 – 50 %-ige Energieeinsparung)),
 - Energiesparende Beleuchtung.
- Steigerung der energetischen Wirkungs- und Nutzungsgrade, indem die Auslegung der Anlagen und deren Betriebsweise angepasst wird (z.B. Steuer- und Regelungstechnik, bedarfsoptimierte Auslegung der Geräte, hohe Auslastung von Geräten bzw. Anlagen, geringe Leerbetriebs- und Pausenzeiten, Nutzung von Kraftwärmekopplung, Wärmetauschern und Wärmepumpen)

Ohne große Investitionen können die Energiekosten für die beanspruchte Leistung mittels Lastmanagement gesenkt werden.

Fallbeispiel: Lastmanagement in einem Metallverarbeitenden Betrieb
[RAVEL, 1994b]

Die Schweizer Firma Bernina Fritz Gegauf AG in Steckborn produziert Nähmaschinen. Dazu sind nicht nur mechanische Verarbeitungen nötig, sondern auch diverse elektrisch beheizte Bäder für die Oberflächenbehandlung und Reinigung der Teile. Mit Roboter hochautomatisierte Fertigungen existieren zusammen neben weitgehend manuell zu verrichtenden Arbeiten mit niedriger oder fehlender Automatisierung. Die Firma Bernina gibt pro Jahr ca. eine Million Franken für elektrische Energie aus.

Die Einführung eines Lastmanagement-Systems wurde in einer Studie geplant (Energieanalyse) und evaluiert. Die Investitionskosten für das System von ca. 100.000 Franken wurden **innerhalb eines Jahres amortisiert**. Schon die Reduktion der Leistungskosten um 50.000 Franken ist beträchtlich. Aber die doppelt so große Einsparung bei der elektrischen Arbeit war in dieser Größenordnung unerwartet (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Strom- und Energiekosteneinsparung durch Einführung eines Lastmanagements in einem Schweizer Metallverarbeitenden Betrieb

	Vor Einführung Lastmanagement		Nach Einführung Lastmanagement		Einsparung	
	Strom ca.	Kosten ca.	Strom ca.	Kosten ca.	Franken	%
Leistung	2,3 MW	300.000	1,9 MW	250.000	50.000	16,6
Arbeit	7 GWh	750.000	6 GWh	650.000	100.000	13,6
Insgesamt		1.050.000		900.000	150.000	14,6

2 Strom- und Brennstoffeinsparpotentiale in verschiedenen Anwendungsbereichen

Vor allem das vielfältige Spektrum wirtschaftlicher Stromsparmaßnahmen im Metallverarbeitenden Gewerbe ist bis heute wenig bekannt. Da der Strom zu rund 80 % für Kraft (inkl. Druckluftbereitstellung) und Licht benötigt wird, werden nachfolgend Maßnahmen zur Reduzierung des Strombedarfs für die Anwendungsbereiche elektrische Antriebe, Druckluftbereitstellung und Beleuchtung aufgezeigt.

2.1 Antriebe

Durchschnittlich 60 % des industriellen Stromverbrauchs entfällt auf die Umwandlung in mechanische Energie [ZVEI, 1992]. Dadurch ergibt sich für den Antriebsbereich ein hohes Potential für rentable Energiesparmaßnahmen [Landwehr, 1996]. Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der Leistungselektronik, verbunden mit einer stetigen Kostendegression

der Bauelemente, haben in den letzten Jahren maßgeblich dazu beigetragen, umfangreiche Einsparpotentiale wirtschaftlich zu erschließen. Diese Entwicklung wird sich aller Voraussicht nach auch in Zukunft noch weiter fortsetzen.

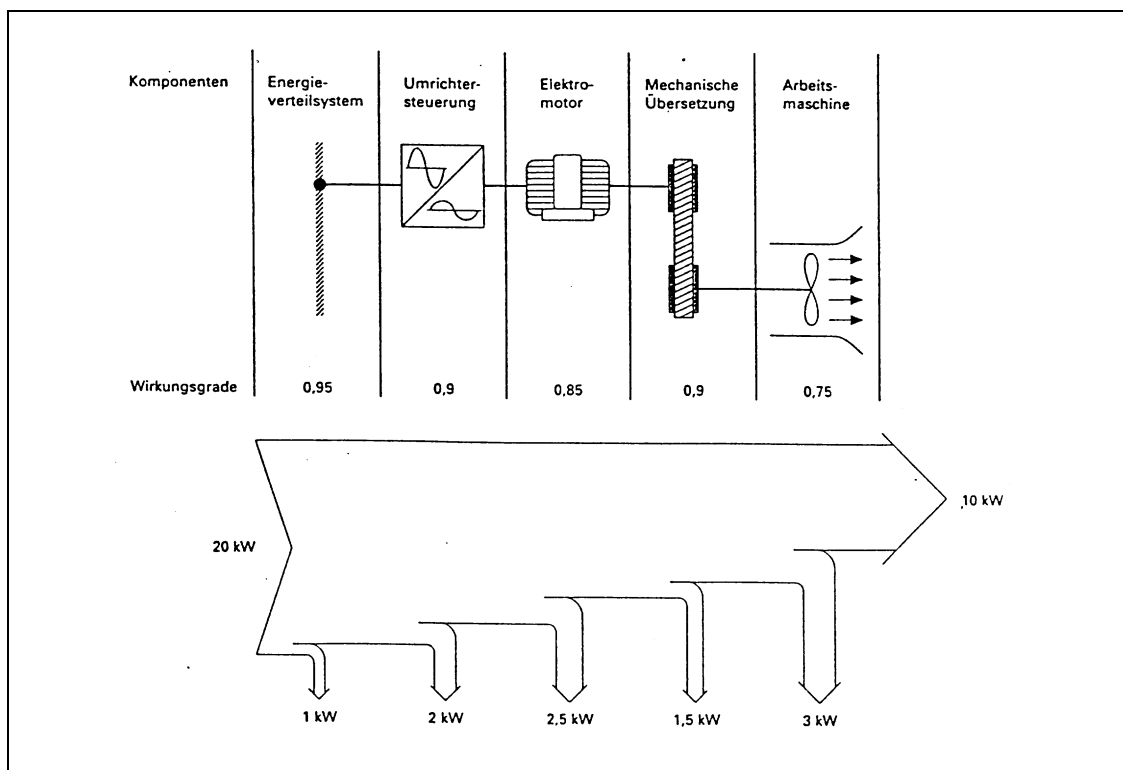
Fallbeispiel: Einsatz eines hocheffizienten Motors

[Bundesamt für Konjunkturfragen 1992]

In einem Betrieb wurde für die Druckluftversorgung ein 37 kW-Antrieb benötigt. Es standen ein Motor mit einem Wirkungsgrad von 90,4 % und ein energiesparender Motor mit 94 % Wirkungsgrad zur Auswahl. Bei einer Betriebszeit von 2.000 h/Jahr und einem Arbeitspreis von 15 Pf/kWh ergab sich für den energiesparenden Motor eine jährliche Strom-einsparung von ca. 3.150 kWh/Jahr bzw. eine Kostenersparnis von ca. 470 DM/Jahr, so dass sich die Mehrkosten des energiesparenden Motors von ca. 450 DM in weniger als einem Jahr amortisierten.

Der Gesamtwirkungsgrad wird von den Wirkungsgraden der einzelnen Komponenten bestimmt und ergibt sich bei Reihenschaltung der Komponenten durch Multiplikation der Einzelwirkungsgrade (Abbildung 1).

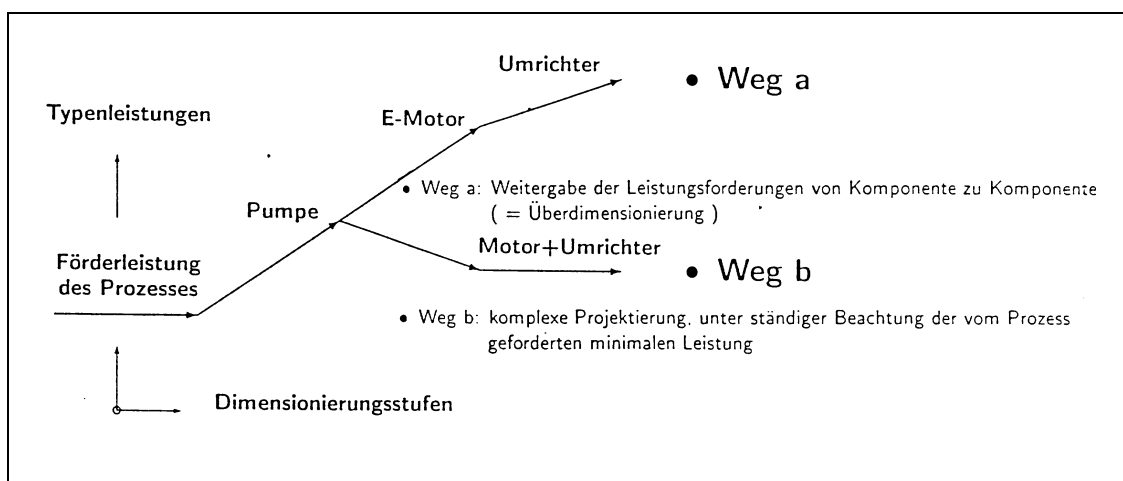
Abbildung 1: Komponenten eines typischen Antriebssystems



Quelle: Meyer, 1993

Mit der Optimierung des Gesamtwirkungsgrades sollte beim "schwächsten Glied der Kette", also der Teilkomponente, deren Wirkungsgrad die höchste relative Verbesserung verspricht, begonnen werden. Die Betrachtungsweise des Antriebssystems in seiner Gesamtheit muss entsprechend bei der Dimensionierung der Einzelkomponenten berücksichtigt werden. Denn eine isolierte Auslegung der Komponenten führt oft zu einer Überdimensionierung des Antriebes, da bei jeder Einzelkomponente Sicherheitszuschläge mit einberechnet werden. Diese "Angstzuschläge" führen dazu, dass die Komponenten oft in Teillast mit schlechtem Wirkungsgrad betrieben werden. Eine ganzheitliche Betrachtung spart hier Energie und vor allem auch Kosten. Abbildung 2 zeigt, wie durch eine gemeinsame Projektierung von Umrichter und Motor eine Überdimensionierung vermieden werden kann:

Abbildung 2: Dimensionierung von Komponenten eines Antriebssystems



Quelle: Reichert, 1993

Der einmalige Aufwand einer komplexeren Projektierung macht sich nach kurzer Zeit ökonomisch und ökologisch bezahlt. Welche Einsparpotentiale für ein Unternehmen im einzelnen bestehen und nach welchem Zeitraum sich diese amortisieren, hängt stark vom bestehenden System und von den Betriebsstunden bzw. Lastanforderungen ab.

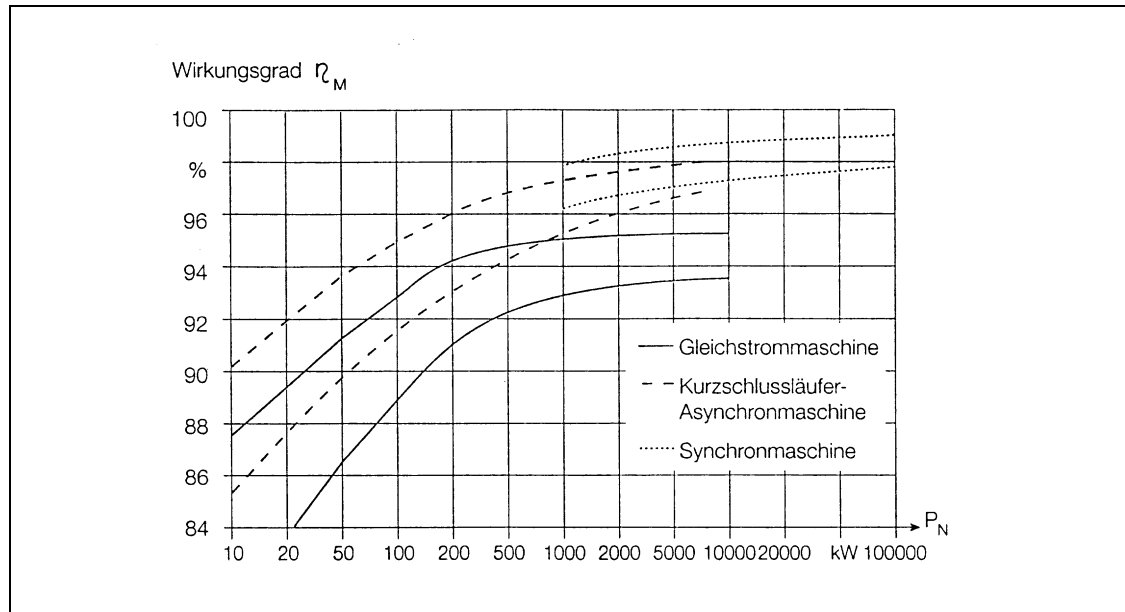
Abbildung 3 zeigt die Wirkungsgradverläufe unterschiedlicher Elektromotoren und unterschiedlicher Nennleistungen [RAVEL, 1992]:

Hier könnten z.B. Synchronmaschinen mit Permanentmagneten zusätzliche Sparpotentiale freisetzen. Da diese zur Zeit jedoch noch etwa fünf mal so teuer sind wie konventionelle Asynchronmotoren, bleibt ihr Einsatz derzeit auf wenige Anwendungsfälle beschränkt [RAVEL, 1992].

Läuft ein Motor im wesentlichen in zwei unterschiedlichen Betriebsbereichen, genügt eine relativ grobe Stufung wie sie z.B. durch polumschaltbare Motoren erreicht werden kann. Sie haben durch die schlechtere Ausnutzung des Wickelraumes bei Vollast einen um 6 %

niedrigeren Wirkungsgrad als Normalmotoren und sind ca. 50 % teurer, verhindern aber einen Betrieb mit schlechtem Teillastwirkungsgrad [RAVEL, 1992].

Abbildung 3: Wirkungsgrade elektrischer Maschinen



Quelle: RAVEL, 1992

Eine andere Möglichkeit einer zweistufigen Steuerung besteht in der Stern-Dreieck-Umschaltung bei Drehstrommotoren. Sie ist zur Steuerung von Anfahrvorgängen derzeit weit verbreitet. In Dreieckschaltung werden hohe Anfahrmomente zur Verfügung gestellt, in Dauerbetrieb wird dann auf Sternschaltung umgestellt. Bei Werkzeugmaschinen ist diese Schaltung jedoch nur begrenzt einsetzbar, da während der Bearbeitung eines Werkstücks keine Drehmomentensprünge auftreten dürfen.

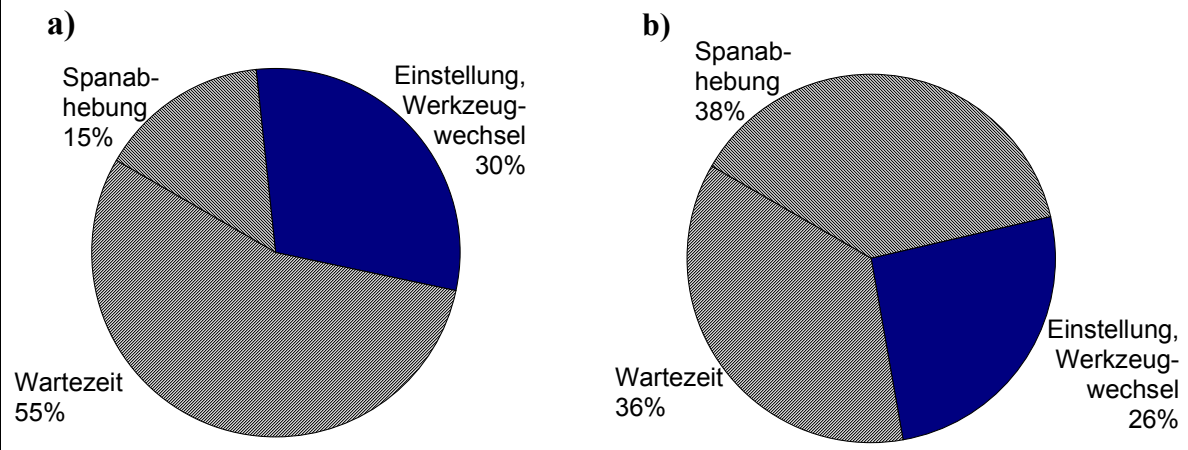
Darüber hinaus verbessert ein vorgeschalteter Umrichter den Wirkungsgrad des Antriebs im Teillastbetrieb in erheblichem Maße. Als Schaltungsvarianten kommen Drehstromsteller (kostengünstig) und Frequenzumrichter (5 – 6 mal so teuer wie ein Normmotor) zur Anwendung. Drehstromsteller haben dieselbe Funktion wie ein Beleuchtungsdimmer und werden bisher in Europa im wesentlichen zum sanften An- und Abfahren von Drehstrommotoren verwendet. Immer größere Verbreitung finden Frequenzumrichter, die über die Frequenz direkt die Drehzahl des Motors einstellen. Dies wirkt sich besonders günstig bei Pumpen und Gebläsen aus, deren elektrischer Leistungsbedarf proportional zur dritten Potenz der Drehzahl ist [RAVEL, 1992]. Hier sind bei einer starken Reduktion der Fördermengen Einsparungen von bis zu 70 % möglich. Diese Zahlen verdeutlichen, dass bei häufigem Teillastbetrieb ein Einsatz von drehzahlvariablen Antrieben trotz hoher Investitionskosten geringe Amortisationszeiten haben kann.

Auch bei der Betriebsweise eines Antriebs erschließen sich Einsparpotentiale. Zum Beispiel zeigt sich, dass für einen 125 kW-Motor ein Abschalten bei Leerlaufzeiten, die mehr als 20 Sekunden betragen, energetisch sinnvoll ist – sofern der Verschleiß des Motors beim Aus- und Einschalten die Lebensdauer nicht deutlich verkürzt und angeschlossene Komponenten wie z.B. mechanische Übersetzungen mit Keilriemen den wechselnden Belastungen standhalten.

Fallbeispiel: Die Auslastung einer Werkzeugmaschine [Meyer 1993]

In einem Betrieb wurden Maschinen zur spanenden Bearbeitung von Werkstücken verwendet. Eine Untersuchung ergab, dass die Werkstücke nur während 5 % ihres Aufenthaltes im Betrieb bearbeitet wurden, in der übrigen Zeit wurden sie transportiert oder gelagert. Die Analyse der Auslastung der Werkzeugmaschinen für kleine und mittlere Serien zeigte, dass 15 % der Maschinenzeit auf die Bearbeitung, 30 % auf Werkzeugwechsel und Einstellungen entfiel. In der übrigen Zeit – also mehr als die Hälfte – liefen die Maschinen im Wartebetrieb oder Leerlauf. Durch eine Optimierung von Produktion und Logistik wurden die Werkzeugmaschinen besser ausgelastet, so da an der einzelnen Werkzeugmaschine bis zu 60 % Strom eingespart werden konnte (vgl. Abbildung 4).

Abbildung 4: Maschinenauslastung a) vor und b) nach Verbesserung des Arbeitsablaufes



2.2 Druckluft

Pneumatische Systeme finden wegen zahlreicher Vorteile (hohes Leistungsgewicht, geringe Vibration, Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen, etc.) in Industrie und Gewerbe große Verbreitung. Durch die hohen Umwandlungsverluste, die bei der Erzeugung von Druckluft entstehen, bleiben von der dem Kompressor zugeführten Strommenge nur etwa 7 % an mechanischer Arbeit bei der Nutzung der Druckluft übrig [Kreisel, 1996]. Die restliche Energie fällt als Abwärme im Verdichter an bzw. geht durch Leckagen und Druckabfälle auf den Leitungen des Luftverteilnetzes verloren. Aufgrund der hohen Ver-

luste bei der Bereitstellung von Druckluft sollte stets geprüft werden, ob ein Einsatz von elektrisch betriebenen Werkzeugen nicht möglich wäre.

Neben der Substitution der Druckluftverbraucher bieten sich noch folgende Ansatzpunkte zur Energieeinsparung im Druckluftbereich [Münst, 1992; Kreisel, 1996]:

- Senkung des Bedarfs beim Endgerät,
- Senkung des erforderlichen Drucks beim Endgerät,
- Erhöhung der angesaugten Luftmenge (Ansaugquerschnitt, Luftansaugtemperatur),
- Senkung der Leitungsverluste (Leckagebeseitigung, kurze Wege),
- Vermeidung von Leerlaufbetrieb,
- Optimale Ausnutzung der Kompressoren durch eine geeignete Regelung³,
- Abwärmenutzung,
- Vergleich des spezifischen Endenergiebedarfs verschiedener Anlagenvarianten.

Jedes Druckluftsystem weist in der Praxis Leckagen auf. Da die Bereitstellung von Druckluft außerordentlich energie- und kostenaufwendig ist, amortisieren sich Investitionen zu deren Beseitigung besonders schnell. Es wird daher empfohlen, im Zuge von Wartungsmaßnahmen Leckagemessungen durchzuführen. Durch eine einfache Messung der Verdichteranlaufzeiten oder der Zeit, die für die Entleerung des Druckbehälters benötigt wird, ohne dass im System Druckluft entnommen wird, kann das Ausmaß der Leckage bestimmt werden [Münst, 1992].

Eine ökonomisch und ökologisch sinnvolle Maßnahme ist die Abwärmenutzung des Kompressors. Die Nutzungsmöglichkeiten werden durch das Kühlsystem bestimmt. Dabei sollte jedoch beachtet werden, dass Wärme nur dann anfällt, wenn der Kompressor in Betrieb ist und die Wärme nur begrenzt speicherbar ist. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass der Kompressor in Niedrigbedarfszeiten der Wärme (z.B. Sommer) nicht wegen ungenügender Kühlung beschädigt wird. Bei Luftkühlung besitzt die Abluft Temperaturen zwischen 50 und 60 °C und kann im Sanitärbereich bzw. zur Hallenbeheizung genutzt werden. Bei Wasser- bzw. Ölkühlung fällt heißes Wasser mit 80 – 90 °C an, das als Heiz- und Prozesswärme verwendet werden kann. Außerdem ist damit ein Betrieb von Absorptionskältemaschinen (z.B. im Sommer) möglich [Fischer, 1996]. Zur Vermeidung von größeren Temperaturschwankungen im Verdichter wird empfohlen, den Kühlwasserstrom während der Stillstandszeiten zu unterbrechen.

³ Bei stark schwankendem Luftverbrauch ist es sinnvoll, mehrere Kompressoren einzusetzen, die dann gestuft an- bzw. abgefahren werden können. Größere Maschinen sorgen für die Bereitstellung der Grundlast, kleinere evtl. auch drehzahlvariable Maschinen werden für die Spitzenlastdeckung eingesetzt. Die Wirtschaftlichkeit einer Drehzahlregelung, die bis zu 20 % höhere Investitionskosten verursacht, sollte geprüft werden.

Fallbeispiel: Energieeinsparung durch Wartung und Instandhaltung der Druckluftversorgung [Münst, 1992]

In einem Betrieb war für die Druckluftversorgung ein Schraubenkompressor (500 m³/h Förderleistung, 75 kW) installiert. Zusätzlich standen in der Kompressorzentrale 3 x 33 kW Maschinen als Reserve und Spitzenlastabdeckung. Die Auslastung wurde mit ca. 90-100 % angegeben, zeitweise liefen die Reservekompressoren mit. Infolge Produktionsausweitung stand die Anschaffung eines neuen Kompressors an. Da genaue Verbrauchsangaben für den effektiven Bedarf fehlten, wurde eine Verbrauchsmessung durchgeführt

Ergebnis der Messung:

- Druckluftverbrauch tagsüber 416 m³/h
- Druckluftverbrauch nachts 341 m³/h
- Sollwert Druckluftverbrauch nachts 45 m³/h

Es ergab sich ein permanenter Verlust von ca. 300 m³/h. Verantwortlich dafür war ein defektes Entlastungsventil im Kompressor. Wegen genügender Kapazität ist dieser Defekt nicht aufgefallen. Eine Sofortreparatur des defekten Entlastungsventils reduzierte den jährlichen Stromverbrauch um 390.000 kWh. Damit amortisierten sich die Reparaturkosten von ca. 600 DM in kürzester Zeit.

Außerdem zeigte sich, dass der Kompressor für die Nachtschicht viel zu groß ausgelegt war und 90% im Leerlauf betrieben wurde⁴. Dies konnte bei der Neuanschaffung eines Kompressors berücksichtigt werden. Die Investition für den zusätzlichen Kompressor betrug ca. 25.000 DM. Dem standen jährliche Einsparungen bei den Stromkosten (Leerlaufstrom 70.000 kWh/a) von ca. 14.000 DM/a und bei den Wartungskosten (aufgrund geringerer Betriebsstundenzahlen) von ca. 2.000 DM/a gegenüber, so dass sich die Investition in **weniger als 2 Jahren amortisierte**.

2.3 Beleuchtung

In einigen Zweigen des Metallverarbeitenden Gewerbes ist der Energieeinsatz für die industriellen Prozesse eher gering. Sind die Heizenergieverbräuche ebenfalls relativ klein, kann es sein, dass der Strombedarf für die Beleuchtung an erster Stelle des Stromverbrauchs steht. Zugleich haben aktuelle Reihenuntersuchungen nachgewiesen, dass gerade im Anwendungsbereich Beleuchtung große wirtschaftliche Sparmaßnahmen möglich sind [RAVEL, 1993 & 1994a]. Eine ausreichende Lichtversorgung, die die notwendige Sicherheit in den verschiedenen Arbeitsbereichen garantiert und für alle Arbeitsprozesse unerlässlich ist, kann trotz sparsamen Umgangs mit Strom erreicht werden. An einem kon-

⁴ Der Kompressor war mit einer Ausschalthemmung ausgerüstet, um allzu häufiges Anlaufen des Antriebsmotors zu verhindern. Dadurch lief das Aggregat aber nachts häufig leer, d. h., bei drehendem Elektromotor und bewegtem Kompressor wird keine Verdichtungsarbeit geleistet. Der Stromverbrauch im Leerlauf betrug aber 50 bis 70 % des Verbrauches im Lastbetrieb.

ventionellen Industriearbeitsplatz gewinnt die visuelle Wahrnehmung und damit die Beleuchtung eine immer größer werdende Bedeutung für die Produktivität einer Firma. Es ist deshalb unverständlich, dass in den meisten industriellen Bauten nach wie vor der Beleuchtung keine große Beachtung geschenkt wird. Die Folgen sind unnötiger Energieverbrauch, erhöhte Unfallrisiken und steigende Unzufriedenheit der Belegschaft.

Allgemeingültige Lösungen für die jeweiligen Beleuchtungsaufgaben gibt es jedoch nicht. Der Einzelfall muss anhand der Sehaufgabe, gestalterischer Kriterien, vorhandener Situation und umfassenden Wirtschaftlichkeits- und Nutzwertanalysen untersucht und die somit günstigste Lösung jeweils erarbeitet werden. Die verschiedenen Sanierungsmöglichkeiten sollten hinsichtlich

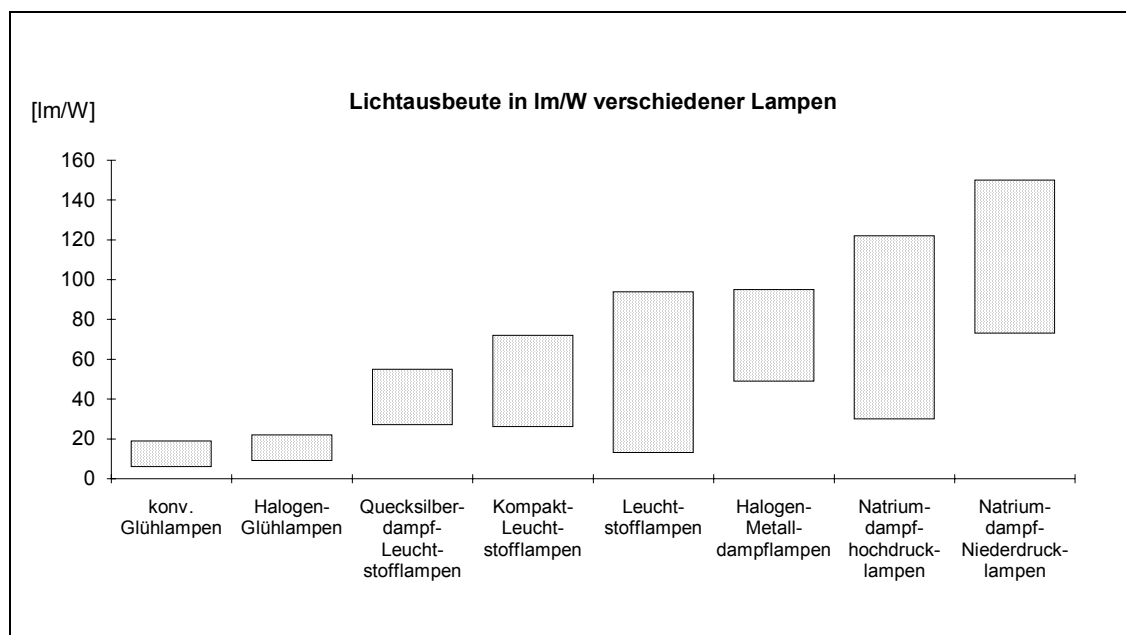
- tageslichtabhängiger Regulierung, z.B. über Helligkeitsfühler,
- personenabhängiger Schaltung oder Regulierung, z.B. über Bewegungsmelder,
- neuer Leuchtenanordnung, z.B. durch Zonenaufteilung,
- Einsatz von verlustarmen oder elektronischen Vorschaltgeräten,
- Einsatz von Lampen mit hoher Lichtausbeute und
- Einsatz möglichst effektiver Leuchten bzw. Reflektoren (Spiegelrasterleuchten)

untersucht werden [Tönsing, 1996].

Bei den Lampen unterscheidet man im wesentlichen die zwei Gruppen Temperaturstrahler (Glühlampen) und Lumineszenzstrahler (Entladungslampen). Die Entladungslampen weisen eine weitaus höhere Lichteffizienz auf (siehe Abbildung 5). Darüber hinaus ist für einen Vergleich der Lichtausbeuten auch die Verlustleistung der Vorschaltgeräte oder Trafos zu berücksichtigen. Eine vermeintlich vernünftige Verwendung einer Fluoreszenzlampe mit dem Ziel, Energie zu sparen (also die Lampe wenn möglich auszuschalten), kann aber unter Umständen die Lebensdauer erheblich verkürzen. Häufig wird die Lebensdauer auf eine bestimmte Mindestbetriebszeit pro Schaltung bezogen (z. B. Leuchtstofflampen 3 Std., Hochdruck-Entladungslampen 5 – 10 Std.).

Mit Halogen-Metaldampflampen oder Natriumdampf-Hochdrucklampen höherer Leistung (250 W, 400 W) anstelle von Quecksilberdampf-Lampen ergibt sich in hohen Industrie- und Lagerhallen ein Energiesparpotential von 15 – 40 %. Bei den Natriumdampflampen sind allerdings die stark gelbbetonte Lichtfarbe und die schlechten Farbwiedergabe-Eigenschaften zu beachten. Trotzdem ist die Akzeptanz der Benutzer in der Industrie meist gut.

Abbildung 5: Lichtausbeute verschiedener Lampen



Quelle: RAVEL, 1992

Fallbeispiel: Neue Beleuchtung für ein Kaltwalzwerk in der Schweiz [RAVEL, 1993]

Die Produktionshalle des Kaltwalzwerks wurde von 71 Quecksilberhochdrucklampen und 32 Natriumniederdrucklampen auf 34 Natriumhochdrucklampen umgerüstet. Tabelle 2 zeigt die Anschluss- und Verbrauchsdaten der alten und neuen Beleuchtungsanlage:

Tabelle 2: Anschluss und Verbrauchsdaten einer neuen und alten Beleuchtungsanlage für ein Kaltwalzwerk

	Alte Anlage	Neue Anlage
Lampe inkl. VG	71 x 1040 W 32 x 218 W	34 x 1040 W
Gesamtleistung	80,8 kW	35,4 kW
Benutzungsdauer (3-Schicht-Betrieb)	8500 h/a	8500 h/a
Energieverbrauch	686.800 kW h/a	300.900 kW h/a
beleuchtete Fläche	8.250 m ²	8.250 m ²
Nennbeleuchtungsstärke	110 Lux	220 Lux
rel. Energieverbrauch	100 %	44 %

Mit dieser Beleuchtungssanierung ließen sich also die **Energiekosten für die Beleuchtung um 56 % reduzieren**, obwohl die Beleuchtungsstärke verdoppelt wurde.

Durch den Einsatz verlustarmer Vorschaltgeräte bzw. elektronischer Vorschaltgeräte lässt sich der Strombedarf bei Leuchtstofflampen durch die reduzierte Systemleistung um bis zu 25 % senken, ohne dass dadurch die Beleuchtungsgüte beeinträchtigt wird. Darüber hinaus verlängert das richtige Vorschaltgerät die Lebensdauer einer Lampe. Zum Beispiel erhöht sich mit einem elektronischen Vorschaltgerät die Nutzbrenndauer von 7.500 auf rund 12.000 Stunden.

Tabelle 3: Beleuchtungserneuerung in einem Schweizer Betrieb (Betriebsdauer 2000 h/a, Grundfläche 245 m²)

	Einheit	bestehende Beleuchtungsanlage	Erneuerung der Anlage
Lampe		73 Freistrahler- Lichtbandleuchten	60 Reflektor- Lichtbandleuchten
Vorschaltgerät		2 * 40 W Standard konventionell	1 * 50 W Dreibanden elektronisch
Lampenlichtstrom	lm	2060	5200
Beleuchtungsstärke	lx	90	280
Anschlußleistung	kW	7,7	3,3
	%	100	42,9
	W/m ²	14,58	6,3
Strombedarf	kWh/a	15400	6600 (-800) ¹
Betriebskosten			
- Stromkosten ²	DM/a	5390	2310
- zus. Betriebskosten	DM/a		
- Materialkosten		270	120
- Arbeitskosten		130	55
- jährliche Betriebskosten²	DM/a	5790	2485 (-280) ¹
Investitionskosten³	DM	0	11300 (+1200) ¹

Quelle: Miloni, 1993; eigene Darstellung

Abhängig vom Zustand der alten Anlage stellt sich die Wirtschaftlichkeit der Beleuchtungssanierung bzw. -erneuerung dar. So konnte in einer großen Lagerhalle in der Schweiz der Stromverbrauch der Beleuchtung um etwa 70 % gesenkt werden. Ein ähnliches Resultat wurde in einem großen Möbelgeschäft erzielt [RAVEL, 1993]. In einem anderen Schweizer Betrieb hatte die **Beleuchtungserneuerung eine Amortisationszeit von etwa 3,5 Jahren** (vgl. Tabelle 3). Die Quantifizierung der tatsächlich erreichbaren Einspareffekte durch Maßnahmen im Bereich der Beleuchtung muss aber für jeden Einzelfall separat erfolgen, da die Anforderungen an eine stromsparende und gleichzeitig ausreichende Beleuchtung eine Optimierungsaufgabe darstellt.

Die Beurteilung vorhandener Beleuchtungsanlagen darf sich nicht auf eine reine Beleuchtungsstärke-Beurteilung beschränken, denn Energiesparmaßnahmen können sich bei gleichbleibender Beleuchtungsstärke sehr nachteilig auf die Beleuchtungsgüte auswirken. Dies wiederum beeinträchtigt Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit und kann zu Unbehagen, körperlichen Beschwerden und Produktivitätseinbußen führen.

3 Weitere Möglichkeiten der Energieeinsparung

Energiesparmaßnahmen, die sich auf Sonderanwendungen, wie z.B. elektrisches Lichtbogenschweißen oder Galvanisieren, beziehen, können weniger allgemeingültig abgeleitet und müssen daher für jede Technik (z. B. Oberflächenveredelung, Schweißen, spanende Fertigung oder Wärmebehandlung) separat untersucht werden. Gleiches gilt für den Einsatz von Blockheizkraftwerken, der zu hohen Primärenergieeinsparungen führt, sofern in den Betrieben ein hoher gleichzeitige Wärme- und Strombedarf vorliegt.

4 Möglichkeiten zur Umsetzung und Finanzierung

Steht ein Betrieb vor der Entscheidung, welche von verschiedenen möglichen Investitionen in nächster Zeit durchgeführt werden soll, werden begreiflicherweise Investitionen mit kurzen Amortisationszeiten vorgezogen. Oftmals werden jedoch auch größere Investitionen, obwohl sie sich amortisieren würden, erst dann getätigt, wenn diese zwingend erforderlich sind. Beispielsweise werden Heizungsanlagen weit über die eigentliche technische Nutzungsdauer hinaus betrieben und erst ersetzt, wenn dies aufgrund von technischen Defekten oder gesetzlichen Auflagen notwendig ist. Um Betriebe zu motivieren und Energiesparmaßnahmen umzusetzen, wird es daher erforderlich werden, von externer Seite ein entsprechendes Angebot zu machen. In letzter Zeit wird das "Contracting" in diesem Zusammenhang zunehmend diskutiert [Sendner, 1996].

Der Begriff "Contracting" kann mit "vertragliche Regelung" übersetzt werden. Ein externer Dienstleister (z.B. der zuständige Energieversorger oder ein privater Contractor) bietet dem Betrieb ein Leistungspaket an, das aus mehreren Teildienstleistungen wie Beratung, Planung, Finanzierung, Anlagenbau und -betrieb bestehen kann. Beim Gewerbebetrieb werden dadurch Investitionshürden abgebaut, da das wirtschaftliche Risiko einer Investition im Energiesparbereich durch den externen Dienstleister mitgetragen wird. Außerdem erhält der Betrieb eine professionelle Betreuung bei Planung und Betrieb der Anlagen. Die Fi-

finanzierung der Energiesparinvestitionen des Contractors erfolgt über die vertraglich festgelegte Aufteilung der eingesparten Energiekosten. Das "Contracting" bietet den kleinen und mittleren Gewerbebetrieben also eine risikoarme Option, kapitalintensive Energiesparmaßnahmen umzusetzen und darüber hinaus durch die verminderten Energiekosten den betriebswirtschaftlichen Gewinn zu erhöhen.

5 Beratung und Fördermöglichkeiten

Hinweise zu technischen Beratern und zu Contractoren können die Beratungsvermittlungsinstitutionen geben (einige sind in Tabelle 4 genannt).

Tabelle 4: 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		

Da bei der Bestandsaufnahme technischer Systeme häufig eine ganzheitlichen Untersuchung durchgeführt wird, zeigt die technische Beratung durch ein Ingenieurbüro nicht nur die Einsparpotentiale einzelner Geräte auf, sondern man erhält auch Hinweise auf andere Möglichkeiten der rationellen Energienutzung oder der Stromkostensparnis, z. B. bei der Begrenzung elektrischer Leistungsanspruchnahme. Werden auf dieser Grundlage die Maßnahmen zur Erschließung von Energieeinsparpotentialen systematisch ergriffen, so können oft auch andere Ziele wie höhere Produktivität und verringerter spezifischer Mate-

rialaufwand erreicht werden. Generell ist zu beobachten, dass energieeffiziente Betriebe zugleich auch technologisch fortschrittlich und effizient geführt werden. Es gelingt ihnen zunehmend, diese Vorteile in ein entsprechendes Ansehen bei den Kunden bzw. Konsumenten umzusetzen, was wiederum Wettbewerbsvorteile schafft.

An wen soll man sich aber wenden, wenn eine externe, herstellernerneutrale Beratung als sinnvoll erscheint? Einige wesentliche Beratungsvermittlungsinstitutionen sind in der Tabelle 4 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>).

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

- Bundesamt für Konjunkturfragen (Hrsg.), Strom rationell nutzen, RAVEL Impulsprogramm, Verlag der Fachvereine Zürich, 1992
- Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi), Referat Öffentlichkeitsarbeit: "Energiesparen im Betrieb", Bonn, November 1994.
- Enquête-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des 12. Deutschen Bundestages: "Mehr Zukunft für die Erde – Nachhaltige Energiepolitik für dauerhaften Klimaschutz-, Schlussbericht der Enquête-Kommission", Bonn, 1995.
- Feldmann, K.H.: "Optimierung von Druckluftleitungsnetz", Reihe Kontakt und Studium, Band 197, Expert Verlag, Sindelfingen, 1987.
- Fischer, S.; Jochem, E., Knopf, V., Tönsing, E.: "Wärmerückgewinnung und Abwärmennutzung in kleinen und mittleren Unternehmen". Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom", Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1996.
- Höltkemeier, P.: "Energiesparen – Für Handwerk und Gewerbe", TÜV-Tip-Spezial, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1989.
- Kreisel, K.; Jochem, E.: "Druckluft rationell erzeugen und nutzen". Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom", Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1996.
- Landeshauptstadt Düsseldorf, Umweltamt (Hrsg.): "Energieeinsparung im Handwerk", Untersuchung der IC Consult GmbH in Zusammenarbeit mit der Handwerkskammer Düsseldorf (UZH) und der Stadtwerke Düsseldorf AG, Düsseldorf, Februar 1995.
- Landwehr, M.: Stromsparen bei elektrischen Antrieben. Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom", Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1996.
- Meyer, A.; Rohner, P.; Huns, O.: "Elektroantriebe", Schweizerisches Bundesamt für Konjunkturfragen (Hrsg.), Schriftenreihe Ravel Industrie, Bern, März 1993.
- Milioni, R.P.; Piazza, A.; Benoît, F.; Meyer, J.J.: "Lumière – Beleuchtung – Pilotprojekte, Fallstudien", Schweizerisches Bundesamt für Konjunkturfragen (Hrsg.) Impulsprogramm Ravel, Bern, Juni 1993.
- Münst, F.: "Wirkungsgradoptimierung der Druckluftherzeugung und -verteilung", Schweizerisches Bundesamt für Konjunkturfragen (Hrsg.), Material zu Ravel, Bern, September 1992.
- Öko-Institut e.V. (Hrsg.): "Grobanalyse für Energiesparmaßnahmen bei der Firma Skodock im Rahmen der LCP-Fallstudie", Hannover/Freiburg, Mai 1993.
- RAVEL – Schweizerisches Bundesamt für Konjunkturfragen: "Ravel-Programm: Licht-Grundlagen der Beleuchtung", Zürich, 1994a.

- RAVEL: 11 Praxislehrstücke, wie Ausgaben für RAVEL zur gewinnbringenden Investition werden. Bundesamt für Konjunkturfragen Bern, 1994b.
- RAVEL – Schweizerisches Bundesamt für Konjunkturfragen: "Ravel-Programm: Zeitgemäße Beleuchtung von Industriebauten", Zürich, 1993.
- RAVEL – Schweizerisches Bundesamt für Konjunkturfragen: "Strom rationell nutzen" – Ravel-Handbuch, Verlag der Fachvereine Zürich, Zürich, 1992.
- Reichert, K.; Neubauer, R.; Reiche, H.; Berg, F.: "Elektrische Antriebe energie-optimal auslegen und betreiben", Schweizerisches Bundesamt für Konjunkturfragen (Hrsg.) Impulsprogramm Ravel, Bern, Juni 1993.
- Sendner, H.; Jochem, E.: Chancen durch Contracting. Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom", Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1996.
- Tönsing, E.: "Stromsparende Beleuchtungssysteme -mehr Licht für weniger Kosten". Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom", Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1996.
- Weidner, W.: "Energieeinsparung durch intelligente Kompressorensteuerung", Drucklufttechnik 3-4/93.
- Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie (ZVEI): "Energiebericht der Elektroindustrie", Frankfurt, 1992.