



Druckluft rationell erzeugen und nutzen¹

K. Kreisel², E. Jochem³

Druckluft ist ein weit verbreiteter Energieträger in Gewerbe und Industrie. Seine Vorteile: Umweltfreundlichkeit, Elastizität in der Kraftwirkung und Sicherheit (keine Explosionsgefahr) bieten deshalb vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Etwa 160.000 Druckluftkompressoren arbeiten in den Betrieben Baden-Württembergs, davon 15.000 mit einer Leistung von 50 kW und mehr, die zu einem merklichen Anteil zu den Stromkosten der Unternehmen beitragen.

"Vergeude keine Energie, sondern verwerte sie!". Dieser energetische Imperativ, den der Nobelpreisträger W. Ostwald schon 1912 formulierte, dient im folgenden als Leitbild. So besteht bei jeder Druckluftherzeugung die Möglichkeit, die bei der Kompression der Luft entstehende Wärme für Heiz- und Warmwasserbereitungszwecke zu nutzen. Im Jahre 1993 investierte eine Firma in eine Wärmerückgewinnung, die bei der Erzeugung von 10,2 Mio. m³ Druckluft pro Jahr rd. 1,9 Mio. MJ Wärme in einem Ölkreislauf zurückgewinnt. Dies spart jährlich gut 26.000,- DM bzw. 65 000 Liter Heizöl (Energiekosten unter Druck, 1994).

Der Energieträger Druckluft ist aber kein billiger Energieträger; deshalb muss mit Druckluft sehr haushälterisch umgegangen werden. Wie aus einem typischen Energieflussbild der Druckluftherzeugung und -nutzung hervorgeht (siehe Abbildung 1), bleiben von der dem Kompressor zugeführten Strommenge nur etwa 7 % an mechanischer Arbeit bei der Nutzung der Druckluft übrig. Zur Vermeidung unnötiger Verluste benötigen Druckluftanlagen deshalb eine sehr sorgfältige Überwachung und Wartung. Der heutige Wissensstand reicht aus, um den Betreibern von Druckluftanlagen Orientierungswerte der Kosten für die Energie Druckluft und Informationen an die Hand zu geben, mit welchen Maßnahmen diese Kosten gesenkt werden können. Dabei ist es vor allen Dingen notwendig, ein Umdenken in den Köpfen der Beteiligten im Betrieb herbeizuführen. Denn allzu häufig denkt man in den Betrieben, Luft sei in unbegrenztem Maße kostenlos verfügbar, und deshalb

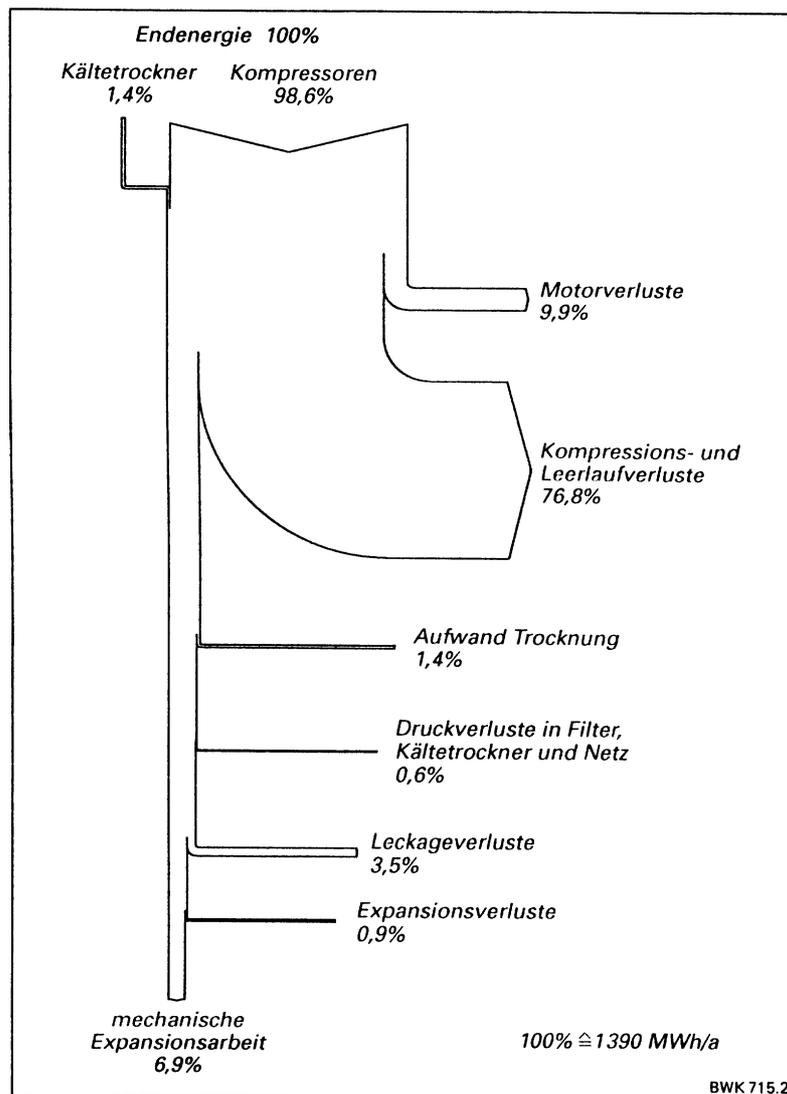
¹ Die Erstellung dieses Fachartikels wurde vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom" finanziell gefördert.

² Ing.Büro Kreisel

³ Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe

könne auch Druckluft nicht sehr teuer sein. Dieser Überblicksartikel zeigt, dass die Energie Druckluft teuer ist und vor allem: mit welchen Maßnahmen diese Kosten gesenkt werden können. Das Druckluftsystem sollte nicht länger das Stiefkind und geheimer Kostenfresser vieler Betriebe sein.

Abbildung 1: Energieflussdiagramm der Druckluftversorgung mit Elektroantrieb



Quelle: Ilmberger/Seyfried, 1994

Zwei Zentralprobleme: ungenutzte Wärme und Überdimensionierung der Druckluftherzeugung

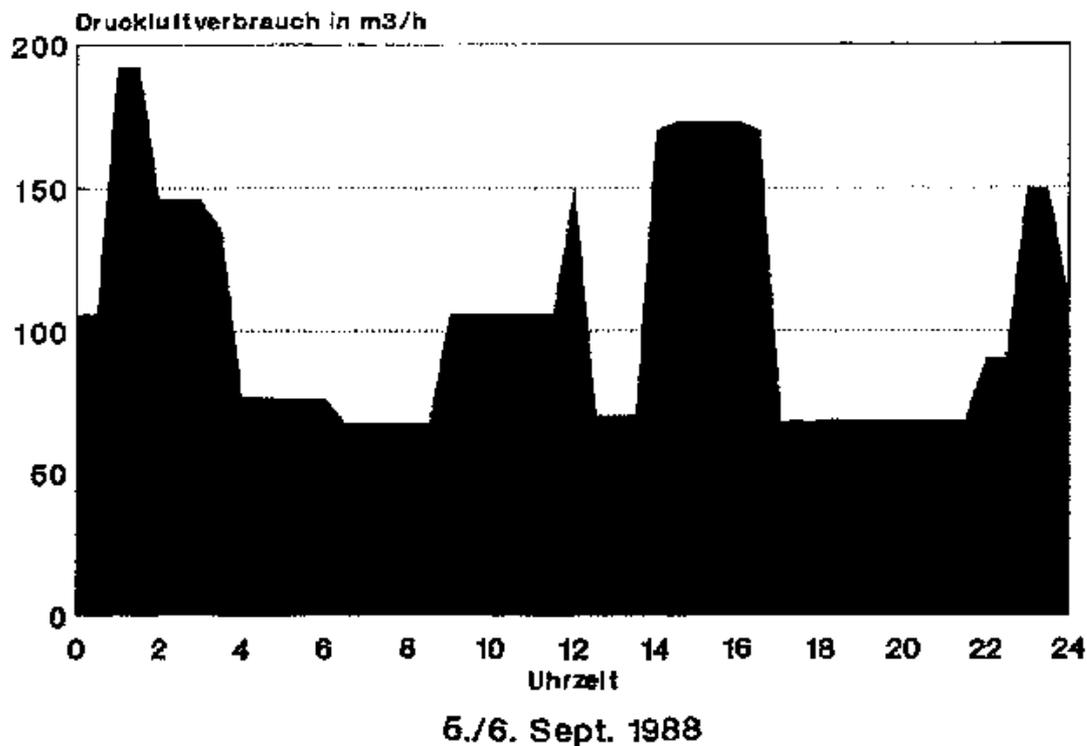
Etwa drei Viertel der elektrischen Leistungsaufnahme eines Luftkompressors wird in Wärme umgewandelt, die im Grundsatz rückgewinnbar ist. Weitere 10 % der Leistung gehen an die Kühlluft und per Wärmeabstrahlung des elektrischen Motors verloren. Des-

halb sollte jeder Betrieb prüfen, in wie weit er die entstehende Abwärme des Kompressors über eine **Wärmerückgewinnung** an anderer Stelle nutzen kann. Die zurückgewonnene Wärme fällt überwiegend bei 50 bis 60 °C bei luftgekühlten und bei ca. 80 °C bei wassergekühlten Anlagen an. Bei wassergekühlten Kompressoren müssen Ablagerungen durch ein entsprechend qualitativ aufbereitetes Wasser vermieden werden. Grundsätzlich ist bei jedem Kompressorsystem auf diese Art mehr Wärmeenergie zu sparen, jedoch mit unterschiedlichem Installationsaufwand.

Eine der häufigsten Ursachen, wie die Energie Druckluft verteuert, ist die Installation einer **überdimensionierten Kompressoranlage** mit entsprechend langen Leerlaufzeiten, in denen zwar keinerlei Druckluft erzeugt wird, aber dennoch zwischen etwa 10 % bei Hubkolbenverdichtern und bis zu 28 % bei Lochschieberverdichtern der installierten Motorleistung benötigt werden, und mit zu hohen Enddrücken, die auf Seiten der Druckluftnutzung gar nicht erforderlich sind. Deshalb muss es einmal darum gehen, das für die Nutzung der Druckluft **geeignete Niveau des Enddruckes** zu finden und nicht darüber hinauszugehen, denn weniger Druck spart bares Geld. Zum anderen sollte die Mengenleistung des Kompressors nicht größer sein als wirklich erforderlich. Da die Druckluftabnahme durch den Betrieb i. a. deutlich im Zeitverlauf schwankt, müssen Druckluftanlagen geregelt werden. Vom energetischen Standpunkt ist die **Aussetzregelung** die günstigste Alternative, die den Verdichter stillsetzt, wenn kein Luftbedarf besteht und ein vorgegebener Druck erreicht ist. Die Gefahr einer unzulässig hohen Schalthäufigkeit des Motors (ca. 10-15 Schaltungen pro Stunde) kann durch Zuschalten eines Pufferspeichers gebannt werden. Am geeignetsten aber ist die **Drehzahlregelung des Motors**, die sich in vielen Fällen und bei Motoren über 50 kW als sehr rentabel erweist. Denn die Regelung, die beispielsweise zwischen 20 und 90 kW die Leistungsaufnahme variiert, ermöglicht etwa um die Hälfte kleinere Druckbehälter und eine erhebliche Reduktion der Leerlaufkosten.

Eine Zeitungsdruckerei beispielsweise benötigte zum Drucken ihrer Zeitungen Druckluft von 6 bar und eine 100 %ige Sicherheit. Geplant war eine Kompressoranlage mit 2 x 452 m³/h und je 55 kW. Eine Nachmessung vor der Reinvestition ergab (man sieht daraus, wie sehr Messen wichtig ist), dass der Maximalverbrauch nicht wie angenommen 452 m³/h, sondern lediglich etwa 180 m³/h betrug. Das Maximum tritt nur während des Druckvorganges sechs Stunden pro Tag auf (vgl. Abbildung 2). In der Schwachlastzeit werden nur ca. 70 m³/h gebraucht. Die Kompressoren liefen pro Jahr etwa 7.000 Stunden, wobei der Leerlaufanteil 5.200 Stunden ausmachte. Die Kompressoren waren also um einen Faktor 2 zu groß ausgelegt. Sie verbrauchten vermeidbare Leerlaufenergie bei einem Leerlaufstrom von 30 % der Anschlussleistung 5.200 x 55 x 0,3 = 85.800 kWh/Jahr oder rund 15.000.- DM/Jahr. Dieses Beispiel zeigt, wie wichtig eine genaue Bestandsaufnahme des jeweiligen Druckluftsystems ist, die eine quantitative Aussage zu möglichen Energieeinsparungen eröffnet.

Abbildung 2: Auslastungsgrad der Druckluftanlage einer Zeitungsdruckerei im Tagesverlauf



Quelle: Müst, F. 1992, S. 51

Druckverluste und Leckagen im Verteilernetz

Ein **Druckverlust** von einem bar bei einem Netzdruck von 10 bar verursacht einen Strommehrbedarf von ca. 7 bis 10 % oder verringert die Arbeitsleistung am Verbraucher um bis zu 20 %. Druckverlust entsteht durch vier wesentliche Einflüsse (Idealwerte in Klammern):

- zu geringer Leitungsquerschnitt (0,1 bar),
- die Strömungswiderstände in Fittings und Leitungszubehör (z. B. Filter (0,1 bar), Trockner/Kühler (0,2 bar), Wartungseinheiten (0,1 bar) und Steckkupplungen),
- Rauigkeit der Leitungswandung sowie
- lange Versorgungsleitungen.

Aus energetischen Gründen sollte der Gesamtdruckverlust 0,6 bar nicht überschreiten. Um diesen Wert zu halten, hat die Wartung des Leitungszubehörs und die Dichtheit des Verteilernetzes eine große Bedeutung.

Leckagen lassen sich in einem Druckluftverteilnetz nicht völlig vermeiden. Demnach muss diesem Aspekt die notwendige Beachtung geschenkt werden. Denn wenn die Gesamtkosten für 1 m³ Druckluft ca. 7 bis 10 DPF betragen, dann gehen bei kleinen Leckagestellen, die sich zu einem 10 mm großen Loch sehr schnell addieren, in einem 7 bar-Netz pro Sekunde 124 ltr. Druckluft verloren, d. h. 31.- DM bis 45.- DM pro Stunde. Leckagen kosten einen Betrieb bei 3000 bis 4000 Jahresbetriebsstunden somit sehr schnell einen Betrag von 100.000.- DM und mehr.

Energiekosteneinsparung durch Wartung und Instandhaltung

Der **Ansaugfilter** hat im Neuzustand einen Anfangswiderstand, der sich bei zunehmendem Gebrauch vergrößert, so dass sich der Energieaufwand erhöht und die Förderleistung abnimmt. Die Ansaugfilter regelmäßig zu warten ist mindestens so wichtig wie die Beachtung, dass die **angesaugte Luft möglichst kühl** sein sollte. Ausreichende Raumlüftung und gute Abführung der Kompressorabwärme sind deshalb sehr wichtig. Die **Ventile** von Kolbenkompressoren müssen **regelmäßig kontrolliert** werden wie auch die Flachriemenspannung oder Kupplungslamellen der Kraftübertragung zwischen Motor und Kompressor. Ebenso müssen **Öl- und Luftkühler** der Kompressoranlagen regelmäßig **gereinigt** werden, um die Betriebstemperaturen niedrig zu halten.

Die **Leitgrundsätze der Betriebsoptimierung** sind: Vermeidung des unnötigen Verbrauchs (Abschalten, richtiger Enddruck), Senkung des spezifischen Nutzenergiebedarfs (Regelung, Wärmenutzung) und Vermeidung von Leckagen und unnötigem Druckabfall sowie regelmäßige Wartung und Instandhaltung. Durch konsequente Anwendung der Betriebsoptimierung konnten in einem Betrieb die Gesamtkosten der Druckluftherzeugung von 9,5 Pf/m³ auf 6,8 Pf/m³ oder um jährlich 166.000,- DM gesenkt werden (Illberger/Seyfried, 1994, vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Kostenreduktion bei der Reinvestition einer Kompressoranlage

	Kosten pro Jahr		jährl. spez. Kosten	
	DM vorher	nachher	DM/m ³ vorher	nachher
Energie	310 000	192 100	0,0497	0,0307
Kühlmittel	67 200	9 600	0,0108	0,0015
Instandhaltung	108 600	79 200	0,0178	0,0127
sonstige Kosten	105 600	105 600	0,0169	0,0169
Gesamtkosten	592 100	386 000		
Druckluftkennzahl	0,095 DM/m ³	0,062 DM/m ³		
- inkl. Kapitaldienst		0,068 DM/m ³		

Quelle: Illberger/Seyfried, 1994

Substitution der Druckluft als Energieträger möglich?

Druckluft ist einer der teuersten Energieträger. Ihre Vorteile werden vor allem in der Schnelligkeit und der Sicherheit gesehen. Sehr häufig findet die Pneumatik Anwendung

- beim Antrieb von Bearbeitungssystemen, insbesondere beim Schrauben,
- beim Farbspritzen und Lackieren sowie Bedrucken,
- beim Blasen, Saugen und Reinigen, darunter auch beim schifflosen Weben.

Andererseits findet man häufig noch pneumatische Anwendungen, wo inzwischen die Hydraulik oder die direkten Elektroantriebe zu vergleichbaren qualitativen Ergebnissen kommen, so z. B. beim Pressen, Biegen, Dämpfen von Erschütterungen, Schrauben, Nieten, Schleifen, Fügen oder Schneiden.

Definiert man den Systemwirkungsgrad vom Kompressor bis zum Antriebsaggregat mit dem Faktor 1, so hat die Hydraulik eine 10-fach bessere und die Elektromechanik eine 14-fach bessere Ausnutzung an Energie (Albrecht, 1993). In etwa gleichem Verhältnis stehen auch die Kapitalkosten der drei Systeme. Somit sollte sich jeder Betrieb immer wieder Rechenschaft abgeben, ob er **bei Reinvestitionen** seiner Anlagen **wirklich den Energieträger Druckluft benötigt** oder auf die Hydraulik oder Elektromechanik übergehen könnte. Bei **Kostenrelationen von 10:1 zu Lasten der Druckluft muss der Betriebsingenieur genau die Vor- und Nachteile der Systeme abwägen.**

Empfehlungen für Planung und Betrieb

Die zuvor erläuterten Energieeinsparmöglichkeiten und weitere Tips für den Energieverantwortlichen im Betrieb seien hier zu einer Checkliste zusammengefasst:

- Prüfen, ob pneumatische Anwendung weiterhin notwendig ist. Vergleichsanalyse zwischen Elektromechanik, Hydraulik und Pneumatik. Reinigungs-Druckluft sollte nur in Fällen eingesetzt werden, wo sich keine andere Reinigungsmethode anbietet.
- Können Teilbereiche des Druckluftverteilnetzes zeitweise oder auf Dauer außer Betrieb gesetzt werden? Wenn zeitweise, prüfen einer automatischen Steuerung der Absperrung (automatische Schließventile).
- Ist der Netzdruck angemessen? Begrenzen auf 6 bar! Bei verschiedenen Druck- und/oder Qualitätsanforderungen (z. B. Ölfreiheit) überprüfen, ob separate Verteilung wirtschaftlicher sein könnte. Drosselungen jeder Art vermeiden; sie reduzieren Druck und verschwenden damit Energie. Dezentrale Druckluftversorgung (z. B. für Montage und Verpackungsstraßen) prüfen.
- Leckagen aufspüren und beseitigen.
- So wenig wie möglich reinigen bzw. filtern nach dem Motto „Was kann in der Druckluft drinbleiben?“
- Rohrkorrosion vermeiden.
- Zum Austrocknen des Kondenswassers Kältetrockner verwenden.

- Schlupf bei DL-Motoren auf jeden Fall verhindern.
- Einbezug der Abwärmenutzung der Kompressoranlage in das Heizanlagenkonzept, und zwar als Produzent der Grundlast der Wärmelieferung.
- Wirtschaftlichkeitsberechnungen nach der Barwert- oder Annuitätenmethode.

Diese Empfehlungen treffen vielleicht nicht alle für jeden Betrieb zu, aber erfahrungsgemäß führt die Beachtung der jeweils zutreffenden Maßnahmen zu Energiekosteneinsparungen zwischen 20 und 40 %.

Beratung

Doch häufig sehen sich die Betriebe aus Zeitmangel und Konzentration auf das Alltagsgeschäft außerstande, sich um das „Mauerblümchen“ Druckluftsystem zu kümmern. Wer soll im gestressten Betriebsalltag die Bestandsaufnahme, die Planung und Rentabilitätsrechnung einer Restrukturierung der Druckluftanlage machen? Es bleibt zu wenig Zeit, um die Schwachstellen der bisherigen Druckluftanlage zu identifizieren und neue technische Konzepte zu machen. Hilfe kann da nur von außen über herstellerneutrale Beratung kommen.

An wen soll man sich aber wenden, wenn eine externe, herstellerneutrale Beratung als sinnvoll erscheint? Einige wesentliche Beratungsvermittlungsinstitutionen sind in der Tabelle 2 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.

Tabelle 2: 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

Albrecht, J.E.: Energetischer Vergleich pneumatischer, hydraulischer und elektromechanischer Antriebs- und Werkzeugsysteme. Materialien zu RAVEL. Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1993

Ilmberger, F., Seyfried, F.: Druckluftversorgungskonzepte für Industriebetriebe, BWK 46(1994)9, S. 398-401

Informationszentrum für Energiefragen (IZE): Energiesparende Druckluftanlagen. Technik und Wirtschaftlichkeit. Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Stuttgart 1988

Münst, F.: Wirkungsgradoptimierung der Drucklufterzeugung und – verteilung. Materialien zu RAVEL. Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1992

VDI: Jahrbuch 94/95, Berater und Sachverständige Energietechnik. Herausgeber: VDI-Gesellschaft, Düsseldorf 1995

Energiekosten unter Druck in DK (1994) 3, S.12-14