

1993 724.332 d.

Elektroantriebe


Schriftenreihe
RAVEL
INDUSTRIE

Bundesamt für Konjunkturfragen

Zu dieser Broschüre

Analysen in Betrieben der Schweizer Industrie zeigen, dass Elektrizität in allen Bereichen, vor allem auch in elektrischen Antrieben, rationeller eingesetzt werden kann. Die Massnahmen, die zu Stromeinsparungen führen, sind naturgemäss je nach Branche und Betrieb sehr unterschiedlich. Bei allen Unterschieden lassen sich einige einfache Vorgehensweisen, Regeln und Anwendungstechniken generalisieren. Diese Informationen sind in diesem Heft zu finden, und sie sind mit 10 Belegen aus den verschiedensten Branchen und Anwendungen ergänzt: Potentiale, Lösungsmöglichkeiten und konkrete Massnahmen. Die Autoren konnten sich auf eine ganze Reihe von Studien stützen, die zum grössten Teil durch RAVEL bereits publiziert und auf dem FAX-Bestellzettel der letzten Seite dieses Heftes aufgeführt sind. Die Broschüre richtet sich an Geschäftsleitungen und Energiebeauftragte von Gewerbe- und Industriebetrieben.

Impressum

Diese Broschüre erscheint in der Schriftenreihe RAVEL Industrie. Bestellnummer: 724.332 d.

- Herausgeber* Bundesamt für Konjunkturfragen, Belpstrasse 53, 3003 Bern.
- Geschäftsstelle* RAVEL, c/o Amstein + Walthert AG, Leutschenbachstrasse 45, 8050 Zürich, Tel. 01 305 91 11, Fax. 01 305 92 14.
- Ressort Kraft* Jürg Nipkow, ARENA, Schaffhauserstrasse 34, 8006 Zürich, Tel. 01 562 91 83.
- Ressort Industrie* Prof. Dr. Daniel Spreng, ETH Zürich, 8092 Zürich, Tel. 01 256 22 11.
- Autoren* Dr. Andreas Neyer, Amstein + Walthert AG, Leutschenbachstrasse 45, 8050 Zürich, Tel. 01 305 91 11, Fax. 01 305 92 14.
Pascal Röhner, Amstein + Walthert AG, Leutschenbachstrasse 45, 8050 Zürich, Tel. 01 305 91 11, Fax. 01 305 92 14.
Othmar Humm, Fachjournalist Technik+Energie, Edisonstrasse 22, 8050 Zürich, Tel. 01 312 09 09, Fax. 01 312 05 40.
- Seitenherstellung* Kurz & Ehrensperger, Tramstrasse 71, 8050 Zürich, Tel. 01 312 72 77, Fax. 01 312 60 11.
- Bezug* EDMZ, 3000 Bern, Fax. 031 61 39 75.
Copyright: Bundesamt für Konjunkturfragen, 3003 Bern, März 1993.

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt.

Inhalt

Merksätze

Strom für Antriebe: 7 wichtige Punkte 2

Energieverbrauch

Wo geht Elektrizität verloren? 4

Energiemanagement

Handlungsspielräume orten und ausschöpfen 12

Auslegung

Antriebssystem an die Last anpassen 16

Wirtschaftlichkeit

Franken und Kilowattstunden im Vergleich 20

Beispiel Druckluft

Leerläufe und Lecks sind Stromfresser 24

Beispiel Lüftung

Betriebszeiten und Volumenstrom reduzieren 28

Beispiel Kühlung

Kennwerte zeigen Potentiale auf 32

Beispiel Pumpen

Motor regeln statt Förderstrom drosseln 36

Beispiel Abwasserreinigung

Klärbecken optimal belüften 40

Beispiel Rauchgasreinigung

Lufthygiene mit weniger Strom 42

Beispiel Innerbetrieblicher Transport

Bewegte Massen reduzieren 44

Beispiel Werkzeugmaschinen

Produktion und Logistik optimieren 46

Beispiel Textildruckmaschine

Betriebliche Massnahmen sind interessant 48

Beispiel Zementherstellung

Energiebewirtschaftung als ständige Aufgabe 50

Weiterführende Informationen

FAX-Bestellzettel 52

Merksätze

Strom für Antriebe:

7 wichtige Punkte

1 Antriebe sind die grössten Stromverbraucher

In der Industrie fließen 60 % des Stromes in Antriebssysteme. Elektrische Antriebe sind deshalb für das betriebliche Energiemanagement besonders ergiebig.

2 Stromkosten sind variabel

Der Energieverbrauch zur Herstellung eines industriellen Produktes ist keineswegs vorgegeben, sondern kann in einem weiten Bereich beeinflusst werden. Ein kleinerer Verbrauch - und damit geringere Energiekosten - ist auch mit rein organisatorischen Massnahmen möglich, ohne hohe Investitionen.

3 Energiemanagement eine permanente Aufgabe

Einmalige Aktionen, beispielsweise Energieanalysen, bringen wenig im Vergleich zu einem Energiemanagement, das als dauernder Prozess verstanden wird. Dabei sollen alle Stufen eines Betriebes eingebunden sein: Firmeneigene Fachleute kennen die Sparpotentiale von Prozessen am besten. Um Massnahmen zu realisieren, ist aber die Unterstützung der Geschäftsleitung nötig und hilfreich.

4 Varianten vergleichen

In der Planung eines Prozesses oder einer neuen Anlage und bei Sanierungen müssen energetisch bessere Varianten geprüft werden. Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung kann als Basis für die Bewertung der Varianten dienen. Dabei sind neben den Investitionskosten die Energie- und Wartungskosten zu berücksichtigen.

Merksätze

5 Ganze Systeme betrachten

Der energetisch optimal ausgelegte Antrieb setzt sich nicht aus einzelnen Komponenten mit den jeweils besten Wirkungsgraden zusammen. Wesentlich sind einerseits die Auswahl des Antriebssystems und, andererseits, die gegenseitige Anpassung von Antriebsmaschine und Arbeitsmaschine. Präzise Kenntnisse des Prozesses und des Einsatzes sind ausschlaggebend.

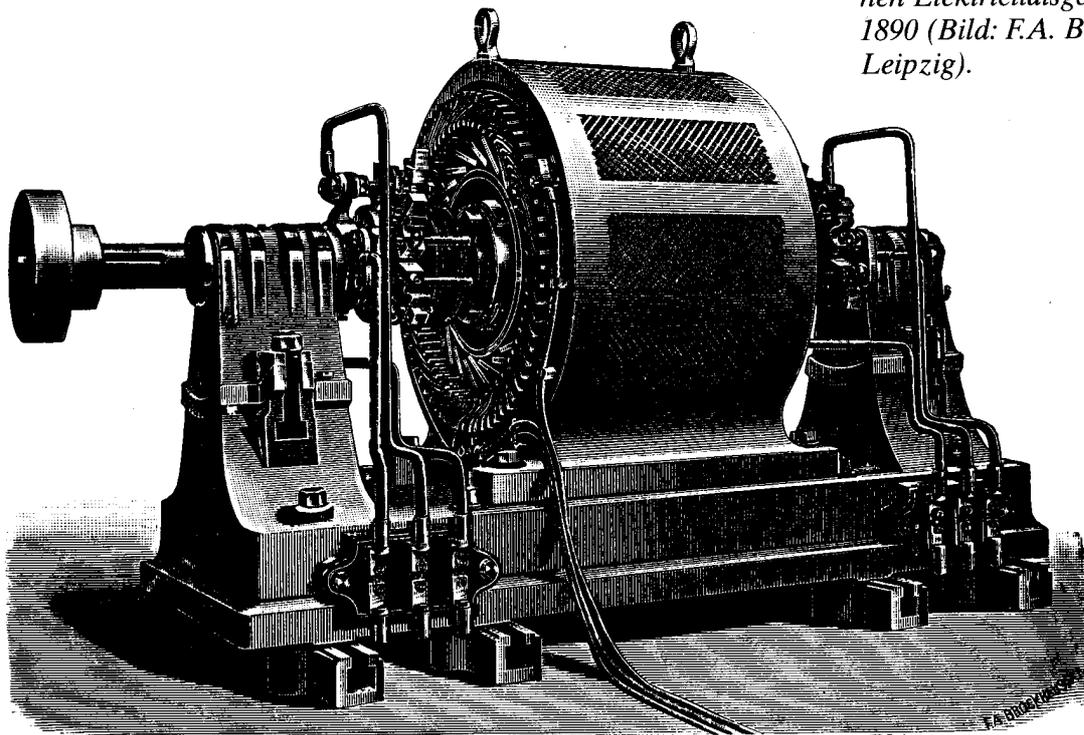
6 Laufzeiten an die Nutzung anpassen

Ein beträchtliches Sparpotential kann allein durch die Anpassung der Laufzeiten (Einschaltzeiten) von Antrieben an die tatsächliche Nutzung realisiert werden. Die Anpassung kann manuell oder durch eine Steuerung erfolgen.

7 Produktionsabläufe organisieren

Effizientere Produktionsabläufe bringen grosse Energiespareffekte. Durch eine verbesserte Organisation werden vielfach Energiekosten reduziert und gleichzeitig Anlagen besser ausgenützt und die Arbeitsproduktivität gesteigert.

Abbildung 1:



Drehstrommotor der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, 1890 (Bild: F.A. Brockhaus, Leipzig).

Energieverbrauch

Wo geht Elektrizität verloren?

Nur ein Bruchteil des eingesetzten Stromes ist in den Prozessen tatsächlich für die Produktion wirksam, der grössere Teil geht als Verluste verloren. Dieser Abschnitt zeigt den Weg der Energie und die Verluste der Komponenten.

Auf 1,5 Milliarden Franken beläuft sich die jährliche Stromrechnung der Schweizer Industrie. Damit wird - bei einem mittleren Strompreis von 10 Rappen pro kWh - der Verbrauch von 15 Milliarden kWh bezahlt. Dies entspricht einem Drittel des gesamten Stromverbrauches der Schweiz.

Noch grösser ist der Anteil der Industrie, wenn nur der Stromverbrauch der Antriebe betrachtet wird: In der Schweiz fliesst rund die Hälfte der elektrischen Antriebsenergie in industriell eingesetzte Motoren.

Grosse Unterschiede zeigen die Anteile, die in verschiedenen Branchen für elektrische Antriebe ausgewiesen werden. Abbildung 2 zeigt Anteile zwischen 12 % für Aluminium und 97 % für Ziegel. Mehr als die Hälfte der erhobenen Branchen verwenden über zwei Drittel ihres gesamten Strombezuges für Antriebe.

Anteil der Antriebe am Gesamtstromverbrauch

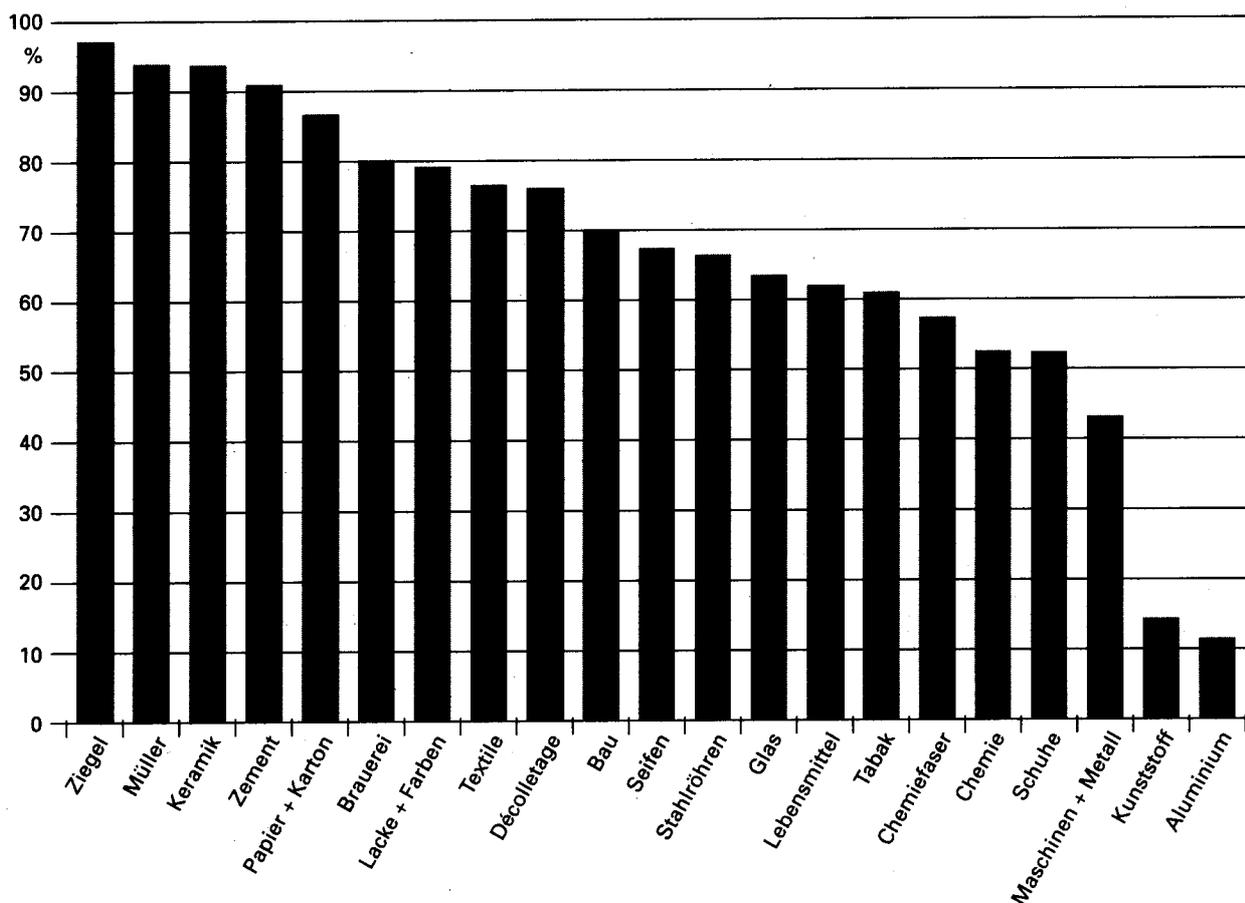


Abbildung 2: Anteil der elektrischen Antriebe am Gesamtstromverbrauch verschiedener Branchen.

Energieverbrauch

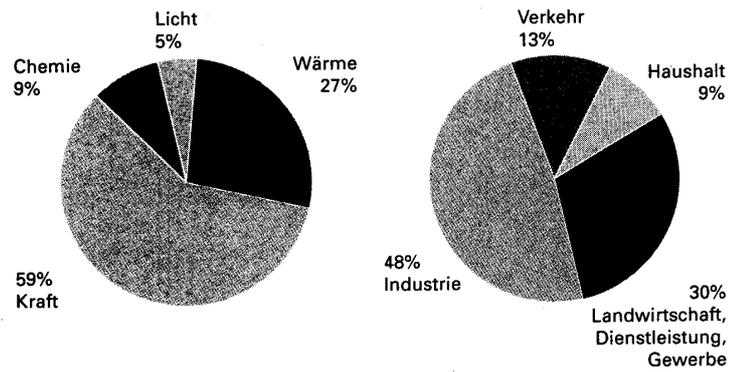


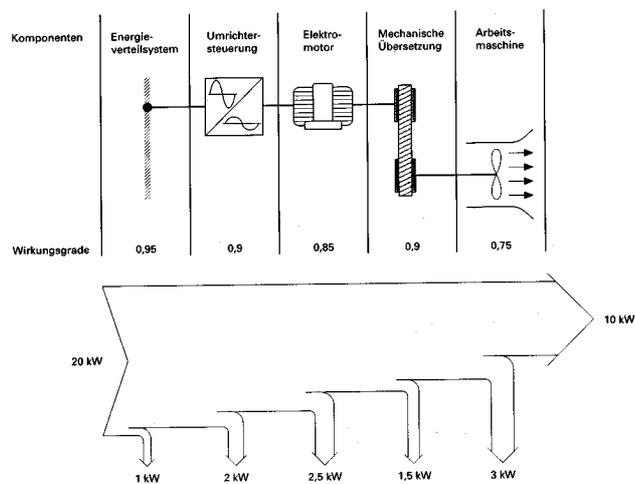
Abbildung 3:
Anwendungsbereiche des Stromes in der Industrie.

Abbildung 4:
Einsatzbereiche elektrischer Antriebsenergie.

Wo geht Energie verloren?

Nur ein Teil der Gesamtverluste eines Antriebssystems kann dem Elektromotor angelastet werden, die vor- und nachgeschalteten Komponenten verursachen sehr oft grosse und unnötige Verluste. In einem typischen Fall (Abbildung 5) ist nur noch die Hälfte der eingespeisten Leistung nutzbar. Für eine Gesamtbewertung müssten in diesem dargestellten Fall noch weitere Verluste für die Verteilung der Luft in den Kanälen eingerechnet werden!

Abbildung 5:
Energieflüsse in einem typischen Antrieb.



Energieverbrauch

Verluste im Motor

Art, Nennleistung und Belastung entscheiden über die Verluste von Elektromotoren im Dauerbetrieb. Mit steigender Nennleistung nehmen die relativen Verluste ab: Grosse Motoren haben wesentlich bessere Wirkungsgrade als kleine. Die Streuung der Wirkungsgrade von Motoren verschiedener Hersteller nimmt ebenfalls mit wachsender Leistung ab; im unteren und mittleren Leistungsbereich - 1 bis 22 kW - sind die Unterschiede beim Wirkungsgrad jedenfalls erheblich (Abbildung 6). Beispiel: Auf dem Markt sind 30-kW-Motoren mit Wirkungsgraden zwischen 90 und 93 % erhältlich. Der verhältnismässig geringfügige Unterschied bei diesen Werten entspricht auf der Verlustseite aber einer Differenz von mehr als 30 %.

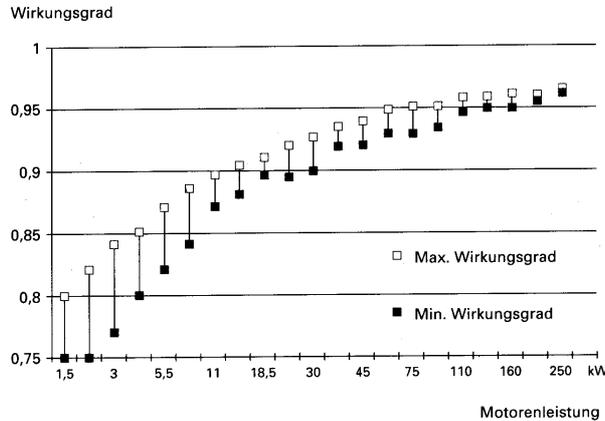


Abbildung 6: Wirkungsgrade 4poliger Maschinen in Abhängigkeit der Motorenleistung.

Die Zuordnung der motorischen Verluste zu Leistungsklassen hinterlässt ein überaus deutliches Bild (Abbildung 7). Danach entfallen zwei Drittel der motorischen Verluste in der Schweiz auf Elektromotoren im Leistungsbereich zwischen 0,1 und 10 kW. In diesem Bereich liegt also das grösste Potential zur rationellen Verwendung von Elektrizität. Grössere Motoren - insbesondere jene mit einer Leistung über 22 kW - sind weitgehend optimiert, weil die Wirkungsgrade ein Entscheidungskriterium sind. Motoren unter 100 W Leistung haben zwar tiefe Wirkungsgrade, weisen aber aufgrund der kleinen Leistung nur einen marginalen Anteil an den gesamten Verlusten auf. Die Unterschiede von Wirkungsgraden bei Motoren verschiedener Bauarten illustriert Abbildung 9.

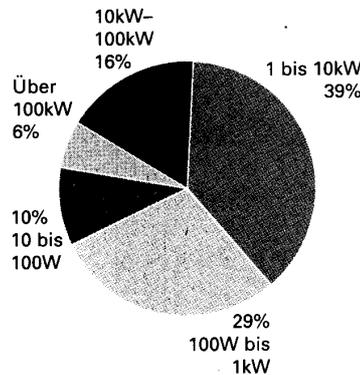


Abbildung 7. Anteile der Leistungsklassen an den motorischen Verlusten.

Doppelte Verluste

Die Verluste erwärmen den Motor. Die lapidare Feststellung ist deshalb von Bedeutung, weil oftmals die als Abwärme anfallenden Motorenverluste mit einer Kälteanlage kompensiert oder mittels einer Lüftungsanlage abgeführt werden müssen. Fazit: Antriebsverluste zählen vielfach doppelt.

Energieverbrauch

Überdimensionierung

Bei Belastung des Motors unter 50 % der Nennleistung, fällt der Wirkungsgrad stark ab. Deshalb sind die Verluste in zu gross dimensionierten Motoren erheblich. Dieses Missverhältnis von Belastung und Dimensionierung ist häufig festzustellen, das Stromsparpotential entsprechend gross.

Verluste der mechanischen Übersetzung

Die mechanische Übersetzung überträgt die Leistung des Motors unter gleichzeitiger Anpassung der Drehzahl auf die Arbeitsmaschine. Am häufigsten kommen Getriebe - meistens kombiniert mit dem Motor als Getriebemotor - und Riemen zum Einsatz (Keilriemen, Flachriemen, Zahnriemen). Die Wirkungsgrade dieser Komponenten sind in der Regel hoch und die Verluste deshalb klein. Immerhin sind zwei wesentliche Punkte zu beachten. Erstens: Der Wirkungsgrad von Getrieben sinkt mit steigendem Übersetzungsverhältnis. Bei grossen Übersetzungen ist ein Variantenvergleich angezeigt - mit Berücksichtigung der Energiekosten. Zum zweiten: Lose Keilriemen und schlecht geschmierte Getriebe verschwenden Energie und verkürzen darüber hinaus die Lebensdauer von Antriebssystemen. Regelmässiger Unterhalt lohnt sich.

Verluste der Arbeitsmaschine

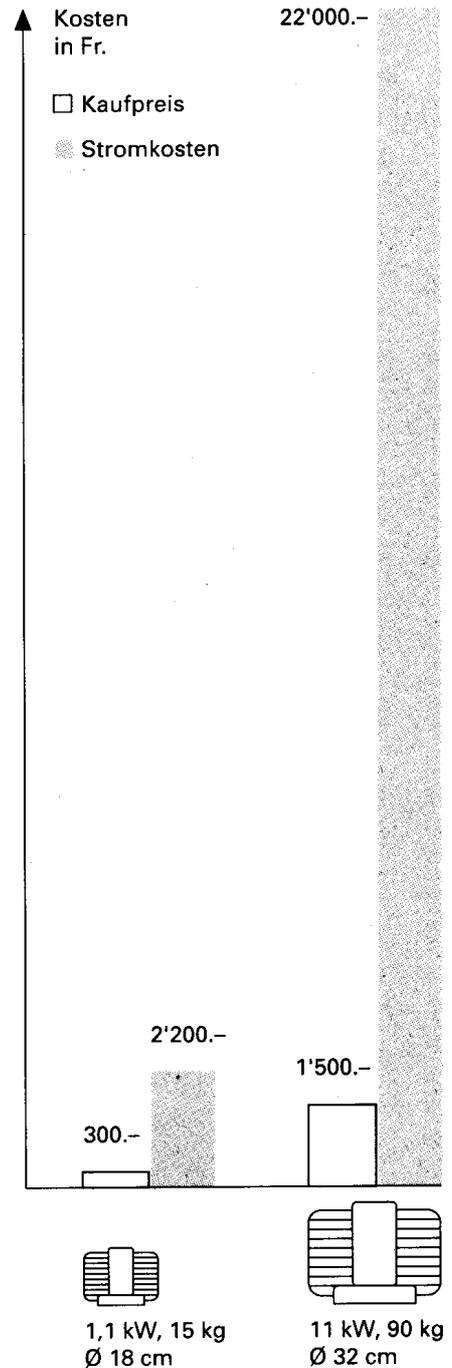
Ein grosser Teil der Antriebsverluste entfällt auf die Arbeitsmaschine. Vielfach übertreffen die Verluste der Arbeitsmaschine diejenigen des Elektromotors. Art und Komplexität der Arbeitsmaschine sind vom jeweiligen Prozess definiert, allgemein gültige Regeln zur Verringerung dieser Verluste sind demzufolge undenkbar. Genaue Kenntnisse des Prozesses sind aber eine ergiebige Grundlage, um Massnahmen zu planen und zu bewerten. In der Regel zeitigen Optimierungen von Gesamtprozessen sehr gute Resultate, während die Verbesserung des Wirkungsgrades einer einzelnen Komponente häufig nur geringen Nutzen ausweist.

Verluste durch Anpassung der Antriebsleistung

In üblichen industriellen Prozessen variiert die geforderte Nutzleistung sehr stark. Ob die Leistung des Motors an diese Nachfrage angepasst wird - und auf welche Art - sind die beiden wesentlichen Punkte. Dies fällt bei der Förderung von Medien mit Pumpen, Ventilatoren oder Kompressoren besonders ins Ge-

Abbildung 8:

Vergleich von Gestehungskosten (Kaufpreis) und Energiekosten in 10 Jahren mit je 2'000 Betriebsstunden zweier Motoren.



Energieverbrauch

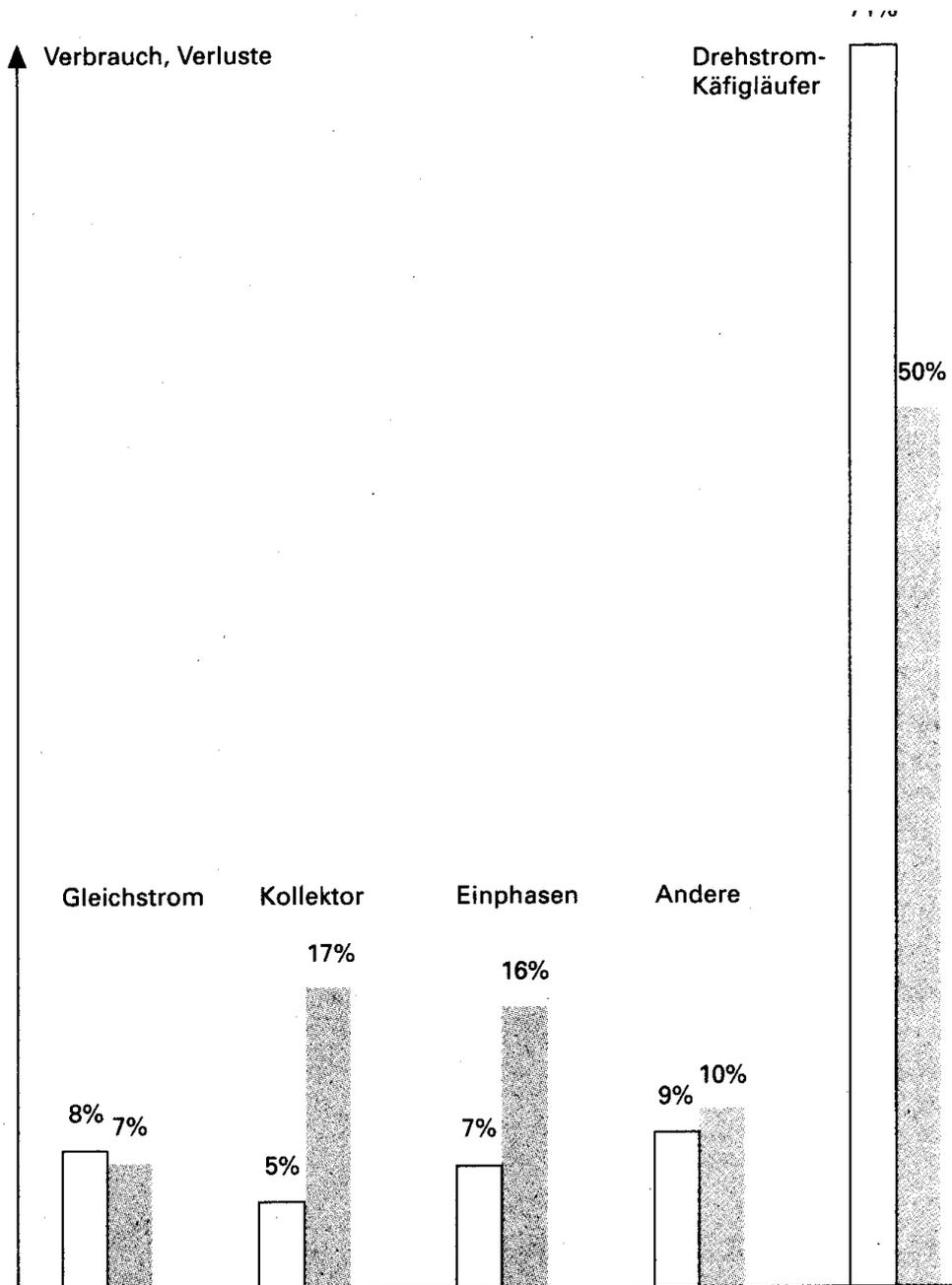


Abbildung 9: Anteile der Motorenarten an den motorischen Verlusten und am motorischen Verbrauch.

wicht. Bei vielen Arbeitsmaschinen kann die Produktions- oder Förderleistung über die Drehzahl des Motors gewählt werden. Eine grosse Zahl von Möglichkeiten sind verfügbar, die sich allerdings bezüglich Betriebsverhalten, Kosten, Energieverbrauch und Unterhalt sehr stark unterscheiden (RAVEL-Handbuch, Kapitel 5.2).

Die Wahl des Systems ist durch die Anforderungen und Betriebsbedingungen bestimmt; vielfach erfüllen mehrere Varianten mit unterschiedlichen Investitions- und Unterhaltskosten die Bedingungen. In diesen Fällen soll aufgrund einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung evaluiert werden.

Energieverbrauch

Teure Blindleistung

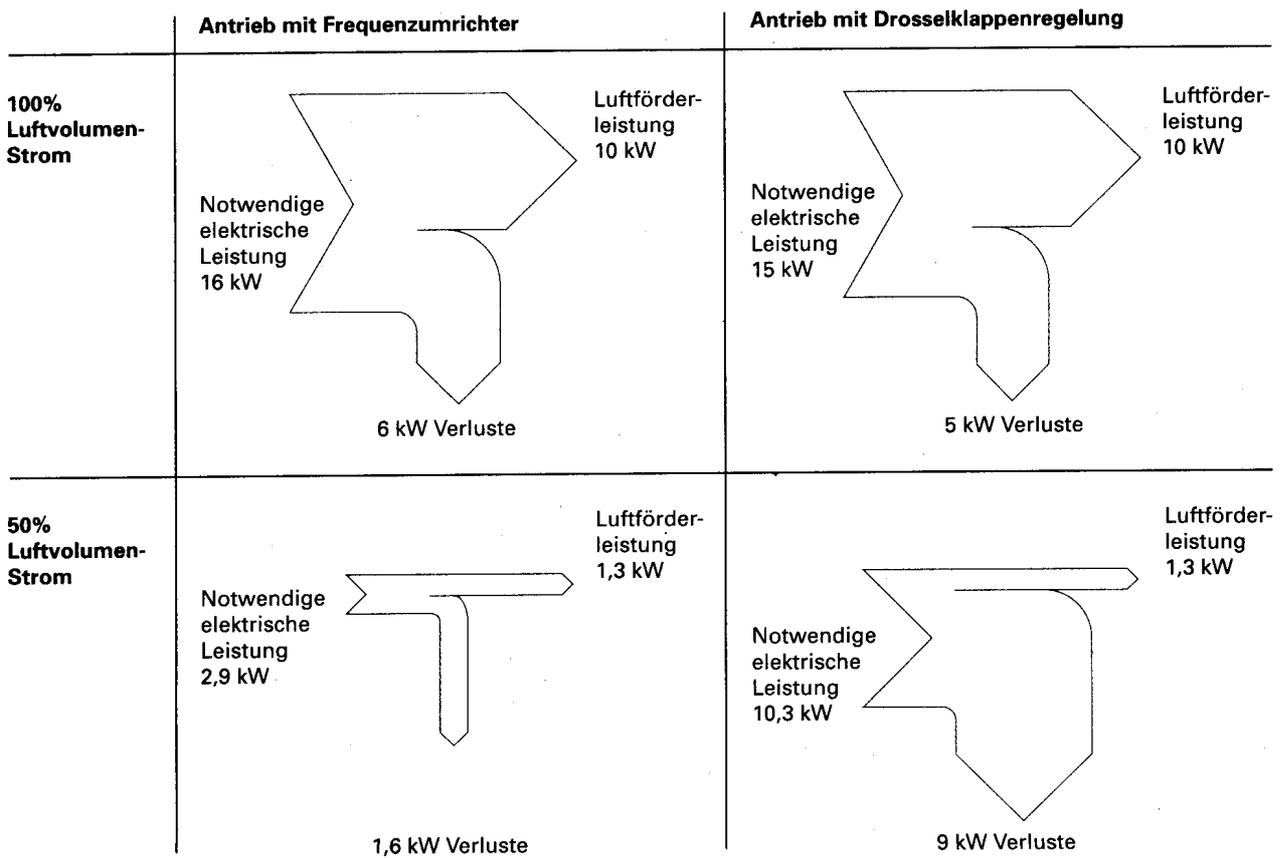
Die Verluste im elektrischen Verteilnetz betragen zwischen 1 und 10 % der übertragenen Energie. Die Berücksichtigung dieses Verlustanteiles drängt sich schon deshalb auf, weil deren Grösse durch die angespeisten Motoren beeinflusst wird. Motoren beziehen aus dem Netz sogenannte Blindleistung, die die Ströme und damit die Verluste im Netz vergrössert. Den Strombezügern in Industrie und Gewerbe verrechnen die Elektrizitätswerke deshalb diese Blindleistung. Für betroffene Betriebe ist es lohnenswert, die Blindleistung mit einer eigenen Anlage zu kompensieren.

Falls die bezogene Blindenergie jährlich mehr als 1'000 Franken kostet, zahlt sich eine eigene Kompensationsanlage aus. Stromrechnung überprüfen!

Beispiel: Industrielüftung

In Abbildung 10 ist die Drehzahlregelung mittels Frequenzumrichter mit einer Drosselklappenregelung einer Industrielüftung - bei jeweils halbem und ganzem Volumenstrom - verglichen. Naturgemäss sind bei 100 % Volumenstrom die Verluste über der zur Gänze offenen Drosselklappe kleiner im Vergleich zum Frequenzumrichter, der lastunabhängig einen kleinen Verlust verursacht. Bei halbem Volumenstrom dagegen sind die Verluste der Variante Drosselklappe mehr als 5mal grösser als diejenigen der Variante Frequenzumrichter.

Abbildung 10:
Zwei Varianten von



Regelungen einer Industrielüftung für zwei verschiedene Betriebszustände.

Energieverbrauch

Der Vergleich von Varianten ist in der Regel lohnenswert.

Der Vergleich macht deutlich, dass die Frage nach der geeigneten Leistungsregelung nur mit den spezifischen Anforderungen und dem tatsächlichen Einsatz des Antriebes beantwortet werden kann. Wird die Lüftung mehrheitlich mit Nennlast gefahren, empfiehlt sich ohne Zweifel die Drosselklappenregelung; falls aber die Anlage häufig im Teillastbereich betrieben wird, ist ein Antrieb mit Frequenzumrichter vorzuziehen. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass polumschaltbare Motoren mitunter die beste Lösung sind - je nach Anwendung. Mehrere Varianten miteinander zu vergleichen, ist auch in derartigen Fällen lohnenswert.

Weiterführende Informationen

RAVEL Handbuch: Strom rationell nutzen. Kapitel 5: Motoren, Medienförderung.. Verlag, der Fachvereine, vdf, Zürich 1992, ISBN 3 7281 1830 3.

Grundlagen für Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte bei elektrischen Antrieben. Von A. Neyer, W. Seidiger. Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1993.

Energy Efficient Motor Systems. Von S. Nadel u. a. American Council for Energy-Efficient Economy, Berkeley, California, 1991.

EnergieManagement

Handlungsspielräume orten und nutzen

Management für Belange der Energie ist in zweifacher Hinsicht lohnend: Es reduziert die Strom- und Wärmekosten, und es hat zumeist eine Straffung und Verbesserung des Produktionsablaufes zur Folge. Der Abschnitt behandelt die relevanten Elemente der Energiebewirtschaftung und quantifiziert den sinnvollen Aufwand für diese Arbeiten.

Geschäftsleitungen von Firmen denken und handeln in der Regel kostenbewusst. Diese Arbeitsweise hängt weitgehend von Entscheidungsgrundlagen ab, die aber gerade in bezug auf die Energiekosten in vielen Unternehmen fehlen. Energiekosten werden vielenorts als fixe oder quasi fixe Kosten betrachtet und budgetiert: Der Handlungsspielraum wird nicht erkannt.

Erfahrungen zahlreicher Unternehmen belegen indessen deutlich, dass Energiemanagement wirtschaftliche Erfolge zeitigt. Gerade in Industriebetrieben mit üblicherweise hohem Anteil der Energiekosten an der Wertschöpfung ist Energiemanagement unter der Leitung eines Energiebeauftragten aus verschiedenen Gründen interessant.

Lohnt sich der Aufwand für das Energiemanagement?

Bis zu 10 % der Energiekosten darf das Energiemanagement kosten.

Diese Frage kann mit drei Hinweisen beantwortet werden:

1. Der zeitanteilige Aufwand der Geschäftsleitung für das Energiemanagement lässt sich durch den Anteil der Energiekosten an der gesamten Wertschöpfung quantifizieren: Es sind in jedem Fall Tage oder Wochen.
2. Die Energiekosten bilden auch die Grundlage, um die Gesamtaufwendungen für ein Energiemanagement festzulegen. 5 bis 10 % der Energiekosten sollten in Managementmassnahmen fliessen.
3. Es ist mit steigenden Energiepreisen zu rechnen.

Politische und ökologische Aspekte

Nicht nur die Kosten allein beeinflussen Entscheidungen bezüglich eines Energiemanagements. Es sind auch ökologische und politische Randbedingungen zu berücksichtigen, die vom Industriebetrieb nicht beeinflusst werden können. Dazu zählen insbesondere die Schwierigkeiten, die schweizerische Stromproduktion wesentlich zu erhöhen sowie drohende Vorschriften im Umweltschutzbereich, die für Industriebetriebe kostentreibende Wirkung haben.

Energiemanagement

Energiebewirtschaftung erhöht die Effizienz der Produktion

Energiekosteneinsparungen haben sehr oft positive Nebenwirkungen: Aus der Analyse der Energieflüsse in Funktion der Zeit, wie dies mit einfachen Messungen möglich ist, lassen sich Rückschlüsse auf die Effizienz der Produktion ziehen. Fazit: Schwindende spezifische Energiekosten gehen vielfach mit wachsender Produktivität einher.

Die positiven Auswirkungen des Energiemanagements auf Bereiche ausserhalb der Energie fallen bei Prozessen mit geringem Energieanteil stärker ins Gewicht. Ein chemischer Industriebetrieb mit einem Energiekostenanteil von 4 % an den Produktionskosten liefert ein typisches Resultat: Nur gerade ein Fünftel der gesamten Kosteneinsparung entfiel auf die Energieverbrauchsreduzierung, je zwei Fünftel könnten durch bessere Auslastung des Personals und der Anlagen eingespart werden.

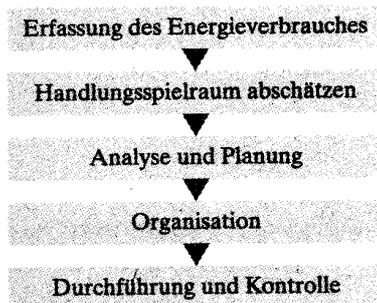


Tabelle:

Elemente der Energiebewirtschaftung.

Erfassung des Energieverbrauches

Energiebuchhaltung als Entscheidungsgrundlage.

Dieser erste und wichtigste Schritt ist die eigentliche Grundlage für Entscheidungen. Zu dieser Verbrauchserfassung gehört auch die Zuordnung zu den einzelnen Energieträgern und Anwendungen - ein Teil der Energiebuchhaltung. Ein Leitfaden zur Erfassung des Energieverbrauches besteht bereits (weiterführende Informationen). Bei der Informationsstelle für Elektrizitätsanwendungen (INFEL) ist zudem ein PC-Programm erhältlich, mit dem Daten tabellarisch bearbeitet und grafisch dargestellt werden können.

Handlungsspielraum abschätzen

Kennwerte als Mittel der Bewertung.

Wo - und allenfalls wann - kann der Energieverbrauch reduziert werden? In welchem Bereich besteht Handlungsbedarf? Den Antworten auf diese Fragen muss eine grobe Bewertung des Istzustandes, beispielsweise mittels Kennwerten, vorausgehen. Diese Kennwerte beziehen sich auf charakteristische Leistungen des Unternehmens: Produktionsausstoss in Mengen oder Stückzahlen, Umsatz in Geldwerten, Anzahl Mitarbeiter, etc. Geeignete Kennwerte ermöglichen den Vergleich mit anderen Unternehmen. Der Schweizerische Energie-Konsumenten-Verband von Industrie und Wirtschaft mit Sitz in Basel liefert seinen Mitgliedern typische Kennwerte als Gegenleistung für die Überlassung von Zahlen des interessierten Betriebes.

Energiemanagement

Analyse und Planung

Sofortmassnahmen mit geringen Kosten.

Die Analyse soll Massnahmen und den Zeitpunkt ihrer Realisierung aufzeigen. Zuvorderst stehen in der Regel Sofortmassnahmen mit nur geringen Investitionen. Dazu zählen organisatorische Massnahmen, beispielsweise die Verbesserung der Auslastung, der Wartung und der Steuerung von Produktionsanlagen. In diesem Heft sind unter der Rubrik Beispiele derartige Massnahmen aufgelistet.

Bei neuen Anlagen muss das Schwergewicht auf der Planung liegen.

Eine detaillierte Analyse ist beim Ausbau oder bei der Neuanschaffung von Anlagen angezeigt. Ersatzbedürftige Anlagen sind auszumessen, um Anhaltspunkte für die Neuauslegung zu gewinnen. Bei Neuinstallationen sind bei Planern und Lieferanten verbindliche Angaben über den Energieverbrauch zu verlangen. Noch besser ist der Vergleich von Varianten von Anlagen, die sich im Energieverbrauch unterscheiden. Allfällige Mehrinvestitionen sind in einer Wirtschaftlichkeitsrechnung dem Minderverbrauch gegenüberzustellen.

Or anisation

Energiebewirtschaftung geht alle an.

Völlig falsch ist die Vorstellung, Energiebewirtschaftung sei nur Aufgabe der Technik oder der Produktion. Alle Stufen des Betriebes sind einzubeziehen, um Erfolge zu ernten: Geschäftsleitung, Finanzstelle, Betriebsleitung, Planung, Konstruktion, Produktion, Technik, Wartung und Vertrieb. Die Motivation aller dieser Mitarbeiter ist gleichermassen Ziel und Mittel der Energiebewirtschaftung.

Die Organisation der Energiebewirtschaftung hängt von der Grösse und der Energieintensität des Betriebes ab. Der RA-VELBericht Organisation und Energiemanagement zeigt Aufgaben und Beispiele von geeigneten Organisationsformen (Weiterführende Informationen).

Durchführun und Kontrolle

Erfolge fördern die Motivation.

Betriebliches Energiemanagement muss als dauernder Prozess, nicht als einmalige Aufgabe, verstanden werden. Dazu gehört auch die regelmässige Erfolgskontrolle der Energiebewirtschaftung einerseits und der durchgeführten Massnahmen andererseits. Als Instrumente für diese Aufgaben bieten sich aktualisierte Energiestatistiken sowie die zeitliche Entwicklung der davon abgeleiteten Kennwerte an.

Methoden und Instrumente der Energiebewirtschaftung elektrischer Antriebe unterscheiden sich nur wenig von denjenigen des allgemeinen Energiemanagements. In Abbildung 2 sind die An-

Energiemanagement

teile der Antriebe am Gesamtstromverbrauch und damit die anteiligen Kosten nach Branchen aufgezeigt. Die Anteile zwischen 12 und 97 % geben einen Hinweis darauf, wieviel Gewicht elektrischen Antrieben zuzumessen ist.

Massnahmen zur Ausschöpfung von Sparpotentialen bei elektrischen Antrieben

- * Energiesparende Prozesstechnologien
- * Prozessablauf optimieren
- * Leerläufe vermeiden
- * Bedarfsabhängig steuern
- * Bei Nicht-Gebrauch manuell abschalten
- * Drehzahlregulierung im Teillastbereich
- * Dimensionierung des Antriebes
- * Komponenten mit besserem Wirkungsgrad

Weiterführende Informationen

Energieverbrauchserfassung im Industriebetrieb. A. Huser, C. Bélaz. Schriftenreihe RAVEL Industrie, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1993. Bestellnummer: 724.371 d. Bezug: EDMZ, 3000 Bern (FAX-Bestellzettel auf Seite 52).

Analyse des Energieverbrauches: Erfassen, Bewerten, Darstellen, Handeln. E Wolfart. Schriftenreihe RAVEL Industrie, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1993. Bestellnummer: 724.318 d. Bezug: EDMZ, 3000 Bern (FAX-Bestellzettel auf Seite 52).

Organisation und Energiemanagement. R. Hasenböhler u.a. Schriftenreihe RAVEL Industrie, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1993. Bestellnummer: 724.374 d. Bezug: EDMZ, 3000 Bern (FAX-Bestellzettel auf Seite 52).

Kennwerte betrieblicher Prozessketten. E Wolfart, Th. Bürki, A. Klaus. Materialien zum Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1992. Bestellnummer: 724.397.12.54 d,f Bezug: EDMZ, 3000 Bern (FAX-Bestellzettel auf Seite 52).

M. Blanck: Wettbewerbsorientiertes Energiemanagement. In: io Management, Nr. 12/1992, 61. Jahrgang. Verlag Industrielle Organisation, BWI, ETH Zürich.

Auslegung

Antriebssysteme an die Last anpassen

Antriebe an die tatsächlichen, zeitlich ändernden Aufgaben des Prozesses anpassen, heisst das wichtige Postulat dieses Abschnittes. Voraussetzungen sind die Analyse des Prozesses und die Festlegung von Anforderungen. Danach ist die Art des Antriebes und der Regelung festzulegen. Schliesslich sind die einzelnen Komponenten des Antriebes auszuwählen und zu dimensionieren.

Motoren werden im Durchschnitt nur zu 60 % ausgenutzt.

Ein grosses Potential an Stromeinsparungen liegt in der richtigen Anpassung des Antriebes an die Arbeitsmaschine: Elektrische Antriebe werden oftmals zu gross gewählt und nicht optimal geregelt oder gesteuert. Dies geht aus statistischen Erhebungen in verschiedenen Industrieländern hervor. Die durchschnittliche Ausnutzung von Motoren beträgt etwa 60 %. Die Antriebe werden also nicht im Arbeitsbereich mit den besten Wirkungsgraden betrieben. Die Folge sind ungünstige Betriebsbedingungen, unter anderem grössere Verluste, zusätzlicher Materialverbrauch und unnötige Investitionskosten. Auch der Energieaufwand für die Herstellung des Antriebes, die sogenannte graue Energie, ist dadurch unnötig hoch.

Ein systematisches Vorgehen führt zur Minimierung der Verluste im Motor, in der Speisung, im Getriebe und in der Arbeitsmaschine. Zudem resultieren aus den Verbesserungen des Produktionsprozesses, aus der Wahl eines geeigneten Motors und aus dem Wechsel vom ungesteuerten zum gesteuerten oder geregelten Betrieb erhebliche Einsparungen.

Die physikalischen Prinzipien elektrischer Antriebe sind allgemein bekannt. Antriebe können deshalb optimal ausgelegt werden, sofern die Anforderungen präzise definiert sind. Erster und wichtigster Schritt ist die Analyse des Prozesses und der daraus abgeleiteten Anforderungen für einen Antrieb.

Systematisches Vorgehen

Die Prozessanalyse soll bei Neuinstallationen im Stadium der Planung, beim Ersatz von Anlagen unter Verwendung von Daten der bestehenden Einrichtung erfolgen. Bei neuen Anlagen ist die Analyse mehrerer Varianten vorzusehen.

Die Festlegung von Anforderungen dient der Bestimmung der Parameter der anzutreibenden Arbeitsmaschine. Beispielsweise muss der zeitliche Verlauf der Last definiert sein, bzw. zwischen veränderlicher und konstanter Last unterschieden werden.

Strukturierung des Antriebes: Aufgrund der verfügbaren Spezifi-

Auslegung

kationen wird die Struktur des Antriebssystems festgelegt. Beispiele: gesteuerter oder geregelter Antrieb, mechanische Übersetzung, Einzel- oder Gruppenantrieb.

Auswahl und Auslegung der Antriebskomponenten: Aufgrund der lastseitigen Anforderungen der Arbeitsmaschine wird der Motor, das Stellglied und das Getriebe ausgewählt und dimensioniert.

Überprüfung der Auslegung. - Die Funktionsfähigkeit des Antriebssystems und der Energieverbrauch wird überprüft - beispielsweise mit einer Simulation - und die Parameter allenfalls angepasst.

Auslegung von Antrieben: Checkliste

1. Arbeitsmaschine und Umgebungsbedingungen

* Für welche Aufgabe braucht die Maschine Leistung?

* Welches sind die entscheidenden Parameter für den Antrieb? Betriebsart: Dauerbetrieb, Aussetzbetrieb mit häufigem Anfahren und Abbremsen, etc.

Betriebsparameter: Leistungsbedarf, effektive Betriebszeit, Lastmoment, etc.

Anforderungen an die Steuerung bzw. Regelung

Umgebungsbedingungen (elektrisches Netz, Temperatur, Feuchtigkeit, Schmutz, etc.)

* Kann die bestehende Anlage im Betrieb ausgemessen werden, um die Einsatzparameter zu bestimmen?

2. Auswahl des Antriebssystems

* Wie wird die Antriebsmaschine an die Arbeitsmaschine gekoppelt? Getriebe, Direktantrieb, Gruppenantrieb, Kupplung

* Wie wird der Antrieb gesteuert oder geregelt?

* Wie werden die Einschaltzeiten dem Bedarf angepasst?

* Sind mehrere Varianten vergleichbar?

Auswahl der Komponenten

Wie gross sind die Verluste, die Wirkungsgrade und die Energieverbräuche der Komponenten in den verschiedenen Betriebszuständen?

* Wie gross sind die Investitionskosten, die Unterhaltskosten und die Energiekosten?

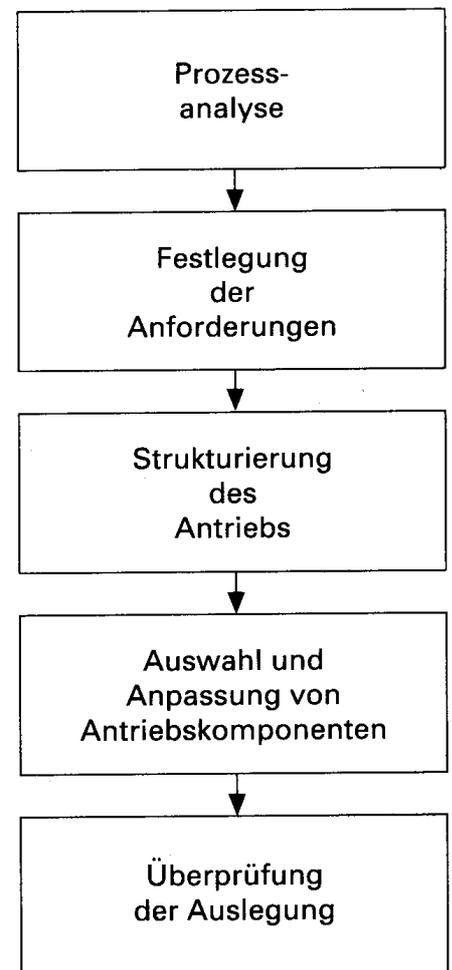


Abbildung 11:
Systematisches Vorgehen bei der Auslegung von Antrieben.

Auslegung

4. Dimensionierung des Antriebes

* Entspricht die Auslegung und Dimensionierung der geforderten Betriebsart?

* Kann der Motor überlastet werden? (Die meisten Motoren können während einer beschränkten Einschaltzeit, je nach Betriebsart, bis zu 25 % überlastet werden.)

5. Energetische Verbesserungen des Arbeitsprozesses

* Können einzelne Antriebe zeitweise ausgeschaltet werden?

* Lassen sich bewegte Massen verkleinern oder überhaupt weglassen?

* Kann die Regelung oder Steuerung des Prozesses mit Drehzahlveränderung auf der Antriebseite effizienter erfolgen?

* Kann Abwärme zurückgewonnen werden?

Hilfsmittel zur Auswahl und Auslegung
von Antrieben

**Wenn Daten fehlen:
messen!**

Analyse der Arbeitsmaschine: Die energetischen Anforderungen müssen zur optimalen Auslegung von Antrieben definiert sein. Anforderungen für Pumpen, Ventilatoren und Kompressoren können den Kennlinienfeldern entnommen werden. Die Anforderungen anderer industrieller Prozesse sind vielfach nur schwer abschätzbar. Wenn immer möglich sind entsprechende Daten an vorhandenen Anlagen oder Prototypen durch Messungen zu bestimmen.

PC-Programme helfen bei der Dimensionierung und Auswahl von Motoren und Umrichterantrieben. Hersteller und Vertreiber von Motoren bieten zum Teil derartige Programme an; es sind aber auch herstellerunabhängige Programme verfügbar. Eine Liste der Angebote ist im RAVEL-Kursdokument Elektrische Antriebe: Auslegung und Betriebsoptimierung enthalten.

Weiterführende Informationen

Elektrische Antriebe: Auslegung und Betriebsoptimierung. K. Reichert, R.E. Neubauer, H. Reiche, EW. Berg. Kursdokument im Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1993. Bestellnummer: 724.331 d. Bezug: EDMZ, 3000 Bern (FAX-Bestellzettel auf Seite 52).

Wirtschaftlichkeit

Franken und Kilowattstunden im Vergleich

Der Abschnitt beschreibt in stark gekürzter Form eine häufig angewandte Form der Wirtschaftlichkeitsberechnung, die Annuitätenmethode. Sie eignet sich insbesondere für den Vergleich mehrerer Varianten wie auch von Ist- und Soll-Zustand.

Energiesparmassnahmen sind dann wirtschaftlich, wenn ihre jährlichen Kapital- und Betriebskosten kleiner sind als die jährlichen Energiekosteneinsparungen.

Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung vergleicht heutige Investitionskosten mit zukünftigen Betriebs- und Energiekosten. Dazu werden die Investitionen in gleiche, grosse jährliche Beträge, sogenannte Annuitäten, umgerechnet. Diese enthalten die Zinskosten des eingebrachten Kapitals und die anteiligen Amortisationskosten. Die Energiekosten unterliegen während der Nutzungsdauer der Massnahme oder der Anlage einer Steigerung. Als Hilfsmittel zur Berücksichtigung dieser Veränderung bieten sich Mittelwertfaktoren an. Mit diesem Faktor werden die mittleren Energiekosten errechnet. Neben den Kapitalkosten und den Energiekosten sind die Betriebskosten Teil der jährlichen Gesamtkosten. Bedienung und Reinigung, Wartung und Unterhalt fallen unter die Betriebskosten. Sie sind, wie die Energiekosten, über die Nutzungsdauer betrachtet keineswegs konstant. Energiesparmassnahmen sind dann wirtschaftlich, wenn ihre jährlichen Kapital- und Betriebskosten kleiner sind als die jährlichen Energiekosteneinsparungen.

Für Wirtschaftlichkeitsberechnungen ist zwischen den Kosten des Stromeinkaufes (Fakturabetrag) und den Kosten der Einsatzenergie (Kosten des Stromes an der Klemme des Antriebsmotors) zu unterscheiden. Die Aufwendungen für betriebsinterne Verteilung, für Trafo, für Unterhalt und Administration sind zusätzlich zu den Einkaufskosten zu berechnen, allenfalls abzuschätzen.

Ein praktischer Leitfaden zur Wirtschaftlichkeitsberechnung ist die Broschüre RAVEL zahltsich aus.

Die Grundannahmen

* Kalkulationszinssatz und Nutzungsdauer, daraus: Annuität im Betriebskosten und Betriebskostensteigerung, daraus: Mittelwertfaktor und mittlere jährliche Betriebskosten

* Energiekosten und Energiekostensteigerung, daraus: Mittelwertfaktor und mittlere jährliche Energiekosten

Wirtschaftlichkeit

Beispiel: Optimierung einer Druckluftanlage

In diesem Beispiel wird die Wirtschaftlichkeit einer neuen Anlage im Vergleich zur alten nach der Annuitätenmethode, wie dies das Impulsprogramm RAVEL vorschlägt, dargestellt. Es geht um die Optimierung einer Druckluftanlage in einer Zeitungsdruckerei.

* Die in Betrieb stehenden Kompressoren für Druckluftherzeugung sind stark überdimensioniert. Mit dem Einbau eines zusätzlichen Kompressors zur Deckung des Grund- und Schwachlastbedarfes und einer lastabhängigen Umsteuerung kann Leerlaufenergie eingespart werden. Aus Investitionen von 20'000 Fr. resultieren jährliche Einsparungen von 66'700 kWh Strom.

* Wegen der geringeren Kompressor-Leerlaufzeiten fällt ein Volservice weg. Der Posten Wartungs- und Unterhaltskosten kann um 1'000 Fr. gekürzt werden.

* Abwärme der Kompressoren kann zur Aufbereitung des Warmwassers genutzt werden. Damit werden jährlich 36'700 kWh eingespart, bei Investitionskosten von 30'000 Fr.

* 9'700 Fr. betragen die mittleren jährlichen Einsparungen und, 4 Jahre die Rückzahlfrist dieser beiden Massnahmen.

Abbildung 12:

Mittlere jährliche Kosten bzw. Erträge. Rückzahlfrist: 4 Jahre.

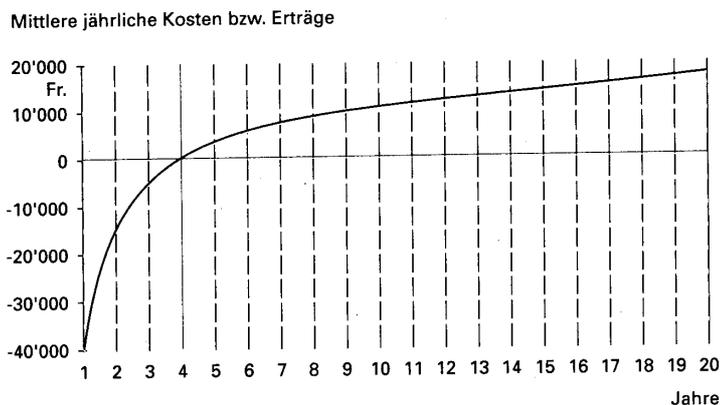


Tabelle:

Grunddaten bei einer Inflationsrate von 4 %.

Kalkulationszinssatz	Realzins	4 %	Nominalzins	8 %
Betriebskostensteigerung	real	1 %	nominal	5 %
Energiepreissteigerung				
Elektrizität für Kompressor	real	1 %	nominal	5 %
Elektrizität für Warmwasser	real	1 %	nominal	5 %

Tabelle:

Kapitalkosten. WRG: Wärmerückgewinnung, WW. Warmwasser.

Anlageteil	Investition	Nutzungsdauer	Annuität	Jährliche Kapitalkosten
Kompressor	20'000 Fr.	10 Jahre	0,149	- 2'980 Fr.
WRG für WW	30'000 Fr.	10 Jahre	0,149	- 4'470 Fr.
Summe	50'000 Fr.			- 7'450 Fr.

Wirtschaftlichkeit,

Anlageteil		Betriebskosten-einsparung
Kompressor	Reduktion der Leerlaufzeiten spart einen Vollservice	+ 1'000 Fr.
Summe	-	+ 1'000 Fr.

Tabelle:
Jährliche Betriebskosten-einsparung.

Energieträger	Grundpreis	Verbrauch	Spez. Kosten	Energiekosten-einsparung
Elektrizität		Einsparung		
Kompressor	-	66'700 kWh	0,12 Fr.	+ 8'004 Fr.
Warmwasser	-	36'700 kWh	0,12 Fr.	+ 4'404 Fr.
Summe	-			+12'408 Fr.

Tabelle:
Jährliche Energiekosten-einsparung.

	Mittelwert-faktoren	Jährliche Erträge	Mittlere jährliche Erträge
Kapitalkosten	-	- 7'450 Fr.	- 7'450 Fr.
Betriebskosten	1,281	+ 1'000 Fr.	+ 1'281 Fr.
Energiekosten für Kompressor	1,281	+ 8'004 Fr.	+ 10'253 Fr.
für Warmwasser	1,281	+ 4'404 Fr.	+ 5'642 Fr.
Summe			+ 9'726 Fr.

Tabelle: Summe der mittleren jährlichen Kosten und Erträge.

Weiterführende Informationen

RAVEL zahlt sich aus: Ein praktischer Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsberechnungen. A. Müller, F. Walter. Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1992. Bestellnummer: 724.397.42.01 d.f. Bezug: EDMZ, 3000 Bern (FAXBestellzettel auf Seite 52).

Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiesystemen. R. Leemann. Materialien zum Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1992. Bestellnummer: 724.397.12.51.2 d. Bezug: EDMZ, 3000 Bern (FAX-Bestellzettel auf Seite 52).

Beispiel Druckluft

Leerläufe und Lecks sind Stromfresser

Das Beispiel der Erzeugung und Verteilung von Druckluft in industriellen und gewerblichen Betrieben zeigt Einsparpotentiale und wirtschaftliche Massnahmen auf. Der Abschnitt erhellt, dass die Aufwendungen für Strom oftmals grösser sind, als auf den ersten Blick vermutet.

Technik

Dank der Sicherheit und Anwenderfreundlichkeit ist Druckluft ein weitverbreitetes industrielles Medium. Rund 4 % des Stromverbrauches für Motoren in der Industrie fliessen in Antriebe der Druckluftherzeugung.

Sinkt der Druck im Druckbehälter unter einen minimalen Wert, startet der Kompressor. Die angesogene Aussenluft wird gefiltert, komprimiert und getrocknet. Der Verdichtungsprozess wird unterbrochen, sobald der Druck im Behälter den gewünschten Wert erreicht (Abbildung 14).

Der grösste Teil des Stromes wird in Abwärme umgewandelt ein riesiges Potential zur Abwärmenutzung, beispielsweise zur Hallenheizung oder zur Wassererwärmung.

Kosten

Als Energieträger ist Druckluft rund 20mal teurer als Strom. Von den jährlichen Gesamtkosten einer 37-kW-Anlage von 26'000 Fr. fallen 35 % oder 9'000 Fr. als Investitionskosten, 15 % (4'000 Fr.) als Unterhaltskosten und die Hälfte, 13'000 Fr., -als Energiekosten an. Die spezifischen Kosten liegen zwischen 5 und 10 Rp./M3. Den Verantwortlichen wie auch den Anwendern sind die hohen Druckluftkosten in der Regel nicht bewusst.

Massnahmen

Betrieb

* Der zeitliche Druckverlauf im Netz zeigt Verbrauchsänderungen und allfällige Überforderungen des Druckluftnetzes auf.

* Last- und Leerlaufzeiten: Eine gut ausgelastete Anlage läuft nur etwa 10 bis 15 % der Betriebszeit im Leerlauf.

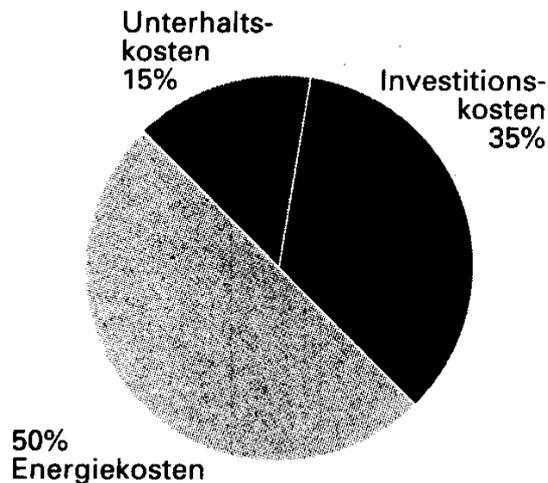
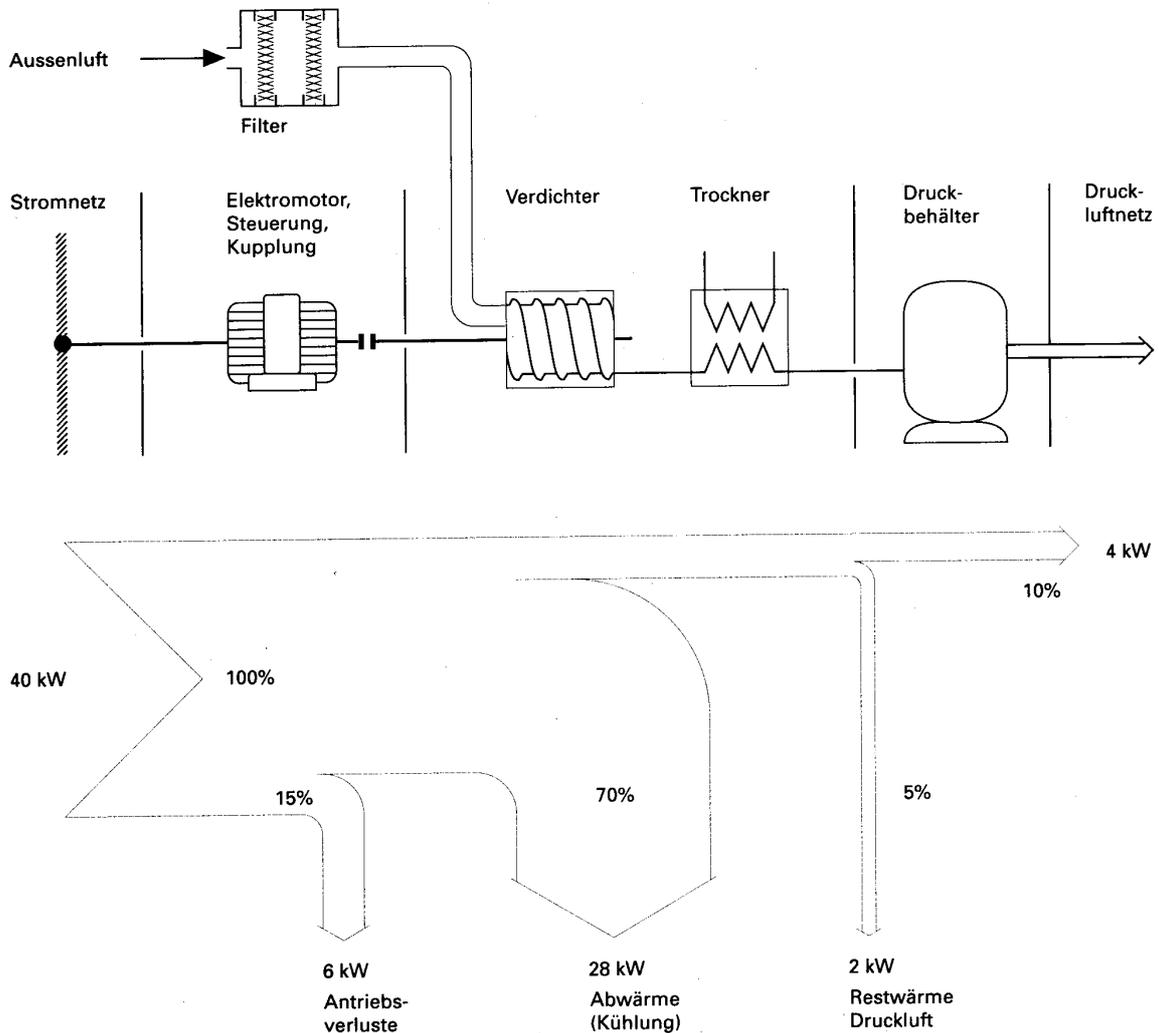


Abbildung 13:
Aufteilung der Gesamtkosten
einer 37-kW-Anlage zur
Druckluftherzeugung.

Beispiel Druckluft

Abbildung 14:
Energieflussdiagramm der
Druckluftherzeugung.



* Der Kühlwasserverbrauch gibt Aufschluss über Ausnutzung des Kühlwassers und über das Potential der Abwärmenutzung.

* Ansaug-, Kühlluft- und Raumtemperatur: Erhöhte Temperaturen verringern den Gesamtwirkungsgrad. Bei steigender Temperatur der Ansaugluft verringert sich wegen der geringeren Dichte die Förderleistung bei gleichem Ansaugvolumen.

Wartung und Unterhalt

* Ein verschmutzter Ansaugfilter senkt die Wirkungszahl und die Förderleistung.

* Ventile büssen während ihrer Lebensdauer ständig an Dichtheit ein. Vorgeschriebene oder empfohlene Ventilrevisionen sind unbedingt durchzuführen.

* Kupplungen, Keil- und Flachriemen sind regelmässig zu überprüfen.

* Öl- und Luftkühler sind regelmässig zu reinigen. Dadurch bleiben die Betriebstemperaturen möglichst tief.

Beispiel Druckluft

* Kleine Leckverluste sind unvermeidbar. Grössere Lecks können durch Verbrauchsmessungen oder durch hörbares Zischen der austretenden Luft gefunden und behoben werden. Die Leckverluste steigen mit der dritten Potenz des Druckes im Netz.

Neuinstallationen

* Grösse: Für den Kompressor ist ein möglichst hoher Auslastungsgrad anzustreben. Zur Bestimmung der Leistung ist deshalb der Druckluftverbrauch präzise zu errechnen, oder, bei Ersatz, an der alten Anlage zu messen. "Angstzuschläge" sind tunlichst zu vermeiden. Bei stark variierendem Verbrauch, beispielsweise Tages- und Nachtbetrieb, sind zwei Kompressoren vorzusehen: Ein kleines Aggregat zur Deckung der Grundlast, ein grosses zur Spitzenlastdeckung.

* Ein- und Ausschalt drücke: Wenn immer möglich von hohen Drücken absehen, da der Energieaufwand mit wachsenden Drücken stark steigt.

Kompressortyp: Das Aggregat sollte auf die jeweilige Anwendung abgestimmt sein. Kriterien zur Auswahl des Kompressors sind Leistung und Druckbereich sowie die Qualität der Druckluft (beispielsweise ölfreie Druckluft).

Beispiel

Betrieb der Verpackungsindustrie: Die Messung an einem 75-kWKompressor mit einer Luftleistung von 500 M³/h deckte einen Verlust von rund 300 m³/h auf Grund: Ein Entlastungsventil im Kompressor war defekt. Der Defekt hatte aufgrund des Mehrverbrauches an Strom Kostenfolgen von tagtäglich 165 Fr. Durch Wartung oder Kontrollen könnten derartige Mehrkosten vermieden werden.

Massnahmen

Der Stromverbrauch im Leerlauf beträgt mehr als die Hälfte des Verbrauches im Lastbetrieb.

Sofortige Reparatur des defekten Ventils. Kosten: 500 Fr.

Installation eines dem Nachtbedarf angepassten Kompressors, da der bestehende Kompressor nachts zu rund 90 % im Leerlauf betrieben wurde. (Kompressoren sind in der Regel mit Ausschalthemmungen ausgerüstet, um allzu häufiges Anlaufen des Antriebsmotors zu verhindern. Dadurch läuft das Aggregat aber häufig leer, das heisst, bei drehendem Elektromotor und bewegtem Kompressor wird keine Verdichtungsarbeit geleistet. Der Stromverbrauch im Leerlauf beträgt aber 50 bis 70 % des Verbrauches im Lastbetrieb.)

Beispiel Druckluft

Wirtschaftlichkeit

Investition für zusätzlichen Kompressor: 20'000.- Fr.
Stromeinsparung (Leerlaufstrom 70'000 kWh/a) 10'500.- Fr./a
Reduktion der Wartungskosten (aufgrund
geringerer Betriebsstundenzahlen) 1'500.- Fr.
Kosteneinsparung insgesamt 12'000.- Fr./a

Rückzahlfrist weniger als 2 Jahre

Weitergehende Informationen

Wirkungsgradoptimierung der Druckluftherzeugung und -verteilung. F. Münst. Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für
Konjunkturfragen, Bern 1992. Bestellnummer: 724.397.21.54 d.
Bezug: EDMZ, 3000 Bern (FAX-Bestellzettel auf Seite 52).

Beispiel Lüftung

Betriebszeiten und Volumenstrom reduzieren

Das Postulat, die Energiedienstleistung an die tatsächlichen Erfordernisse anzupassen, ist im Bereich der Industrielüftungen besonders aktuell. Viele Massnahmen sind organisatorischer Art oder setzen nur geringe Investitionen voraus. Aufwendig sind dagegen Veränderungen in den Lüftungszentralen und an den Lüftungskanälen.

Technik

Nach Schätzungen entfallen etwa 10 bis 15 % des motorischen Stromverbrauches in der Industrie auf Lüftungsanlagen. Es werden Raumlufthanlagen und Quellenabsauganlagen unterschieden.

Quellenabsauganlagen arbeiten effizienter als Raumlufthanlagen.

Raumlufthanlagen belüften und beheizen Räume und Hallen. In der Regel wird die Luft des ganzen Raumes erneuert. Bei Prozessen mit hohen Schadstoffemissionen ist die Abluft mit Vorteil direkt an der Quelle abzusaugen (Quellenabsauganlagen). Im Vergleich zu Raumlufthanlagen arbeiten Quellenabsaugungen wesentlich effizienter: Bessere Raumluft bei gleichzeitig niedrigerem Stromverbrauch.

Massnahmen

* Strom- und Kosteneinsparungen ergeben sich aus der Beeinflussung folgender Faktoren: Anpassung der Betriebszeit, Reduktion des Luftvolumenstromes, Verringerung des Druckverlustes in den Lüftungskanälen sowie Erhöhung des Wirkungsgrades der Komponenten.

* Die Anpassung der Betriebszeit an die Nutzungszeit kann meist mit einfachen Mitteln realisiert werden (Schaltuhren, Schadstoffsensoren, Steuerung über das Leitsystem). Dadurch ist die Lüftungsanlage nur dann in Betrieb, wenn dies nötig ist.

in Durch Reduktion des Luftvolumenstromes kann der Energieverbrauch einer Anlage sehr stark reduziert werden. Denn die elektrische Leistung einer Lüftungsanlage steigt mit der 3. Potenz des geförderten Luftstromes. Der Luftvolumenstrom lässt sich einerseits durch eine variable Steuerung, andererseits durch eine bessere Auslegung der Anlage reduzieren. Selbstverständlich dürfen die Massnahmen zur Reduktion des Luftvolumenstromes nicht die Gesundheit von Beteiligten gefährden.

* Der Druckverlust in den Lüftungskanälen ergibt sich aus deren Dimensionierung. Beispielsweise ist bei einer Verdoppelung der

Beispiel Lüftung

Vergrößerungen von Kanalquerschnitten sind teuer, aber auch wirkungsvoll.

Kanalquerschnitte nur noch ein Viertel der Energie zum Transport der gleichen Luftmenge notwendig. Veränderungen von Kanalquerschnitten ist allerdings mit relativ hohen Investitionen verbunden. Durch den Vergleich verschiedener Varianten in der Planung lassen sich Kosten und Einsparungen quantifizieren. Dabei sollen Investitions-, Energie- und Wartungskosten verglichen werden.

* Die Wirkungsgrade der Komponenten, vor allem des Motors, der mechanischen Übersetzung (Riemenantrieb) und des Ventilators spielen eine wichtige Rolle. Durch Installation von Komponenten mit höherem Wirkungsgrad reduziert sich der Stromverbrauch entsprechend.

Arbeitshygienische Grundsätze

MAK-Werte beziffern das zulässige Mass an Schadstoffen in der Raumluft. MAK steht für Maximale Arbeitsplatz-Konzentration. Die Werte sind Teil der SUVA-Vorschriften und im SUVA-Formular 1903.d festgelegt. Für die Beurteilung vieler Stoffgemische in der Industrie sind die MAK-Werte indessen nur bedingt geeignet. In der Praxis werden deshalb häufig Faustformeln und Erfahrungswerte verwendet. Nach Unfällen schalten gewisse Anlagen auf Sturmlüftung, was eine massive Vergrößerung der Zu- und Abluftströme, beispielsweise eine Verdoppelung, zur Folge hat.

Checkliste

Sofortmassnahmen ohne Investitionen

- * Personal motivieren, Anlagen bei Nichtgebrauch auszuschalten
- * Einstellungen und Funktion von Schaltuhren periodisch überprüfen, besonders nach Stromausfall und Umstellung von Winter- und Sommerzeit
- * Programm der Regel- und Steueranlagen bei Umstellungen der Fabrikation kontrollieren
- * Luftmenge reduzieren (MAK-Werte beachten)
- * Anlagen regelmässig unterhalten: Filter reinigen oder ersetzen; lose Keilriemen straffen oder austauschen; Motorenhäuser und Lüftungsschlitze reinigen

Neue Anlagen

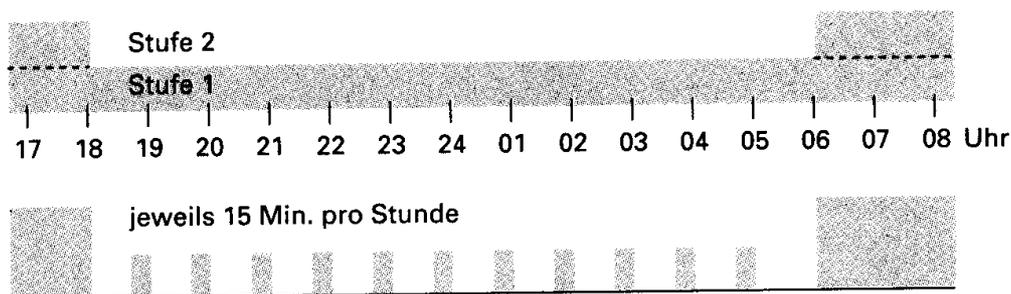
- * Anlage nach der häufigsten Betriebsart optimieren und stufenlose Antriebe in Betracht ziehen
- * Quellenabsauganlagen einsetzen (bessere Luft, weniger Strom)

Beispiel Lüftung

- * Stufenlose oder mehrstufige Leistungsregelung der Ventilatoren oder mehrere gesteuerte Einzelventilatoren vorsehen
- * Für die Sturm Lüftung separaten Motor einplanen
- * Wärmerückgewinnung integrieren (erhöht Stromverbrauch, reduziert aber den Wärmeverbrauch erheblich)

Beispiel

In einem Chemiebetrieb läuft die Lüftungsanlage während des grössten Teils des Jahres nachts auf der untersten Stufe. Abklärungen ergaben, dass eine stossweise Lüftung aber völlig genügen würde, um störende Emissionen zu beseitigen. Mit dieser Regelung kommt die Lüftung nur jeweils für 15 Minuten in Betrieb, statt ohne Unterbruch die ganze Nacht grosse Mengen Strom zu verschwenden: Im Nachtbetrieb entspricht die Verbrauchsreduktion 75 % oder etwa 90'000 kWh.



Umgerechnet auf den Gesamt-, verbrauch der Lüftung beträgt die Einsparung immer noch 20 %.

Abbildung 15:
Dauernder und stossweiser
Betrieb einer Industrielüftungs-
anlage.,

Weiterführende Informationen

Elektrizitätsbedarf von Industrielüftungen. U Fischli u.a. Materialien zum Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1992. Bestellnummer: 724.397.21.62 d. Bezug: EDMZ, 3000 Bern (FAX-Bestellzettel auf Seite 52).,

Beispiel Kühlung

Kennwerte zeigen Potentiale auf

Wo muss der Hebel angesetzt werden? Welches sind die Massnahmen mit dem besten Kosten-Nutzen-Verhältnis? Auf diese Fragen geben Kennwerte eine Antwort. Der auf eine Produktionseinheit bezogene Energieverbrauch macht Vergleiche möglich und Sparpotentiale sichtbar.

Technik

In einzelnen Industriezweigen ist der Energieverbrauch für Kälte sehr hoch.

Kälte wird meistens von Kältemaschinen mit elektrisch betriebenen Kompressoren erzeugt. Bei einem anderen Verfahren, dem Absorptionskälteprozess, dient Wärme, beispielsweise Dampf oder Heisswasser, als Antriebsenergie. Leider sind nur wenig statistische Angaben über die Verwendung von Elektrizität in Kälteprozessen verfügbar. In einzelnen Industriezweigen ist der Anteil des Energieverbrauches für Kälte am Gesamtverbrauch sehr hoch; dies gilt beispielsweise für die Branchen Nahrungsmittel, Chemie und Textil.

Prinzip der Kompressionskältemaschine: Im Verdampfer wird dem zu kühlenden Medium Wärme entzogen. Diese Wärme und die eingespiessene Antriebsenergie - Strom - fällt am Kondensator als Abwärme an. Die Nutzung dieser Abwärme zur Aufbereitung von Warmwasser oder zur Raumheizung ist vielfach wirtschaftlich. Entsprechende Abklärungen drängen sich insbesondere bei der Planung neuer Anlagen an.

Massnahmen

Kühlraum wirksam gegen Wärmeverlust dämmen
Türen automatisch schliessen lassen
Antriebsmotor und Kompressor mit hohen Wirkungsgraden einsetzen

Aggregat optimal steuern

Kondensationstemperatur richtig einstellen

Regelung des Kälteprozesses im Teillastbetrieb
Bypass-Regelung vermeiden
Kompressoren optimal abstufen

Speicher, Kaltwasserleitungen und Kühlräume verbessern
Wärmerückgewinnung einplanen

Beispiel Kühlung

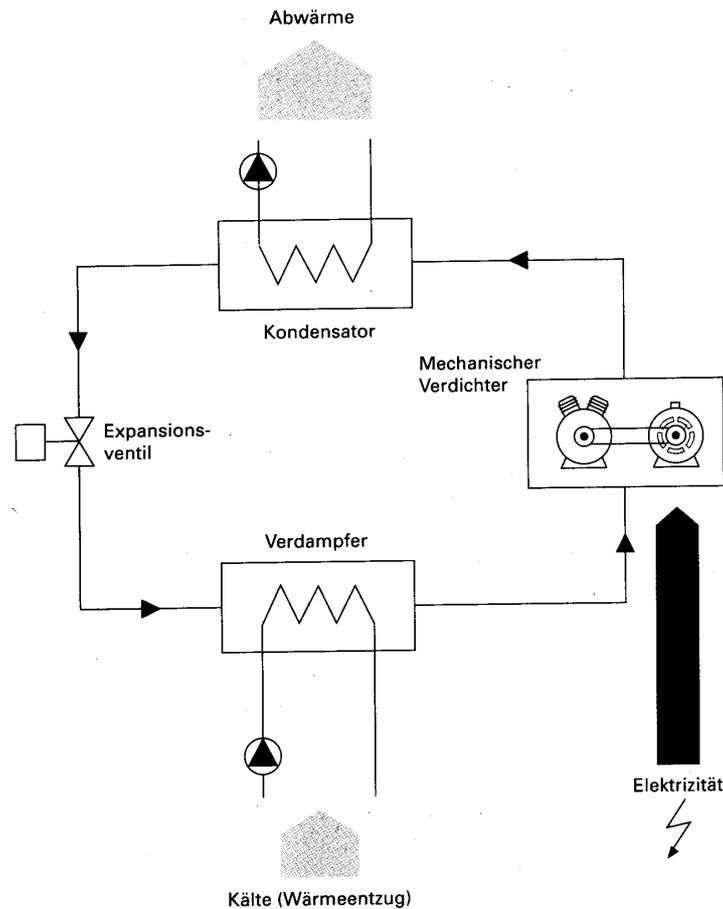


Abbildung 16:
Schema einer Kompressionskälteanlage.

Kältespitzenbedarf durch organisatorische Massnahmen am
Prozessablauf vermindern

Kältespitzenbedarf teilweise durch Speicher, beispielsweise durch Eisspeicheranlagen, decken

Kühlwasser entsprechend den geforderten Temperaturniveaus mehrstufig nutzen

Beispiel

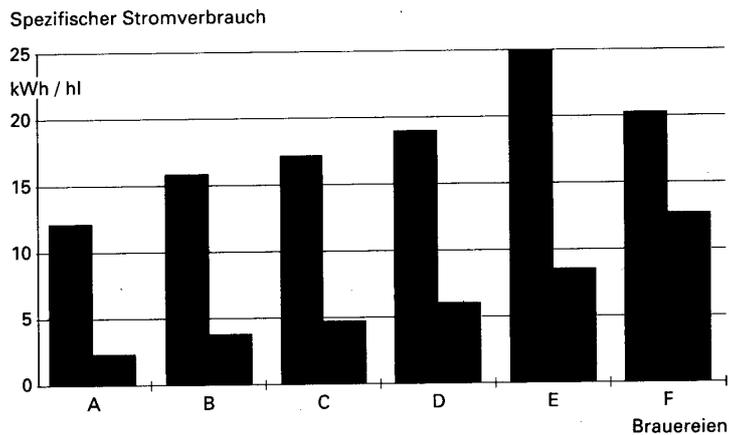
Kennwerte geben spezifische Energieverbräuche an, meist der auf eine produzierte Menge oder Stückzahl bezogene Energieverbrauch. Sie sind zur Bewertung von Prozessen sehr aussagekräftig, weil sie einfache Quervergleiche ermöglichen und bei der Ortung von Schwachstellen hilfreich sind. Im nachfolgenden Beispiel aus der Bierbrauerei haben die Kennwerte die Einheit kWh/hl Bier. Die Kennwerte, wie sie in der Abbildung dargestellt sind, wurden vorhandenen Betriebsstatistiken entnommen, um den Aufwand gering zu halten (Betriebsstundenzähler, Stromzähler, Produktionsdaten). Unter den 6 Bierbrauereien schwankt sowohl der Gesamtstromverbrauch wie auch der Anteil für die

Beispiel Kühlung

Kälteerzeugung. Allein dieser Vergleich gibt Aufschluss über Stromsparpotentiale. Die Brauerei A wendet 19 % des Stromes für die Kälteerzeugung auf, in der Brauerei F beziffert sich dieser Anteil auf 62

Noch krasser fällt der Vergleich zwischen physikalisch notwendiger Kälte - das entspricht dem theoretischen Minimum - und gesamter produzierter Kälte aus. Die physikalisch notwendige Kälte schwankt nur in einem kleinen Bereich zwischen 3,5 und 5 kWh/hl Bier. Dagegen unterscheiden sich die Werte der gesamten produzierten Kälte um einen Faktor 4. Diese Unterschiede lassen sich teilweise durch die Differenzen in den Umschlagszeiten der Lager erklären. Ein grösserer Teil der Mehrverbräuche ist in der ineffizienten Erzeugung und Verteilung von Kälte sowie in der geringen Wärmedämmung von Lagerräumen begründet.

Vertreter der untersuchten Brauereien sind Mitglieder einer Arbeitsgruppe. Analyse und Bewertung der differierenden Kennwerte haben bei den beteiligten Betrieben eine ganze Reihe von wirtschaftlichen Massnahmen ausgelöst, weitere



sind in Vorbereitung.

Abbildung 17. Spezifischer Gesamtstromverbrauch und spezifischer Stromverbrauch für die Kälteerzeugung von 6 Brauereien.

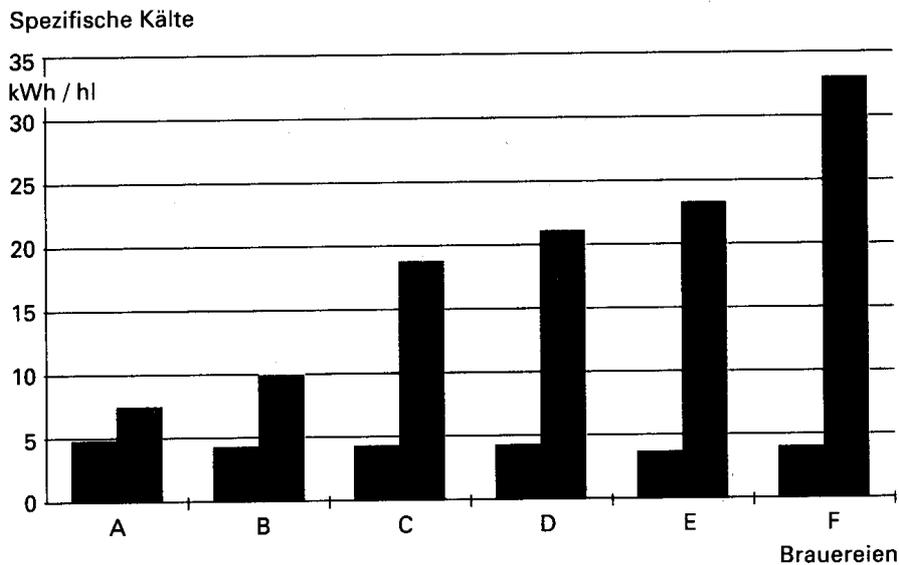


Abbildung 18: Produzierte Kälte und physikalisch notwendige Kälte von 6 Brauereien (spezifische Werte).

Beispiel Kühlung

Weiterführende Informationen

Kennwerte betrieblicher Prozessketten. E Wolfart, Th. Bürki, A. Klaus. Materialien zum Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1992. ,
Bestellnummer: 724.397.12.54 d.f. Bezug: EDMZ, 3000 Bern (FAX-Bestellzettel auf Seite 52).

Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung. R. Brunner, V. Kyburz. Kursdokumentation im Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1992.
Bestellnummer: 724.355 d. Bezug: EDMZ, 3000 Bern (FAXBestellzettel auf Seite 52).

Beispiel Pumpen

Motor regeln statt Förderstrom drosseln

Allein die Drehzahlregelung von Pumpen zur Variierung des Förderstromes birgt ein riesiges Stromsarpotential - teilweise mit sehr guten Kosten-Nutzen-Verhältnissen. Der Grund liegt in den vergleichsweise geringen Kosten für die Regelung bei gleichzeitig breiter Anwendung und hoher Ausbeute.

Technik

Zwischen 15 und 20 % des motorischen Verbrauches in der Industrie gehen auf das Konto von Pumpen. Das veranschlagte Einsarpotential ist beträchtlich, weil sich der Energieverbrauch von Pumpen durch Drehzahlregelung häufig drastisch senken lässt. Das Anwendungsspektrum der Pumpen in der Industrie ist sehr breit, entsprechend vielfältig sind die Bauarten und geförderten Medien.

Typische Anwendungen: Wärme- und Kältetransport mit Wasser; Förderung von speziellen Medien wie Heizöl, Treibstoffe, Hydrauliköl, Chemikalien, Abwasser, etc. Eingesetzte Bauarten: Kreiselpumpen, Kolbenpumpen, Zahnradpumpen, Schraubepumpen, Flügelpumpen, Membranpumpen, etc.

Die energetisch wichtigsten Einsatzgebiete von Pumpen in der Industrie sind Umwälzpumpen für den Transport von Warm- oder Kaltwasser (Wärme oder Kälte) sowie Pumpen für die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Einen überdurchschnittlich hohen Anteil an Pumpenergie weisen die beiden Branchen Chemie und Papierindustrie aus.

Bei einer Pumpe steigt der Leistungsbedarf mit der 3. Potenz der Drehzahl und des Förderstromes.

Bei einer Pumpe im geschlossenen Kreislauf steigt der Leistungsbedarf mit der 3. Potenz der Drehzahl und des Förderstromes. Dieser Zusammenhang ist für die Beurteilung von PumpenSystemen von grösster Bedeutung. Beispiel: Wird in einem Betrieb zeitweise nur der halbe Förderstrom benötigt, so beträgt der theoretische Antriebsleistungsbedarf nur 12,5 % der Nennleistung, sofern mit einer Drehzahlregelung die halbe Drehzahl gefahren wird. Dagegen sind 80 % der Nennleistung für den Antrieb notwendig, wenn die Pumpe auf voller Drehzahl läuft und der Förderstrom gedrosselt wird.

Wesentliche Grundlage für Auswahl und Auslegung von Pumpen sind das jeweilige Kennlinienfeld und die Kennlinien des Rohrleitungsnetzes. Hersteller messen die Pumpen aus und stellen die Kennlinien in den Katalogen dar. Die Kennlinie des Netzes kann berechnet, oder, beim Ersatz einer Pumpe, allenfalls gemessen werden. Der Betriebspunkt der Pumpe liegt im Schnittpunkt der beiden Kennlinien. Ein möglichst hoher Wirkungsgrad im häufigsten Betriebspunkt muss das ausschlaggebende Kriterium zur Auswahl der Pumpe sein.

Beispiel Pumpen

Massnahmen

- * Pumpen ausschalten, wenn nicht gefördert werden muss
- * Strömungswiderstände im Rohrnetz reduzieren: Leitungen grosszügig dimensionieren, Abgleichorgane einbauen, Netz einfacher schalten
- * Rohrleitungssystem hydraulisch abgl'eichen
- * Pumpen optimal steuern bzw. regeln
- * Pumpen optimal dimensionieren
- * Pumpe mit höherem Wirkungsgrad auswählen

Beispiel

In einem Industriebetrieb fördert eine Pumpe Abwasser aus einem Zwischentank zur Abwasserreinigungsanlage. Der Abwasseranfall hängt von der Produktion ab und variiert entsprechend. Das Drosselventil am Ausgang der Pumpe regelt die Fördermenge derart, dass der Wasserstand im Zwischentank nicht ändert. Die Fördermenge schwankt dadurch zwischen 50 und 100 %. Mit einem Frequenzumrichter, der die Drehzahl der Pumpe regelt, kann im Vergleich zu einer Drosselregelung viel Elektrizität eingespart werden. Die Einsparungen berechnen sich aus der zeitlichen Verteilung der Fördermengen und der Differenz der aufgenommenen Leistungen. Im erwähnten Beispiel der Abwasserförderung betragen die Einsparungen rund 55'000 kWh, der Einsatz eines Frequenzumrichters zur Drehzahlregelung ist deshalb wirtschaftlich (Abbildung 19).

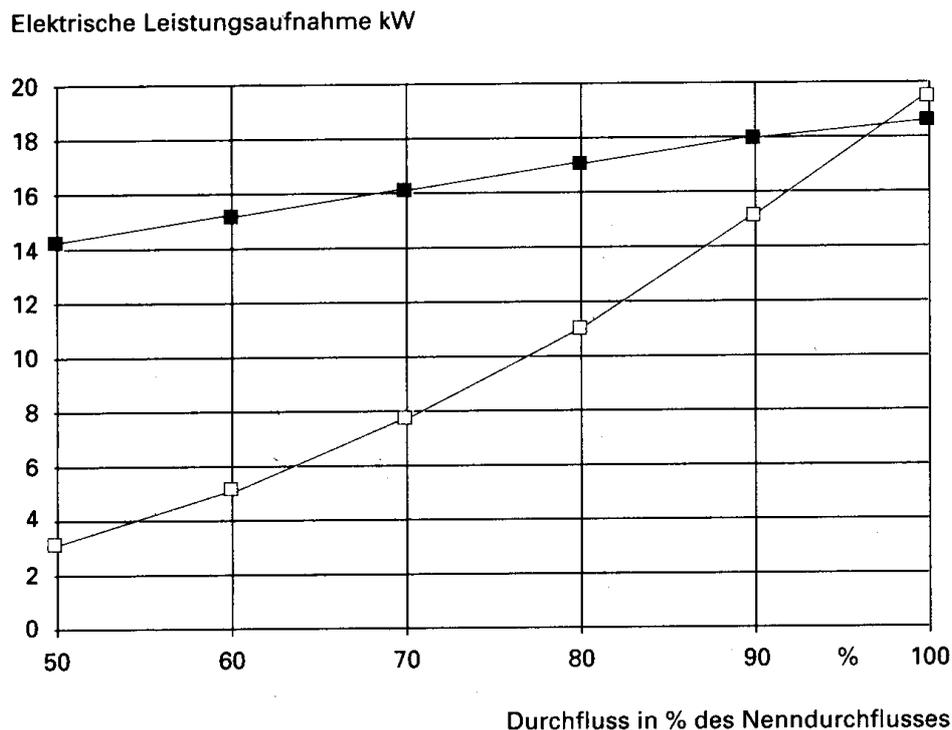


Abbildung 19:
Elektrische Leistungsaufnahme einer Pumpe in Abhängigkeit des Durchflusses für zwei Arten der Regelung (variabler Druck).

Beispiel Pumpen

In einem zweiten Beispiel ist die Wirtschaftlichkeit des Frequenzumrichters nicht gegeben. Es handelt sich dabei um eine Anwendung, bei der der Druck beinahe konstant ist (Grundwasserpumpe). Trotz der vergleichsweise schlechteren Randbedingungen können rund 10'000 kWh Energie eingespart werden (Abbildung 20). Fazit: Generelle Aussagen in bezug auf die Wirtschaftlichkeit sind kaum möglich. Es empfiehlt sich, jeden Fall separat zu prüfen.

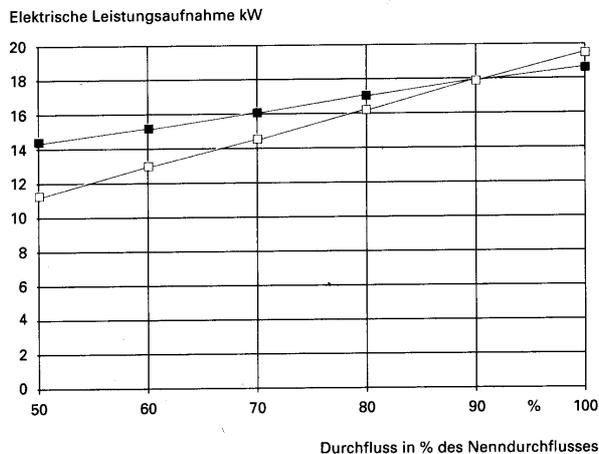


Abbildung 20:
Elektrische Leistungsaufnahme einer Pumpe in Abhängigkeit des Durchflusses für zwei Arten der Regelung (quasi konstanter Druck).

Weiterführende Informationen

RAVEL-Handbuch: Strom rationell nutzen. Kapitel 5.3: Umwälzpumpen. Verlag der Fachvereine, vdf, Zürich 1992. ISBN 3 7281 1830 3.

Umwälzpumpen: Auslegung und Betriebsoptimierung. E. Füglistner, R. Sigg. Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1992. Bestellnummer: 724.330 d. Bezug: EDMZ, 3000 Bern (FAX-Bestellzettel auf Seite 52).

Beispiel Abwasserreinigung

Klärbecken optimal belüften

Bei der Abwasserreinigung sind üblicherweise die Gebläse zur Belüftung der Belebtschlammbecken die herausragenden Stromverbraucher. Dies gilt auch für die in diesem Beispiel dargestellte Abwasserreinigungsanlage eines Chemiebetriebes mit insgesamt 70 Motoren.

Technik

in einem Chemiebetrieb fallen grosse Mengen stark verschmutzten Abwassers an, das ohne Vorbehandlung nicht der öffentlichen Abwasserreinigungsanlage (ARA) zugeleitet werden darf. Die Firma betreibt eine eigene Anlage, in der auch die Abwässer der Gemeinde mit 4'500 Einwohnern gereinigt werden. In dieser An-

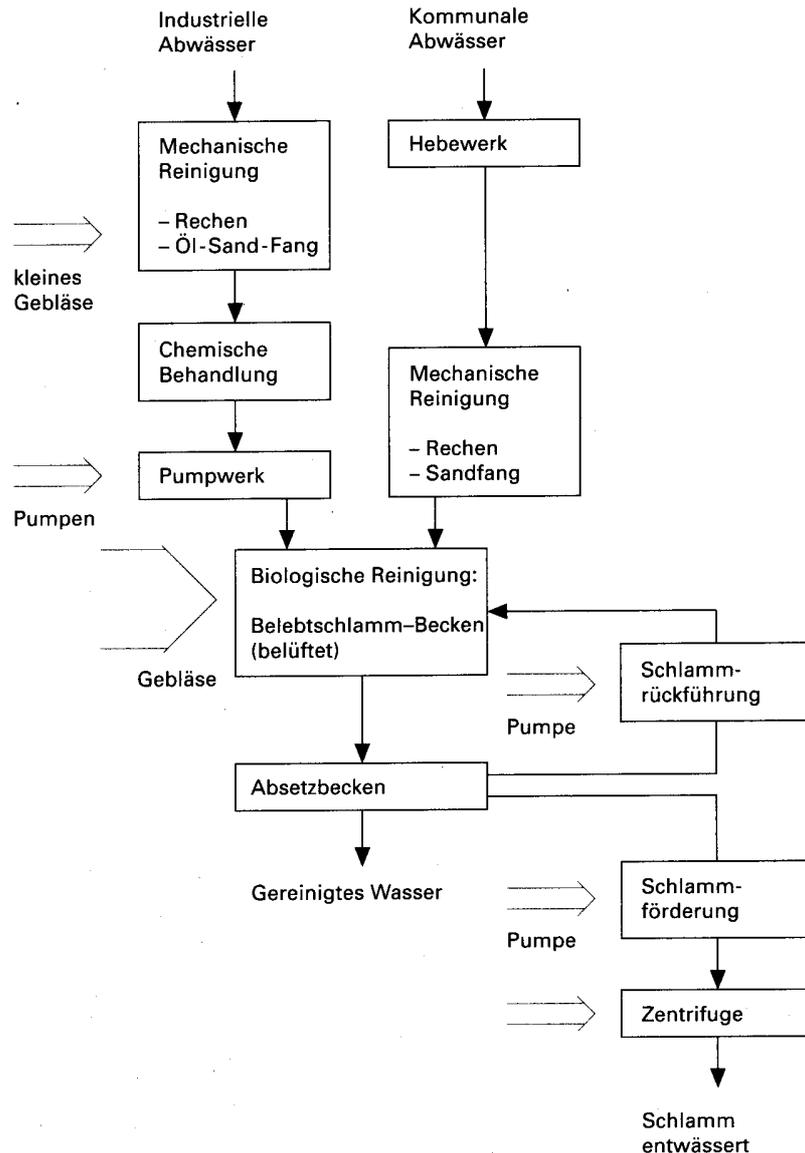


Abbildung 21:
Abwasserreinigungsanlage,
schematisch.

Beispiel Abwasserreinigung

lage sind insgesamt 70 Motoren mit einer Anschlussleistung von insgesamt 460 kW installiert. Der motorische Stromverbrauch allein dieser ARA beträgt mit 1,7 Mio kWh 8,5 % des betrieblichen Gesamtstromverbrauches. Der ARA-Verbrauch kostet rund 200'000 Fr. pro Jahr.

Komponente	Verbrauch in kWh	Stromkosten in Fr.
Gebüesemotoren	1'400'000	160'000.-
Zentrifuge (Schlammwässerung)	100'000	11'500.-
Frischluftventilatoren	100'000	11'500.-
Schlammrückföhrung	30'000	3'400.-
Schlammföhrung (zur Zentrifuge)	20'000	2'300.-
Grosse Motoren insgesamt	1'650'000	188'700.-

Tabelle: Stromverbrauch und Stromkosten der grossen Motoren in der Abwasserreinigungsanlage.

Rund 85 % des Stromes dient dem Antrieb der Geblüesemotoren zur Belüftung der Becken. (Dieser Wert liegt üblicherweise tiefer, nämlich zwischen 50 und 80 %.) Das Augenmerk ist deshalb zu allererst auf diese Komponenten zu legen. Als wesentliche Einflussfaktoren gelten:

- * Sauerstoffbedarf des Abwassers vor der Reinigung
- * Technik des Lufteintrages: fein- oder grossblasig, Dom- oder Flächenbelüftung
- * Steuerung der Geblüesemotoren und des Lufteintrages

Massnahmen

Auf den Bereich Umweltschutz - Gewässerschutz und Luftreinhaltung - entfallen rund 3,5 % des Stromverbrauches der schweizerischen Industrie. Dieser Anteil wird aufgrund der Vorschriften wachsen.

Sauerstoff ist für die Wirkung von Mikroorganismen von entscheidender Bedeutung; deshalb ist der Sauerstoffgehalt des Wassers der wichtigste Parameter zur Steuerung des Lufteintrages. In vielen Anlagen wird der Lufteintrag über einen Bypass geregelt, indem die nicht benötigte Luft direkt an die Umgebung abgeblasen wird. Der Förderstrom kann aber mit geeigneten Geblüesemotoren und entsprechender Steuerung reguliert werden, beispielsweise durch Drehzahlregulierung oder durch den Einsatz mehrerer Geblüesemotoren mit Prioritätenschaltung. Als besonders günstig erweisen sich bei grossen Anlagen Turbo-Kompressoren, die bei gleichbleibendem Druck die Fördermenge erheblich variieren können. Auch der Einsatz einer modernen Steuerung kann durchaus wirtschaftlich sein.

Weitergehende Informationen

Analyse de processus industriels sélectionnés: Utilisation de force dans une entreprise chimique. G. Mamane, J. Zhou, B. Giovannini. Materialien zum Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1993. Bestellnummer: 724.397.21.56 f.
Bezug: EDMZ, 3000 Bern.

Beispiel Rauchgasreinigung

Luftreinhaltung mit weniger Strom

Umweltschutzaufgaben sind ohne Strom in einem modernen Industriebetrieb kaum zu erfüllen. Der ständig steigende Anteil für derartige Aufgaben lässt aber auch das Stromsparmultipotential anwachsen, wie das Beispiel aus der Zementindustrie illustriert.

Rund 10 % des Stromverbrauches eines Zementwerkes werden für Umweltschutzmassnahmen insgesamt und 6,5 % für den Betrieb der Rauchgasreinigungsanlage aufgewendet. Im Vordergrund steht die Reduktion der Staub-, NOx- und SO2-Emissionen. (Der Ausstoss von Staub und NOx sind weitgehend vom Herstellungsprozess, derjenige von SO2 vom Rohstoff abhängig.) Wegen der Luftreinhalteverordnung (LRV) musste im Jahre 1988 die zweite Stufe der Rauchgasreinigung (Absorber) in Betrieb genommen werden.

Neben den Elektrofiltern - konstruktiv sind das elektrisch geladene Gitternetze - sind die Ventilatoren zur Förderung der Gase die wichtigsten Stromverbraucher. Antriebe von Pumpen, Förderbändern und anderen Maschinen sind bei der Beschickung und beim Staubaustrag installiert.

Anlageteil	Leistung kW	Stromkosten pro Jahr Fr.
Abgasventilator	1'000	400'000.-
Ventilator	1'000	400'000.-
Mühlventilator	850	340'000.-
Beschickung Absorber	160	65'000.-
Filterstaubaustrag	130	52'000.-

Tabelle: Leistungen und Stromkosten relevanter Komponenten.

Massnahmen

im Eine geschickte Prozessführung erlaubt es, zeitweise ungenutzte Anlageteile zu umgehen. Beispiel: Rohmehlmühle (Abbildung).

im Medien sind auf kurzen und geraden Wegen zu fördern.

* Motoren in einem möglichst engen Lastbereich - 3/4- bis 4/4-Last - betreiben.

* Die Antriebssteuerung muss den Leistungsbedarf jedem Arbeitsmodus anpassen können. Meistens ist dies durch Drehzahlregelung mittels Frequenzumrichter möglich.

* Geeignete Getriebe auswählen (besondere Anforderungen aufgrund der starken Staubentwicklung).

Beispiel Rauchgasreinigung

* Wartung und Reinigung periodisch durchführen, insbesondere an Anlagenteilen, die dem Staub ausgesetzt sind.

in Leistungsfähiges Zeit- und Energiemanagement einsetzen: Überwachung des Prozessablaufes und der Lasten in der ganzen Anlage.

Ventilatoren

Die grössten Antriebe in der Rauchgasreinigung treiben die Ventilatoren. Aufgrund der Betriebsweise und der Gaskonzentration wird der Volumenstrom mittels sogenannter Drallregulierung variiert. Dazu wird die Schaufelstellung des Ventilators durch den Operator im Kommandoraum manuell bestimmt. Mit dieser Drallregulierung können Volumenstrom und Druck ständig den sich ändernden Anforderungen angepasst werden, was den Strombedarf reduziert.

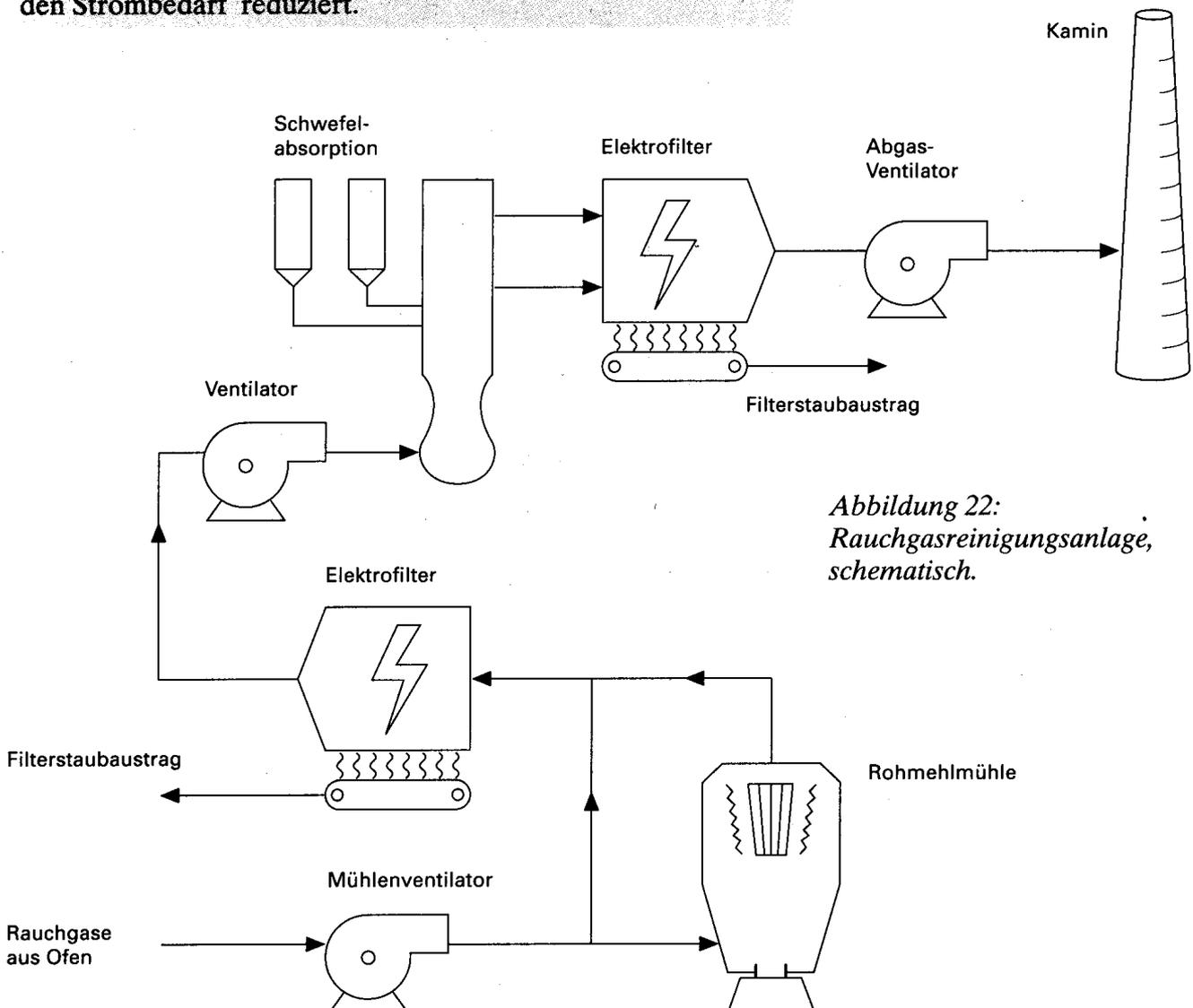


Abbildung 22:
Rauchgasreinigungsanlage,
schematisch.

Weiterführende Informationen

Elektrizitätsbedarf der Zementindustrie. U. Fischli, L. Bertozzi, M. Marthy, A. Tuffli. Materialien zum Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1992. Bestellnummer: 724.397.21.61 d. Bezug: EDMZ, 3000 Bern (FAX-Bestellzettel auf Seite 52).

Beispiel Innerbetrieblicher Transport

Bewegte Massen verkleinern

Happige Reserven bei der Dimensionierung von Transportanlagen - "Angstzuschläge" - haben zu grosse Antriebe zur Folge. Dadurch sind die Anlagen für Betriebsverhältnisse ausgelegt, wie sie selten oder überhaupt nie eintreffen. Gerät und Aufgabe in Übereinstimmung bringen: davon handelt dieser Abschnitt.

Technik

Etwa 5 % des für industrielle Antriebe eingesetzten Stromes entfällt auf innerbetriebliche Transport- und Lagersysteme. Es können, vereinfacht dargestellt, 5 Arten innerbetrieblicher Transportsysteme unterschieden werden.

Energiesparen und effiziente Lagerhaltung sind zielkonform.

Lagersysteme: Die effiziente Bewirtschaftung eines Lagers reduziert die Lagerbestände und damit den umbauten Raum des Lagers. Ein kleineres Volumen spart aufgrund kürzerer Wege Antriebsenergie, aber auch Heiz- und Kühlenergie. Fazit: Energiesparen und effiziente Lagerhaltung sind zielkonform.

Stetigförderer: Das Fördergut wird stetig transportiert. Beispiele: Rollenbahnein, Kettenförderer und Förderbänder. Bei Stetigförderern sind Wirkungsgrade und Reibungswerte die wesentlichen Kriterien des Energieverbrauches.

Aufzüge: Hydraulikaufzüge in der Industrie überwinden häufig geringe Höhen mit nur kleinen Geschwindigkeiten. Die Flexibilität bei der Platzierung der Antriebe wirkt sich vorteilhaft aus, nachteilig ist der grosse Stromverbrauch. Ein Seilzug als Variante sollte deshalb geprüft werden.

Krananlagen: Der wichtigste Einflussfaktor bezüglich des Energieverbrauches ist die Dimensionierung und damit die Masse des Krans. Krane haben relativ kurze Betriebszeiten, insbesondere im Vergleich mit Stetigförderern.

Flurförderzeuge: Dazu zählen Elektrokarren, Hubstapler und Verschiebewagen. Das Gewicht der Fahrzeuge und die Wege sind die bestimmenden Faktoren des Energieverbrauches. Die Einsparpotentiale sind klein.

Generell gilt: Elektrische Direktantriebe sind effizienter als Hydraulik- oder Druckluft-Antriebe.

Beispiel Innerbetrieblicher Transport

Planung

Die Planung ist für den Energieverbrauch der Transportanlage weitgehend bestimmend. Neben der Systemwahl sind die

Sicherheitszuschläge: völlig unnötig!

Nur allzu häufig führen "Angstzuschläge", die sich multiplizieren, zu stark überdimensionierten und damit auch teureren Förderanlagen. Beispiel: Der Planer erhöht die Geschwindigkeit um einige Prozente, um die geforderte Transportleistung sicher zu erreichen. Auch der Konstrukteur fühlt sich auf der sicheren Seite wohler: Die Querschnitte der Konstruktion bekommen einen Sicherheitszuschlag. Angaben zur Dimensionierung, beispielsweise Wirkungsgrade und Reibungswerte, "bekommen" kleine Reserven. Der Motorenlieferant schliesslich wählt die nächstgrössere Maschine, um das Risiko der Unterdimensionierung zu vermeiden.

Wahl und Dimensionierung des Antriebssystems von Bedeutung.

Checkliste für die Beschaffung neuer Systeme

- * Verwendungszweck des Systems präzise definieren
- * Angaben zum Energieverbrauch vom Hersteller verlangen
- * Wirtschaftlichkeit verschiedener Varianten des Antriebssystems untereinander vergleichen (Steuerung und Regelung)
- * Bewegte Massen von Transportanlagen möglichst klein halten in Überprüfung des Antriebssystems bezüglich Anforderungen

Weiterführende Informationen

RAVEL Handbuch: Strom rationell nutzen. Kapitel 3.4: Transportanlagen. Verlag der Fachvereine, vdf, Zürich 1992. ISBN 3 7281 1830 3.

Verteilzentrale und Warentransport. In: Energiebedarf der Informationsgesellschaft. D. Spreng, W. Hediger. Verlag der Fachvereine, vdf, Zürich 1987.

Wieviel Strom braucht eine Palette? H.H.Ostermann. Technische Rundschau Nr. 12, Bern 1990.

Beispiel Werkzeugmaschinen

Produktion und Logistik optimieren

In der eigentlichen Spanabhebung ist bezüglich Stromsparen nichts oder nur wenig zu holen: Auf diesen Teil der Produktion entfallen nur 10 % des Verbrauches. Die Straffung der Produktion und der Logistik, die 90 % des Stromes benötigen, ermöglichen indessen beachtliche Spareffekte.

Rund 50'000 Werkzeugmaschinen mit Erträgen im Wert von 5,5 Milliarden Fr. sind in der Schweiz schätzungsweise im Einsatz. Der Stromverbrauch dieser Maschinen beläuft sich auf 10 bis 15 % des industriellen Gesamtstromverbrauches.

Werkzeugmaschinen formen Werkstücke nach Planvorgaben für den Einsatz in Maschinen und Anlagen; sie werden fast ausschliesslich elektrisch angetrieben. Die Antriebe bestehen in der Regel aus Motor, Getriebe und einer Steuerung für die Drehzahl.

Untersuchungen zeigen das theoretische Minimum des Energieaufwandes für die Fertigung eines Werkstückes: Der Aufwand für die Spanabhebung beträgt lediglich 10 % der im Produktionsprozess verbrauchten Energie. Das theoretische Stromsparerpotential beläuft sich demnach auf 90 %, das praktische ist naturgemäss wesentlich kleiner. Fazit: Weniger die Effizienz der Werkzeugmaschinen, sondern die Auslastung und der Betrieb beinhalten die grossen potentiellen Einsparungen.

Beispiel: Die Auslastung von Werkzeugmaschinen

Werkstücke werden nur während 5 % ihres Aufenthaltes im Betrieb bearbeitet, in der übrigen Zeit werden sie transportiert oder gelagert.

Die Analyse der Auslastung von Werkzeugmaschinen für kleine und mittlere Serien ergibt folgendes statistisches Bild: 15 % der Maschinenzeit entfällt auf die Bearbeitung, 30 % auf Werkzeugwechsel und Einstellungen. In der übrigen Zeit - also mehr als die Hälfte - läuft die Werkzeugmaschine im Wartebetrieb oder Leerlauf. In den meisten Fällen ist die Maschine während der ganzen Maschinenzeit eingeschaltet, der Motor läuft, je nach Steuerung, mit.

Eine bessere Auslastung von Werkzeugmaschinen bieten industrielle Grosserien, wie eine Erhebung in Italien zeigt: Der Anteil der Bearbeitung an der Maschinenzeit wird mit 38 % beziffert, Leerlauf und Wartezeit machen zusammen 62 % aus.

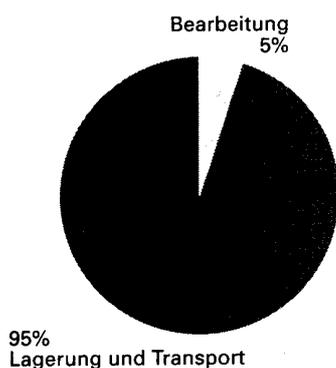


Abbildung 23: Anteile des Zeitaufwandes für Bearbeitung, Lagerung und Transport von Werkstücken,

Beispiel Werkzeugmaschinen

Massnahmen

Vom geschätzten Einsparpotential von rund 500 Millionen kWh können etwa 6 % durch bessere Werkzeugmaschinen und effizientere Bearbeitungstechniken ausgeschöpft werden. Der grösste Teil des Potentials liegt in der Optimierung von Produktion und Logistik. Stichworte dazu: Just in Time, Lean Production, Material Requirements Planning, Hierarchical Production Planning. Derartige Verfahren werden von Unternehmen nicht aus Gründen des Stromsparens, sondern wegen der Kosten und der Effizienz eingeführt. 60 % des Stromes können durch die Verbesserung des Arbeitsablaufes an einer einzelnen Werkzeugmaschine und 40 % durch Optimierung von Serienproduktionen eingespart werden. Massnahmen an einzelnen Maschinen:

in Maschinen während Pausen abstellen

* Operateure zu effizienter Produktion animieren, beispielsweise durch schub- oder chargenweise Produktion, durch Staffelung von Bearbeitung und Nebenarbeiten (bei Nebenarbeiten Maschine ausschalten)

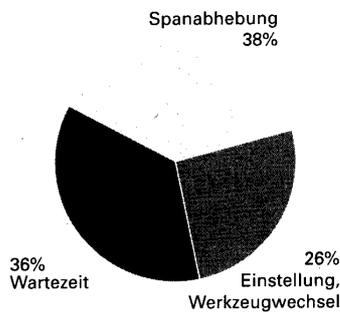
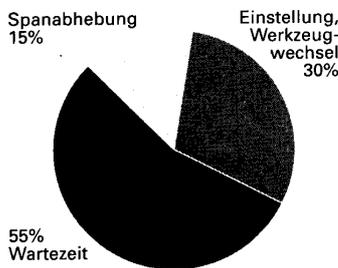


Abbildung 24:
Zeitliche Auslastung von
Werkzeugmaschinen in
Kleinserien.

Abbildung 25:
Zeitliche Auslastung von
Werkzeugmaschinen in einer
Grossserie.

Weiterführende Informationen

Analyse du rendement énergétique de processus industriels de productique. M. Bongard, M. Jufer. Materialien zum Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1992. Bestellnummer: 724.397.21.55 f. Bezug: EDMZ, 3000 Bern (FAXBestellzettel auf Seite 52). Die Broschüre ist nur in französisch erhältlich.

Beispiel Textildruckmaschine

Betriebliche Massnahmen sind interessant

Die Analyse des Stromverbrauches empfiehlt in erster Linie betriebliche Massnahmen zur rationellen Verwendung von Elektrizität. Dazu gehört das Abschalten der Maschine in Zeiten, in denen nicht produziert wird, aber auch die Anpassung der Antriebe an die Anforderungen des Prozesses.

Betriebliche Massnahmen erzielen die grössten Sparerfolge.

Im Rahmen des Projektes Elektrizitätsbedarf von Textildruckmaschinen wurden Betriebsweisen, Stromverbräuche und Einsparpotentiale untersucht und die Wirkung von Massnahmen quantifiziert. Die Arbeit bezog sich auf eine einzelne Firma, Folgerungen sind nur beschränkt auf die Textilindustrie oder gar auf die schweizerische Industrie übertragbar. Einige Resultate werden aber durch Erfahrungen in anderen Branchen bestätigt. Dazu gehört die Feststellung, dass mit betrieblichen Massnahmen die grössten Sparerfolge zu erzielen sind.

In einer Flachfilmdruckmaschine fliessen zwei Drittel des Stromes in Antriebe. Der Löwenanteil geht mit 50 % des Gesamtverbrauches auf das Konto der Trocknerventilatorantriebe im Prozessabschnitt Trocknung. Der Rest des Antriebsstromes, zwischen 15 und 20 %, wird in rund 20 Motoren des Prozessabschnittes Drucken verbraucht. Abgesehen von den Antrieben, wird gut 30 % des Gesamtverbrauches in Widerstandsheizungen zur Erhitzung des Leimes verwendet. Die Trocknungswärme wird aus Gas erzeugt.

Massnahmen

Die grössten Effekte zeitigen betriebliche Massnahmen, insbesondere die Optimierung der Trocknerbetriebszeiten und Abschaltung der Maschine in Zeiten des Nichtgebrauchs. Diese Massnahmen sind in der Regel bei heutigen Energiepreisen bereits wirtschaftlich.

Die zeitsynchrone Darstellung von Leistungsmessungen einzelner Antriebe hilft bei der Bewertung betrieblicher Massnahmen. Aus Abbildung 26 ist ersichtlich, dass mit dem späteren Einschalten des Hydraulikantriebes Energie gespart werden kann. Zudem sind verschiedene Antriebe um ein Mehrfaches überdimensioniert. Dies ist in der Praxis der Hersteller begründet, Anlagen und Motoren so auszulegen, dass sie auch im ungünstigsten Fall noch ausreichend dimensioniert sind. Derart ungünstige Betriebszustände treten bei Anlagebetreibern indessen kaum auf. Eine bessere Auslegung kann aber nur aufgrund von präziseren Angaben seitens des Betreibers zuhanden der Planer erfolgen. Spezifischen Kundenbedürfnissen muss der Hersteller mit Flexibilität begegnen.

Beispiel Textildruckmaschine

Weitere Verbesserungen sind mit frequenzgeregelten Antrieben der Trocknerventilatoren erzielbar. Diese Massnahme spart Energie und erhöht die Qualität der Produkte.

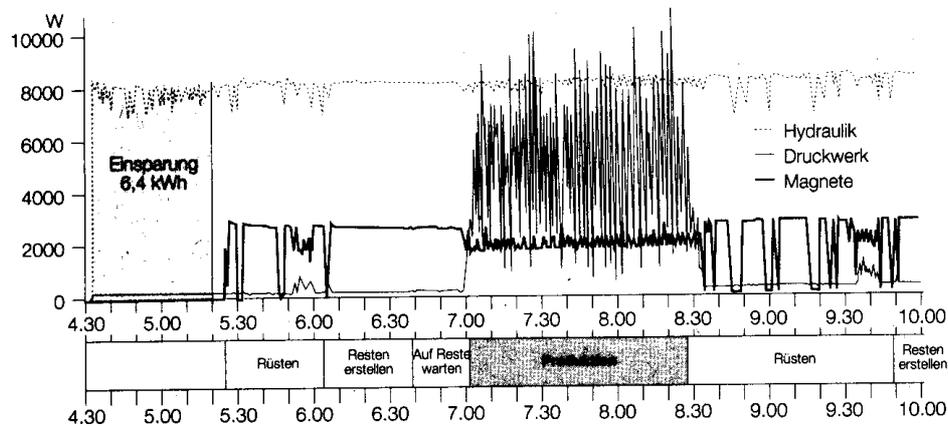


Abbildung 26:
Elektrische Leistung von
3 Einzelantrieben einer Flachfilmdruckmaschine über die Tageszeit aufgetragen: Spätere Einschaltung der Hydraulik spart in einem einzigen Antrieb täglich 6,4 kWh Strom.

Weiterführende Informationen

Elektrizitätsbedarf von Textildruckmaschinen. W Hässig, R. Naef. Materialien zum Impulsprogramm RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1992. Bestellnummer: 724.397.21.51 d.
Bezug: EDMZ, 3000 Bern (FAX-Bestellzettel auf Seite 52).

Beispiel Zementherstellung

Energiebewirtschaftung als ständige Aufgabe

Massnahmen der Energiebewirtschaftung sind das Thema dieses Beispiels aus der Zementindustrie. Im betrachteten Betrieb sind über 1'000 Antriebe installiert, eine entsprechende Bewirtschaftung also dringend.

Betriebsverhältnisse und Produktionsanlagen eines einzelnen Werkes waren Gegenstand des Projektes Elektrizitätsbedarf in der Zementindustrie. Die Untersuchung zeigt, dass die Produktionsanlagen für die jeweiligen Anwendungen zugeschnitten und zumeist Einzelkonstruktionen sind. Trotz dieser firmenspezifischen Orientierung lassen sich allgemein gültige Folgerungen ziehen.

Technik

Mehr als vier Fünftel, des Stromverbrauches entfallen auf Antriebe.

Die Produktion von Zement ist energieintensiv: Pro Tonne werden in der Schweiz knapp 100 kWh Strom aufgewendet - neben einem Mehrfachen an Wärme. Mehr als vier Fünftel des Stromverbrauches entfallen auf Antriebe. Im untersuchten Betrieb sind mehr als 1'000 Antriebe mit Leistungen zwischen 40 W und 3'600 kW installiert, mit einer starken Häufung im mittleren Leistungsbereich. Am Energieverbrauch ist Elektrizität mit 10 %, an den Energiekosten aber mit 30 % beteiligt - handfeste Argumente, den Stromverbrauch zu reduzieren. Massnahmen an den Antrieben stehen selbstverständlich im Vordergrund.

Massnahmen der Energiebewirtschaftung am Beispiel

- * Der Energieverbrauch der einzelnen Anlagebereiche wird ständig erfasst. Abweichungen von langjährigen Mittelwerten werden genau analysiert. Die Erkenntnisse fliessen in die Optimierung der Steuerung und des Leitsystems.
- * Durch Konzentration der Zuständigkeiten für Neu-Projekte, Unterhalt und Lagerhaltung der Maschinenteile und Motoren kommen nicht nur wirtschaftliche, sondern auch energetische Aspekte zum Tragen.
- * Der Betrieb unterhält ein separates Ersatzmotorenlager, um defekte Motoren möglichst rasch und durch eigene Leute zu ersetzen. Um die Kosten klein zu halten, werden möglichst wenig Ersatzmotoren gelagert. Eine geringfügige Überdimensionierung wird für einzelne Anwendungen in Kauf genommen.

Beispiel Zementherstellung

* Der spezifische Energieverbrauch ist integrierter Bestandteil der Verträge bei Neuinstallationen. Die Spezifikationen werden durch Messungen bei der Abnahme überprüft.

* Die Anlagen werden über ein Leitsystem ein- und ausgeschaltet, um die Verfügbarkeit zu erhöhen. Das Leerlaufen einzelner Komponenten wird möglichst vermieden.

* Das Betriebspersonal wird periodisch geschult.

!a Pneumatische Transporteinrichtungen werden wenn möglich durch mechanische ersetzt.

* Zur optimalen Verteilung der Lasten wird ein Energiemanagementsystem eingesetzt.

Weiterführende Informationen

Elektrizitätsbedarf der Zementindustrie. U. Fischli, L. Bertozzi, M. Marthy, A. Tuffli. Materialien zum Impulsprogramm RA-VEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern 1992. Bestellnummer: 724.397.21.61 d. Bezug: EDMZ, 3000 Bern (FAX-Bestellzettel auf Seite 52).

Weiterführende Informationen

14 Publikationen zum Thema

- Energieverbrauchserfassung im Industriebetrieb. Schriftenreihe RAVEL Industrie. Bestellnummer: 724.371 d.
- Analyse des Energieverbrauches: Erfassen, Bewerten, Darstellen Handeln. Schriftenreihe RAVEL Industrie. Bestellnummer: 724.318 d.
- Kennwerte betrieblicher Prozessketten. Materialien zu RAVEL. Bestellnummer: 724.397.12.54 d,f.
- Elektrische Antriebe: Auslegung und Betriebsoptimierung. Kursdokument RAVEL. Bestellnummer: 724.331 d.
- RAVEL zahlt sich aus: Ein praktischer Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsberechnungen. Materialien zu RAVEL. Bestellnummer: 724.397.42.01 d,f.
- Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiesystemen. Materialien zu RAVEL. Bestellnummer: 724.397.12.51.2 d.
- Wirkungsgradoptimierung der Druckluftherzeugung und -verteilung. Materialien zu RAVEL. Bestellnummer: 724.397.21.54 d.
- Elektrizitätsbedarf von Industrielüftungen. Materialien zu RAVEL. Bestellnummer: 724.397.21.62 d.
- Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung. Kursdokument RAVEL. Bestellnummer: 724.355 d.
- Umwälzpumpen: Auslegung und Betriebsoptimierung. Kursdokument RAVEL. Bestellnummer: 724.330 d.
- Elektrizitätsbedarf der Zementindustrie. Materialien zu RAVEL. Bestellnummer: 724.397.21.61 d.
- Analyse du rendement énergétique de processus industriels de productique. Materialien zu RAVEL. Bestellnummer: 724.397.21.55 f.
- Elektrizitätsbedarf von Textildruckmaschinen. Materialien zu RAVEL. Bestellnummer: 724.397.21.51 d.

Wir bestellen die angekreuzten Broschüren mit Rechnung an:

Firma

Name

Strasse

PLZ/Ort

Unterschrift

Die Liste kann als FAX-Bestellzettel verwendet werden.

Zettel faxen an:

EDMZ,
3000 Bern,
Fax. 031 61 39 75

Die drei Impulsprogramme des Bundesamtes für Konjunkturfragen 1990 bis 1995

Impulsprogramme sind auf 6 Jahre befristete Massnahmen zur Vermittlung von neuem Wissen in die berufliche Praxis. Ansatzpunkte sind zielgruppengerechte Information, Aus- und Weiterbildung. Die Vorbereitung und Durchführung erfolgt in enger Kooperation von Wirtschaft, Bildungsinstitutionen und Bund.



IP BAU

IP BAU – Erhaltung und Erneuerung

Der volkswirtschaftliche Stellenwert der baulichen Erneuerung ist bedeutend; schon heute werden mehr als 50% der jährlichen Bauinvestitionen für die Bauserneuerung inkl. Ersatzneubau aufgewendet. Nur mit vermehrter fachlicher Kompetenz und ganzheitlichem Denken kann verhindert werden, dass die Qualität unserer Bauten und Anlagen, aber auch die wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Werte unserer Quartiere, Siedlungen, Dorf- und Stadtteile verloren gehen. Das Impulsprogramm Bau erarbeitet Wissen aus den Bereichen Hochbau, Tiefbau und Umfeld – gesamtlich und umweltgerecht –, um die Qualität der Erneuerung und Erhaltung zu verbessern und mit guten Lösungen die bestehende Bausubstanz an die heutigen und zukünftigen Anforderungen von Funktion und Nutzung heranzuführen.



RAVEL

RAVEL – Rationelle Verwendung von Elektrizität

Forschungs- und Untersuchungsprojekte des Impulsprogrammes RAVEL über den Stromverbrauch in Industrie, Dienstleistung und Haushalt zeigen: Elektrische Energie wird heute oft nicht oder zu wenig intelligent genutzt. D. h. die gleiche Leistung könnte mit einem Bruchteil des bisherigen Stromverbrauches erzielt werden und das wirtschaftlich, ohne Komforteinbusse. Zudem werden mit Strom zum Teil Leistungen erzeugt, für die sich kein Bedürfnis nachweisen lässt. Wird der heute nicht intelligent genutzte Strom frei, erhält unsere Volkswirtschaft neue Spielräume. Damit diese Chance genutzt werden kann, müssen die RAVEL-Erkenntnisse in der Praxis wirksam werden. Dazu werden sie von Fachleuten in sofort anwendbares, praxiogerechtes Wissen aufgearbeitet und in Weiterbildungskursen, Informationsveranstaltungen und Publikationen an die Praxis vermittelt.



PACER

PACER – Erneuerbare Energien

Erneuerbare Energien können – so die Beurteilung von Experten – einen nicht unwesentlichen Anteil an die Deckung des Energiebedarfs leisten. Sie zeichnen sich ausserdem durch ihre Umweltverträglichkeit aus. Trotzdem ist ihre Anwendung momentan noch gering. Hier setzt PACER an. Das Impulsprogramm will Techniken im Bereich erneuerbarer Energien fördern, die ausgereift sind und sich nahe an der Grenze zur Wirtschaftlichkeit befinden: passive und aktive Sonnenenergienutzung für die Wärmeerzeugung, Energiegewinnung aus Biomasse und solare Stromproduktion. Zu diesem Zweck bereitet PACER bestehendes Wissen auf, erarbeitet und vermittelt unter anderem Planungshilfen für Architekten, Ingenieure und Installateure sowie Entscheidungsgrundlagen für Bauleute und Behörden.

Auf 1,5 Milliarden Franken beläuft sich die Stromrechnung der Schweizer Industrie. Damit werden rund 15 Milliarden kWh bezahlt. 60 Prozent dieses Stromes fließt in Antriebe der Industrie. Durch einfache Massnahmen, die mehr einbringen als sie kosten, können Millionen von Kilowattstunden an Elektrizität eingespart werden. Massnahmen? Energieverbrauch kennen, Komponenten ausschalten, Motoren regeln und energiebewusst planen. RAVEL für die Industrie.