

Energieeinsparung durch Verbrauchskontrolle



Franz BRANDLHÖFER, Obering., Studium Elektrotechnik und Maschinenbau an der TH Graz. Leiter von Energieabteilungen in der Papier- und Kartonindustrie, Konsulent für Energiewirtschaft und Verbrauchskontrolle. Jahrgang 1920. Veröffentlichungen auf den Gebieten: Antriebs- und Regeltechnik, Datenverarbeitung, Energiekontrolle.

Auf Grund von langjährigen praktischen Erfahrungen in der industriellen Energieanwendung werden einige Methoden zur effizienteren Verbrauchskontrolle der verschiedenen Energieträger analysiert und beschrieben, wobei die statistische Datenauswertung eine wesentliche Rolle spielt. Weiters werden Ursachen für Energieverluste, sowie organisatorische Fragen der Energieerfassung und Datenauswertung behandelt.

1. Energiesparen als betriebliche Zielsetzung

Die enorme Energiekostenerhöhung ließ in den letzten Jahren neue Aspekte für Rationalisierungsmaßnahmen entstehen, wobei sich die Grenzen der Wirtschaftlichkeit für energiesparende Investitionen mit steigenden Primärenergiekosten verschoben haben. So zwingend die Energieeinsparung auch ist, darf sie jedoch keinesfalls zu Qualitätseinbußen führen, sondern es ist vielmehr eine sinnvolle Optimierung des Energieeinsatzes unter Wahrung der rationellen Arbeitsbedingungen anzustreben.

Bei der Planung von Sparmaßnahmen ergeben sich mehrere Ansatzpunkte, wobei besonders der *Fremdenergiebezug* in den Vordergrund tritt, weil dort die Kosten unmittelbar und augenscheinlich anfallen.

Als nächster Schwerpunkt erweist sich die Energieumwandlung in den eigenen Wärmekraftanlagen und sonstigen thermischen Primärenergieverbrauchern. Da diese beiden Bereiche gravierend hervortreten, befassen sich nahezu alle Institutionen, welche Energiesparprogramme und Energiekontrollenrichtungen an-

bieten, vorwiegend mit diesen Teilgebieten.

Bisher wurde vielfach die Ansicht vertreten, daß die betriebseigene Energieversorgung ähnlich einem EVU den Produktionsabteilungen die benötigte Energie uneingeschränkt zur Verfügung zu stellen habe. Beschneidungen auf irgend einem Sektor der Energielieferung beeinträchtigen die Freizügigkeit der Produktfertigung oder gefährden sogar den Qualitätsstandard. Wie die Praxis jedoch gezeigt hat, lassen sich auch im Bereich der *Energie-Anwendung* durch geeignete Kontrollmethoden erhebliche Energieeinsparungen erzielen.

2. Energieverluste

Zusätzlicher und nicht unbedingt notwendiger Energieverbrauch entsteht durch dreierlei Einflüsse:

- anlagenbedingt
- verbrauchsbedingt
- psychologisch bedingt

2.1 Anlagenbedingte Energieverluste

- Die Drehzahl von Verarbeitungs-

maschinen ist vielfach den technologischen Forderungen nicht optimal angepaßt. In zahlreichen Fällen läßt sich durch Reduktion der Drehzahlen eine bedeutende Stromersparung erreichen, ohne die konzipierte Funktion zu beeinträchtigen. Pumpenantriebe für konstante Fördermengen arbeiten oft mit stark gedrosselten Schiebern. Hier lassen sich die effektiven Antriebsleistungen durch Abdrehen oder Austauschen der Laufräder erheblich reduzieren. Eine variable Fördermenge sollte nicht durch Bypassregelung, sondern mittels Drehzahlverstellung erzielt werden. (Drehstrom-Umrichter, oder Thyristor-Antriebe). Versorgungsnetze für Fabrikationswasser weisen je nach Mengenabnahme oft bedeutende Druckschwankungen auf. Da sich die entnommene Menge aber mit dem Druck ändert, lassen sich durch eine druckabhängige Steuerung der Förderleistung mittels Drehzahländerung gleichmäßigere Betriebsverhältnisse und bedeutende Energieeinsparungen erreichen.

- Bei der Dimensionierung von Rohrleitungen sollte man bedenken, daß sich die Strömungswiderstandsverluste mit der 5. Potenz (!) des Durchmessers ändern. Besonders beim Erneuern von älteren Leitungssträngen bringt eine Vergrößerung des Durchmessers oft beträchtliche Einsparungen, weil infolge der nunmehr geringeren Verluste der



Pumpendruck und damit die Antriebsleistung herabgesetzt werden kann.

- Eine nicht unbedeutende Verlustquelle bilden ausgedehnte Druckluftnetze, welche meist stark verzweigt sind und bei denen austromende Luft im Maschinenlärm kaum wahrgenommen wird. Durch Überwachung der Lauf- oder Förderzeit mittels Zeitmarkenschreibern ist eine wirksame Kontrolle mit geringen Kosten möglich. Die hier vielfach verwendeten Laufzeitzählerwerke sind weniger geeignet, weil die Laufcharakteristik nicht erkennbar ist.

Dies ist nur eine kleine Auswahl aus den vielen möglichen Ursachen für Energieverluste.

2.2 Verbrauchsbedingte Energieverluste

Wenn Trocknungsanlagen für Papier, Textilien oder sonstige bandförmige Produkte sowohl mit dampf- als auch mit gasbeheizten Heißluftaggregaten ausgerüstet sind, kommt es vielfach vor, daß die gasbeheizten Heißluft erzeuger forciert eingesetzt werden, weil sie sich leichter regeln lassen und schneller auf Feuchteänderungen reagieren, als dampf-beheizte Elemente. Dadurch wird aber der Dampfverbrauch vermindert und der Gasverbrauch erhöht. Wenn in solchen Fällen die Lieferung des Heizdampfes aber über Gegen-druck- oder Anzapf-Turbogeneratoren erfolgt, sinkt die Eigenerzeugung bei dem elektrischen Parallelbetrieb mit dem öffentlichen Netz, was wiederum einen erhöhten Fremdstrombezug zur Folge hat. Es entsteht also ein zweifacher negativer Effekt: Erhöhter Gasverbrauch und zusätzlicher Fremdstrombezug.

2.3 Psychologisch bedingte Energieverluste

Bei Kurzstillständen von größeren Produktionsanlagen Fertigungsstraßen oder sonstigen, funktionell zusammenhängenden, umfangreichen

Maschinengruppen, etwa zum Austausch von Verschleißteilen, kleineren Instandsetzungsarbeiten, oder sonstigen Tätigkeiten werden meist nur jene Antriebe stillgesetzt, die bei den durchzuführenden Arbeiten hinderlich sind. Manche Aggregate laufen aber weiter, obwohl dies nicht notwendig ist, z. B. Belüftung, Umluftventilatoren, Absaugungen oder sonstige Nebenanlagen.

Dieser Umstand ist eine Folge der menschlichen Mentalität. Wenn ein Maschinenstillstand notwendig wird, muß sich die zuständige Bedienungsmannschaft zu den einzelnen Steuerstellen begeben, um die entsprechenden Antriebe abzuschalten. Nach Beendigung der Arbeit, darf auf das Wiedereinschalten der Nebenantriebe nicht vergessen werden, da es ansonsten zu Schwierigkeiten beim Anfahren kommen kann. Es ist also eine zweimalige Aufmerksamkeit und Gedankenarbeit erforderlich. Wenn nun keine entsprechende Motivation zum sparsamen Energieeinsatz vorhanden ist, wird sich das Personal diese für den Arbeitsablauf nicht notwendigen Schaltmaßnahmen ersparen. Also ergeben sich hier auch nicht unerhebliche Möglichkeiten der Verbrauchsenkung.

3. Energie-Einsparung

Aus den Ursachen für die Energieverluste leiten sich 3 Bereiche ab, auf denen sich eine Senkung des Energieverbrauches realisieren läßt:

- anlagentechnisch
- betriebstechnisch
- organisatorisch

3.1 Anlagentechnischer Bereich

Nachstehend sind einige der wesentlichsten Maßnahmen zur Verbrauchssenkung zusammengestellt:

- Anlagenverbesserung durch Beseitigung der im Punkt 2.1 angegebenen Energieverluste.
- Erhöhung der Wirkungsgrade durch technische Verbesserungen.

- Mehrfachverwendung von Kühlwässern.
- Möglichst vollständige Kondensatrückführung. Beseitigung von direkten Heizungen durch Dampfeinblasung.
- Optimale Einstellung der Regelanlagen. Austausch von falsch dimensionierten oder mangelhaft arbeitenden Regeleinrichtungen.
- Blindstromkompensation nicht nur zur Verbesserung des Leistungsfaktors beim Fremdstrombezug, wo die Blindstromkosten unmittelbar aufscheinen, sondern auch im Verteilnetz. Nicht unerhebliche Blindstromverluste entstehen nämlich auch in ausgedehnten Kabelnetzen.

3.2 Betriebstechnischer Bereich

Einige Maßnahmen, welche durch Eingriffe in den Betriebsablauf Einsparungen bewirken, sind im folgenden angeführt:

- Kontrolle des Fremdstrombezuges durch eine Maximumüberwachung, welche im einfachsten Fall bei Erreichen des eingestellten Bezugsmaximums ein akustisches Signal abgibt. Wenn die Tarifform eine von der Benützungsstundenzahl abhängige Maximumverrechnung vorsieht, ist auch eine laufende Kontrolle der zu erwartenden Jahresbenützungsstunden zweckmäßig.
- Sehr häufig wird die Maximumüberwachung mit einer Lastabwurfleinrichtung kombiniert, welche bei Erreichen des zulässigen Bezugsspitzenwertes elektrische Leistungen in mehreren Stufen abschaltet. Derartige Laststeuerungen lassen sich dahingehend erweitern, daß ein Lastabwurf auch bei Störungen im Fremdnetz z. B. durch Gewitter erfolgt und dadurch ein Ausfall der eigenen Kraftanlagen verhindert wird. In jüngerer Zeit ist hier eine bemerkenswerte Weiterentwicklung zu verzeichnen. Bei diesem neuartigen System wird stän-

dig die erforderliche Abwurflast dynamisch in Abhängigkeit von allen möglichen Störfällen errechnet und der für jeden Störfall aktuelle Schaltbefehl gespeichert. Dadurch ist es möglich, in wenigen Millisekunden die jeweils notwendigen Abschaltungen durchzuführen und damit auch schwerste Netzstörungen mit einem Minimum an Betriebsstörungen zu beherrschen. Das System ist seit einiger Zeit in einigen Großbetrieben der Papierindustrie mit bestem Erfolg in Verwendung.

- Um bei den vorhin erwähnten Kurzstillständen ein gezieltes Stillsetzen von nicht benötigten Antrieben zu ermöglichen, sollte ein Abschaltplan erstellt werden. Denn je nach Dauer der Stillstandszeit wird auch die Zahl der abzuschaltenden Aggregate unterschiedlich sein. Zur Vereinfachung der Bedienung wäre eine zentrale Steuerung denkbar. Auch der Wiederanlauf läßt sich durch eine Einschaltautomatik erleichtern. Gerade hier gilt besonders das Prinzip: Energiesparmaßnahmen lassen sich dann leicht durchsetzen, wenn sie möglichst wenig Bedienungsaufwand erfordern und keine Betriebserschwernisse bringen.

3.3 Organisatorischer Bereich

Eine dominierende Rolle bei der Verbrauchskontrolle stellen die organisatorischen Maßnahmen dar.

- Die wichtigste Voraussetzung zur Energieeinsparung ist das Messen der Verbrauchswerte. Gerade bei der Planung von Meßeinrichtungen ist eine gewisse Erfahrung notwendig, denn es sollte mit geringstem Investitionsaufwand der größtmögliche Effekt erreicht werden. Das Erfassen der Energiewerte dient zwei Zielen: Die Überwachung des Energieverbrauches und die Gewinnung von Energiedaten für weitere organisatorische Kontroll-

maßnahmen, auf die noch später eingegangen wird.

- Um den Aufwand an Meßgeräten in vernünftigen Grenzen zu halten, ist genau zu überlegen, welche Bereiche des Betriebes kontrolliert werden sollen. Als Anhaltspunkt mag dienen, daß Anlageteile, welche weniger als 10% Gesamtenergie (Wärme und Strom) verbrauchen, nur in Sonderfällen meßtechnisch erfaßt werden sollten. Oft genügt es, Teilanlagen zeitweise zu messen und bei Vorliegen einer genügenden Zahl von Einzeldaten diese statistisch auszuwerten. Auf Grund der Wahrscheinlichkeitsverteilung dieser Meßgröße läßt sich dann die Verbrauchscharakteristik ermitteln und ein ausreichend genauer Schätzwert für den Energieverbrauch mit Maximal- und Minimalwerten bestimmen. In gewissen Zeitabständen ist dann die Messung zu wiederholen, um zu überprüfen, ob sich die Charakteristik inzwischen geändert hat. Dies trifft vor allem dann zu, wenn Produktionsanlagen umgebaut oder erweitert werden. Es ist verhältnismäßig einfach, elektrische Leistungsflüsse sporadisch zu erfassen. Schwieriger wird dies schon bei Dampf vor allem aber bei Gas.
- Die Auswertung der gewonnenen Energiedaten sollte nach drei Gesichtspunkten vorgenommen werden:
 - Energieflußkontrolle
 - Verlustkontrolle
 - Energiekostenkontrolle
 Die *Energieflußkontrolle* soll über den Verlauf und die zeitliche Änderung der Meßgröße Aufschluß geben. Durch Ermittlung der Maximal-, Minimal- und Mittelwerte, Standardabweichungen und weiterer statistischer Parameter lassen sich Aussagen über die Anlagenausnutzung, Leistungsreserven und Engpässe gewinnen. Diese bilden wiederum die Grundlage für die Planung von Anlagenerweiterungen. Eine

genauere Kenntnis der Anlagencharakteristik erspart oft eine Verstärkung von Versorgungseinrichtungen und damit Investitionskosten. Es sei hier besonders eindringlich darauf hingewiesen, daß sich einzelne Punktmessungen keinesfalls als Grundlage für Anlageplanungen eignen und leicht zu Fehlinvestitionen führen können.

Die *Verlustkontrolle* soll ermitteln, an welcher Stelle Verluste in welcher Größenordnung entstehen. Damit lassen sich die Schwerpunkte für eine Anlagenverbesserung oder Anlagenoptimierung erkennen. Außerdem ist eine Abschätzung möglich, welcher Investitionsaufwand hierfür wirtschaftlich erscheint.

Die *Energiekostenkontrolle* gibt ein möglichst genaues Bild über die Verteilung der einzelnen Primärenergiekosten auf die verschiedenen Betriebsabteilungen, sowie den Anteil am Fertigprodukt.

- Die schichtweise Kontrolle des Energieverbrauches hat sich in der bisherigen praktischen Durchführung als wirksamstes Mittel zur effizienteren Energieverwendung erwiesen. Unter dem Schichtpersonal wird dadurch ein gewisses Wettbewerbstreben geweckt, möglichst niedrige Verbrauchswerte zu erreichen, was sich schließlich in einer Senkung des Energiebedarfes auswirkt. Für die Betriebsleitung ergibt sich damit aber auch eine Möglichkeit, mit Hilfe statistischer Methoden die Effizienz der einzelnen Schichten hinsichtlich des Spareffektes zu testen.

4. Die Organisation der Energie-Kontrolle

4.1 Grundsätze

Um eine wirksame Verbrauchskontrolle zu erzielen, ist es erforderlich, eine zentrale Stelle für die Bearbei-



tion energiewirtschaftlicher Probleme zu schaffen. Nach Möglichkeit sollte der hierfür vorgesehene Personenkreis aus dem eigenen Personal stammen, da eine genaue Kenntnis der betrieblichen Besonderheiten vor allem hinsichtlich der Energieverteilung von großer Bedeutung ist. Von dieser zentralen Energiestelle sind nicht nur alle Daten zu sammeln, welche die elektrische und Wärme-Energie betreffen, sondern es müssen auch die wichtigsten Produktionsziffern für eine produktionsbezogene Verbrauchskontrolle zur Verfügung stehen. Da die Wirksamkeit der Energiekontrolle entscheidend von der zweckmäßigen Organisation abhängt, wird es notwendig sein, wenigstens zeitweise erfahrene Fachleute als Berater beizuziehen. Ein weiterer Planungsgrundsatz sollte sein, zuerst die Energiedaten des Gesamtbetriebes zu erfassen, statistisch auszuwerten, die Verbrauchscharakteristik zu bestimmen und sich erst dann mit den einzelnen Teilbetrieben oder Betriebsabteilungen zu befassen. Die Organisation hat daher von der Globalerfassung zur Detailanalyse zu führen.

4.2 Die Datenerfassung

Entscheidende Voraussetzung für eine Energiekontrolle ist die zweckmäßige Erfassung der Verbrauchsdaten. Es ist dabei zu überlegen, welche Meßgrößen sofort laufend benötigt werden und welche für eine Energieplanung über längere Zeitabschnitte erforderlich sind.

○ Formulare und Datenblätter

Für eine rationelle Datenerfassung sind geeignete Formblätter von wesentlicher Bedeutung. Diese sollen so übersichtlich sein, daß sich auch nicht energiewirtschaftlich geschulte Personen zu rechtfinden können. Ein häufiger Fehler ist dabei, daß etwa die Dimensionen der Zahlenwerte nicht angegeben sind, oder von einzelnen Betriebsabteilungen unterschiedliche Maßeinheiten verwendet werden.

○ Datensammlung

Auf Datenblättern sollten folgende Betriebswerte erfaßt werden:

Primärenergie, getrennt nach Energieträgern (Strom, Öl, Gas)
Eigenerzeugung (Strom, Dampf)
Verbrauch der Betriebsabteilungen (Strom, Dampf, Gas . . .)
Produktionsdaten
Energiekosten.

Aus diesen Grunddaten lassen sich je nach Erfordernis die verschiedenen Kennwerte ermitteln wie etwa absolute, spezifische, und relative Verbrauchsgrößen. Durch statistische Auswertung ist es weiter möglich, mittels Häufigkeitshistogrammen die Charakteristik der Energieflüsse zu bestimmen und so Leistungsreserven aber auch Engpässe zu erkennen. Mit Hilfe der Korrelations- und Regressionsanalyse können Zusammenhänge zwischen Energieverbrauch und Produktion zahlenmäßig erfaßt und mathematisch formuliert werden. Aus diesen Grundlagen ergibt sich wiederum die Möglichkeit einer wirksamen Verbrauchskontrolle durch Soll-Istwert-Vergleiche. Dabei ist es wesentlich, die Daten täglich oder noch besser schichtweise zu erfassen. Es hat wenig Sinn am Monatsende festzustellen, daß die Energieverbrauchswerte ungünstig waren. Eine Beeinflussung ist nur möglich, wenn die Verbrauchsdaten kurzfristig vorliegen und den betreffenden Abteilungen täglich zur Verfügung gestellt werden.

4.3 Berichte

Diese kurzfristigen Berichte sollen nach dem Grundsatz erstellt werden: »Rasche Information – schnelle Reaktion«. Sie dienen zur Unterrichtung der Produktionsabteilungen über die jeweilige Energiesituation. Um der Geschäfts- und Betriebsleitung einen regelmäßigen Überblick über die Energieversorgung zu geben, ist es

zweckmäßig, monatliche Energieberichte zu erstellen, welche nicht nur die absoluten, relativen und spezifischen Verbrauchsdaten, sondern auch die Vergleichswerte des Vormonats mit ihren prozentuellen Veränderungen enthalten sollten. Weiters ist es vorteilhaft, Energiebilanzen getrennt nach zugeführter und abgegebener Energie samt den damit zusammenhängenden Verlusten, sowohl nach Mengen, als auch nach Kosten aufzustellen. Durch eine solche Kostenanalyse läßt sich feststellen, an welchen Stellen des Betriebes energiesparende Maßnahmen zweckmäßig sind.

4.4 Energieflüsse

- Die Untersuchung der Energieflüsse soll in zwei Stufen erfolgen: Die **Makroanalyse** umfaßt den Fremdenergiebezug, die Eigenerzeugung und den Gesamtverbrauch, sowie die Gesamtproduktion. Die **Mikroanalyse** bestimmt alle Verbrauchs- und Produktionswerte der Teilanlagen.
- Zur Kontrolle des Fremdstrombezuges ist es vorteilhaft, nicht nur das Maximum zu überwachen, sondern auch die Ausnutzung desselben durch Bestimmung der zu erwartenden Jahresbenützungstundenzahl, sowie durch Erstellung von Belastungsdauerlinien zu kontrollieren.

Literatur:

- [1] F. WULTSCH und F. BRANDLHOFER: Gleichstromantriebe mit verstellbarer Arbeitsgeschwindigkeit für die Papierindustrie – Das Papier (1965) Nr. 19/7
- [2] F. BRANDLHOFER: Die Wirtschaftlichkeit moderner Antriebe in der Papierindustrie – Wochenblatt f. Papierfabrikation (WfP) (1965) Nr. 23/24
- [3] F. BRANDLHOFER: Möglichkeiten der Energieeinsparung in Papier- und Kartonfabriken – WfP (1965) Nr. 18
- [4] F. BRANDLHOFER: Einsparung von Primärenergie durch statistische Kontrollmethoden – WfP (1981) Nr. 9
- [5] L. SACHS: Angewandte Statistik, Springer-Verlag (1978)
- [6] M. R. SPIEGEL: Statistik, McGraw-Hill Book Comp. Düsseldorf (1976)