ENERGIEAGENTUR NRW

# Energiepfade durch den Betrieb

## Ein Leitfaden für Industrie und Gewerbe

NRW.

# *Inhalt*

ENERGIEAGENTUR NRW


| | Seite |
|---|---|
| Vorwort | 5 |
| Gebrauchsanweisung | 6 |
| Anlässe für ein Energiekonzept | 7 |
| 1. Reihenfolge in der Vorgehensweise | 9 |
| 2. Rentabilitätsmaßstäbe | 10 |
| 3. Möglichkeiten der Datenbeschaffung | 11 |
| 4. Analyse der energietechnischen Systeme: | 12 |
| 4.1 Gebäude | 12 |
| 4.2 Rationelle Verwendung von elektrischer Energie | 14 |
| 4.2.1 Beleuchtung | 14 |
| 4.2.2 Geräte/Maschinen/Motoren | 16 |
| 4.2.3 Lüftung/Kühlung/Kälte | 17 |
| 4.3 Wärmeerzeugung | 18 |
| 4.4 Bereich Druckluft | 20 |
| 4.5 Kraft-Wärme-Kopplung | 21 |
| 4.6 Unerschöpfliche Energiequellen | 21 |
| 4.6.1 Wasserkraft | 21 |
| 4.6.2 Sonnenenergie | 22 |
| 4.6.3 Windkraft | 23 |
| 4.6.4 Biomasse, nachwachsende Rohstoffe | 24 |
| Förderung | 25 |

## *Vorwort*

Die Energieagentur NRW möchte mit diesem Leitfaden verdeutlichen, daß in vielen Betrieben ungenutzte Möglichkeiten bestehen, Energieverbrauch und damit Kosten zu reduzieren. Diese Broschüre soll dazu auffordern, sich alle Prozesse der Energieerzeugung, -verteilung und -anwendung im Betrieb bewußt zu machen und über Möglichkeiten der rationellen Energienutzung nachzudenken. Zu vielen typischen Energieverbrauchsfällen haben wir konkrete Beispiele herangezogen, die sich bei der Erstellung eines Musterenergiekonzeptes für einen mittelständischen Betrieb ergaben, das von der Energieagentur NRW mitfinanziert wurde.

Dieser Leitfaden erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und muß auch nicht 'durchgelesen' werden. Seine Absicht ist es, Anregungen zu geben und beispielhafte Lösungen der rationellen Energieerzeugung und -verwendung aufzuzeigen. Zu vielen der angesprochenen Themen kann die Energieagentur NRW weitere Informationen zur Verfügung stellen.

Wir bedanken uns bei den Firmen AssiDomän in Hilden und der EST in Essen für die Mithilfe bei der Erstellung des Energiekonzeptes.

Ein wichtiger Bereich der Arbeit der Energieagentur NRW ist die Initialberatung für Industrie und Gewerbe. Ziel dieser Beratung ist es, Energiekonzepte und Energieplanungen vorzubereiten, damit die zur Verfügung stehenden Mittel optimal verwendet werden. Mit Mitteln sind die Kosten für Investitionsmaßnahmen, Energie-Beratung und -Planung sowie der personelle Einsatz im Betrieb gemeint. Auch wenn Energiekonzepte von externen Ingenieurbüros erarbeitet werden, ist eine Betreuung durch Mitarbeiter des Betriebes erforderlich. Je besser die Vorbereitung, je vollständiger die Zusammenstellung der Unterlagen und Daten und je größer der Rückhalt bei der Geschäftsleitung sind, umso größer sind die Erfolge, die erzielt werden können.

Die Erfahrungen der Energieagentur NRW bei der Vorbereitung von Energiekonzepten sind in der vorliegenden Schrift zusammengetragen. Die Gliederung lehnt sich eng an ein ausgearbeitetes Konzept bei der Fa. AssiDomän in Hilden an. AssiDomän, ein mittelständisches Unternehmen der papierverarbeitenden Industrie, hat sich freundlicherweise bereit erklärt, die Daten, Hintergründe und Fakten, die im Zusammenhang mit dem Energiekonzept von Bedeutung sind, zur Veröffentlichung freizugeben.

Ziel dieser Broschüre ist es, den interessierten Personen Anhaltspunkte, Hinweise und Motivation bei ihren Überlegungen zur Optimierung von Energieeinkauf und -anwendung zu geben.

Die Hinweise auf einzelne technische Maßnahmen sollen Anregungen und Ideen vermitteln. Ein Schema für ein Energiekonzept kann es nicht geben, da die Anzahl der Einflußfakten und ihre Variabilität nahezu so groß ist wie die Anzahl der Betriebe. Patentrezepte gibt es nicht, vielmehr ist Kreativität und Ideenreichtum gefordert.

## Gebrauchsanweisung

Dieser Leitfaden ist kein Roman, den Sie von vorne bis hinten durchlesen müssen. Er ist auch kein Lexikon, in dem Sie Antwort auf jede Frage der Energieverwendung bekommen. Er soll Anregungen geben und dazu ermuntern, Ihren Betrieb auch einmal unter energetischen Gesichtspunkten zu betrachten. Viele der vorgeschlagenen Maßnahmen sind ohne größere Investionen durchzuführen, so daß weder lange Planung noch Wettbewerb um Finanzmittel die Ausführung verzögern können.

Wir haben Tips, die keine wesentlichen finanziellen Mittel beanspruchen, sondern 'nur' Änderungen im Verhalten, in Kästchen gesetzt und farbig markiert.

Naturgemäß konnten wir nicht auf jeden Produktionsprozeß eingehen und haben uns im wesentlichen auf Energieanwendungen konzentriert, die in fast jedem Unternehmen vorhanden sind. Das bedeutet aber nicht, daß bei anderen Prozessen keine Energieeinsparungen möglich sind.

An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, daß die Energieagentur NRW weitere Informationen auch zu einzelnen Branchen bereithält und daß auch Ihr Energieversorgungsunternehmen Fachberatung zur Energieeinsparung anbietet.

## Anlässe für ein Energiekonzept

Den Anstoß, sich mit der Frage der Energierationalisierung intensiv zu befassen, erhalten Betriebe nach Erfahrung der Energieagentur NRW aus folgenden Anlässen:

- allgemeine Kostenreduzierung
- bauliche Veränderungen innerhalb des Betriebes
- Veränderung des Produktions- und Verfahrensablaufs
- Umstellung auf einen anderen Energieträger
- Veränderungen der Bezugskondition für die betrieblichen Energieträger
- gesetzgeberische Maßnahmen (wie TA-Luft, FCKW-Verbot, 1.BImSchG usw.)
- Nachrichten in Presse, Funk und Fernsehen über neue Energietechniken
- Vergleiche mit konzerneigenen Unternehmen
- Initiative einzelner Personen
- Umrüstung oder Austausch von energietechnischen Systemen
- verändertes Umweltbewußtsein

Häufig macht man sich in Betrieben erst dann Gedanken um die Energierationalisierung, wenn die wirtschaftliche Lage so angespannt ist, daß jede Möglichkeit des Einsparens von Betriebskosten ausgeschöpft werden muß und die Liquidität schon stark eingeschränkt ist. In dieser Situation hilft ein Energiekonzept allerdings auch nicht weiter, es sei denn, man kann durch nichtinvestive Maßnahmen im Bereich Energieeinkauf eine Optimierung schaffen, was allerdings Versäumnisse in der Vergangenheit voraussetzt.

**Empfohlene Maßnahmen (Auszug aus Energiekonzept)**

| Maßnahme | Investition DM | Amortisation Jahre | wirtschaftliche Priorität | technische/ökologische Priorität |
|---|---|---|---|---|
| **Strombezug** | | | | |
| • Einführung eines Lastspitzenkontroll-systems für relevante Maschinen | ... | ... | keine | keine |
| • Erneuerung Blindstromkompensationsanlage | 40.800 | ... | keine | => alte Anlage zu klein<br>=> PCB-haltige Kondensatoren<br>... |
| • Nach Installation neuer Maschinen, Überprüfung der gültigen Strombezugsverträge und möglicherweise ein Wechsel der Preisregelung | ... | sofort | vorrangig | |
| **Wärmeerzeugung-/verteilung** | | | | |
| • Erneuerung der Dampfkesselanlage und eine Umstellung auf alternativen Brennstoff | 833.000<br>1.017.000 | ...<br>... | => Brennstoff Erdgas<br>=> Brennstoff Heizöl L | => Kesselschäden (TÜV)<br>=> Alter der Anlage<br>=> Genehmigungsaspekte<br>=> Reduzierung der Emissionen<br>... |
| • Montage der fehlenden Isolierung an der Dampfleitung sowie an den Armaturen | 10.500 | < 2a | vorrangig | |
| • Installation einer temperaturgeführten Regelung für Heizkreise Raumwärme und Brauchwarmwasser | 5.500 | < 6a | ... | ... |
| • Erneuerung der Umwälzpumpenanlage für Raumwärme und Brauchwarmwasser, Anpassung der Pumpenleistung | 6.500 | < 1a | vorrangig | ... |
| • Einsatz eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) | 805.000 (Mehrkosten) | ... | ... | => Reduzierung der Emissionen |

Energiekonzepte sind meistens auf einen längeren Zeitraum angelegt, und sie setzen eine normale Liquidität und Bonität voraus. Sie werden u. a. auch erstellt, um die Bedeutung von technischen und organisatorischen Maßnahmen hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit abschätzen zu können.

Ziel des Energiekonzeptes ist es also, die Grundlagen für eine Investitionsentscheidung zu schaffen. Mit dem Konzept wird Klarheit über die Priorität verschiedener Maßnahmen gewonnen.

Mit dem erwähnten Begriff ‘Energierationalisierung’ ist gemeint, die betrieblichen Energieträger rationeller einzusetzen. Maßnahmen zur Rationalisierung von Energie ordnen sich hierbei in den Rahmen des Unternehmenszieles ein. Am Ende eines Energiekonzeptes können so auch Maßnahmen stehen, deren Umsetzung zu erhöhtem Energieeinsatz führt. Ein typischer Fall ist der Einsatz von Luftschleieranlagen an Hallentoren. Zwar wird hierdurch zusätzlicher Brennstoff- und Stromverbrauch gegenüber einem Schnellauftor produziert. Andererseits können je nach Nutzung der Halle und Anordnung der Arbeitsplätze positive Auswirkungen auf die Arbeitszufriedenheit und den Arbeitsablauf erzielt werden. Die Energieeinsparung ist somit nicht der alleinige Gesichtspunkt bei Energiekonzepten.

Eine wichtige Funktion des Energiekonzeptes ist es auch, die im Unternehmen vorhandenen Kenntnisse zu sammeln und zu verdichten. Die Erkenntnisse von Mitarbeitern werden häufig nicht gebührend gewürdigt: Der Prophet im eigenen Land gilt bekanntlich nichts. Mitunter kann ein Energiekonzept, in dessen Erstellung viele Mitarbeiter auf unterschiedlichen Ebenen eingebunden sind, erhebliche Synergie- und Innovationspotentiale freisetzen.

## 1. Reihenfolge in der Vorgehensweise

Die ersten Schritte bei der Erarbeitung eines Energiekonzeptes sind Analyse, Bewertung und Optimierung des Energieeinkaufs. Hieraus wird deutlich,

- welche Bedeutung die verbrauchsgebundenen Kosten für den Energiebezug haben,
- ob durch Umstellung einer Preisregelung oder durch Ausschöpfen von vertraglichen Möglichkeiten Verbesserungen erreicht werden können,
- wie hoch die Grenzkosten des Energiebezugs sind.

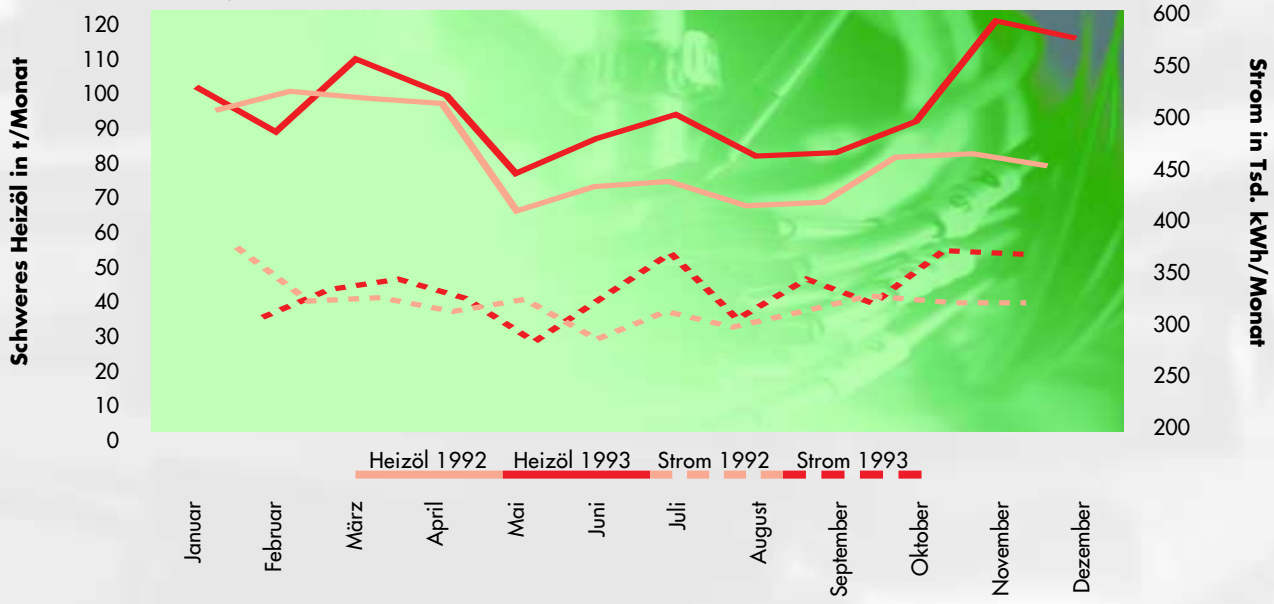
Die maßgeblichen Kriterien für die kaufmännische Bewertung von Einsparmaßnahmen können nur durch eine sorgfältige Analyse der Energiebezugskonditionen erarbeitet werden. Sehr häufig wird der Fehler gemacht, Einsparungen mit dem Durchschnittspreis des jeweiligen Energieträgers zu bewerten.

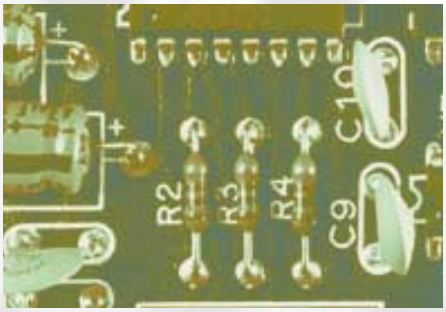
Damit kann man unter Umständen zu Fehleinschätzungen kommen, die die tatsächliche Situation nicht wiedergeben.

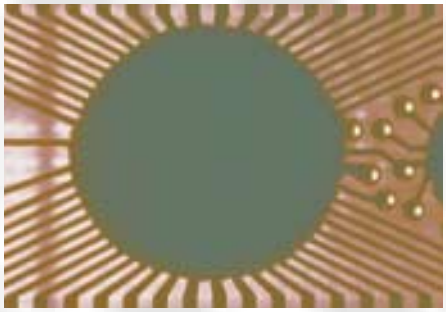
Wenn z.B. zwei Betriebe durchschnittliche Stromkosten von 20 Pf/kWh zahlen, kann es sein, daß der eine Betrieb mit einer bestimmten Maßnahme Fremdstrombezug verdrängt, der mit 14 Pf/kWh bewertet wird, während ein anderer Betrieb mit der gleichen Maßnahme Strom im Wert von 22 Pf/kWh verdrängt. Das kann daran liegen, daß der eine Betrieb in einem anderen Versorgungsgebiet mit anderen Bezugskonditionen beliefert wird. Ganz entscheidend ist also das Denken in Grenzkosten.

Detailliertere Hinweise hierzu sind der in der Anlage abgedruckten Checkliste zu entnehmen.

**Monatlicher Energieeinsatz Strom, Brennstoff der Jahre 1992 bzw. 1993**





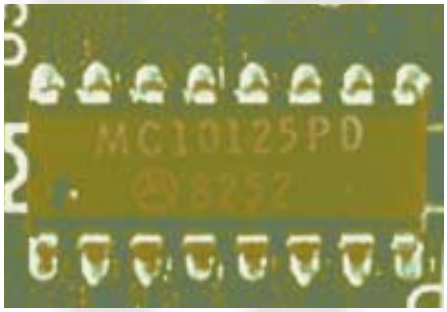



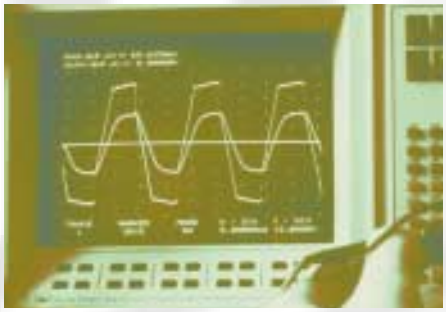
## 2. Rentabilitätsmaßstäbe

Bevor Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von einzelnen Maßnahmen getroffen werden, ist es erforderlich, daß die Rentabilitätsanforderungen an die zu tätigenden Investitionen, d.h. Kapitalrendite und Amortisationszeitraum, definiert werden. Hierbei ist eine Unterscheidung zwischen lang- und kurzlebigen Wirtschaftsgütern wichtig. Kurzlebig kann z.B. eine Maßnahme an einer Nebenproduktionseinrichtung sein, bei der die Option besteht, sie aus dem Betrieb auszulagern. Ein Beispiel hierfür wäre eine Anlage zur galvanischen Oberflächenbeschichtung. Rationalisierungsinvestitionen, z.B. zur Verbesserung der Dampferzeugung für die Beheizung der Beschichtungsanlage, müßten sich hier innerhalb kürzester Zeit amortisieren. Anders wird die Betrachtungsweise für Anlagen sein, die der Hauptproduktionseinrichtung zugeordnet sind. Die Rationalisierung in der Dampferzeugung der Fa. AssiDomän ist hierfür ein Beispiel.

Auch Maßnahmen am Gebäudebestand werden häufig über die Lebensdauer des Gebäudes abgeschrieben, da sie den Wert der Immobilie erhöhen.

Ein mitunter entscheidender Faktor bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit ist die steuerliche Wirksamkeit einer Investitionsmaßnahme. Der Grenzsteuersatz von Betrieben kann deutlich über 50% liegen. Auch die Art der Finanzierung, z.B. über Leasing, ist in steuerlicher Hinsicht relevant. Für eine saubere Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen ist es unbedingt erforderlich, einen Steuerberater hinzuzuziehen.





## 3. Möglichkeiten der Datenbeschaffung

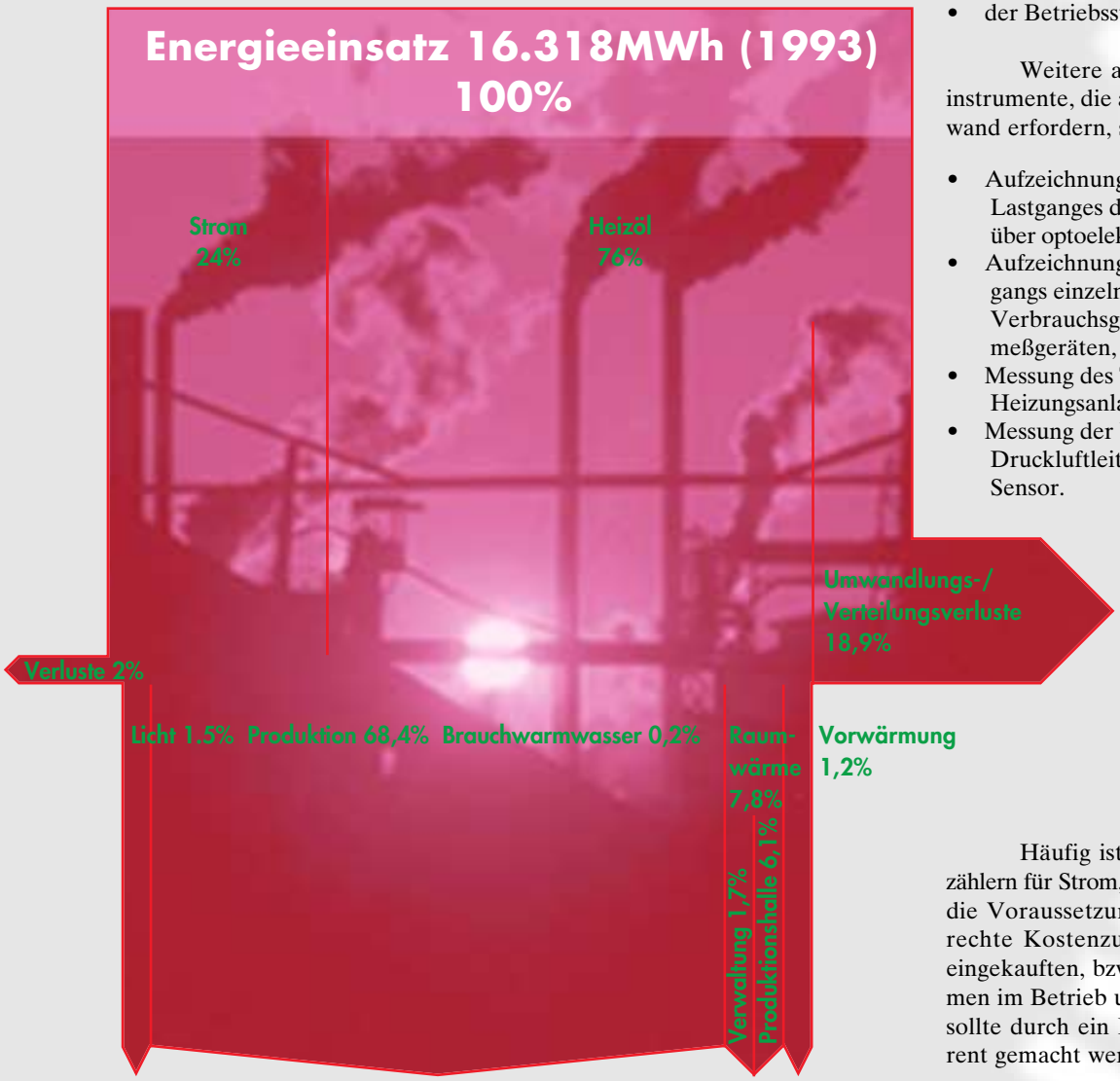
Die gängigsten Informationsquellen für eine Bilanzierung sind:

- die monatlichen Verbrauchsabrechnungen bei leitungsgebundenen Energieträgern,
- die Meßprotokolle des Schornsteinfegers,
- die Prüfberichte des TÜV,
- die Aufzeichnungen im Kesseltagebuch oder
- der Betriebsstundenzähler.

Weitere aufschlußreiche Analyseinstrumente, die allerdings einen Meßaufwand erfordern, sind:

- Aufzeichnung des elektrischen Lastganges des Gesamtbetriebes über optoelektronische Meßverfahren,
- Aufzeichnung des elektrischen Lastgangs einzelner Verbraucher oder Verbrauchsgruppen mit Zangenmeßgeräten,
- Messung des Temperaturverlaufs an Heizungsanlagen,
- Messung der Undichtigkeit an der Druckluftleitung mittels akustischem Sensor.

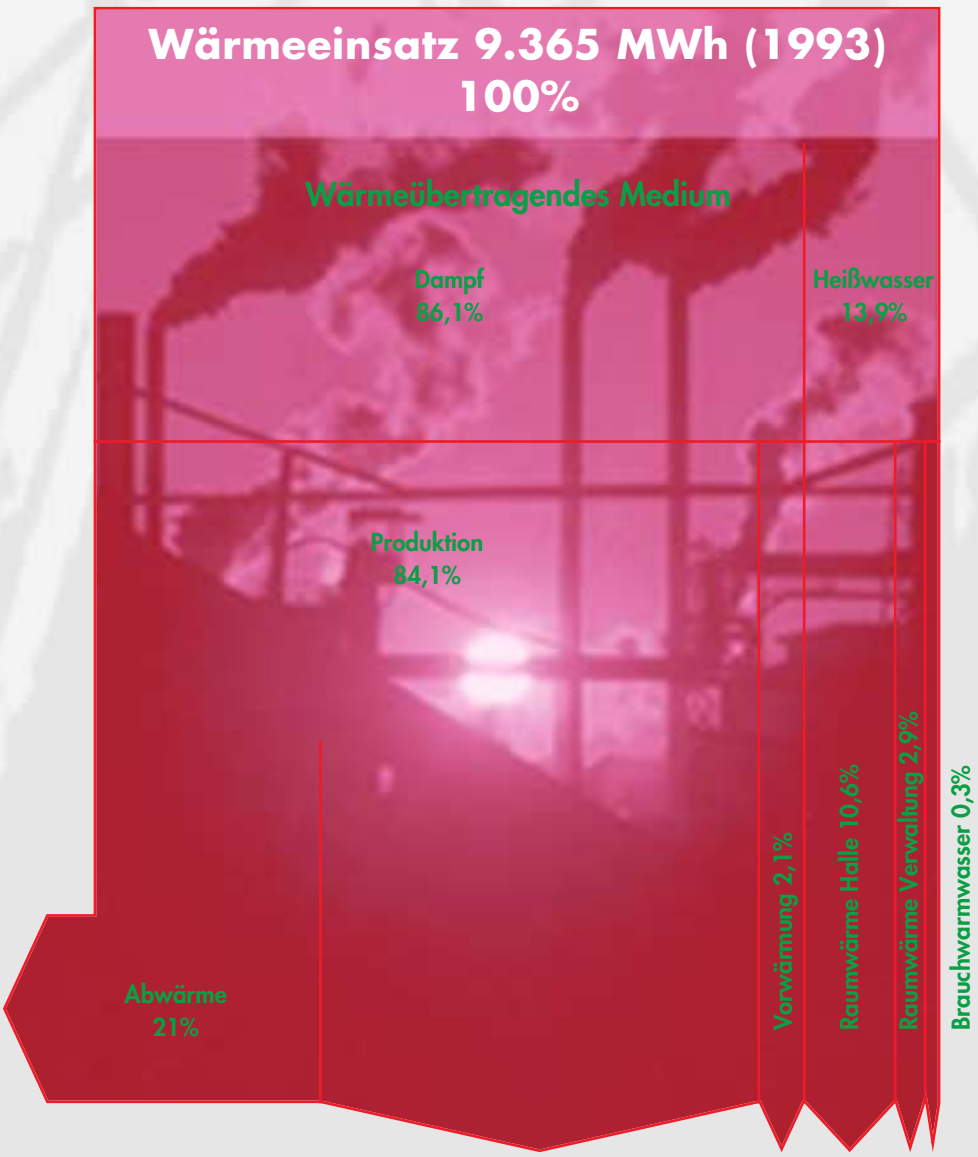
**Energieflußdiagramm**
**(Auszug aus: Energiekonzept)**




Häufig ist der Einbau von Unterzählern für Strom, Gas, Wärme und Wasser die Voraussetzung für verursachungsgerechte Kostenzuweisung. Der Weg der eingekauften, bzw. erzeugten Energieformen im Betrieb und dessen Umwandlung sollte durch ein Energieflußbild transparent gemacht werden.

# 4. Analyse der energietechnischen Systeme

**Wärme-/Abwärmeflußdiagramm (Auszug aus: Energiekonzept)**




## 4.1 Gebäude

Während bei reinen Wohngebäuden der Anteil der Raumwärme den überwiegenden Teil des Gesamtenergieverbrauchs ausmacht, kann das bei gewerblich genutzten Gebäuden völlig anders aussehen. Das ist einer der Gründe dafür, daß in der Vergangenheit bei Betriebsgebäuden häufig nur wenig auf Wärmeschutz geachtet wurde.

Isolierverglaste Fenster und dichte Außentüren sind jedoch heute auch bei Verwaltungsgebäuden Standard. Winddichte Wärmedämmung der Außenwände, der Kellerdecken und des Daches sollten im Zuge von anstehenden Sanierungen oder Restaurierungen der Außenhaut auf jeden Fall vorgenommen werden, selbst wenn die Amortisationszeiten weit über denen von anderen Investitionen im Betrieb liegen. Die mit dieser Maßnahme erzielte Wertsteigerung des Objekts muß berücksichtigt werden. Wird wegen steigender Energiepreise oder einer Verschärfung der gesetzlichen Auflagen nachträglich gedämmt, sind die Kosten dann spezifisch höher.

Auch bei Produktionsgebäuden (-hallen) ist eine Wärmedämmung des Daches sinnvoll, da unter der Decke die höchsten Temperaturen auftreten und daher die größte Differenz zur Außentemperatur besteht, so daß hier besonders viel Wärme verlorengeht.

Gedämmte Außenwände wiederum erfordern niedrigere Innentemperaturen und führen gleichzeitig zu einem angenehmen Raum- und Arbeitsklima. Ein wichtiger Faktor ist auch die geringere Aufheizung der Hallen im Sommer, was zu geringerer Lüfterleistung führt, bzw. eine Klimatisierung ersparen kann.

Die Optimierung der Heizungsanlagen, des stromverbrauchenden Maschinen- und Geräteparks einschließlich Beleuchtung, der Brauchwasserbereitung und eventuell der Klimatisierung und Entlüftung wird in anderen Kapiteln behandelt.

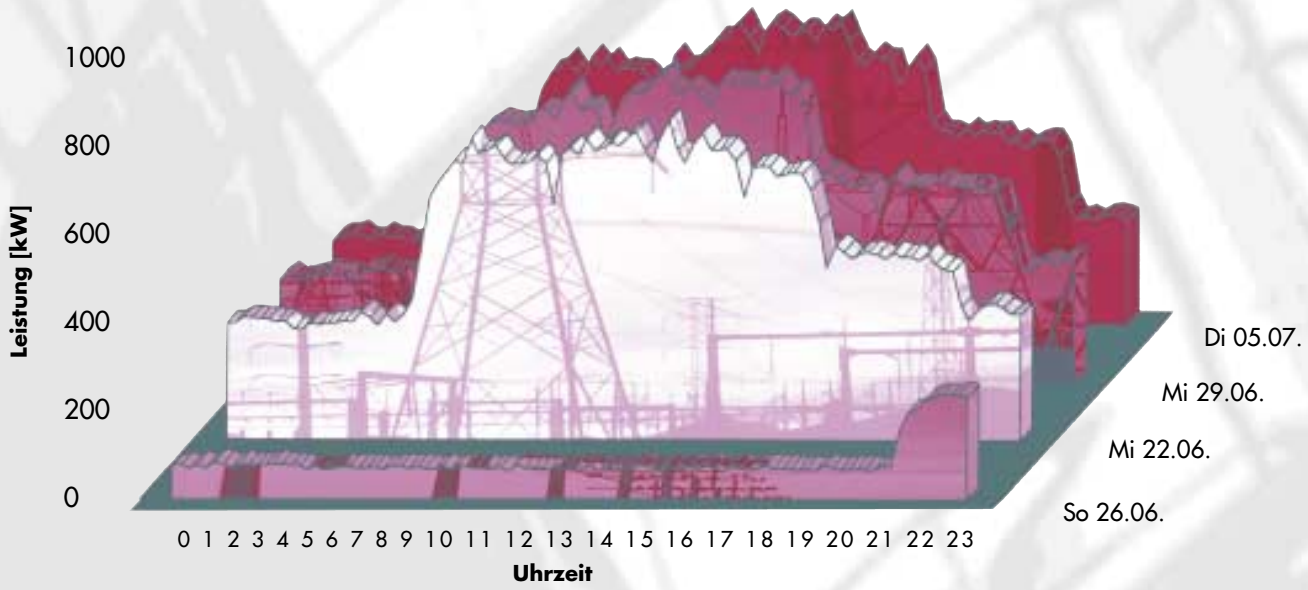
Ein nicht zu unterschätzender Faktor beim Energieverbrauch ist nur durch technische Maßnahmen nicht zu beeinflussen: Das Nutzerverhalten. Hierunter verstehen wir nicht nur die richtige Nutzung von geeigneten Räumen (so sollten selten benutzte Abstellflächen oder Lager nicht in den hellsten und bestgeheizten Räumen untergebracht sein), sondern vor allem den bewußten Umgang mit dem Wirtschaftsgut Energie. Wenn es gelingt, die Mitarbeiter hierfür zu interessieren, werden – bedingt durch „Insider"-Kenntnisse – sicherlich zusätzliche Einsparpotentiale aufgedeckt werden, die unter Umständen sogar den externen Fachleuten verborgen bleiben.

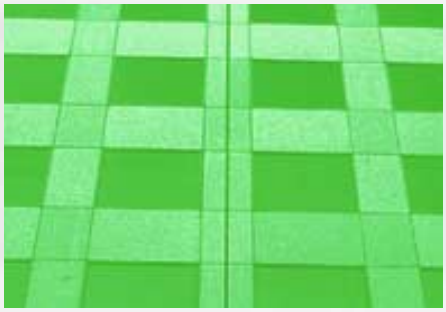
**Beispiel aus der Praxis:**

In fast allen Betrieben, die unsere Berater besichtigen, waren die Türen zwischen Fluren (zum Glück unbeheizt) und beheizten Büros oder zwischen beheizten Produktionsräumen und unbeheizten Lagern geöffnet. Hier muß nicht unbedingt eine aufwendige Türschleieranlage eingebaut werden, sondern es genügt ein einfacher Türschließer, der für wenig Geld zu erhalten ist.

**Übrigens:**
Bauphysikalische Schwachstellen kann man mit verschiedenen Verfahren aufdecken: z.B. lassen sich Wärmebrücken und Undichtigkeiten in den Außenwänden mit Thermografie, die Dichtheit von Räumen mit dem 'Blower-Door-Test' nachweisen.

**Elektrischer Lastgang typischer Arbeitstage im Vergleich zu einem Wochenendtag**





## 4.2 Rationelle Verwendung von Elektrizität

Sowohl im Verwaltungsbereich als auch in der Produktion ist die Anwendung von elektrischem Strom als 'Energielieferant' nicht wegzudenken. Vielleicht ist gerade das ein Grund, die Nutzung in jedem Einzelfall kritisch zu überprüfen. Wir gehen hierbei davon aus, daß elektrische Energie aus dem Netz bezogen wird. Die Eigenerzeugung, z.B. durch Kraft-Wärme-Kopplung oder Nutzung unerschöpflicher Energiequellen, ist bisher in mittelständischen Unternehmen eher die Ausnahme und wird an anderen Stellen dieser Broschüre behandelt.

### 4.2.1 Beleuchtung

In der Verwaltung wie auch in allen Produktionsbereichen ist eine gute Beleuchtung des Arbeitsplatzes Voraussetzung für gute Produktivität und auch für die Gesundheit und Sicherheit der Mitarbeiter. Die erforderlichen Beleuchtungsstärken sind gesetzlich festgelegt. Übrigens hat die Helligkeit und die Farbe des Lichts auch Einfluß auf die Stimmung der Menschen.

Abgesehen davon, daß die moderne Beleuchtungstechnik stromsparende Leuchten mit langer Lebensdauer und hervorragender Lichtausbeute bereithält, gibt es verschiedene technische Möglichkeiten, um bei der Beleuchtung elektrische Energie zu sparen.

Die Maßnahmen reichen vom Bewegungsmelder zur Lichtsteuerung im Außenbereich oder in selten benutzten Zonen, vom Schalter mit Zeitsteuerung für Treppenhäuser bis hin zur außenlichtgeregelten Beleuchtungssteuerung über eine moderne Leittechnik.

Grundsätzlich gilt, daß die Beleuchtung des Arbeitsplatzes in der Regel sinnvoller und energiesparender ist als die Ausleuchtung ganzer Räume.

Es werden für die verschiedensten Bedarfsfälle unterschiedliche Leuchtensysteme angeboten, wobei im Büro- und Produktionsbereich (Kompakt-) Leuchtstofflampen mit verlustarmen elektronischen Vorschaltgeräten eingesetzt werden sollten. Dreibanden-Leuchtstofflampen ermöglichen eine gute Farbwiedergabe und angenehme Lichtfarbe. Verspiegelte Reflektoren und Abdeckungen optimieren die Lichtausbeute.

Wichtig ist, daß bereits bei der Planung darauf geachtet wird, Lampengruppen in verschiedenen Stromkreisen zusammenzufassen, um die Möglichkeit zu haben, z.B. Leuchtbänder in der Nähe des Fensters in Abhängigkeit des Tageslichteinfalls (evtl. sogar automatisch über Lichtsensoren) auszuschalten.

**Kriterien zur energieeinsparenden Beleuchtung von Büro- und Verwaltungsgebäuden**

## Was sollte man bei Leuchtmitteln wissen?

Die Lichtausbeute von Leuchtmitteln oder auch Lampen wird durch zwei Faktoren bestimmt:

1. die **elektrische Leistung** des Leuchtmittels in **Watt [W]**
2. den **Lichtstrom** bzw., die Lichtleistung des Leuchtmittels in **lumen [lm]**

**Lichtausbeute [lm/W]**

**Lichtausbeuten von Lampen für die allgemeine Benutzung** zeigt folgende Tabelle:

| | Lichtausbeute in [lm/W] | Bemerkungen |
|---|---|---|
| Niederdruck-Natriumdampf-Lampen | 170 | für Dunst und Nebel besonders gut geeignet: Straßen-, Hafen- und Tunnelbeleuchtung, im Objektschutz |
| Natriumdampf-Lampen | 130 | zur Straßen-, Sportplatz- und Industriehallenbeleuchtung, zur Pflanzenaufzucht |
| Leuchtstofflampen | 96 | |
| Metallhalogendampf-Lampen | 95 | zur Sportstättenbeleuchtung (250 – 3500 W), Verkaufsräume und Schaufenster (70 – 150 W) |
| Quecksilberdampf-Lampen | 65 | Farbspektrum im roten Bereich |
| Kompaktleuchtstoff-Lampen | 58 | |
| Induktionslampe Genura | 48 | |
| Niedervolt-Halogen-Glühlampe | 20 | |
| Glühlampe | 12 | |

### 4.2.2 Geräte/Maschinen/ Motoren

Vorrangiges Ziel in diesem Bereich ist die Ermittlung der wichtigsten Verbraucher, um etwa folgende Maßnahmen durchzuführen:

- Austausch von überdimensionierten Antrieben
- Drehzahlregelung von Motoren mit stark wechselnden Belastungen

Im Musterbetrieb wurden überdimensionierte Antriebsmotoren der Kettenförderungsanlage durch angepaßte Motoren ausgetauscht.

- bedarfsgerechtes Zu- und Abschalten von Motoren
- Ein ständig niedriger cos. φ ist ein Hinweis auf überdimensionierte Antriebsmotoren.

Die Verbesserung der betrieblichen Blindstromkompensation auch über das von Stromversorgern erwünschte Maß hinaus (möglichst am Verbraucher) entlastet das betriebliche Netz und spart (möglicherweise) Kosten.

Im untersuchten Betrieb wird die Blindstromkompensationsanlage durch eine neue zentral geregelte Kompensation ersetzt.

## 4.2.3 Lüftung/Kühlung/Kälte

Die reine Be- und Entlüftung ist in erster Linie dem Bereich der Stromverwendung zuzuordnen.

Es ist darauf zu achten, daß die Auslegung der Luftleistung den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen soll. Bei fast allen unseren Initialberatungen stellen wir fest, daß erheblich mehr Luft umgewälzt wird, als erforderlich.

Es empfiehlt sich, drehzahlveränderliche Lüftermotoren einzusetzen und nur bei Bedarf die hohen Drehzahlen zu nutzen. So wird nicht nur der elektrische Stromverbrauch gesenkt, sondern auch Heizenergie bzw. Klimaleistung eingespart.

In manchen Fällen ist auch eine vom Schadstoffgehalt der Luft gesteuerte Schaltung angebracht. Grundsätzlich sollte darauf geachtet werden, daß belastete Luft möglichst dort abgesaugt wird, wo die Belastung entsteht (dezentrale Entlüftung).

Das oben Gesagte gilt auch für die Belüftung und besonders dann, wenn die zugeführte Luft aufbereitet werden muß (Be- oder Entfeuchtung, Filterung, Beheizung oder Kühlung).

Da die Luftgeschwindigkeit (oder -menge) in den Zu- oder Abluftleitungen exponentiell in den Stromverbrauch eingeht, ist darauf zu achten, daß möglichst wenige Umlenkungen und Querschnittsänderungen nötig sind. Filter sollten bedarfsangepaßt sein und regelmäßig gereinigt oder ausgewechselt werden.

Bei Absaugung erwärmter Luft ist regelmäßig zu prüfen, ob die Nutzung des Wärmeinhalts möglich ist. Diese Wärmerückgewinnung macht vor allem für die Abwärme von Trocknungs- oder Glühöfen Sinn, die zur Vorwärmung der Zuluft in einfachen Wärmetauschern verwendet werden kann.

Zur Kühlung der Luft wie auch zur Kühlung von Maschinen sollten nach Möglichkeit geschlossene oder offene Luftkühler verwendet werden, die - auch wenn sie Ventilatoren benötigen - erheblich weniger elektrische Energie verbrauchen als Kompressionskältemaschinen.

So ist es bei vielen Spritzgußmaschinen - aber auch bei der Klimatisierung - oft nicht nötig, das Kühlwasser mechanisch herunterzukühlen.

Sind auch im Sommer extrem niedrige Kühlwassertemperaturen erforderlich, ist auf Kältemaschinen nicht zu verzichten. Dann sollte die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, die Abwärme dieser Aggregate zur Brauchwassererwärmung zu nutzen. Hierzu bietet jeder Kälteanlagenhersteller Konzepte an.

Unter Umständen ist auch der Einsatz von Absorptionskältemaschinen (die langlebiger sind und die eingesetzte Energie besser nutzen) sinnvoll. Hier wird für den Kühlprozeß Wärme zugeführt und nur wenig elektrische Energie gebraucht. Das Verfahren beruht auf der Trennung eines Gemisches aus Kälte- und Lösungsmittel durch Wärmezufuhr. Falls etwa durch Kraft-Wärme-Kopplung oder Abwärme günstig Wärme bereit gestellt werden kann, ist diese Möglichkeit zu prüfen.

## 4.3 Wärmeerzeugung

Die Auswahl des richtigen Heizungssystems ist von grundlegender Bedeutung für die Wärmewirtschaft des Objektes. In Konkurrenz stehen zwei Prinzipien:

- dezentrale Wärmeerzeugung durch direktbefeuerte Lufterhitzer oder Gasstrahlungsheizung
- zentrale Wärmeerzeugung und Transport der Wärme über Wasser, Luft oder Dampf

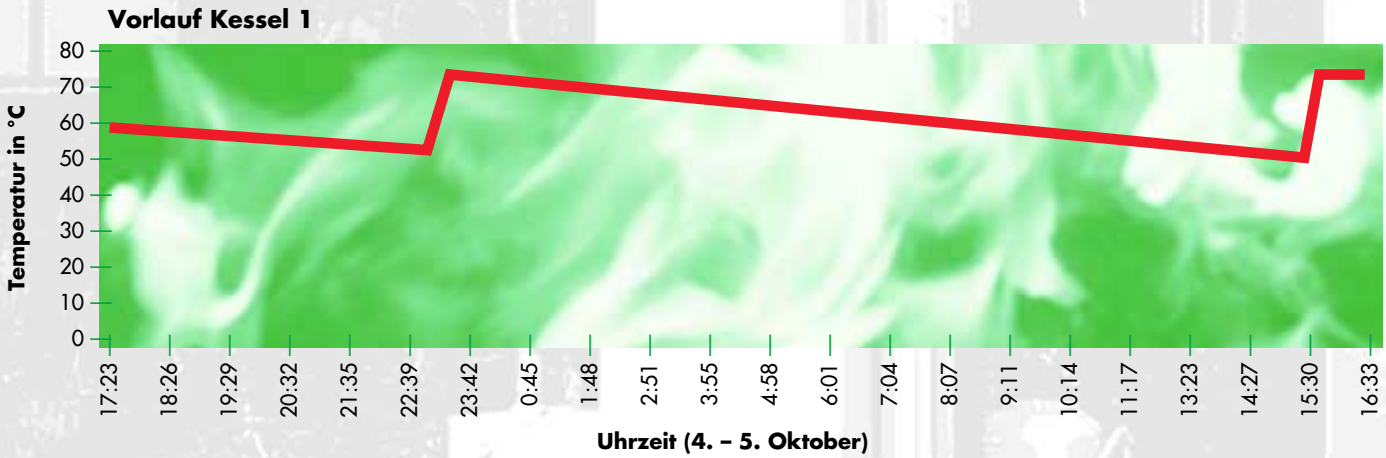
Bei dezentralen Wärmeerzeugern ist es wichtig, die Verbrennungsluft von außen gezielt an die Feuerung heranzuführen. Wird die Verbrennungsluft aus dem Hallenvolumen herangeführt, ergeben sich an kalten Tagen Zugerscheinungen. In der Halle bildet sich Unterdruck mit der Konsequenz von Kaltlufteinfall in kritischen Bereichen der Halle. Eine gezielte Verbrennungsluftführung ermöglicht außerdem eine Vorwärmung durch Wärmetauscher im Abgas.

Zentrale Wärmeerzeuger mit Wasser oder Dampf als Wärmeträger sind überall dort in Gebrauch, wo außer der Raumwärmeerzeugung Prozeßwärme benötigt wird. Typisches Beispiel sind die Dampferzeuger unseres Musterunternehmens Diese dienen der Versorgung der Wellpappenanlage. Über Gegenströmer wird der verbleibende Dampf in warmes Wasser zur Raumheizung umgeformt.

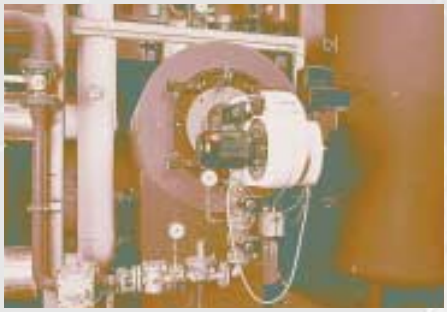
Möglichkeiten zur Verbesserung des Nutzungsgrades der Wärmeerzeuger sind:

- Periodische Messung des $CO_2$-Gehaltes der Abgase, der Abgastemperatur, der Rußziffer und des Feuerraumdrucks
- Periodische Kontrolle und gegebenenfalls Reinigen der Heizflächen/ Kesselheizflächen
- Beseitigung undichter Stellen im Bereich des Feuerraumes
- Hydraulisches Entkoppeln der Wärmeerzeuger bei Mehrkesselanlagen
- Automatisch arbeitende Folgeschaltung für Mehrkesselanlagen
- Ergänzung, Verbesserung oder Erneuerung der Wärmedämmung an den Wärmeerzeugern, den Armaturen und der Wärmeverteilung
- Installieren von automatisch arbeitenden Abgas- oder Verbrennungsluftklappen
- Der Einsatz einer Kesselanlage ist im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Anlehnung an die VDI-Richtlinien 2067 zu bewerten. In der Abbildung (S. 19, Wärmegestehungskosten) ist die bei einem untersuchten Unternehmen erarbeitete Betrachtung dargestellt
- Ausrüstung von Dampferzeugern mit automatisch arbeitenden Absetz- und Abschlämmeinrichtungen
- Einbau von Wärmetauschern in den Abgasstrom
- Einbau von Wärmetauschern in die Absalzeinrichtung bei Dampferzeugern
- Defekte, durchlässige Armaturen und nicht schließende Ventile sollten erneuert werden
- Gleitend angepaßte Leistung durch modulierende Brenner

Bei eventuellem Ersatz der Dampfkesselanlage sollte der Einsatz einer dampfbetriebenen Kondensatförderanlage überlegt werden.




Allein durch das Warmhalten des Kessels werden in diesem Beispiel täglich ca. DM 50,- unnötig verheizt.



Bei Kesselanlagen, die vorrangig Raumwärme bedienen, ist eine außentemperaturgesteuerte Kesselregelung wichtig. Die Konsequenzen einer nicht gesteuerten Fahrweise macht die Grafik (S. 18, Vorlauf Kessel 1) deutlich. Ein ungeregelter Kessel betreibt außer in der Hauptheizperiode im wesentlichen Selbstbeschäftigung.

Bei zentralen Anlagen kann eine Dezentralisierung von Vorteil sein, zum Beispiel indem das Duschwasser über einen separaten Durchlauferhitzer (möglichst gasgefeuert) erwärmt wird. Die große Kesselanlage kann dann in den Sommermonaten ganz abgeschaltet werden.

Kessel sollten generell nicht unnötig in Bereitschaft gehalten werden.

Bei zentraler Wärmeerzeugung mit Luft als Wärmeträger können durch bewegungsgesteuerte und bedarfsabhängige Beeinflussung der Ventilatoren erhebliche Einsparpotentiale erschlossen werden.

In vielen Fertigungsbetrieben bilden die Hallentore einen energietechnischen Schwachpunkt, da in ihrem Einzugsbereich häufig unangenehme, das Personal belastende Zugerscheinungen auftreten. Torschleieranlagen können hier Abhilfe schaffen. Sie verbrauchen zwar Energie, tragen jedoch zur Arbeitsplatzqualität bei und können sich auf diese Art rentieren. Die zu installierende Heizleistung beträgt ca. 20 - 30 kW/lfdm.

In vielen Betrieben treten Abwärmeströme auf, deren Verwertung geprüft werden sollten. Eine Möglichkeit wurde bereits erwähnt, nämlich die der Ausnutzung der Restwärme im Abgas. Die kürzesten Amortisationszeiten erreicht ein sogenannter Economiser, der mit der Abgaswärme die Kondensattemperatur eines Dampfprozesses anhebt.

Je nach Wärmebedarfsstruktur kann sogar ein Wärmetauscher zur Nutzung der Latentwärme in Frage kommen. Das bedeutet, daß der im Abgas enthaltene Wasserdampf kondensiert wird (siehe auch Brennwerttechnik).

In vielen metallverarbeitenden Prozessen kommt die Wärmerückgewinnung ebenfalls zum Tragen. Dies ist zum Beispiel bei Kupolofenverfahren der Fall. Eine andere Form sind die Rekuperatorbrenner, mit denen vorerhitzte Verbrennungsluft sehr effizient in den Prozeß eingebunden werden kann. Im Musterkonzept wurde die Abwärmeverwertung aus der Schalldämmhaube und Absaughaube über der Wellpappenanlage untersucht und für wirtschaftlich befunden.

**Wärmegestehungskosten der einzelnen Varianten**

| Variante<br>Brennstoff | Einheit | Kesselanlage<br>Erdgas | Kesselanlage<br>Heizöl L | Kesselanlage<br>Heizöl S | BHKW<br>Erdgas |
|---|---|---|---|---|---|
| Erzeugte Wärmemenge | MWh/a | 9.738 | 9.738 | 9.738 | 9.738 |
| Erzeugte Strommenge | MWh/a | – | – | – | 2.148 |
| Brennstoffbezug | MWh/a | 10.471 | 10.701 | 10.936 | 12.952 |
| Kapitalkosten | DM/a | 76.894 | 99.713 | 138.604 | 151.777 |
| Energiekosten | DM/a | 445.972 | 394.550 | 238.728 | 547.360 |
| Betriebskosten | DM/a | 12.940 | 15.180 | 38.660 | 83.700 |
| Sonstige Kosten | DM/a | 74.060 | 78.540 | 85.520 | 87.560 |
| Gesamtkosten | DM/a | 609.866 | 587.983 | 501.512 | 870.397 |
| Stromerlöse | DM/a | – | – | – | 344.350 |
| Wärmegestehungskosten | DM/a | 609.866 | 587.983 | 501.512 | 526.047 |

## 4.4 Bereich Druckluft

Druckluft ist ein zwar universeller, aber auch relativ teurer Energieträger. Pro Kubikmeter erzeugter Druckluft im normalen Werksluftnetz müssen - so lautet eine Faustregel - Kosten von mindestens zwei Pfennig veranschlagt werden. Und für jedes Bar, das - zum Beispiel aufgrund von Leckagen - zusätzlich aufgebracht werden muß, wird rund 10 % mehr Energie benötigt.

Die Instandhaltung des Druckluftnetzes und die Beseitigung von Undichtigkeiten sind die Voraussetzung für möglichst energiegünstige Drucklufterzeugung und -verteilung. Eine häufige, aber wenig beachtete Schwachstelle sind die Druckluftverbraucher: Um die Beschaffungskosten niedrig zu halten, wird auf billige Anschlußstücke und Endgeräte zurückgegriffen, die oft schneller Undichtigkeiten aufweisen. Die daraus resultierenden höheren Aufwendungen verschwinden in den Energiegemeinkosten und damit auch aus dem Bewußtsein. Bereits kleine Undichtigkeiten können jedoch Mehrkosten im Stromverbrauch von mehreren tausend DM verursachen.

Bei der Druckluftverteilung und der Dimensionierung der Endgeräte ist darauf zu achten, daß gleich große Leitungsquerschnitte bzw. Geräte mit ausreichenden Durchflußwerten verwendet werden. Jede „Engstelle“ im Netz verursacht zusätzlichen Energieaufwand.

Ein Instrument zur Ermittlung der mit der Druckluftverteilung verbundenen Verluste ist die Lastganganalyse des elektrischen Strombezugs. Wenn die Drucklufterzeuger außerhalb der Arbeitszeiten in Betrieb genommen werden, ergibt sich in der Stromabnahme ein typisches Verbrauchsbild, das eine quantitative Bewertung zuläßt.

Eine gut funktionierende Kondensatableitung nach dem Verdichter ist nicht nur ein Beitrag zur Druckluftqualität, sondern gleichermaßen auch zum rationellen Energieeinsatz.

Nach Möglichkeit sollten die Kompressoren kühle Außenluft ansaugen, damit weniger Verdichtungsarbeit geleistet werden muß.

Bei Anschaffung neuer Kompressoren sollte geprüft werden, ob die Abwärme für die Heizungsunterstützung, die Brauchwasserbereitung oder anderweitig im Betrieb genutzt werden kann. Weitere Stichworte in diesem Zusammenhang sind:

- verbrauchsabhängige Steuerung (wenn DL-Station aus mehreren Verdichtern besteht)
- genaue Analyse von Spitzen- und Grundlastbedarf mit Durchflußmeßgeräten vor einer Neuanschaffung.

**Kosten für Undichtigkeiten im Druckluftnetz**

| **Lochdurchmesser** tatsächliche Größe | mm | **Luftverlust** bei 6 $bar_e$ l/s | **Energieverlust** kW | DM/a*) |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 1,238 | 0,3 | 525,- |
| | 3 | 11,14 | 3,1 | 5 431,- |
| | 5 | 30,95 | 8,3 | 14 541,- |
| | 10 | 123,8 | 33 | 57 816,- |

*) kW x 0,20 DM x 8 760 Std./Jahr

## 4.5 Kraft-Wärme-Kopplung

In vielen Betrieben spielt die Kraft-Wärme-Kopplung eine wichtige Rolle. Ein Fragenkatalog im Anhang soll einen ersten Anhaltspunkt zur Beurteilung geben.

In Betrieben, bei denen gleichzeitig und ganzjährig Wärme auf einem Temperaturniveau bis ca. 90° benötigt wird, kann sich der Einsatz von Blockheizkraftwerken lohnen (auch als Kraft-Wärme-Kopplung bezeichnet). Dies können kleine Motorkraftwerke oder, bei höherem Temperaturniveau, kleine Dampf- oder Gasturbinen sein, die zur Erzeugung elektrischen Stroms einen Generator antreiben. Die anfallende Abwärme wird als Prozeßwärme oder zur Wassererwärmung genutzt. Unter Umständen kann mit der entstehenden Wärme auch Kälte erzeugt werden.

Der optimale Prozeß zur Realisierung der Kraft-Wärme-Kopplung ist der kombinierte Gas- und Dampfturbinenprozeß. Hierbei wird die Arbeitsfähigkeit des Brennstoffs optimal ausgenutzt. Diese Technik kommt allerdings nur bei Betrieben in Frage, die einen Wärmebedarf von mindestens 30 Mio. kWh/a haben. Weitere Informationen zu dem Thema KWK erhalten Sie bei der Energieagentur NRW, die z. B. die Broschüre ‘Randbedingungen für die Kraft-Wärme-Kopplung’ unentgeltlich zur Verfügung stellt.

## 4.6 Unerschöpfliche Energiequellen

Oft wird die Nutzung unerschöpflicher Energiequellen im Unternehmen von vornherein als zu teuer oder unwirtschaftlich angesehen, ohne den Einsatz ernsthaft zu prüfen. Daß es durchaus sinnvolle und wirtschaftliche Einsatzfälle gibt, möchten wir an einigen Beispielen aus der Praxis beweisen.

Der Einsatz der regenerativen Energien wird allerdings nicht immer nur nach streng betriebswirtschaftlichen Kriterien bewertet. Vielmehr wird auch der Imagegewinn bzw. der Werbeeffekt vor allem in verwandten Produktionsbereichen ins Kalkül einbezogen. (Beispiele: Herstellung von verzinkten Stahlprofilen - Windkraftwerk mit Stahlgittermast; Elektroinstallation - Photovoltaik usw.)

## 4.6.1 Wasserkraft

Die Nutzung der Wasserkraft war eine Voraussetzung der Industrialisierung. Gerade in Nordrhein-Westfalen liegen bis heute viele mittelständische Unternehmen an den Flüssen der Mittelgebirge. Viele haben erst in den fünfziger und sechziger Jahren unseres Jahrhunderts auf die Nutzung der Wasserkraft verzichtet. Aufgrund verbesserter Technik, Automatisierung des Betriebes und interessanter finanzieller Vorteile (Förderung, Einspeisevergütung) kann die Reaktivierung und sogar der Neubau einer Wasserkraftanlage durchaus lohnend sein. Von besonderer Bedeutung ist die Klärung der Frage des Wasserrechts.

## 4.6.2 Sonnenenergie

**• Thermische Solaranlagen**

Obwohl die Nutzung von Sonnenenergie vielfach noch als unwirtschaftlich gilt, gibt es doch Anwendungsfälle, die bereits bei den derzeit niedrigen Energiepreisen neben der Umweltentlastung auch finanzielle Vorteile bieten.

Bei einem Pharmaunternehmen in NRW ist ein Heizstrang der Werkswärmeversorgung im Sommer nur deshalb in Betrieb, weil die Sozialräume der Technischen Abteilung mit Warmwasser versorgt werden müssen. Derzeit wird geprüft, ob die dadurch entstehenden Verluste so hoch sind, daß sich der Einsatz einer Solaranlage auch finanziell lohnt.

Brauchwasserbereitung mit Sonnenkollektoren ist in der Regel preisgünstiger als elektrische Warmwasserbereitung. Sie ist vor allem dann sinnvoll, wenn in den Sommermonaten ein erhöhter Brauchwasserbedarf besteht.

Auch die Beheizung von Hallen über solare Luftkollektoranlagen kann in Frage kommen.

**• Photovoltaik**

In der Regel ist der Einsatz von Photovoltaik, d.h. die Stromerzeugung mit Hilfe von Sonnenlicht, nicht konkurrenzfähig mit den derzeitigen Strompreisen.

Es gibt jedoch auch hier schon Einsatzfälle, bei denen der Einsatz wirtschaftlich ist. Bei geringem Stromverbrauch außerhalb der Bebauung kann es sinnvoll sein, Photovoltaikzellen zur Stromversorgung einzusetzen, statt teure Erdrohre zu verlegen. Die Parkscheinautomaten in unseren Städten sind solche Beispiele; auch bei Teilen der Außenbeleuchtung kann dies unter Umständen sinnvoll sein.

Besonders interessant ist die Anwendung der Photovoltaik in Versorgungsgebieten, in denen eine kostengerechte Einspeisevergütung gewährt wird.

## 4.6.3 Windkraft

Die Nutzung der Windkraft zur Stromerzeugung kann an günstigen Standorten auch im Binnenland NRW eine wirtschaftliche Ergänzung zum Strombezug aus dem Netz sein. Die Gestehungskosten für eine Kilowattstunde Strom liegen im Bereich zwischen 15 und 20 Pf., so daß sie durchaus unter den Einkaufskosten für elektrische Energie liegen können. Überschüssiger Strom kann in das Stromnetz eingespeist werden und wird vom Versorgungsunternehmen vergütet (Einzelheiten regelt das Stromeinspeisungsgesetz; die aktuellen Konditionen erhalten Sie von der Energieagentur NRW). Wegen der in den vergangenen Jahren angestiegenen Leistung der Aggregate hat sich immer mehr die Variante eines 100 %igen Netzeinspeisebetriebs durchgesetzt. Die steigenden Nennleistungen der Anlagen zwingen immer stärker, die möglichen Netzeinspeisepunkte von vornherein in die Planung einzubeziehen.

Bei der Wahl des Standortes, für den ein Gutachten oder Windmessungen erstellt werden sollte (dies ist auch Voraussetzung für Fördermittel aus dem 'REN-Programm'), ist unter anderem auf eine möglichst ungestörte Anströmung aus der Hauptwindrichtung zu achten. Außerdem muß wegen der sogenannten Schallemissionen auf einen ausreichenden Abstand zur (Wohn-) Bebauung geachtet werden.

In der Beratung der Energieagentur NRW werden neben offensichtlich wirtschaftlichen Faktoren auch Imagegründe und Werbewirksamkeit der Erzeugung von Strom aus unerschöpflichen Energiequellen angeführt, so daß gegebenenfalls die Kosten für die Windkraftanlage zu 50% aus dem Werbeetat des entsprechenden Unternehmens gedeckt werden.

## 4.6.4 Biomasse, nachwachsende Rohstoffe

Steigende Kosten für die Entsorgung von Reststoffen (Holz, organische Abfälle etc.) steigern die Wirtschaftlichkeit der energetischen Nutzung dieser Stoffe, wenn so vermiedene Entsorgungskosten in die Amortisationsrechnung mit einfließen. Ein bekanntes Verfahren ist z. B. die energetische Nutzung von Holz zur Wärme-(Dampf-)gewinnung, gegebenenfalls mit Kraft-Wärme-Kopplung auch zur Stromerzeugung. Neben dem Einsatz von Biomasse in Dampfprozessen wird zunehmend die Verbrennung von Holzgas in Motor-BHKWs genutzt, die auch für kleinere Betriebe sinnvoll einsetzbar sind.

In vielen holzverarbeitenden Betrieben wird aus Produktionsgründen Dampf erzeugt. Mit Hilfe von Dampfturbinen oder Dampfmotoren läßt sich unkompliziert elektrische Energie erzeugen und damit die Kesselnutzung optimieren.

Nicht nur in der Landwirtschaft, sondern auch bei vielen Betrieben der Nahrungs- und der Futtermittelindustrie spielt die Gewinnung und Nutzung von Biogas eine immer größere Rolle. Bei der Vergärung organischer Reststoffe entsteht brennbares Methangas, das in stationären Motoren (BHKW) in Kraft (elektrische Energie) und Wärme umgewandelt wird.

Selbst in Hotel- und Gaststättenbetrieben, Gartenbaubetrieben, Krankenhäusern und anderen sozialen Einrichtungen kann ein Großteil der „Abfallstoffe“ energetisch genutzt werden.

## Förderung

Kleine und mittelständische Unternehmen sind Zielgruppe verschiedener Förderprogramme, die die rationelle Energieverwendung bezuschussen.

An dieser Stelle sollen die derzeit gültigen Programme kurz vorgestellt werden. Da die Förderprogramme oft kurzlebig sind bzw. Förderschwerpunkte und -konditionen sich ändern können, empfiehlt es sich, vor Durchführung einer Maßnahme nochmals eine Recherche von der Energieagentur NRW durchführen zu lassen. Dort sind auch aktuelle Merkblätter zu den einzelnen Programmen erhältlich.

- **Europäische Programme**

  Von der Europäischen Union werden Maßnahmen der rationellen Energieverwendung und der Nutzung regenerativer Energien im Rahmen der Programme „Thermie“, „Save“ und „Altener“ gefördert.

  Allen Programme ist gemeinsam, daß die Anträge zu festen Terminen bei der Genehmigungsbehörde eingereicht werden müssen. Vorteilhaft bzw. Bedingung ist es, Projektpartner in einem oder mehreren EU-Mitgliedsstaaten zu haben.

- **Bundesprogramme**

  Derzeit existieren Förderprogramme als Zuschußprogramme zur Beratung (auch zur Energieberatung) und zur Nutzung unerschöpflicher Energiequellen.

  Daneben gibt es zinsgünstige Darlehen für Energiesparmaßnahmen.

  Außerdem können besonders interessante Projekte z.B. durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt oder andere gefördert werden.

- **Landesprogramme**

  Die Erstellung von betrieblichen Energiekonzepten durch unabhängige Berater kann vom Land NRW bezuschußt werden. (Einzelheiten im Anhang oder von der Energieagentur NRW).

  Im Rahmen des ‘REN-Programms’ des Landes NRW (**R**ationelle **E**nergieverwendung und **N**utzung unerschöpflicher Energiequellen) können kleine und mittelständische Unternehmen und Private in NRW Zuschüsse für bestimmte Maßnahmen zur Energieeinsparung sowie für die Nutzung unerschöpflicher Energiequellen erhalten.

  Bei Investitionssummen (förderfähig) von mehr als 1 Mio. DM wird die Förderung als Zinszuschuß gewährt.

Die Energieagentur NRW gibt zu allen in dieser Broschüre aufgeführten Themen gerne Auskunft bzw. stellt weiterführendes Informationsmaterial zur Verfügung.

Mumbeck – Agentur für Werbung /Wuppertal

ENERGIEAGENTUR NRW

Weitere Fragen zum Thema
beantworten Ihnen:

Dipl.-Ing. Bernd Burkhardt
Morianstraße 32
42103 Wuppertal
Tel: 02 02/245 52-0
Fax: 02 02/245 52-30

Dipl.-Ing. Axel Rapp
Bismarckstraße 142
47057 Duisburg
Tel: 02 03/306-12 61
Fax: 02 03/306-12 99

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.