

Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Umwelt und Energie

Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 104 07 357

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Leitfaden für das betriebliche Energiemanagement

FE Forschungsstelle für Energiewirtschaft

S. Fink
M. Gaßner
C. Günther-Pomhoff
H. Schaefer

M • K • L Ingenieurgesellschaft mbH  MÜNCHEN

T. Münzer

München, Februar 1997

467.1/060

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG	1
2 ISTZUSTANDSANALYSE	3
2.1 DARSTELLUNG DER BETRIEBSSTÄTTE.....	4
2.2 BESCHREIBUNG DER ENERGIEVERSORGUNGSSTRUKTUR	6
2.3 ENERGIELIEFERVERTRÄGE UND ENERGIEKOSTEN.....	8
2.3.1 <i>Allgemeines</i>	8
2.3.2 <i>Tarifstrukturen</i>	9
2.4 ENERGIEVERBRAUCHER	12
2.5 ERFASSUNG DES LEISTUNGSBEDARFS UND ENERGIEVERBRAUCHS.....	15
2.5.1 <i>Zählerablesungen</i>	16
2.5.2 <i>Messungen</i>	17
2.6 AUFBEREITUNG DER DATEN	20
2.6.1 <i>Energiebilanz</i>	20
2.6.2 <i>Darstellungsmöglichkeiten</i>	21
2.7 FAZIT	28
3 RATIONELLER ENERGIEEINSATZ IM BETRIEB	30
3.1 EINSPARUNG VON ENERGIEVERBRAUCH.....	30
3.2 VERLAGERUNG VON ENERGIEVERBRAUCH.....	38
3.3 AUSWAHLKRITERIEN	40
3.3.1 <i>Prüfung der Wirtschaftlichkeit</i>	41
3.3.2 <i>Primärenergieverbrauch und Emissionen</i>	45
4 UMWELTRECHTLICHE UND POLITISCHE RAHMENBEDINGUNGEN	47
4.1 RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN	47
4.2 DIE ÖKO-AUDIT-VERORDNUNG DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN	49
4.2.1 <i>Ablauf und Beschreibung der Tätigkeiten nach der Verordnung</i>	49
4.2.2 <i>Bewertung des EG-Systems</i>	55
4.2.3 <i>Anmerkungen zur Erfassung und Aufbereitung der ökologisch relevanten Daten</i>	56

4.3 ENERGIE-AUDIT	57
4.3.1 Vorbereitung von Energie-Audits: Organisation und Planung.....	59
4.3.2 Durchführung und Auswertung von Energie-Audits.....	61
4.3.3 Auditierung des Energiebereichs entsprechend den Anforderungen der Öko- Audit-Verordnung an die Umweltbetriebsführung.....	64
5 ANHANG	67
5.1 EINHEITEN UND DIMENSIONEN	67
5.2 BEGRIFFSDEFINITIONEN	67
5.3 BEISPIELE AUS CHECKLISTEN FÜR ENERGIE-AUDITS	72
6 LITERATURHINWEISE.....	74

1 Einleitung

Jeglicher Energieeinsatz für gewerbliche und industrielle Produktionstätigkeiten ist mit Umweltauswirkungen verbunden. Die rationelle und klimaverträgliche Energienutzung in Industrie und Gewerbe zum Schutz unserer Lebensgrundlagen ist deshalb ein Gebot der Zeit. Eine wirksame Klimavorsorge fordert Strategien und Maßnahmen zur Reduzierung aller Treibhausgasemissionen insbesondere aber des Kohlendioxid (CO₂) und muß dabei gleichzeitig ökonomische, ökologische und soziale Aspekte berücksichtigen.

Es setzt sich die Erkenntnis durch, daß sparsame Energieverwendung bei höchster Effizienz der Energieumwandlung und -anwendung das sinnvollste Mittel zur Minderung der Klima- und Ressourcenprobleme darstellt. Zur Senkung des Energieverbrauchs im Betrieb und der dabei anfallenden Kosten ist dabei zunächst eine umfassende Analyse der betrieblichen Energieversorgung und -nutzung erforderlich.

Mit der Herausgabe dieses Leitfadens sollen die Betriebe bei der Erstellung von Energieanalysen unterstützt werden. Der Leitfaden soll eine praktische Anleitung für die Erarbeitung von Energienutzungskonzepten sowie Energiesparstrategien darstellen und richtet sich in erster Linie an die Verantwortlichen im Betrieb, ist aber ebenso für Energieberater und technisch interessierte Betriebswirte gedacht.

Die Beweggründe, warum sich ein Unternehmen mit der rationellen Energienutzung und Einführung eines betrieblichen Energiemanagementsystemes beschäftigt, können vielfältig sein:

- Freiwillige Beteiligung am Umweltmanagement (Öko-Audit)
- Freiwillige Selbstverpflichtungen zur Klimavorsorge durch Senkung des spezifischen Energieverbrauches oder der CO₂-Emissionen (Selbstverpflichtung der Wirtschaft von 1995 und 1996)
- Erfüllung der Anforderungen, wie sie in immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren für Errichtung, Betrieb oder Veränderung genehmigungsbedürftiger Anlagen gestellt werden
- Senkung der durch den Energieeinsatz verursachten Betriebskosten und Nutzen der meist vorhandenen Kopplung zwischen rationellerem Energieeinsatz und höherer Produktivität

- Aufwertung des Betriebsimages und damit Verbesserung der Wettbewerbschancen im Kontext mit der national und international steigenden Bedeutung der Klimavorsorge
- Vorbeugung im Hinblick auf langfristig nicht auszuschließende ordnungsrechtliche Ansätze oder steuerliche Maßnahmen.

Unabhängig davon aus welchen Gründen ein Unternehmen rationellen Energieeinsatz betreibt bleibt festzustellen, daß mit sinkenden Energieeinsatz sowohl die Kosten als auch die CO₂-Emissionen gesenkt werden können.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Grundlagen der energetischen Istzustandsanalyse im Betrieb ausführlich beschrieben und Möglichkeiten für nachfolgende Optimierungsmaßnahmen aufgezeigt.. Dabei wurde auf eine umfassende Darstellung aller in den Betrieben eingesetzten Energieträger geachtet. Daneben wird dem Leser außerdem ein Überblick über die in diesem Zusammenhang wichtigsten gesetzlichen Grundlagen und Instrumente des betrieblichen Umweltmanagements gegeben.

Des weiteren wird in einem dem Leitfaden beigelegten Bericht sehr ausführlich auf die energetische und wirtschaftliche Optimierung von gesamtenergetischen Prozessen eingegangen. Die Vorgehensweise, die unter dem Namen „Pinch-Point-Analyse“ bekannt ist, beschreibt eine systematische Methode zur Erhöhung der Energieeffizienz in Einzelprozessen bzw. gesamten Standorten. Sie beinhaltet die Vorhersage des Energieoptimums und die Identifikation der wichtigsten Verbesserungsmöglichkeiten. Die Pinch-Point-Analyse ist als ein effizientes Hilfsmittel für die Reduzierung des Brennstoffverbrauchs allgemein anerkannt und kann sowohl für Neuanlagen als auch für bestehende Anlagen angewandt werden.

2 Istzustandsanalyse

Die wesentliche Grundlage des betrieblichen Energiemanagements bildet die Erfassung, Auswertung und Darstellung des energetischen Istzustandes im Unternehmen. Mit der Erhebung sämtlicher energietechnisch relevanter Daten sowie deren Aufbereitung (z.B. in grafischer Form) wird die Informationsgrundlage zur Beurteilung der bisherigen und die Entscheidungsgrundlage für weitere Aktivitäten geschaffen.

Aufbauend auf der Analyse des Istzustandes können die Energiekosten bestimmt, Schwachstellen und Mängel bei der Energiebedarfsdeckung aufgezeigt und daraus Maßnahmen zur Optimierung der Energieversorgung erarbeitet sowie Energieeinsparpotentiale ermittelt werden.

Zu einer ausführlichen Istzustandsanalyse gehören nicht nur detaillierte Informationen zur Struktur und zum Aufbau der Energieversorgung sowie zum Leistungsbedarf und Energieverbrauch der Betriebsstätte, sondern auch umfangreiche Kenntnisse über die örtlichen Begebenheiten, die technischen Einrichtungen und den Produktionsablauf. Eine detaillierte Analyse des energetischen Istzustands gliedert sich demnach wie folgt:

- Darstellung der Betriebsstätte
- Beschreibung der Energieversorgungsstruktur
- Sichtung der Energielieferverträge und Energiekosten
- Analyse der Energieverbraucher
- Erfassung des Leistungsbedarfs und Energieverbrauchs des Betriebes, von Abteilungen, Anlagengruppen und einzelner Anlagen
- Aufbereitung der Daten

Nachfolgend werden diese wesentlichen Bestandteile der Istzustandsanalyse ausführlich beschrieben. Dabei kann der tatsächlich erforderliche Detaillierungsgrad der Erhebungen in den einzelnen Unternehmen durchaus variieren; die Tiefe der Untersuchung richtet sich im wesentlichen nach der Betriebsgröße, der Komplexität der Betriebsabläufe sowie der Höhe des Energiekostenanteils an den Gesamtkosten des Unternehmens.

2.1 Darstellung der Betriebsstätte

Die Darstellung eines Betriebes mit seiner Infrastruktur und den Produktionsabläufen stellt die Basis für eine energetische Istzustandsanalyse dar. Die Betriebsbeschreibung sollte dabei folgende Grundinformationen beinhalten:

- allgemeine Angaben wie z.B.
 - Branchenzugehörigkeit
 - Betriebsstruktur
 - Beschäftigtenzahl am Standort
 - bauphysikalische Daten der Gebäude (Fläche, Kubatur, Istzustand, Baujahr, Fensterflächen...)
 - Betriebszeiten (Schichtbetrieb, Öffnungszeiten)
- produktionsspezifische Angaben wie z.B.
 - Art und Umfang der Fertigung (täglich, monatlich, jährlich erzeugte Produkte und Produktionsmengen)
 - Produktionsanlagen, Produktionsverfahren und zugehörige Prozeßparameter
 - Produktionsabläufe nach Art und Umfang
 - Anlagenauslastung (täglich, wöchentlich, monatlich, saisonal, jährlich)
- vorhersehbare zukünftige Entwicklungen des Betriebs wie z.B. geplante Betriebserweiterungen oder Umstellungen der Produktion

Diese Grundinformationen werden im Rahmen der Istzustandsanalyse für unterschiedliche Zwecke herangezogen. Die Angaben zu *Branchenzugehörigkeit*, *Betriebsstruktur* und *Beschäftigtenzahl* geben lediglich einen allgemeinen Überblick über die Betriebsstätte, während die *bauphysikalischen Daten* bereits im Vorfeld zur überschlägigen Ermittlung des Heizwärmebedarfs der Gebäude genutzt werden können. *Betriebszeiten* wiederum dienen zur Plausibilitätskontrolle von erfaßten Lastgängen.

Die *Produktionsmengen* können zur Ermittlung von spezifischen Energieverbrauchswerten (z.B. kWh/kg) herangezogen werden. Über detaillierte Informationen zu *Produktionsanlagen*, *Produktionsabläufen* und zur *Anlagenauslastung* ist es möglich, im weiteren Verlauf Potentiale zur Verbrauchsreduzierung abzuschätzen (z.B. Verbesserung des Nutzungsgrades durch eine Erhöhung der

Auslastung, Reduzierung von Lastspitzen durch eine Verringerung der Gleichzeitigkeit, etc.).

Schließlich können Informationen zu *zukünftigen Entwicklungen des Betriebes* wesentliche Entscheidungshilfen bei der abschließenden Wahl von Maßnahmen zur Optimierung der Energieversorgungsstruktur darstellen.

Die Aufbereitung all dieser Informationen kann in textlicher, tabellarischer oder auch grafischer Form erfolgen. Die örtlichen Begebenheiten des Unternehmens können in einem Lageplan übersichtlich eingezeichnet werden. Dabei enthält ein solcher Plan nicht nur die örtliche Beschreibung der einzelnen Produktionsbereiche, sondern auch weiterführende Informationen wie z.B. den Standort von Energieerzeugungsanlagen, Übergabestationen, Produktionsanlagen, installierte Meßstellen etc. (z.B. zur Ermittlung von Leitungslängen).

In **Bild 2-1** ist beispielhaft der Lageplan eines Unternehmens mit den einzelnen Produktionsbereichen dargestellt.

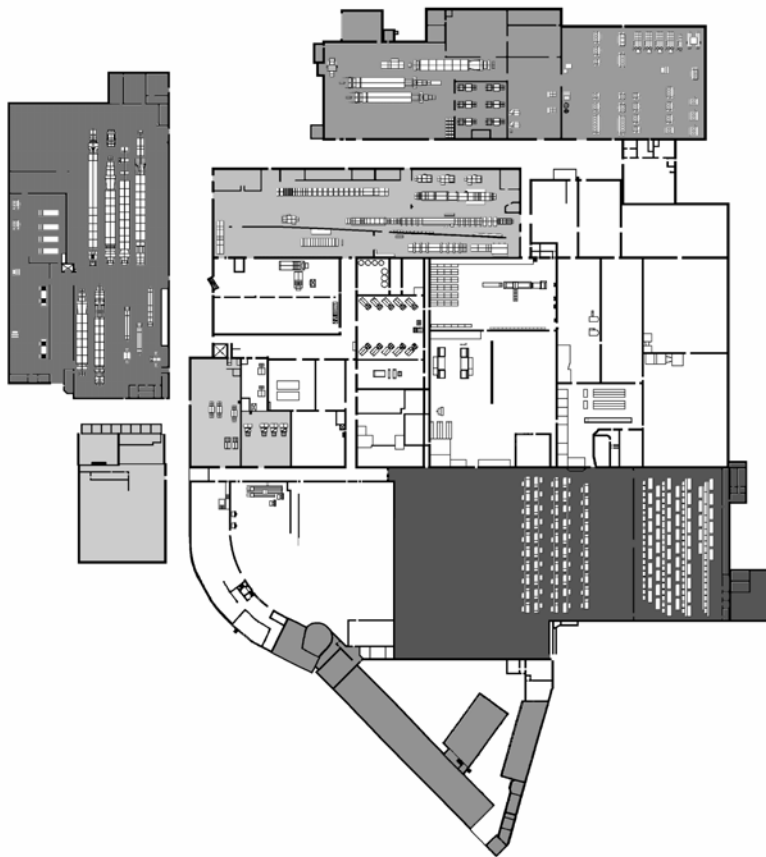


Bild 2-1: Beispiel: Lageplan eines Unternehmens

Mit der **Darstellung der Betriebsstätte** wird in einem ersten Schritt ein allgemeiner Überblick über den Betrieb gegeben. Die erhobenen Informationen zu Betriebszeiten sowie produktionsspezifische Angaben wie z.B. Produktionsmengen, -anlagen und -verfahren sowie die Anlagenauslastung dienen als Grundlage für spätere Verbrauchsabschätzungen und eventuelle Einsparpotentiale.

Die Aufbereitung der in diesem ersten Schritt ermittelten Daten erfolgt in textlicher, tabellarischer oder auch grafischer Form. Für die übersichtliche Darstellung der örtlichen Begebenheiten ist die Erstellung eines Lageplans empfehlenswert.

2.2 Beschreibung der Energieversorgungsstruktur

Eine detaillierte Beschreibung der Energieversorgungsstruktur beinhaltet ausführliche Informationen über:

- eingesetzte Energieträger (Strom, Gas, Fernwärme, Heizöl, Kohle, einschließlich energetisch genutzter Abfälle)
- zentrale und dezentrale Energieversorgung
- Installations- und Leitungspläne (Kabel, Rohre, Hoch- und Niederdruck)
- Energiewandlung (Transformatoren, Heizkessel, Reduzierstationen)
- vorhandene Speicher (z.B. Druckluft)
- installierte Meßanlagen (z.B. Zähler, Schreiber)

Dabei sind, soweit möglich, für die einzelnen Energiewandler alle relevanten Daten wie z.B.

- Hersteller
- Baujahr
- Nenndaten
- technischer Zustand
- überwiegende Betriebsweise (Vollast, Teillast)
- Betriebszeiten
- Steuerungs- und Regelungsart

anhand von Bestandslisten und/oder einer Betriebsbegehung zu erfassen. Zur Ermittlung von Leistungsdaten sind meist meßtechnische Untersuchungen notwendig (siehe auch Abschnitt 2.5).

Mit Hilfe dieser Informationen können Schwachstellen in der Versorgungsstruktur aufgezeigt und im weiteren Verlauf Maßnahmen zur Optimierung der Energieversorgung erarbeitet werden (z.B. Verringerung von Leitungsverlusten durch kürzere Wege, Verbesserung des Nutzungsgrades von Transformatoren und Heizkesseln durch eine Erhöhung der Auslastung, etc.).

Die Aufbereitung der Daten der Einzelanlagen erfolgt in grafischer und/oder tabellarischer Form. Mittels Struktogrammen und Schemaplänen kann ferner die gesamte Energieversorgungsstruktur der Betriebsstätte von der Bezugsenergie über sämtliche Umwandlungsstufen bis zur Energieanwendung übersichtlich dargestellt werden. Erfahrungsgemäß nimmt allerdings die Qualität der verfügbaren Informationen und Verbrauchsdaten von der Bezugsenergie bis zum Energiebedarf der einzelnen Anlage deutlich ab.

In **Bild 2-2** ist beispielhaft ein Struktogramm einer Betriebsstätte von der elektrischen Übergabestelle bis zu den einzelnen Produktionsbereichen dargestellt. **Bild 2-3** zeigt die Untergliederung eines Gebäudebereichs hinsichtlich der Energieträger.

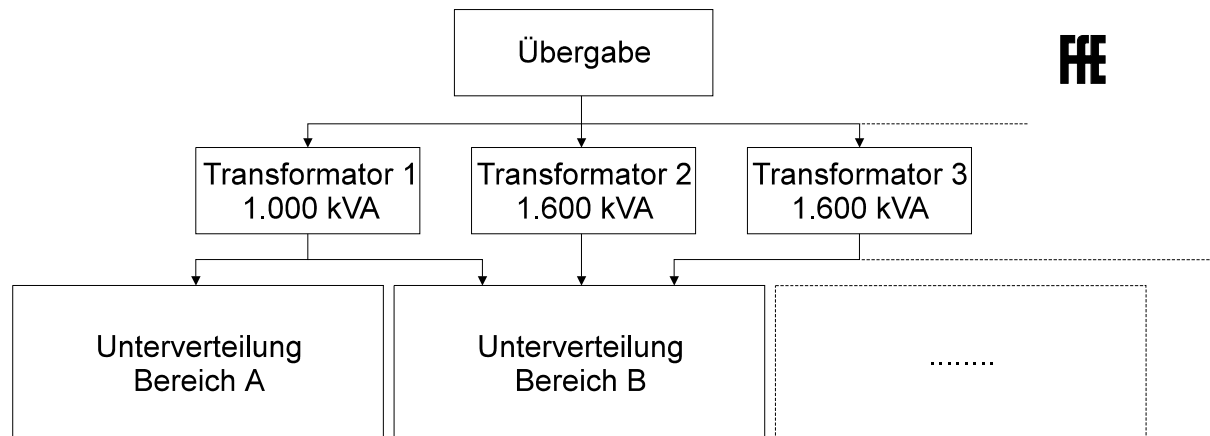


Bild 2-2: Beispielhafte Darstellung der elektrischen Energieversorgung einer Betriebsstätte in Form eines Struktogramms

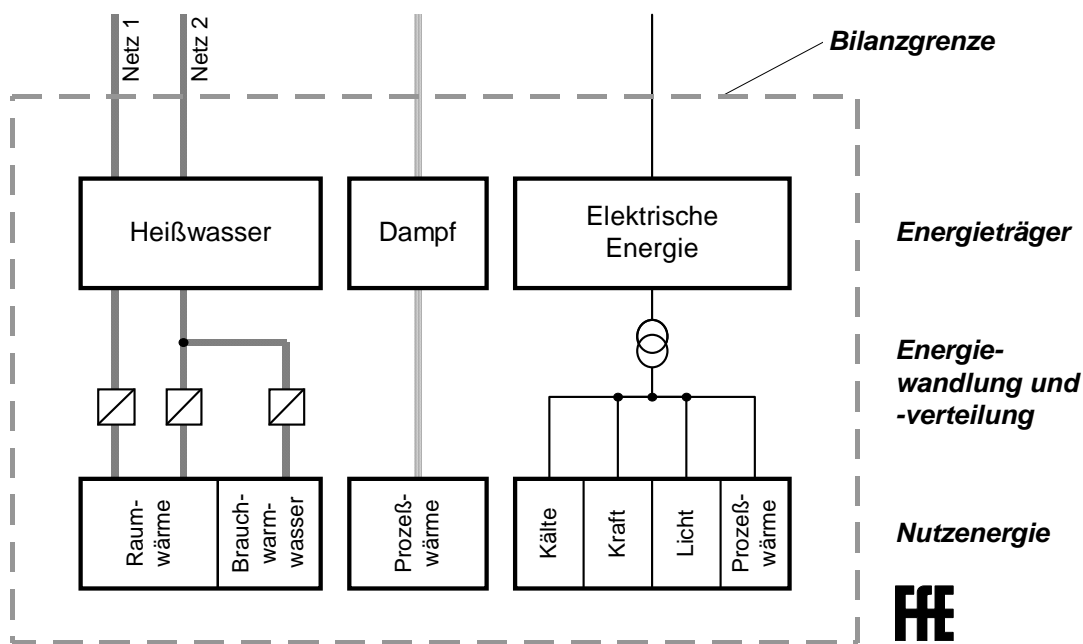


Bild 2-3: Energetische Struktur einer Betriebsstätte

Eine umfassende **Beschreibung der Energieversorgungsstruktur** beinhaltet detaillierte Angaben zu eingesetzten Energieträgern, Installations- und Leitungsplänen, Energiewandlern, vorhandenen Speichern und installierten Meßanlagen.

Die Aufbereitung der Daten der Einzelanlagen sollte in grafischer und/oder tabellarischer Form erfolgen. Mittels Struktogrammen und Schemaplänen kann die gesamte Energieversorgungsstruktur von der Bezugsenergie bis zur Energieanwendung übersichtlich dargestellt werden.

2.3 Energielieferverträge und Energiekosten

2.3.1 Allgemeines

Insbesondere in kleineren Betrieben liegen Daten über den Leistungsbedarf und Energieverbrauch meist nur in Form von Rechnungen der Energieversorgungsunternehmen (EVU) oder der Brennstofflieferanten vor. Die in diesen Rechnungen enthaltenen Angaben geben bereits wichtige Hinweise zur Energieverbrauchssituation der Betriebsstätte und können auch als Kontrollinstrumenten-

tarium bei Messungen bzw. bei Zählerablesungen herangezogen werden. Dabei sind die Kostenrechnungen für die verschiedenen Energieträger u.U. für unterschiedliche Abrechnungszeiträume gültig; sie müssen für einen belastbaren Vergleich entsprechend auf gleiche Zeitabschnitte abgestimmt werden. Die Bezugskosten sollten über mehrere Monate, sofern möglich sogar für die letzten ein bis drei Jahre, berücksichtigt werden.

Bei den eingesetzten Energieträgern wird nach *leitungsgebundenen* und *nicht leitungsgebundenen Energieträgern* unterschieden. Bei leitungsgebundenen Energieträgern wie z.B. elektrischer Energie und Gas sind in der Regel monatliche Kostenabrechnungen des zuständigen EVU's vorhanden. Nicht leitungsgebundene Energieträger (feste und flüssige Brennstoffe wie z.B. Kohle oder Öl) hingegen werden nicht kontinuierlich bezogen, sondern über längere Zeiträume gelagert, weshalb auch Kostenabrechnungen nicht für konstante Abrechnungszeiträume vorhanden sind. Dadurch wird bei diesen Energieträgern eine laufende Verbrauchskontrolle erschwert und oft durch Verbrauchsabschätzungen ersetzt.

Während bei elektrischer Energie, bei Gas und bei Fernwärme der Energieverbrauch selbst (in kWh) abgerechnet wird, erfolgt die Abrechnung der übrigen Brennstoffe in der Regel über den Massen- oder Volumenverbrauch (z.B. in m³, Litern, Tonnen etc.). Zur Ermittlung des Energieverbrauchs ist in diesen Fällen der Brennstoffverbrauch mit dem Heizwert (z.B. in kWh/m³, MJ/kg etc.) des entsprechenden Energieträgers zu bewerten. Bei nicht leitungsgebundenen Energieträgern muß zur Bestimmung des Heizwertes meist auf Angaben des Brennstoffhändlers zurückgegriffen werden. Bei Gas hingegen ist der Heizwert in der Regel verfügbar, da er meist die Grundlage der Abrechnungen darstellt.

2.3.2 Tarifstrukturen

Den in den Energielieferverträgen für leitungsgebundene Energieträger enthaltenen Vertragsbedingungen wie z.B. Vereinbarungen über Leistungs- und Arbeitspreise, Abnahmemengen, Abschaltklauseln, Anpassungsklauseln usw. ist besondere Beachtung zu schenken; diese Vereinbarungen können wichtige Entscheidungskriterien bei zukünftigen Lastmanagement- und Energieeinsparmaßnahmen sein.

Bei leitungsgebundenen Energieträgern wird bei der Gestaltung der Energielieferverträge nach Tarif- und Sondervertragskunden unterschieden. Durch die Zu-

ordnung auf eine dieser beiden Tarifstrukturen können die Energiekosten maßgeblich beeinflusst werden. Als erster Ansatzpunkt für die Reduzierung von Energiekosten ist daher nicht die Ermittlung von Energieeinsparpotentialen, sondern die Prüfung der geeigneten Tarifstruktur der Betriebsstätte zu nennen. Nachfolgend werden die üblichen Tarifstrukturen für den Strombezug ausführlich beschrieben.

Tarifkunden

Für Tarifkunden ist ein Preisaufbau mit Grund- und Arbeitspreis üblich. Der Grundpreis wird dabei unterteilt in:

- Verrechnungspreis: berücksichtigt Meß- und Abrechnungskosten
- Bereitstellungspreis: für die Leistungsvorhaltung, wobei an Stelle der tatsächlich beanspruchten Leistung eine Ersatzgröße herangezogen wird (z.B. gewerblicher Bedarf: Anschlußwerte für Licht und Kraft). Da diese Ersatzgrößen nur bedingt ein Maß für den Leistungsbedarf darstellen, ist eine zusätzliche Festkostenberechnung bei Überschreitung bestimmter Anschlußwerte bzw. Leistungsinanspruchnahmen vorgesehen. Des weiteren besteht die Möglichkeit, bei Überschreitung gewisser Leistungsgrenzen auf Leistungsabrechnungen ($\frac{1}{4}$ h Leistungsmessung oder auch 96 h Arbeitsmessung) überzugehen.

Nach der Bundestarifordnung (BTO) werden zwei unterschiedliche Kostenstrukturen angeboten /1/:

- flacher Tarif: hoher Arbeits- und niedriger Grundpreis; günstig für Tarifkunden mit durchschnittlicher Energieabnahme
- steiler Tarif: niedriger Arbeits- und hoher Grundpreis; günstig für Tarifkunden mit hoher Energieabnahme

Zusätzlich wird in Abhängigkeit von der Tageszeit ein Schwachlasttarif (auch: Niedertarif NT) angeboten, wobei die gültige Zeit vom einzelnen EVU vorgegeben wird. Weiterhin ist nach der BTO ein sog. Kleinverbrauchstarif anzubieten, der nur einen Arbeitspreis und den Verrechnungspreis, nicht aber den Bereitstellungspreis beinhaltet. Dieser Tarif ist bei sehr niedrigem Stromverbrauch vorteilhaft.

Sondervertragskunden

Bei großen Kunden wird im Rahmen der Abrechnung nach einem Leistungspreis, einem Wirkarbeitspreis und einem Blindarbeitspreis unterschieden:

- Leistungspreis: gemessener arithmetischer Mittelwert in einer bestimmten Zeitspanne, meist $\frac{1}{4}$ h oder auch 24 h
- Wirkarbeitspreis: meist unterteilt nach Hochtarif (HT) und Niedertarif (NT). Weitere Differenzierungsmöglichkeiten sind u.a.:
 - Rabatte bei Erreichen bestimmter Benutzungsdauern
 - Zonentarif zur mengenabhängigen Preisbeeinflussung etc.
- Blindarbeitspreis: sofern ein bestimmter kostenfreier Anteil der Blind- an der Wirkarbeit überschritten wird

Beim Erdgasbezug sind die Tarifstrukturen ähnlich, wobei hier die Abrechnung in kWh über eine Mengenummessung (z.B. Nm³/d) und eine Hochrechnung mittels des Brennwertes erfolgt. Der Bereitstellungspreis wird über die Anschlußleistungen (ggf. unter Berücksichtigung eines Gleichzeitigkeitsfaktors) bestimmt, Leistungsmessungen werden nur bei sehr großen Kunden durchgeführt. Auch hier werden Schwachlasttarife angeboten; die Staffelung über Abnahmemengen ist ebenfalls üblich.

Die Sichtung der **Energielieferverträge und Energiekosten** gibt wichtige Hinweise zur Energieverbrauchssituation der Betriebsstätte und dient zur Kontrolle bei Messungen bzw. bei Zählerablesungen. Dabei sind die Abrechnungszeiträume für die verschiedenen Energieträger nicht immer identisch; sie müssen für einen belastbaren Vergleich entsprechend abgestimmt werden.

Während bei elektrischer Energie, Gas und Fernwärme der Energieverbrauch direkt abgerechnet wird, muß bei den übrigen Energieträgern der Energieverbrauch über die Multiplikation des Brennstoffverbrauchs mit dem jeweiligen Heizwert ermittelt werden.

Durch die den Energielieferverträgen zugrunde liegende Tarifstruktur werden die Energiekosten maßgeblich beeinflußt. Als erster Ansatzpunkt für eine Reduzierung der Energiekosten ist die Tauglichkeit der gültigen Energielieferverträge für die bestehende Versorgungsstruktur zu überprüfen.

2.4 Energieverbraucher

Bei der Erfassung der einzelnen Energieverbraucher empfiehlt sich die Zuordnung der Geräte und Maschinen auf verschiedene Bereiche, die nach innerbetrieblich sinnvollen Kriterien festgelegt werden (z.B. Versorgungsebenen, Transformatorabgänge, Gebäudebereiche, Produktionsbereiche etc.). Typische Verbraucher sind z.B.:

- Antriebe (z.B. Umwälzpumpen)
- Druckluftstationen
- Industrieöfen
- raumlufttechnische Anlagen
- Klima- und Kälteanlagen
- Beleuchtungsanlagen

Bei der Bestandsaufnahme empfiehlt es sich, nur energetisch relevante Anlagen mit hohen Anschlußleistungen und/oder hohen Betriebsstunden zu erfassen; kleinere Verbraucher (z.B. Beleuchtungsanlagen, Umwälzpumpen) können u.U. in Gruppen zusammengefaßt werden.

Bei der energetischen Bestandsaufnahme sind zu betrachten:

- relevante Daten zu den einzelnen energetischen Anlagen wie
 - Bezeichnung, Typ
 - Baujahr
 - Nennfertigungskapazität
 - Betriebsweise und Betriebszeiten
 - mittlere Auslastung (z.B. pro Schicht, pro Tag)
- relevante Daten zu den Energiewandlern an diesen Anlagen (z.B. Lüfter, Antriebe) wie
 - installierte Nennleistung
 - durchschnittliche Leistungsdaten
 - Energieverbrauch (täglich, monatlich, jährlich)
 - Eignung für den Einsatz im Rahmen des Lastmanagements

In der Regel sind für die wenigsten Anlagen alle o.g. Kenndaten verfügbar, gerade bezüglich der Leistungsdaten sowie beim Energieverbrauch bestehen im Betrieb z.T. erhebliche Informationsdefizite. Während Anlagen mit hohem Energie-

verbrauch oft innerbetrieblich meßtechnisch erfaßt werden, sind bei kleineren Verbrauchern meist keine Angaben zu durchschnittlichen Leistungs- und Verbrauchsdaten vorhanden, weshalb insbesondere hier in der Regel umfangreiche Untersuchungen nötig sind (siehe auch Abschnitt 2.5).

In einer ersten Näherung kann der Energieverbrauch jedoch auch durch Multiplikation des durchschnittlichen Leistungsbezugs bzw. ggf. auch der Nennleistung mit den geschätzten täglichen Betriebsstunden hochgerechnet werden.

Eine mögliche Darstellungsart ist die Ergänzung von Schemaplänen um die wesentlichen Verbraucher bzw. Verbrauchergruppen; in **Bild 2-4** ist beispielhaft das in Bild 2-2 dargestellte Struktogramm um die wichtigsten Energieverbraucher erweitert. Eine vollkommen andere Art der Darstellung wurde für das Beispiel in **Bild 2-5** gewählt.

Im Anschluß daran erfolgt die Gegenüberstellung der wichtigsten energetischen Daten der Einzelverbraucher, in der Regel mittels Tabellen (**Tabelle 2-1**).

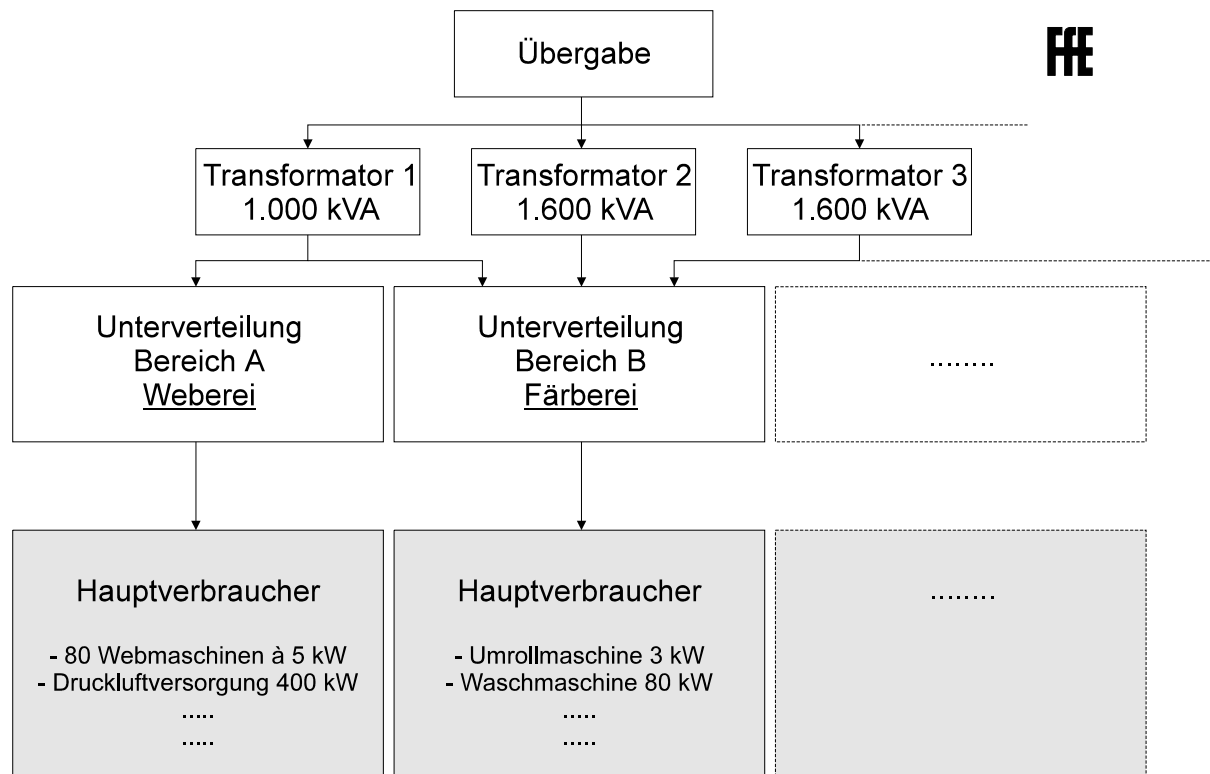


Bild 2-4: Beispielhafte Darstellung der elektrischen Energieversorgung einer Betriebsstätte mit den wichtigsten Verbrauchern

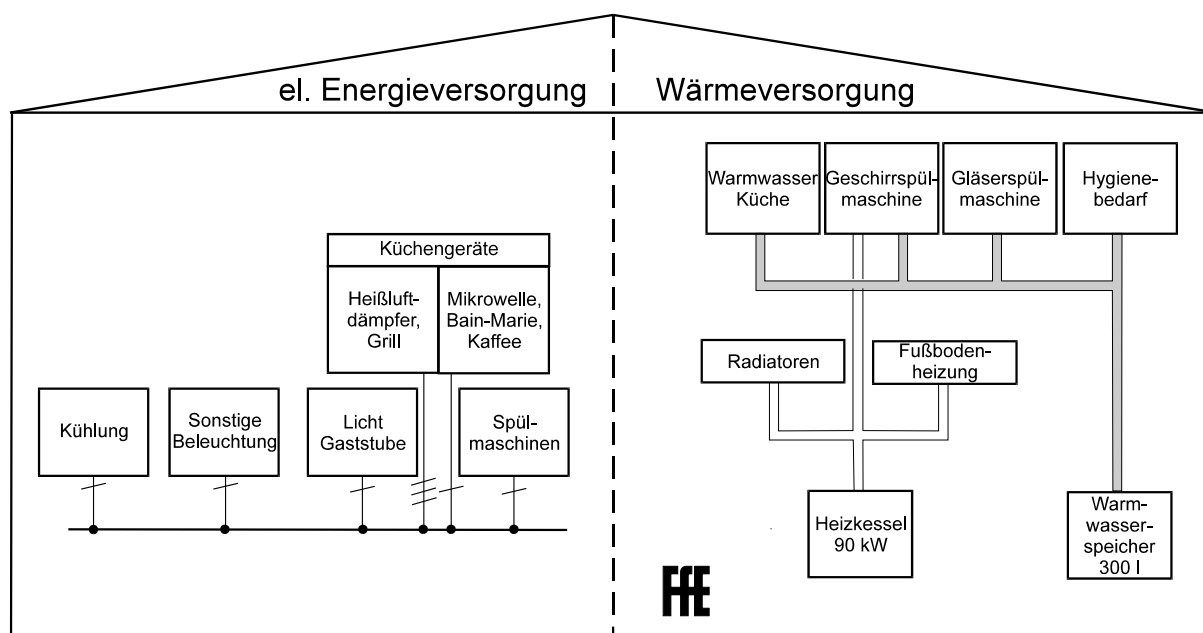


Bild 2-5: Schemaplan einer Gaststätte mit den wichtigsten Energieverbrauchern

Tabelle 2-1: Elektrische Verbraucher einer Gaststätte

Gerätebezeichnung	Baujahr	Nennleistung	Tägliche Betriebsstunden	Täglicher Energieverbrauch
<u>Küche:</u>				
Kühlschrank, 360 l Nutzinhalt	1989	0,09 kW	24 h/d	2,2 kWh/d
Beleuchtung	k.A.	0,6 kW	9,5 h/d	5,7 kWh/d
.....
<u>Gastraum:</u>				
.....
<u>Keller:</u>				
Gefrierraum (-18 °C)	1985	k.A.	24 h/d	15,1 kWh/d
Wasserpumpe	1985	0,8 kW	0,5 h/d	0,4 kWh/d

Mit den o.g. Informationen zu den wichtigsten Energieverbrauchern kann ein erster Überblick über den Leistungsbedarf sowie den Energieverbrauch der Betriebsstätte geschaffen werden. Damit ist eine Grundlage für die nachfolgende Ermittlung von Energieeinsparpotentialen geschaffen (z.B. durch einen Austausch der vorhandenen alten Maschinen und Geräte durch neue Anlagen nach dem aktuellen Stand der Technik, durch bedarfsgerechte Dimensionierung, durch optimierte Betriebsweise u.a.m.).

Bei der Erfassung der **Energieverbraucher** sind nicht nur gerätespezifische Angaben (z.B. Baujahr), sondern auch energetische Daten wie z.B. Nenndaten, durchschnittliche Leistungsdaten, Betriebszeiten und ggf. Energieverbrauch zu berücksichtigen. Die Aufbereitung dieser Informationen sollte in tabellarischer Form und/oder mittels Schemaplänen, wie sie bereits bei der Beschreibung der Energieversorgungsstruktur verwendet wurden, erfolgen.

Basierend auf der Beschreibung der Verbraucher kann eine erste Abschätzung des Leistungs- und ggf., unter Berücksichtigung einer geschätzten Ausnutzungsdauer, auch des Energiebedarfs der Betriebsstätte durchgeführt werden. Damit ist eine Grundlage für die nachfolgende Ermittlung von Energieeinsparpotentialen geschaffen.

2.5 Erfassung des Leistungsbedarfs und Energieverbrauchs

Wie in Abschnitt 2.3 bereits angesprochen, sind insbesondere in kleineren Betrieben Informationen zum Leistungsbedarf und Energieverbrauch meist nur über Rechnungen der EVU oder der Brennstofflieferanten vorhanden. Aus diesen Abrechnungen kann der Energieverbrauch der Betriebsstätte z.T. direkt bestimmt (elektrische Energie, Gas, Fernwärme) bzw. über den Heizwert der einzelnen Energieträger abgeschätzt werden (Holz, Kohle, Öl).

Da eine Aufteilung der gesamten Energiekosten auf einzelne Kostenstellen nur selten verfügbar ist, muß für eine exakte Zuordnung des Leistungs- und Energiebedarfs auf verschiedene Bereiche in der Regel auf Zählerablesungen bzw. weitere zusätzliche Messungen zurückgegriffen werden.

Dabei sollte stets darauf geachtet werden, daß der Aufwand für Messungen bzw. Aufschreibungen in einem angemessenen Verhältnis zu den erzielbaren Informationen und daraus resultierend Leistungs-, Energie- und Kosteneinsparpotentialen steht. Die Quantifizierung von Energieverbrauchern mit hohen Anschlußleistungen bzw. hohen Betriebsstunden erfordert eine höhere Genauigkeit und rechtfertigt umfangreichere Aufwendungen als die Erfassung einzelner kleinerer Verbraucher.

Sofern an einzelnen Anlagen keine Meßeinrichtungen für den Energieverbrauch vorhanden sind oder eine meßtechnische Erfassung des Energiebedarfs zu auf-

wendig erscheint, kann dieser über vorhandene Leistungsdaten, Prozeßparameter (z.B. Einschaltdauer, Ausnutzungsdauer, Auslastung etc.), auftretende Energieverluste und über den Anteil der im Produkt umgesetzten Aktivenergie abgeschätzt werden. Diese Abschätzung liefert unscharfe Daten, ist aber bei sorgfältiger und fachgerechter Durchführung insbesondere für eine erste Orientierung und Erfassung betrieblicher Energieverbrauchsschwerpunkte in der Praxis oft ausreichend (siehe auch Abschnitt 2.4).

2.5.1 Zählerablesungen

Durch das Ablesen von vorhandenen Meßeinrichtungen (Betriebsstundenzähler, Energieverbrauchszähler) können zusätzlich zu den Energiekostenabrechnungen weitere, detailliertere Informationen zum Energieverbrauch der Betriebsstätte eingeholt werden. Für elektrische Energie sind innerhalb der Energieverteilungsstruktur häufig Zählerplätze in Haupt- oder Unterstationen vorhanden, während Verteilernetze für Gas, Heißwasser, Dampf und Druckluft größtenteils unzureichend mit Meßeinrichtungen ausgestattet sind. Die Zähler sollten in regelmäßigen Zeitabständen (z.B. wöchentlich, nach Möglichkeit zur gleichen Tageszeit) abgelesen werden. Es empfiehlt sich dabei die Datenerfassung in tabellarischer Form (**Tabelle 2-2**).

Tabelle 2-2: Zählerablesungen für elektrische Energieverbraucher

Transformator-abgang	Zähler-Nr. / WF	Verbraucher	Datum, Uhrzeit	Zählerstand	Datum, Uhrzeit	Zählerstand	Täglicher Stromverbrauch
<u>Vorbehandlung</u>	23 / 10	Schlichterei	31.7. 10:00	11.808,30	19.08. 12:25	11.891,00	43,3 kWh/d
	25 / 60	Trockner	31.7. 10:00	29.247,30	19.08. 12:25	29.559,76	981,5 kWh/d

<u>Färberei</u>

WF Wandlerfaktor

In den meisten Unternehmen wurde die interne Energieversorgungsstruktur im Lauf der Betriebsjahre deutlich verändert (z.B. durch Expansion), ausführliche Dokumentationen zum Strukturwandel sind jedoch nur in wenigen Fällen vorhanden. Aus diesem Grund sind z.B. Beschriftungen von Zählern bzw. schriftlich

fixierte Zuordnungen von Einzelverbrauchern auf Transformatorabgänge oder Bereiche in der Praxis häufig nicht mehr gültig; eine exakte Zuordnung der durch die o.g. Abrechnungen und Ablesungen resultierenden Verbrauchsdaten auf einzelne Betriebsbereiche oder Anlagen ist daher oftmals nicht möglich.

Für die Aufschlüsselung des Energieverbrauchs auf einzelne Bereiche ist deshalb in vielen Fällen ein nicht unerheblicher zusätzlicher Aufwand für die Datenerfassung notwendig. Gerade in Bereichen, in denen Energieverbrauchsschwerpunkte identifiziert werden konnten, für die aber keine exakten Verbrauchsdaten vorliegen, sind für die Erstellung einer detaillierten Energiebilanz weiterführende, ggf. meßtechnisch gestützte Untersuchungen notwendig.

2.5.2 Messungen

Wenn meßtechnische Untersuchungen der Betriebsstätte bzw. einzelner Anlagen mit einem angemessenen Kosten-/Nutzenverhältnis durchgeführt werden sollen, ist im Vorfeld der Messungen ein Vergleich zwischen den Kosten für eine einmalige Meßkampagne - inklusive dem Aufwand für den Auf- und Abbau der Meßgeräte, der Leihgebühr für die Meßgeräte etc. - und den Kosten für Kauf und Festeinbau von Meßgeräten anzustellen. Ist der dauerhafte Einbau von Meßgeräten gegenüber einer einmaligen Meßkampagne nicht mit einem großen Kostenmehraufwand verbunden, ist er in Hinblick auf zukünftige Betriebsuntersuchungen anzuraten.

Ein angemessenes Kosten-/Nutzenverhältnis, das den Meßaufwand rechtfertigt, liegt dann vor, wenn

- bei einzelnen Anlagen oder Bereichen über Abschätzungen Energieverbrauchsschwerpunkte festgelegt werden konnten, für die allerdings keine exakten Verbrauchsdaten vorliegen (siehe Abschnitt 2.5.1) und durch weiterführende Maßnahmen eine Verringerung der Energiekosten vermutet wird bzw.
- durch eine Reduzierung von Leistungsspitzen aufgrund der bestehenden Energielieferverträge nennenswerte Kostenreduzierungen erwartet werden können.

Dabei ist in jedem Einzelfall abzuwägen, ob aufwendige Leistungsmessungen tatsächlich erforderlich sind. Gerade dort, wo lediglich der Energieverbrauch, nicht jedoch der zeitliche Verlauf des Lastgangs von Interesse ist, genügen meist Zählerablesungen in regelmäßigen Zeitabständen.

Die meßtechnische Untersuchung des Gesamtlastgangs jedoch ist, insbesondere bei den leitungsgebundenen Energieträgern Strom, Gas und Fernwärme, unabhängig von der Art und Anzahl der gewählten weiteren Meßstellen, eine wesentliche Grundlage der Istzustandsanalyse. Durch weitere Leistungsmessungen an einzelnen Anlagen kann hierauf aufbauend festgestellt werden, welche Verbraucher die Höchstlast bestimmen und wo sich Möglichkeiten zur Verringerung und Verlagerung dieser Höchstlast bieten (z.B. bei abschaltbaren Verbrauchern). Die zeitliche Auflösung der Messung ist dabei vom zugrundeliegenden Abrechnungsmodus der Energielieferverträge abhängig (z.B. $\frac{1}{4}$ h Leistungsmessung für Abrechnung) und sollte synchron mit der des EVU erfolgen.

Die meßtechnische Analyse des Energieverbrauchs erfolgt auf zwei Ebenen:

- Betriebsanalyse
- Anlagenanalyse

Die *Betriebsanalyse* dient der Ermittlung der Energieströme innerhalb des Betriebes. Sie zeigt auf, welche Anlagen oder Bereiche in welchem Umfang und mit welchem zeitlichen Verlauf am Gesamtverbrauch beteiligt sind. Bei der *Anlagenanalyse* hingegen werden einzelne Verbrauchergruppen bzw. Anlagen meßtechnisch analysiert; mit Hilfe der resultierenden Energiebilanzen der Einzelanlagen können Maßnahmen zur Verbesserung des Energieeinsatzes abgeleitet werden. In **Tabelle 2-3** sind die wesentlichen Merkmale der Betriebs- und der Anlagenanalyse gegenüber gestellt.

In jedem Fall ist eine Plausibilitätskontrolle der gewonnenen Daten erforderlich. Diese kann zum einen über die Energiekostenabrechnungen erfolgen, zum anderen über redundante Zähler oder die Ermittlung von Energiebilanzen (siehe auch Abschnitt 2.6.1).

Tabelle 2-3: Definition von Betriebs- und Anlagenanalyse

Betriebsanalyse	Anlagenanalyse
<u>Festlegung der erforderlichen Messungen für:</u>	
<ul style="list-style-type: none"> - Gesamtenergieverbrauch/-leistungsgang des Betriebes (i.a. ständige Meßstelle, z.B. Übergabestelle des EVU) - u.U. Betriebszeiten 	<ul style="list-style-type: none"> - Energieverbrauch und Leistungsgang einzelner Anlagen bzw. -gruppen
<u>Durchführung der Messung:</u>	
<ul style="list-style-type: none"> - Installation der Meßtechnik - Meßtechnische Analyse über eine, besser mehrere Wochen 	<ul style="list-style-type: none"> - Installation der Meßtechnik - Zeitraum, über den der Energieverbrauch gemessen wird, richtet sich nach der Anlagenbetriebsweise
<u>Auswertung:</u>	
<ul style="list-style-type: none"> - Aufbereitung der Meßergebnisse - Erstellung einer Energiebilanz für den Betrieb - Aufteilung des Leistungsbedarfs und Energieverbrauchs auf einzelne Verbraucher und/oder Kostenstellen (z.B. über Betriebszeiten) - Bestimmung der Energiekosten, des spezifischen Energieverbrauchs sowie von Auslastungsgraden in Abhängigkeit von Produktion und Dienstleistungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Aufbereitung der Meßergebnisse - Erstellung einer Energiebilanz für die Anlage(n) - Ermittlung von Wirkungs- bzw. Nutzungsgraden - Bestimmung des spezifischen Energieverbrauchs in Abhängigkeit von z.B. Anlagendurchsatz

Insbesondere kleinere Betriebe sind meist weder von der meßtechnischen Ausstattung noch vom Kenntnisstand des Personals her in der Lage, Betriebs- oder Anlagenanalysen durchzuführen. Hier empfiehlt es sich in der Regel, Dritte mit der Durchführung der Messung und der anschließenden Auswertung zu beauftragen. Der Betrieb selbst kann jedoch einiges dazu beitragen, von Externen ausgeführte meßtechnische Analysen kostengünstig zu gestalten, indem er die Voraussetzungen für eine rasche und gezielte Ausführung von Messungen schafft.

An eine detaillierte meßtechnische Untersuchung ist immer eine sorgfältige Aufbereitung der ermittelten Daten gekoppelt. Im nachfolgenden Abschnitt wird deshalb veranschaulicht, was bei der Auswertung von Betriebsuntersuchungen besonders zu beachten ist und welche Darstellungsmöglichkeiten sich für die Aufbereitung anbieten.

Die **Erfassung des Energieverbrauchs** kann in kleineren Betrieben oft nur über Rechnungen der EVU und Brennstofflieferanten erfolgen. Für eine weitere Zuordnung des Energieverbrauchs auf verschiedene Bereiche muß auf Zählerablesungen bzw. zusätzliche Messungen oder auf plausible, aktuelle Abschätzungen zurückgegriffen werden. Dabei sollte der Aufwand für Messungen und Aufschreibungen in einem angepaßten Kosten-/Nutzenverhältnis stehen.

Bei der meßtechnischen Analyse unterscheidet man nach Betriebs- und Anlagenanalyse. Dabei dient die Betriebsanalyse der Ermittlung der Energieströme innerhalb der gesamten Betriebsstätte, während bei der Anlagenanalyse einzelne Verbrauchergruppen bzw. Einzelanlagen meßtechnisch untersucht werden.

2.6 Aufbereitung der Daten

Ziel der in den vorhergehenden Abschnitten eingehend beschriebenen Untersuchungen ist die möglichst unverfälschte, aussagekräftige Darstellung des energetischen Verhaltens der Betriebsstätte, z.B. mittels der Erstellung einer oder mehrerer Energiebilanzen für den Betrieb (→Betriebsanalyse) bzw. für einzelne Anlagen (→Anlagenanalyse). Diese Energiebilanzen stellen eine wichtige Basis für die nachfolgende Identifizierung und Erarbeitung von Einsparpotentialen dar.

2.6.1 Energiebilanz

In der Energiebilanz werden alle in den Bilanzierungsraum ein- und austretenden Energiemengen gegenübergestellt. Die Energiemengen müssen alle auf einen gleichen, mit den Grenzen des Bilanzierungsraums festzulegenden Grundzustand und Zeitraum bezogen werden. Die Bilanz- und Systemgrenzen können dabei unterschieden werden nach örtlichen Grenzen (z.B. Betrieb, Anlage, Anlagenkomponente etc.) und zeitlichen Grenzen (z.B. Jahr, Monat etc.).

Die sinnvolle Wahl des Bilanzzeitraumes und der Bilanzgrenzen hängt von der jeweiligen Aufgabenstellung ab. Sofern Bezugswerte wie z.B. Außen-, Innen- oder Prozeßtemperatur, Druck, Durchsatz etc. relevant sind, sind diese anzugeben.

Sieht man von Speicher- und Entspeicherungsvorgängen innerhalb der Bilanzgrenzen ab, so muß die Summe der zu- und der abgeführten Energiemengen identisch sein. Oft ist es möglich, einen unbekanntem Energiestrom aus den bekannten Energieströmen als Saldo zu berechnen; solche abgeschätzten Energieströme sind dabei in der Energiebilanz entsprechend zu kennzeichnen.

In der Praxis treten jedoch häufig Differenzen zwischen der Summe der zu- und der abgeführten Energieströme auf. Diese Differenzen werden einerseits verursacht durch Meß- oder Abschätzungenauigkeiten bei der Ermittlung der einzelnen Energieströme (z.B. Bestimmung von Oberflächenverlusten). Andererseits können bei endo- bzw. bei exothermen Reaktionen im Produkt Energieanteile gebunden oder auch freigesetzt werden, die Bestandteil der Bilanz sind. Die Ermittlung dieser Energieanteile ist jedoch praktisch oftmals nicht möglich.

Bei der Darstellung einer Energiebilanz wird üblicherweise ein sog. Restposten eingeführt, in dem alle nicht zuweisbaren Energieanteile enthalten sind. Dieser Bilanzrest sollte im allgemeinen 5 % der Gesamtsumme nicht überschreiten.

Die Energiebilanz stellt eine hervorragende Möglichkeit zur Plausibilitätskontrolle der Meßergebnisse dar. Liegt der Bilanzrest nicht in der üblichen Größenordnung, so liegt der Verdacht nahe, daß an ein oder mehreren Meßstellen Unstimmigkeiten aufgetreten sind.

2.6.2 Darstellungsmöglichkeiten

Die Darstellung von Energiebilanzen erfolgt üblicherweise in grafischer Form als *Energieflußbild*, auch *Sankeydiagramm* genannt. Prinzipiell können mittels Sankeydiagrammen nicht nur Energie-, sondern auch Stoffmengen innerhalb einer Prozeßkette verfolgt und analysiert werden. Hierzu werden die Stoff- oder Energiemengen in Form von Streifen aufgezeichnet, deren Breite den jeweiligen Mengen proportional ist. Die einzelnen Prozeßstufen bzw. die Stoff- oder Energiearten aufteilung stellen sich dabei als Verzweigungen dar. In **Bild 2-6** ist beispielhaft ein Energieflußbild für die elektrische Energieversorgung einer Betriebsstätte ausgewiesen. Diese Betriebsstätte wird vom Brennstofflieferanten mit Heizöl versorgt; die Strom- und Wärmeerzeugung findet innerhalb des Betriebes statt.

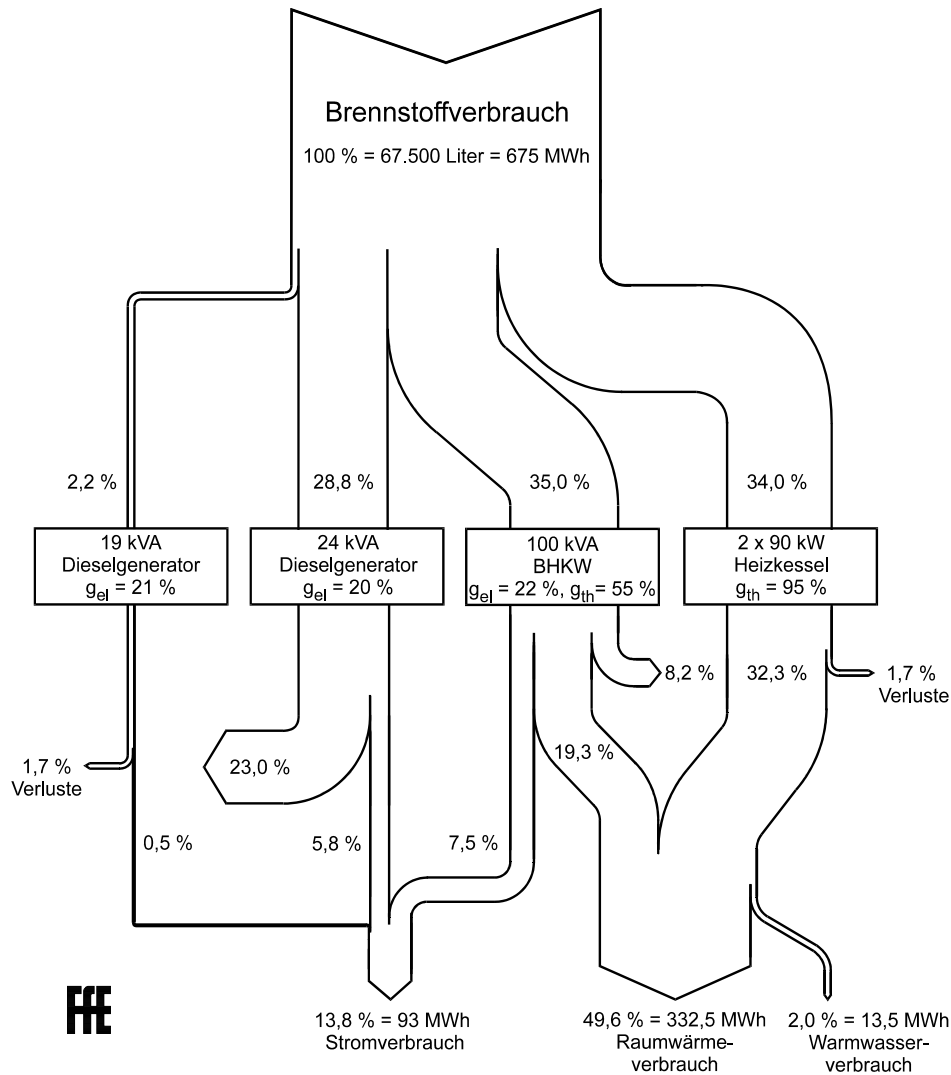


Bild 2-6: Beispiel für ein *Energieflußbild* (*Sankeydiagramm*): Aufteilung des Jahresbrennstoffverbrauchs einer Betriebsstätte

Eine andere Darstellungsart für Energiebilanzen ist das sog. *Kreisdiagramm* (**Bild 2-7**), in dem - ebenso wie im Energieflußdiagramm - als Systemgrenzen sowohl der gesamte Betrieb (links im Bild) als auch einzelne Energieträger (rechts im Bild) oder aber auch Anlagen möglich sind. Mit Hilfe von Kreisdiagrammen werden Energie- oder Stoffmengen über einen bestimmten Zeitraum flächenproportional dargestellt; der zeitliche Verlauf von einzelnen Stoff- oder Energieströmen ist mit dieser Art der Darstellung jedoch nicht ersichtlic.

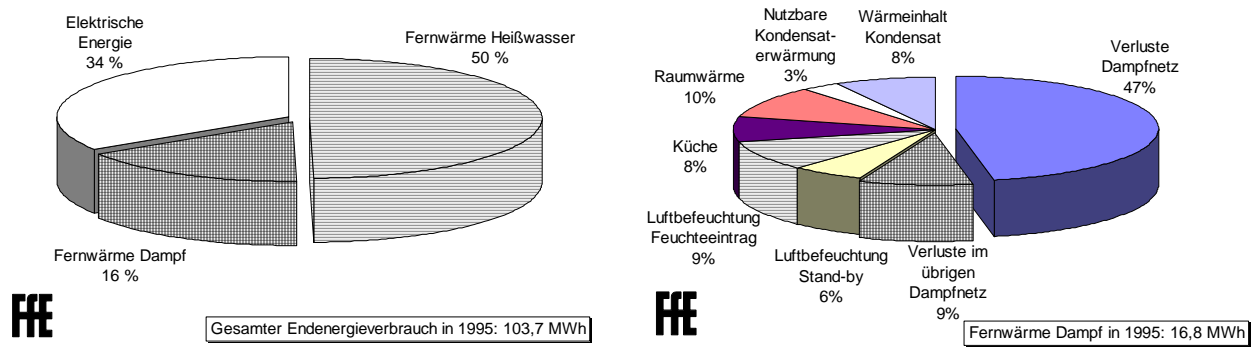


Bild 2-7: Beispiel für ein *Kreisdiagramm*: Gesamter Jahresendenergieverbrauch sowie Jahresfernwärmeverbrauch (Dampf) einer Betriebsstätte

Für das Aufzeigen der Zusammenhänge zwischen zwei Größen sind *Punktdiagramme* sehr geeignet. In **Bild 2-8** ist als Beispiel die Abhängigkeit des Wärmebedarfs von der mittleren täglichen Außentemperatur in Form eines Streupunktdiagramms dargestellt.

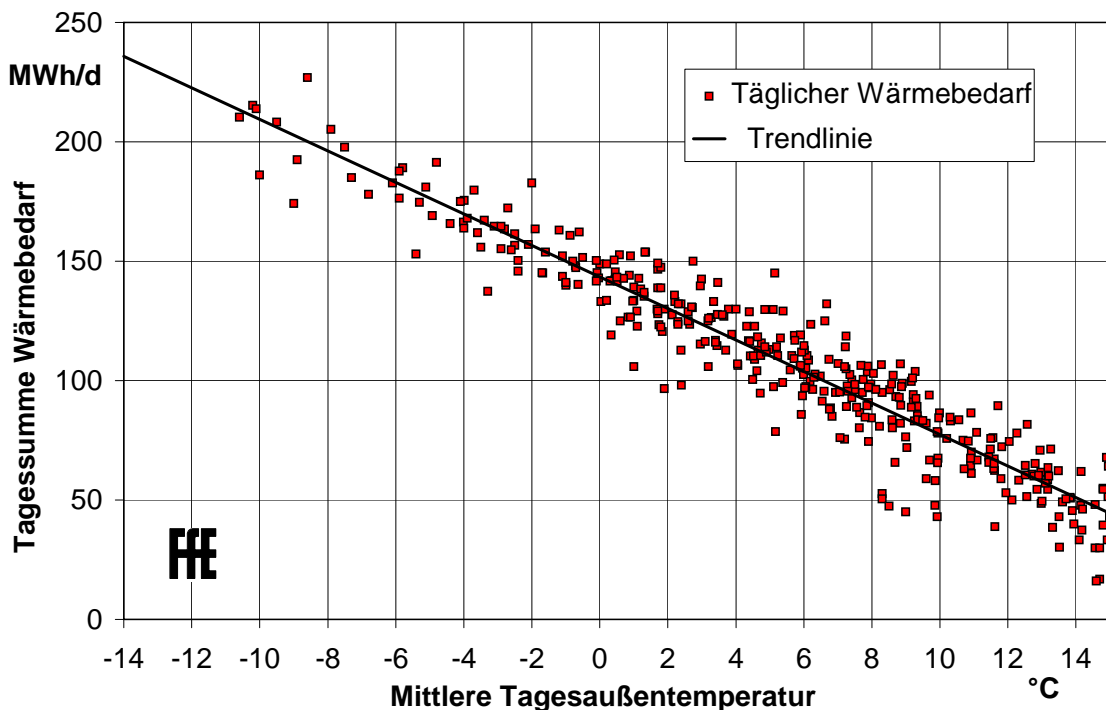


Bild 2-8: Beispiel für ein *Punktdiagramm*: Täglicher Wärmebedarf in Abhängigkeit von der mittleren Tagesaußentemperatur

Ein weiterer wichtiger Teil der Beschreibung des energetischen Verhaltens von Betrieben und Anlagen ist die Ermittlung von Lastgängen als *Liniendiagramm*; sie können nur über Messungen erstellt werden. Diese Art der Aufbereitung, also der Darstellung einer Größe über der Zeit, ist im Rahmen der Energiewirtschaft sehr häufig. In **Bild 2-9** ist der elektrische Gesamtlastgang einer Betriebsstätte für einen Zeitraum von knapp vier Wochen aufgetragen. Jeder Tag umfaßt dabei 96 Viertelstundenmittelwerte. Der Lastverlauf ist charakterisiert durch sehr ausgeprägte Spitzen bis zu 35 kW während weniger Stunden des Tages und einen Grundverbrauch von etwa 4 bis 5 kW.

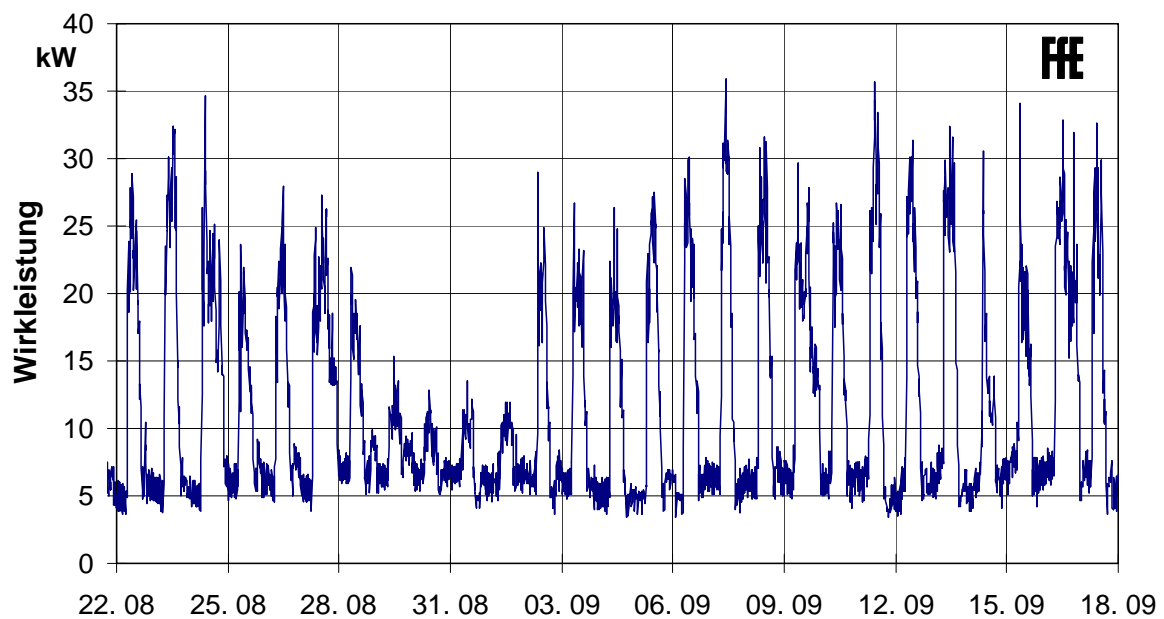


Bild 2-9: Beispiel für ein *Liniendiagramm*: Elektrischer Gesamtleistungsbedarf während der Meßperiode

Auch in **Bild 2-10** ist der elektrische Leistungsbedarf einer Betriebsstätte, allerdings mit einer zeitlichen Auflösung von einem Tag, für sechs Wochen dargestellt. Aus dem Diagramm wird der große Unterschied im Energieverbrauch zwischen Werktag und Wochenende deutlich; insgesamt ergibt sich jedoch ein ziemlich gleichmäßiger, sich wiederholender Wochengang.

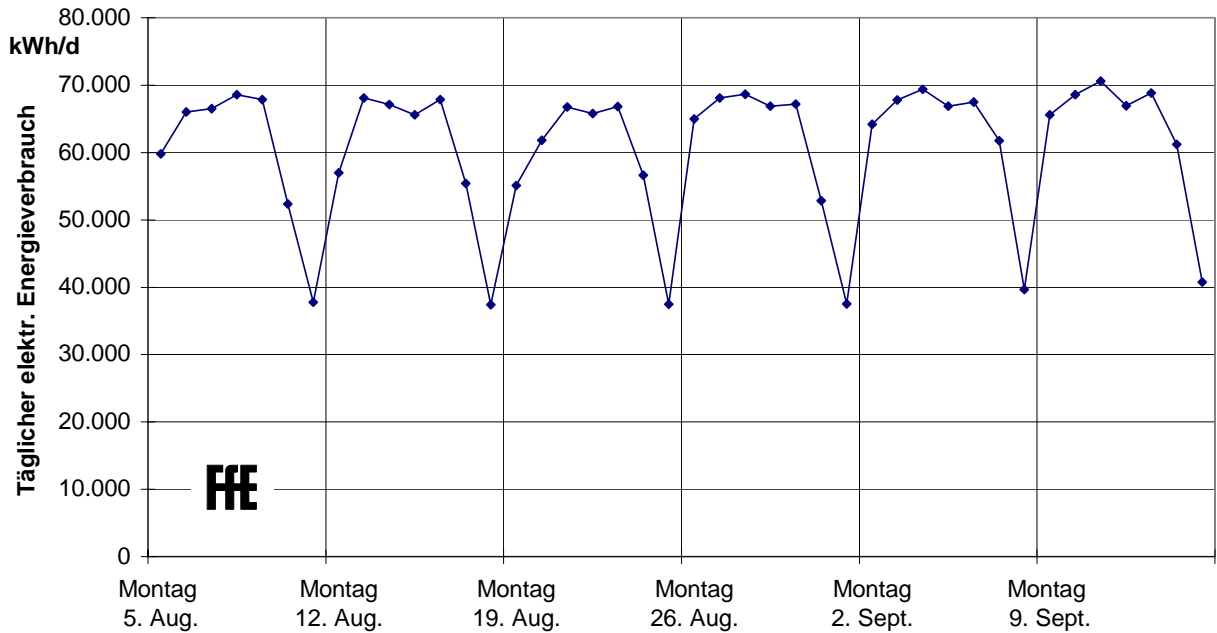


Bild 2-10: Beispiel für ein *Liniendiagramm*: Täglicher elektrischer Energiebedarf für eine Meßperiode von sechs Wochen

Sollen die Unterschiede zwischen der Höhe mehrerer Werte mit sachlich gleichen Merkmalen anschaulich gezeigt werden, empfiehlt sich die Verwendung von *Säulendiagrammen*. Gerade für den Vergleich von Verbrauchszahlen ist diese Diagrammart sehr geeignet (**Bild 2-11**).

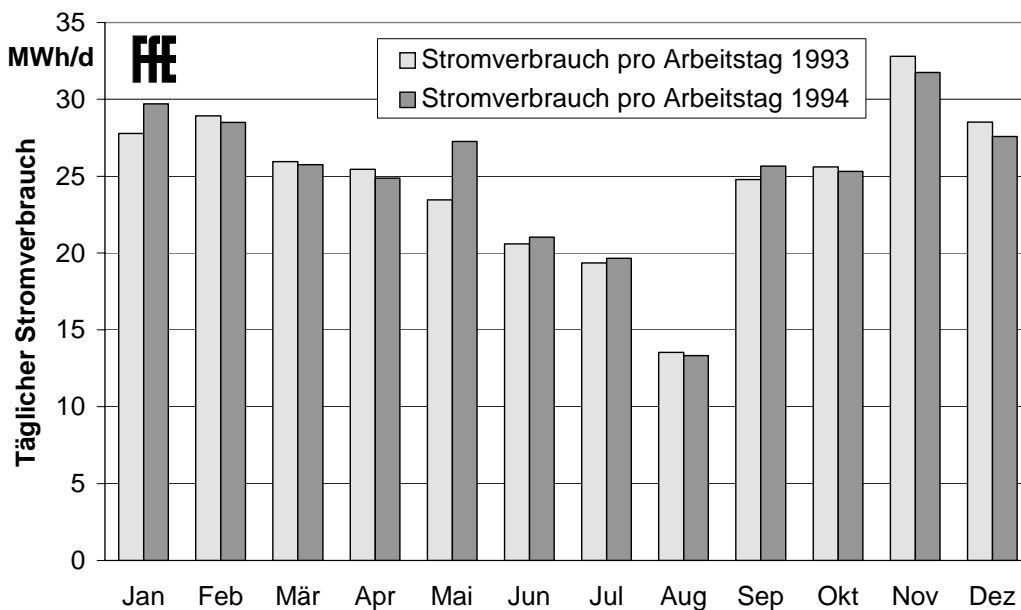


Bild 2-11: Beispiel für ein *Säulendiagramm*: Täglicher Stromverbrauch einer Betriebsstätte für die Jahre 1993 und 1994

Oft wird zur Beschreibung der zeitlichen Entwicklung von Energieverbräuchen der *spezifische Energieverbrauch* verwendet, der den Quotienten aus dem ermittelten Energieverbrauch und einer funktionalen Einheit (z.B. Menge, Fläche, Volumen, Stückzahl etc.) der Betriebsstätte über einen bestimmten Zeitraum darstellt. Der Energieverbrauch darf dabei nur auf eine funktionale Einheit bezogen werden, mit der er auch korreliert (z.B. Energieverbrauch in Anlage x zur gefertigten Produktionsmenge in Anlage x während eines Tages).

Die Ermittlung der zeitlichen Entwicklung von spezifischen Energieverbräuchen dient als wichtige Basisinformation für die Abschätzung des Einflusses von Änderungen der Auslastung, der Produktionsbedingungen oder -verfahren. Eine Verwendung von absoluten Verbrauchswerten ist nur dann aussagekräftig, wenn sich Art und Menge der Produktion nicht wesentlich ändern.

In **Bild 2-12** ist beispielhaft der spezifische monatliche Stromverbrauch einer Betriebsstätte, bezogen auf die monatlichen Produktionsmeter, über den monatlichen Produktionsmetern dargestellt.

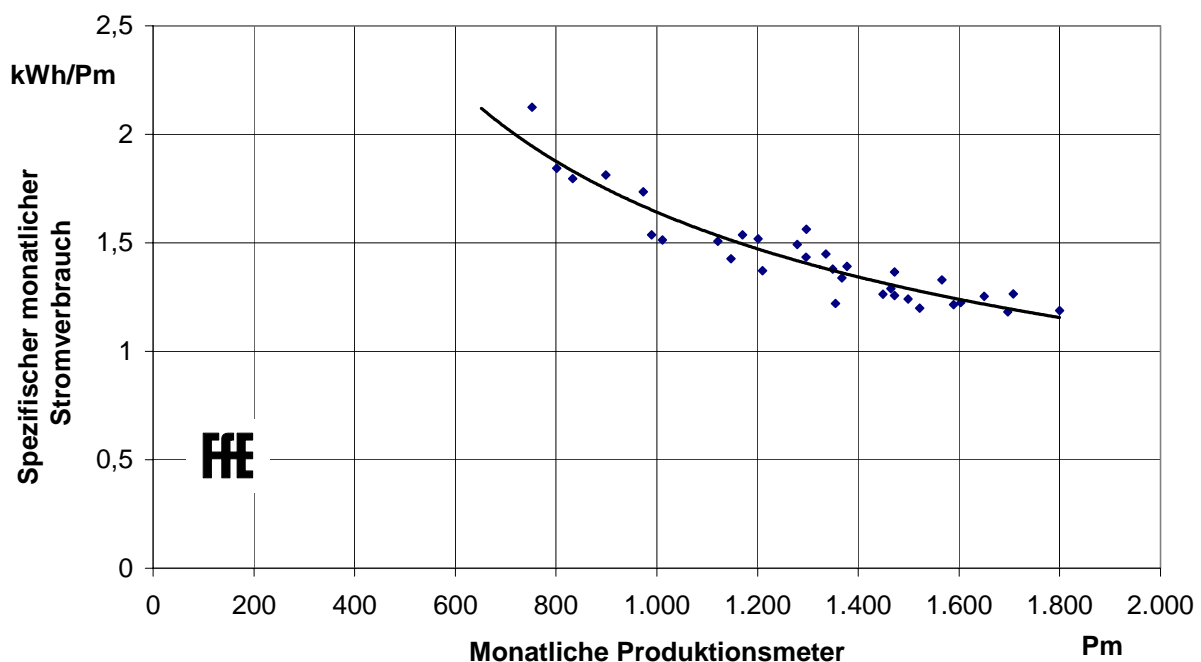


Bild 2-12: Spezifischer monatlicher Stromverbrauch einer Betriebsstätte (bezogen auf die monatliche Produktionsmenge in Metern)

Aus den über einen längeren Zeitraum vorhandenen Meßdaten bzw. Zähleraufschreibungen kann die *Dauerlinie* für die Gesamtleistung sowie für die Leistung von wichtigen Anlagen und Verbrauchern gebildet werden. Als übliche Darstellung hat sich dabei in der Praxis die Jahresdauerlinie durchgesetzt.

Die Dauerlinie ist die grafische Darstellung von Werten einer Größe, geordnet nach ihrer Höhe. Aus ihr lassen sich die Benutzungsgrade der dargestellten Größe ablesen, also wie lange ein bestimmter Wert während der betrachteten Zeitspanne auftritt. Eine zeitliche Zuordnung der Werte ist allerdings nicht möglich.

In **Bild 2-13** ist die Dauerlinie der Gesamtleistung einer Betriebsstätte dargestellt. Sie zeigt auf, welche Leistungen über welche Zeiträume nötig sind, um den Bedarf der Betriebsstätte zu decken. Die Fläche unter der Dauerlinie entspricht dem Energiebedarf.

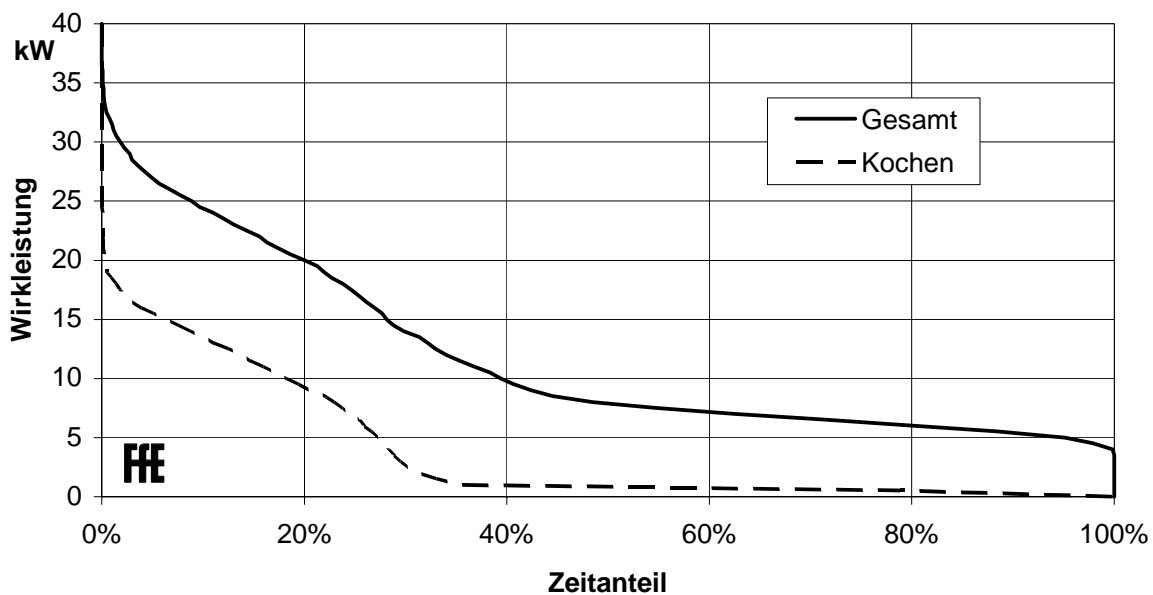


Bild 2-13: Geordnete Dauerlinie für eine Betriebsstätte

Mit der Aufbereitung der ermittelten Daten inkl. einer Plausibilitätskontrolle ist die energetische Istzustandsanalyse abgeschlossen, die wesentlichen Informationen für ein betriebliches Energiemanagement liegen damit vor. In einem nächsten Schritt können nun Schwachstellen und Mängel bei der Energiebedarfsdeckung aufgezeigt und entsprechende Optimierungsmodelle erarbeitet werden.

Den Abschluß der innerbetrieblichen Istzustandsanalyse stellt die **Aufbereitung der Daten** dar. Ziel ist dabei die möglichst unverfälschte, aussagekräftige Beschreibung des energetischen Verhaltens der Betriebsstätte, z.B. in Form von Energiebilanzen für den Betrieb und/oder einzelne Anlagen. Für die grafische Darstellung bieten sich Energieflußbilder (auch: Sankeydiagramme) und Kreisdiagramme für die Energiebilanz sowie Linien- oder Punktdiagramme für die Aufbereitung von Zeitgängen an.

Bei der Beschreibung der zeitlichen Entwicklung von Energieverbräuchen hat sich die Darstellung des spezifischen Energieverbrauchs durchgesetzt. Absolute Verbrauchswerte sind nur dann aussagekräftig, wenn sich Art und Menge der Produktion nicht ändern.

Aus den über einen längeren Zeitraum vorhandenen Meßdaten bzw. Zähleraufschreibungen kann die Dauerlinie für die Gesamtleistung sowie für die Leistung von wichtigen Anlagen und Verbrauchern gebildet werden.

2.7 Fazit

Die Erfassung, Auswertung und Darstellung des energetischen Zustandes im Unternehmen stellt die wesentliche Grundlage des betrieblichen Energiemanagement dar. Eine fundierte Analyse gliedert sich dabei in folgende Schritte:

- Darstellung der Betriebsstätte
- Beschreibung der Energieversorgungsstruktur
- Sichtung der Energielieferverträge und Energiekosten
- Analyse der Energieverbraucher
- Erfassung des Leistungsbedarfs und Energieverbrauchs des Betriebes, von Abteilungen, Anlagengruppen und einzelner Anlagen
- Aufbereitung der Daten, inkl. Plausibilitätskontrolle

Dabei kann der energetische Istzustand im Betrieb rationeller und mit geringem Zeitaufwand erfaßt werden, wenn das Unternehmen folgenden laufenden Minimalaufwand bei der innerbetrieblichen Energiedatenerfassung betreibt:

- Laufende Aktualisierung der Leitungs- und Netzpläne sowie der Anlagenschemata bei Veränderungen in der Energieverteilung oder Energieanwendung,
- eindeutige Kennzeichnung von Produkt- und Versorgungsleitungen,
- Registrierung und Aktualisierung der Nenndaten von Energiewandlern und Produktionsanlagen,
- regelmäßige Registrierung der bezogenen Energieträgermengen, getrennt nach elektrischer Energie, Brennstoffen und Fernwärme,
- regelmäßige Wartung, Kalibrierung und Ablesung vorhandener Meßeinrichtungen (Betriebsstundenzähler, Energieverbrauchszähler) und Prüfung der Werte auf Plausibilität,
- mit diesen Energiedaten zeitlich übereinstimmende Aufzeichnung von relevanten Produktionsdaten und
- Einbau und Wartung von Meßeinrichtungen für energetisch relevante Größen.

3 Rationeller Energieeinsatz im Betrieb

Aufbauend auf den Ergebnissen der Istzustandsanalyse können Maßnahmen für eine rationellere Energienutzung erarbeitet und bewertet werden. Ziel dieser energetischen Optimierung ist die Reduzierung der betrieblichen Energiekosten. In vielen Fällen ergeben sich weitere Kostenvorteile durch eine gleichzeitige Erhöhung der Produktivität.

Kosteneinsparungen können durch **Verlagerung** oder durch **Einsparung** von Energieverbrauch realisiert werden. Während bei der Verlagerung von Energieverbrauch Umweltaspekte eine untergeordnete Rolle spielen, trägt die Einsparung von Energie direkt zur Reduzierung von Umweltbelastungen und zur Schonung der natürlichen Ressourcen bei.

Generell lassen sich betriebliche Energieeinsparmaßnahmen in **organisatorische** und **technische Maßnahmen** unterscheiden. Organisatorische Maßnahmen sind in der Regel kostengünstig und damit auch kurzfristig umsetzbar. Sie erfordern meist nur geringe Investitionen sowie kaum betriebsgebundene Kosten. Technische Maßnahmen dagegen sind im Regelfall kapitalintensiv und erfordern daher eine genaue wirtschaftliche Prüfung.

3.1 Einsparung von Energieverbrauch

Maßnahmen zur Reduzierung des betrieblichen Energieeinsatzes entstehen zum einen durch die Vermeidung unnötigen Verbrauchs, zum anderen durch die Verringerung des spezifischen Verbrauchs. Während Einsparmaßnahmen zur Verbrauchsvermeidung in der Regel mit wenig Aufwand umgesetzt werden können, ist eine Verringerung des spezifischen Energieeinsatzes – etwa durch die Verbesserung von Wirkungs- und Nutzungsgraden, durch Energierückgewinnungsmaßnahmen oder durch Verfahrenswechsel – mit finanziellem Aufwand verbunden.

Die folgende Übersicht über mögliche Einsparmaßnahmen orientiert sich in ihrer Gliederung am Entwurf der VDI-Richtlinie 3922 „Energieberatung für Industrie und Gewerbe“ /2/. Der Aufwand zur Umsetzung der Maßnahmen steigt in der Regel entsprechend der hier angegebenen Reihenfolge vom Vermeiden unnötigen Verbrauchs bis hin zu Energierückgewinnungsmaßnahmen und dem Einsatz regenerativer Energiequellen deutlich an.

Vermeiden unnötigen Energieverbrauchs

Unnötiger Energieverbrauch kann durch eine Reihe von Maßnahmen vermieden werden, für die im folgenden einige Beispiele angeführt sind.

- Verminderung unnötigen Leerlaufs von Maschinen und Anlagen

Entgegen der verbreiteten Meinung ist ein Abschalten von Antrieben in mehrminütigen Pausenzeiten selbst bei großen Antriebsleistungen energetisch sinnvoll. So entspricht z.B. die Anlaufarbeit einer unbelasteten Drehstrom-Asynchronmaschine mit einer Nennleistung von 30 kW einer äquivalenten Leerlaufzeit von nur 9 Sekunden.

- Optimierung von Pausen- und Anfahrzeiten bei Wärmeverbrauchern wie Öfen und Trocknern

- Abschalten von Druckluftanlagen in produktionsfreien Zeiten

Bei größeren und verzweigten Druckluftnetzen treten immer Leckageverluste auf, die mit begrenztem finanziellen Aufwand nicht beseitigt werden können. Durch das Abschalten der Kompressoren außerhalb der Produktionszeiten können die ansonsten ständig anfallenden Leckageverluste zumindest zeitweise und mit sehr geringen Kosten vermieden werden.

- Zeitweises Absenken von Temperaturen

Genauso wie in Bürogebäuden kann auch in Fertigungshallen außerhalb der Benutzungszeiten die Raumtemperatur und somit die Temperatur im Heizungsnetz abgesenkt werden (in der Regel Nacht- und Wochenendabsenkung).

Bei Prozeßwärmeanlagen können die Temperaturen während der Pausenzeiten abgesenkt werden. Bei längeren Pausenzeiten ist meist eine völlige Abschaltung sinnvoll. Dadurch entfällt während dieser Zeit der Wärmeverbrauch, aber auch der oft nicht unerhebliche elektrische Hilfsenergieverbrauch (v.a. Pumpen im Verteilungsnetz). Dabei ist zu beachten, daß für die Wiederaufheizung des Wärmenetzes auf Solltemperatur zusätzliche Energie aufzuwenden ist. Dies gilt auch für Brauchwarmwassernetze.

Beispiel: Bei größeren Brauchwarmwassernetzen übersteigen die Zirkulationsverluste den tatsächlichen Nutzenergiebedarf meist um mehr als das Doppelte, so daß hier eine Abschaltung der Zirkulation in der abnahmefreien Zeit durchaus nennenswerte Energieeinsparpotentiale mit sich bringt. Die folgen-

den Zahlen wurden für den Jahresenergieverbrauch einer großen Kantine ermittelt:

Tabelle 3-1: Energieverbrauch für die Brauchwarmwasserbereitung in einer Kantine

Verbraucher bzw. Einsparung 1995	Energie	Kosten
Warmwasserbedarf	250 MWh _{th} /a	24.000 DM/a
Zirkulationsverluste	460 MWh _{th} /a	45.000 DM/a
Einsparung durch Nachabschaltung der Zirkulation zwischen 21.00 Uhr und 4.30 Uhr (Wiederaufheizung der ausgekühlten Wassermenge berücksichtigt)	- 100 MWh _{th} /a	- 5.000 DM/a

Die geringen eingesparten Kosten im Vergleich zum vermiedenen Energieverbrauch ergeben sich im vorliegenden Fall aus der Tatsache, daß sich die Energiebezugskosten für den eingesetzten Energieträger Fernwärme aus den Leistungs- und den Arbeitskosten zusammensetzen. Durch die Einsparungen während der Nacht verringert sich der maximale Leistungsbezug nicht und es können somit nur Arbeitskosten eingespart werden.

- Verbesserung bzw. Einführung von Regelungen

Beispiel: Im Rahmen einer Energieverbrauchsanalyse für einen Elektromaschinenbetrieb wurden die Innentemperaturen in den Werkshallen (Deckenhöhe ca. 10 m) gemessen. **Bild 3-1** zeigt den Temperaturverlauf in einer der Hallen für einen Tag im Dezember.

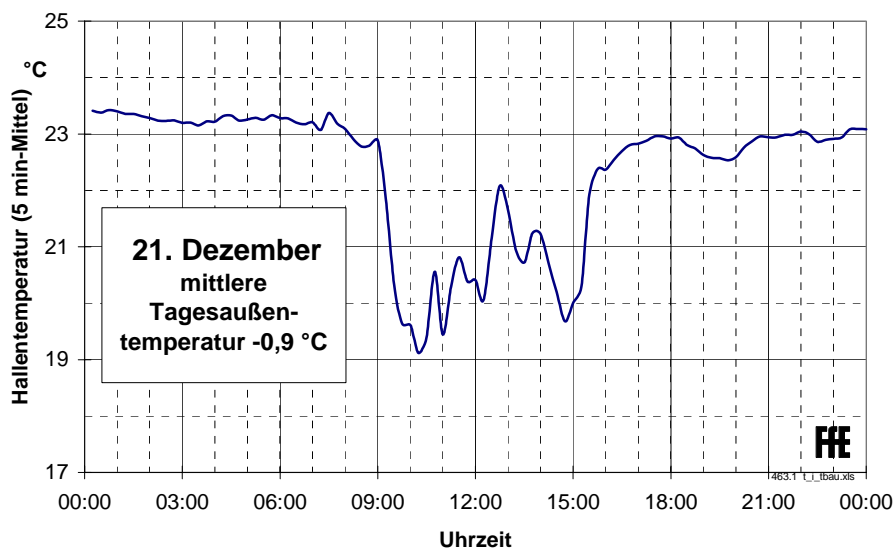


Bild 3-1: Tagesganglinie der Hallentemperatur in 3 m Höhe

Der Temperaturabfall ab 9.00 Uhr ist u.a. auf das wiederholte Öffnen hoher Rolltore zurückzuführen. Auffällig sind die hohen Temperaturen von etwa 23 °C während der Nacht, in der keine Beschäftigten in der Halle tätig sind, da die Arbeitszeit um 16.00 Uhr endet. Der aus energetischer Sicht ungünstige Temperaturverlauf ergibt sich aus der Tatsache, daß die Hallentemperaturen nur durch die Mitarbeiter (über Zuluftklappen und verschiedene Ventilatorstufen) reguliert werden. Als Folge dieser unzureichenden Regelung stellen sich unnötig hohe Hallentemperaturen in der Nacht und am Wochenende ein. Während der produktionsfreien Tage über Weihnachten wurden sogar Temperaturen bis 25 °C registriert. Die Berechnungen ergaben, daß durch die Einführung einer außentemperaturgeregelten Hallenbeheizung mit Nacht- und Wochenendabsenkung rund 20 % des Erdgasverbrauchs im Werk eingespart werden können.

- Überprüfung der Prozeßparameter und der Sicherheitsreserven

Innerbetriebliche Umstellungen in der Energiebedarfsdeckung ziehen häufig geänderte Prozeßparameter oder Sicherheitsreserven nach sich. Gerade dann, wenn sich im Laufe der Jahre die Verbraucherstruktur durch kleine Umstellungen nur schrittweise verändert, werden Prozeßparameter und Sicherheitsreserven oftmals nicht mit angepaßt. Ein Beispiel hierfür sind auf vergangene Produktionsverhältnisse hin dimensionierte Drücke oder Temperaturen in Verteilungsnetzen.

- Überprüfung von Zeitschaltprogrammen

Bei Untersuchungen an Zeitschaltprogrammen kann immer wieder festgestellt werden, daß vermeintliche und tatsächliche Einschaltzeiten teilweise erheblich differieren. Dies ist um so häufiger der Fall, je komplexer die Programme sind und je länger die Anlagen bereits in Betrieb sind.

Beispiel: Beim Vergleich der gemessenen elektrischen Lastgänge eines größeren Krankenhauses mit dem laut Zeitschaltprogramm vorgegebenen Lastgang stellte sich heraus, daß die tatsächlichen Laufzeiten der raumlufttechnischen Anlagen deutlich von den beabsichtigten Zeitfahrplänen abwichen. In Raumbereichen, in denen keine direkte Rückmeldung von Personal oder Patienten zu erwarten ist, wurden vorgesehene Abschaltungen teilweise überhaupt nicht realisiert.

- Einbeziehung des Personals

Nicht zuletzt können über die Einbeziehung aller Mitarbeiter z.B. durch Informationsblätter und Aushänge, durch entsprechende Schulungen oder durch Übertragung von Verantwortlichkeiten Einsparpotentiale ausgemacht und Einsparmaßnahmen langfristig besser umgesetzt werden.

Beabsichtigt der Betrieb ein Umweltmanagement aufzubauen, so sind im Rahmen des Umweltmanagementsystems, mit dessen Hilfe u.a. die Umsetzung und die Kontrolle der ausgewählten Maßnahmen gewährleistet werden soll, ohnehin Organisationsstrukturen, Zuständigkeiten und Ablaufverfahren festzulegen, die die Einbeziehung des Personals voraussetzen (siehe auch Kapitel 4).

Verbesserung des spezifischen Nutzenergiebedarfs

Der spezifische Energieverbrauch für einen Prozeß oder eine Anwendung kann durch die Wahl einer **energetisch günstigen Technik** minimiert werden. Dabei handelt es sich größtenteils um Techniken, die mit Neuanschaffungen verbunden sind und nur schwer im Rahmen einer Nachrüstung umzusetzen sind.

Hier ist beispielhaft der spezifische Energieverbrauch für thermische Trocknung zu nennen, der ungefähr um den Faktor 100 höher ist als bei verschiedenen mechanischen Verfahren (z.B. Filtrieren, Pressen, Schleudern). Die Eignung der mechanischen und thermischen Verfahren ergibt sich aus der angestrebten Endfeuchte, aus den Gutseigenschaften und aus den Prozeßanforderungen. Dort, wo der Einsatz beider Techniken möglich ist – etwa bei der Trocknung von Gewebe – , können erhebliche Energiemengen eingespart werden, wenn die Übergabefeuchte zwischen mechanischem und thermischem Verfahren möglichst niedrig gewählt wird.

Auch durch die Verbesserung der Wärmedämmung kann der spezifische Wärmebedarf sowohl bei Hochtemperaturprozessen als auch beim Raumwärmebedarf wesentlich reduziert werden.

Bei Beleuchtungsanwendungen kann der spezifische Energieverbrauch durch Verwendung von Lichtsystemen mit verbesserter Lichtausbeute gesenkt werden. Dies kann mit dem Austausch von gewöhnlichen Glühlampen durch Leuchtstofflampen, durch den Einsatz von elektronischen statt konventionellen Vorschalt-

geräten und durch lichttechnisch günstige Farbgestaltung der Räume erreicht werden.

Da durch das Ersetzen einer im Betrieb bestehenden Technik meist nicht nur einzelne Komponenten, sondern ganze Anlagen mit deren Peripherie betroffen sind, sind die Investitionskosten in der Regel deutlich höher als bei Maßnahmen zur Energievermeidung.

Verbessern der Wirkungs- und Nutzungsgrade

Wirkungs- und Nutzungsgrade können bei der innerbetrieblichen Energiebereitstellung, bei der Energieverteilung und bei der Energiewandlung durch verbesserte Maschinen und Anlagen angehoben werden. Besonders wichtig sind dabei gute Steuer-, Regel- und Leittechniken.

- **Energiebereitstellung**

Durch die Wahl des geeigneten Energieträgers und einer geeigneten Technik können die Nutzungsgrade bei der innerbetrieblichen Energiebereitstellung optimiert werden. Der Einsatz moderner Technik ist beispielsweise durch Gas-Brennwertnutzung oder durch Kraft-Wärme-Kopplung im Rahmen der betrieblichen Wärmeerzeugung gegeben.

Wärmeerzeuger sollten nicht überdimensioniert sein und regelmäßig gewartet werden, da die Verluste schlecht gewarteter Anlagen steigen. Mit steigender Auslastung der Anlagen verringert sich der spezifische Energiebedarf.

Beispiel: Zur Wärmeerzeugung im Betrieb werden in der Regel Kesselanlagen mit Zweistoffbrennern eingesetzt. Im vorliegenden Fall wurde in einem mittelständischen Unternehmen ein zweistufiger Gas-/Ölbrenner mit einer Feuerungsnennwärmeleistung von 1 MW untersucht. In **Bild 3-2** sind die aus der Abgastemperatur ermittelten Einschaltzeiten des Brenners für zwei Stunden dargestellt. Der Wärmeerzeuger erhitzt Thermoöl auf eine Solltemperatur von 200 °C.

Der Brenner weist mit seinen häufigen Einschaltvorgängen bei kurzen Einschaltzeiten hohe Verluste auf. Da der Kessel im Normalfall mit Erdgas betrieben wird, muß der Brennraum vor jedem Einschalten ca. 40 s mit kalter Umgebungsluft ausgeblasen werden. Die zusätzliche Auskühlung bewirkt nach dem Einschalten den kurzzeitigen Vollastbetrieb des Brenners.

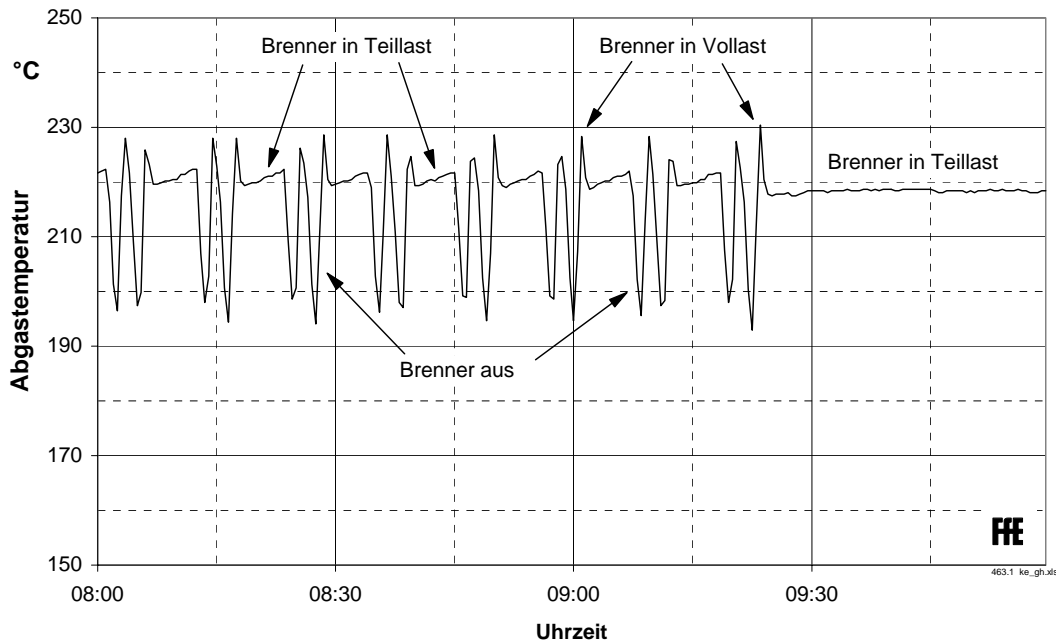


Bild 3-2: Brennereinschaltzeiten aus der Abgastemperatur

Dieses ungünstige Regelverhalten ist auf zwei Sachverhalte zurückzuführen. Zum einen ist die installierte Wärmeleistung wesentlich höher als der tatsächliche Wärmebedarf – der Kessel ist also stark überdimensioniert –, zum anderen wird die Thermoöl-Solltemperatur in unnötig engen Bandbreiten geregelt. Die Ein- und Ausschaltkriterien werden daher entsprechend schnell und oft erreicht. Das instabile Regelverhalten geht bei steigendem Wärmebedarf in einen stabilen Teillastbetrieb über (siehe Bild).

- Energieverteilung

Die Verteilungsverluste können durch die Länge des Verteilungsnetzes und ggf. durch die Auswahl des Energieträgers bzw. des Temperaturniveaus beeinflusst werden. Dampfsysteme z.B. haben in der Regel deutlich höhere Verteilungsverluste als Heißwasser-Hochdrucksysteme. Bei bestehenden Wärmenetzen können die Verteilungsverluste durch eine verbesserte Dämmung der Leitungen oder durch niedrigere Netztemperaturen reduziert werden.

- Produktionsanlagen

Auch für die meisten Maschinen und Produktionsanlagen gilt, daß sich mit steigender Auslastung der Nutzungsgrad verbessert. Durch günstige Dimensi-

onierung und durch gute Regeleinrichtungen lassen sich Anlagenbetriebspunkte optimieren und somit Verluste minimieren.

Beispielhaft sei hier die optimale Dimensionierung von elektrischen Antriebssystemen genannt. Immer wieder läßt sich feststellen, daß die in Industriebetrieben eingesetzten elektrischen Antriebe überdimensioniert sind, was aus der Unkenntnis des Lastspiels und übertriebenem Sicherheitsdenken resultiert und durch die Verkaufspolitik der Hersteller zusätzlich verstärkt wird. Die Überdimensionierung führt im allgemeinen wegen der ungünstigen Teillastwirkungsgrade zu einem Energiemehrverbrauch. Der Austausch technisch funktionsfähiger, aber überdimensionierter Antriebe ist jedoch nur selten wirtschaftlich. Bei schlecht ausgelasteten Motoren bietet sich daher die Möglichkeit einer Stern-Dreieck-Umschaltung an, durch die die mechanische Leistungsabgabe auf 30 % herabgesetzt wird. Bei Lüftern, Kompressoren, Pumpen und ähnlichen Anlagen, von denen variierende Leistungen gefordert werden, ist der Einsatz von drehzahlgeregelten Antrieben sinnvoll.

Darüber hinaus gewährleistet die sorgfältige Instandhaltung von Anlagen und Maschinen gleichbleibend gute Wirkungsgrade.

Energierückgewinnung

Hier sind in erster Linie Maßnahmen zur innerbetrieblichen Wärmerückgewinnung zu nennen. Neben der betriebsinternen Nutzung von Wärme möglichst im selben oder einem benachbarten Prozeß (z.B. Luft- oder Warmwasservorwärmung) ist auch die Auskopplung und Lieferung von Abwärme an Dritte in Betracht zu ziehen. Ebenso ist eine Aufwertung der Abwärme durch Zufuhr von Energie möglich, z.B. mit einer Wärmepumpe oder durch Brüdenverdichtung.

Auch die energetische Nutzung von im Betrieb anfallenden brennbaren Reststoffen ist zur Energierückgewinnung zu rechnen.

Eine genaue Beschreibung der optimalen Verknüpfung von Wärmequellen und -senken ist dem beigelegten Leitfaden über die Pinch-Technologie zu entnehmen.

Nutzung regenerativer Energiequellen

Die Nutzung von regenerativen Energieträgern bei der betrieblichen Energiebereitstellung beschränkt sich zur Zeit v.a. auf den Einsatz von Biomasse-Brennstoffen, z.B. bei einer Hackschnitzel-Feuerung. Bei der beabsichtigten Nut-

zung von Sonnenenergie zur Warmwasserbereitung ist in erster Linie die zeitliche Übereinstimmung des Energiebedarfs mit dem natürlichen Angebot zu berücksichtigen (z.B. solare Warmwassererwärmung für ein Freibad, solare Warmwasservorwärmung für Betriebswasser). Beim Einsatz von regenerativen Energien ist normalerweise mit langen Amortisationszeiten zu rechnen, in jedem Fall sollte dabei fachkundige Beratung eingeholt werden.

3.2 Verlagerung von Energieverbrauch

Durch die Verlagerung des Energieverbrauchs können die betrieblichen Energiekosten nur dann verringert werden, wenn

- der Verbrauch in Schwachlastzeiten gelegt wird und dadurch günstigere Tarife genutzt werden
- durch das Absenken von Lastspitzen die Leistungskosten bzw. die Bereitstellungskosten bei leitungsgebundenen Energieträgern reduziert werden können
- eine Vergleichmäßigung des Lastganges geringere Investitionskosten für kleiner zu dimensionierende Neuanlagen nach sich zieht

Die durch die Verlagerung des Energieverbrauchs eingesparten Kosten hängen also v.a. von der betrieblichen Tarifstruktur ab (s. Kapitel 2.3).

Lastmanagementsysteme

Jede gezielte Einflußnahme auf den Lastgang des Energieverbrauchs wird als Lastmanagement bezeichnet. Wichtigstes Instrument eines Lastmanagementsystems ist die Verlagerung des Energieverbrauchs. Darüber hinaus bieten sich zur Senkung von Lastspitzen weitere Möglichkeiten an:

- Nicht nachholbare Bedarfsreduzierung, z.B. durch zeitweises Absenken von Raumtemperaturen oder vorübergehende Beleuchtungsreduzierung
- Substitution durch andere Energieträger: der u.U. zu Spitzenlastzeiten nur eingeschränkt verfügbare Energieträger wird vorübergehend durch einen anderen ersetzt

Hauptsächlich wird bei Lastmanagementmaßnahmen jedoch die Verlagerung des Energieverbrauchs genutzt. Eine Verlagerung ist dann zu bewerkstelligen, wenn sich der Nutzenergiebedarf durch das Ausnutzen von Speichervorgängen vom

Lastgang entkoppeln läßt. Das kann durch Energiespeicher geschehen (z.B. Wasserhochbehälter, Druckluftspeicher) oder durch das Aufschieben bzw. Unterbrechen von Fertigungsprozessen. Eine Abschaltung ist dabei nur sinnvoll, wenn der Verbrauch zu einem anderen Zeitpunkt nachgeholt werden kann, ohne daß die zusätzlichen Kosten (höhere Lohnkosten für Nacharbeit, Qualitätseinbußen) die erzielten Energiekosteneinsparungen übersteigen. Welche Verbraucher abschaltbar sind, kann nur vor Ort im Betrieb entschieden werden.

Insbesondere beim Bezug von elektrischer Energie setzen immer mehr Betriebe ein Maximumüberwachungssystem zur Verringerung des bezogenen Viertelstundenleistungsmaximums ein.

Komplexe Lastmanagementsysteme werten eine Vielzahl von meßtechnisch erfaßten Verbrauchern bzw. Verbrauchergruppen aus und berechnen daraus unter einer Fülle von Rahmenbedingungen (Statusabfragen, Abschaltkriterien, Prozeßparameter, etc.) den kostenoptimalen Betrieb der Produktionsanlagen.

Aber auch ohne eine Maximumüberwachung können einzelne Anlagen als mögliche Verursacher von Lastspitzen von Anfang an durch eine vernünftige Betriebsweise optimiert werden. In **Bild 3-3** ist der typische Aufheizverlauf eines elektrisch beheizten Ofens mit einer Nennleistung von 300 kW dargestellt. Um zu vermeiden, daß die Anfahrspitze in Starklastzeiten fällt und dadurch eventuell die betriebliche Lastspitze erhöht, können entsprechende Maßnahmen ergriffen werden. Denkbar ist eine Regelung, die während des Anfahrvorganges die Leistungsaufnahme begrenzt oder die Verriegelung des Ofens während der Starklastzeiten.

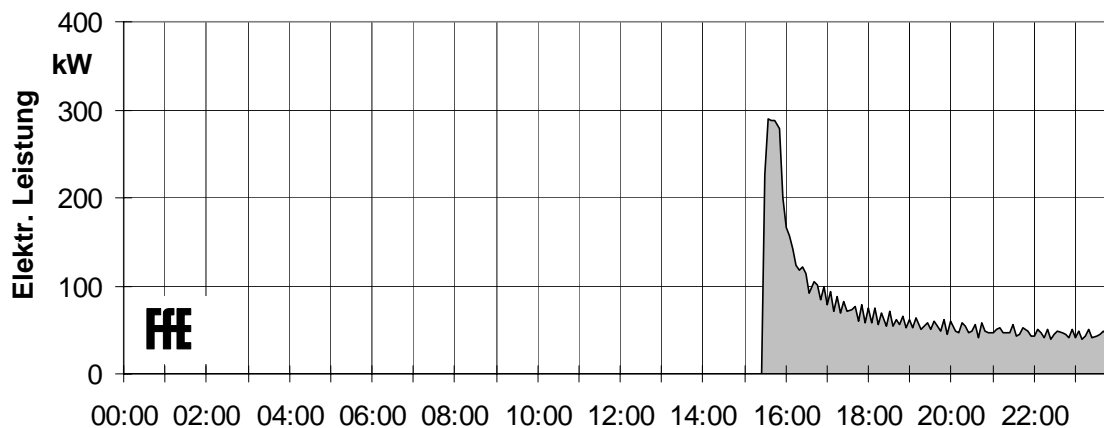


Bild 3-3: Elektrische Leistungsaufnahme beim Aufheizen eines 300 kW-Trockenofens

3.3 Auswahlkriterien

Die sinnvolle Optimierung der betrieblichen Energiebedarfsdeckung setzt eine Bewertung der möglichen Maßnahmen voraus. Für den Betrieb ist das wichtigste Bewertungskriterium die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme. Dabei sollten für die jeweilige Maßnahme neben den Energiebezugskosten auch Einsparungen bei den kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten in Folge der Energieeinsparung sowie Einsparungen aus der Steigerung von Produktivität oder Qualität betrachtet werden.

Ferner müssen bei der Auswahl von geeigneten Einsparmaßnahmen die betrieblichen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Dies sind zum einen geplante bzw. absehbare Entwicklungen wie die prognostizierte Entwicklung der Produktionsdaten oder die Abschätzung der Auswirkungen von bereits eingeleiteten Einsparmaßnahmen.

Zum anderen sind betreiberspezifische Kriterien wie die technische Realisierbarkeit vor Ort, die praktische Durchführbarkeit (Produktqualität, Platzverfügbarkeit, Verfügbarkeit von Fachpersonal), die langfristige Verfügbarkeit des Energieträgers und weitere Auswirkungen in keinem Fall außer Acht zu lassen. Nicht selten sind behördliche Vorschriften oder absehbare Neuauflagen und Verschärfungen von Gesetzen ein Grund für Umstellungen in der betrieblichen Energiebezugs- und Energieverbraucherstruktur. Weiterhin können durch die Nutzung von Förderprogrammen oder durch regionale EVU-Konzepte bestimmte Maßnahmen bevorzugt angestrebt werden.

Aus umweltpolitischer Sicht stellt die Verminderung des Rohstoffverbrauchs und der Umweltbelastungen durch CO₂- und Schadstoffausstoß einen wichtigen Aspekt dar.

3.3.1 Prüfung der Wirtschaftlichkeit

Basis der wirtschaftlichen Bewertung ist zunächst die Ermittlung der zugrundeliegenden Betriebskosten, Investitionen und Energiekosteneinsparungen. Bei zu erwartenden größeren Änderungen des Energieverbrauchs muß unter Umständen mit geänderten Lieferverträgen und somit geänderten spezifischen Kosten für die Energieträger gerechnet werden.

Ein wesentlicher Punkt bei der monetären Bewertung von Energieeinsparmaßnahmen ist die Methode der Investitionsberechnung. Investitionen im Bereich der Energietechnik haben zumeist langfristigen Charakter. Die in der Praxis häufig angewandte Methode der Amortisationsrechnung bietet im langfristigen Bereich nur ein sehr eingeschränktes Kriterium für die wirtschaftliche Bewertung von Investitionsmaßnahmen und kann zu wirtschaftlichen Fehlentscheidungen führen. Nachfolgend werden daher die wichtigsten Grundformen der Investitionsrechnung sowie ihre Leistungsfähigkeit dargestellt. Welche Form der Investitionsrechnung vom Betrieb gewählt wird, hängt primär von der betrieblich gesetzten Priorität der verschiedenen Unternehmensziele ab (z.B. Abwägung zwischen Vermögensmaximierung und Sicherheit).

Die verschiedenen Arten der Investitionsrechnung lassen sich in zwei Kategorien einordnen:

- statische Methoden
- dynamische Methoden

Bei den statischen Methoden wird der Zeitablauf explizit nicht berücksichtigt, meist ist nur ein relativ kurzer Zeitraum Gegenstand der Betrachtung (z.B. Amortisationszeit). Bei den dynamischen Methoden hingegen wird über den gesamten Investitionszeitraum bis zur Desinvestition (Verschrottung) gerechnet. Zudem berücksichtigen sie mittels Auf- oder Abzinsung auf einen Bezugstag den Zeitpunkt von Zahlungsströmen.

Zu den statischen Methoden zählt u.a. die Amortisationsrechnung.

Zu den dynamischen Methoden zählen Kapitalwertmethode, Annuitätenmethode und die Methode des internen Zinsfußes.

Daneben existieren noch verschiedene Mischformen, die Bestandteile aus unterschiedlichen Grundformen der Investitionsrechnung enthalten.



In der Praxis wird häufig die Einbeziehung eines Zinssatzes in die Berechnung gleichgesetzt mit der Anwendung einer dynamischen Methode. Dies ist jedoch strittig. Bei Vereinbarungen über die Art der anzuwendenden Investitionsrechnung sollte darum stets auf eine genaue Erläuterung Wert gelegt werden. Dies gilt besonders dann, wenn Mischverfahren angewandt werden sollten (z.B. Amortisationszeitberechnung mit der 'Logarithmus-Formel', d.h. Berücksichtigung des Zeitpunktes von Ein- und Auszahlungen über einen Zinssatz)

Amortisationszeit

Die Berechnung der Amortisationszeit als weitverbreitetes statisches Verfahren bieten den Vorteil einer einfachen Handhabung und leichten Überschaubarkeit.

Kriterium der Methode ist der Wiedergewinnungszeitraum des Kapitaleinsatzes. Sie zielt auf möglichst kurze Amortisationszeiten und orientiert sich somit an dem Kriterium Sicherheit: Je kürzer der Zeitraum bis zur Wiedergewinnung des eingesetzten Kapitals, desto kalkulierbarer sind die mit der Investition verbundenen Unsicherheiten.

Errechnet wird die Amortisationszeit aus dem Quotien von Anschaffungsausgabe und Einnahmeüberschuß:

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{Anschaffungsausgabe}}{\text{Einsparung}_{\text{je Periode}}}$$

$$\text{Einsparung}_{\text{je Periode}} = \text{Einsparung abzüglich Mehraufwand für Wartung o.ä.}$$

Diese Methode ist leicht überschaubar. Zudem ist vielen Unternehmen der zugrunde liegende Sicherheitsaspekt wichtig: das Risiko zu verlustbehafteten Investitionen gezwungen zu werden ist gering.

Andererseits besteht die Gefahr einer Unterbewertung von Investitionsobjekten, die erst nach der Amortisationszeit zu einer starken Ertragsentwicklung führen (z.B. durch steigende Energiepreise oder aufgrund langer Nutzungsdauern), da Einnahmeüberschüsse nach Ablauf der Amortisationsperiode nicht mehr berücksichtigt werden.



Kapitalwertmethode

Kriterium der Kapitalwertmethode ist der Vermögensaspekt:

Sämtliche mit der Investition verbundene Einnahmen (laufende Einnahmen bzw. Einsparungen sowie Restwert am Ende der Nutzungsdauer) und Ausgaben (laufende Ausgaben und Anschaffungswert) werden mit einem Kalkulationszinssatz auf den Kalkulationszeitpunkt abgezinst (Barwerte). Dieser Methode liegt der Gedanke zugrunde, daß Ausgaben, die erst in Zukunft zu tätigen sind, zum heutigen Zeitpunkt nicht mit Ihrem vollen nominalen Betrag anzusetzen sind: Beispielsweise kann eine in einem Jahr fällige Ausgabe von 100 DM durch die sofortige Bereitstellung von 93,46 DM gedeckt werden, wenn diese 93,46 DM mit 7 % Zins angelegt werden.

Bei der Berechnung von Barwerten können auch zeitlich nicht konstante Einnahmen und Ausgaben berücksichtigt werden.

Der Kapitalwert einer Investition errechnet sich aus der Summe der abgezinsten Einnahmen (Barwert der Einnahmen) abzüglich den abgezinsten Ausgaben (Barwert der Ausgaben). Eine Investition ist um so vorteilhafter, je höher der Kapitalwert ausfällt.

$$\text{Barwert d.Einnahmen} = \sum_{t=0}^n \left(\text{Einnahme}_{\text{in Periode } t} \right) \cdot q^{-t}$$

$$\text{Barwert d.Ausgaben} = \sum_{t=0}^n \left(\text{Ausgabe}_{\text{in Periode } t} \right) \cdot q^{-t}$$

$$\text{Kapitalwert} = \text{Barwert d.Einnahmen} - \text{Barwert d.Ausgaben}$$

$$q = 1 + \text{Kalkulationszinssatz}$$

$$n = \text{Anzahl der Perioden}$$

Der Kapitalwert einer Investition kann als der abgezinste Gesamtgewinn interpretiert werden, der von der Investition erwartet wird. Als absolute Zahl ist dieser Wert jedoch bei Alternativen unterschiedlicher Nutzungsdauer und unterschiedlicher Energieeinsparung nicht direkt vergleichbar. Vergleichbar ist jedoch das Vorzeichen des Kapitalwertes: positiver Kapitalwert bedeutet immer, daß die untersuchte Investition bei den zugrundegelegten Annahmen eine über dem Kalkulationszinssatz liegende Rentabilität erzielt.



Methode des internen Zinses

Kriterium dieser Methode ist der interne Zins, d.h. die effektive Rentabilität, mit der sich die ursprüngliche Anfangsausgabe während der Nutzungsdauer des Investitionsobjekts verzinst. Anders ausgedrückt: der interne Zins ist derjenige Zins, bei dem der Kapitalwert einer Investition gleich 0 wird. Die Methode stellt gewissermaßen die Umkehrung der Kapitalwertmethode dar. Die Berechnung erfolgt iterativ, zumeist unter Verwendung spezieller Rechenprogramme. Sämtliche verbreiteten Tabellenkalkulationsprogramme stellen diese Funktion zur Verfügung. Eine Investition ist um so vorteilhafter, je größer der interne Zins ist.

Der Vorteil der Methode liegt in der Vergleichbarkeit des Maßstabes "internen Zinssatzes" auch für Investitionen unterschiedlicher Größe und Dauer.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, daß bei der Berechnung implizit angenommen wird, laufende Einnahmen würden zu dem (später errechneten) internen Zins angelegt.

Annuitätenmethode

Die Annuitätenmethode ist eine modifizierte Form der Kapitalwertmethode. Zunächst werden wie bei der Kapitalwertmethode die Einnahmen und die Ausgaben auf einen Bezugspunkt abgezinst. Anschließend jedoch erfolgt eine Umrechnung dieser Barwerte in über die Nutzungsdauer der Investition gleichbleibende Beträge pro Periode, d.h. die Barwerte werden in äquivalente regelmäßige Zahlungsreihen umgerechnet.

Das folgende Beispiel verdeutlicht den zugrundeliegenden Gedanken:

Aus einem Betrag von 1000 DM können 10 Jahre lang jährlich 142 DM ausgezahlt werden, wenn der jeweils verbliebene Restbetrag mit 7 % Zins angelegt wird. Im Beispiel entsprechen die 142 DM der Annuität einer Investition mit 10 Jahren Nutzungsdauer und einem errechneten Kapitalwert von 1000 DM.

Entscheidungskriterium für die Vorteilhaftigkeit einer Investition ist eine möglichst hohe Annuität, d.h. eine möglichst hohe Differenz zwischen den errechneten "durchschnittlichen" Einnahmen und den "durchschnittlichen" Ausgaben.

Trotz der Ähnlichkeit zur Kapitalwertmethode sind unterschiedliche Ergebnisse bezüglich der Investitionsbewertung möglich, jedoch nur bei unterschiedlichen Nutzungsdauern der verglichenen Investitionsalternativen.

$$\text{Annuität} = \text{Kapitalwert} \cdot \frac{q-1}{1-q^{-n}}$$

$$q = 1 + \text{Kalkulationszinssatz}$$

$$n = \text{angesetzte Lebensdauer}$$

Ebenso wie der Kapitalwert ist auch die Annuität als absolute Zahl bei Alternativen unterschiedlicher Nutzungsdauer und unterschiedlicher Energieeinsparung nicht direkt vergleichbar. Vergleichbar ist jedoch in jedem Fall ihr Vorzeichen: positive Annuität bedeutet immer, daß die untersuchte Investition bei den zugrundegelegten Annahmen eine über dem Kalkulationszinssatz liegende Rentabilität erzielt.

3.3.2 Primärenergieverbrauch und Emissionen

Der Primärenergieverbrauch durch den betrieblichen Energieeinsatz (Endenergie) kann über den Bereitstellungsnutzungsgrad bestimmt werden. Der Bereitstellungsnutzungsgrad berücksichtigt alle vorgelagerten Prozesse, also die Aufwendungen für Umwandlung und Transport des jeweiligen Energieträgers vom Lagerort bis zur Bereitstellung beim Verbraucher. In **Tabelle 3-2** ist der Bereitstellungsnutzungsgrad für einige Energieträger zusammengestellt.

Tabelle 3-2: Bereitstellungsnutzungsgrad verschiedener Energieträger für Deutschland (bei Brennstoffen bezogen auf den Heizwert H_u)

Energieträger im Betrieb	Bereitstellungsnutzungsgrad
Diesel	88,4 %
Erdgas (Niederdruck)	88,9 %
leichtes Heizöl	89,8 %
schweres Heizöl	90,9 %
Steinkohle	95,5 %
Strom auf der 10 kV-Ebene	31,9 %

Quelle: FfE

Zur Berechnung der Ressourcenbelastung ist also die im Betrieb eingesetzte Energie durch den Bereitstellungsnutzungsgrad zu dividieren. Während beispielsweise für eine kWh Strom auf der 10 kV-Ebene 3,13 kWh Primärenergie eingesetzt werden muß, werden für eine kWh Erdgas nur 1,12 kWh Primärenergie verbraucht. Durch die Umrechnung des betrieblichen Energieeinsatzes auf den

primären Energieverbrauch können alternative Produktionsverfahren sinnvoll miteinander verglichen werden.

Neben dem Abbau der natürlichen Ressourcen ergeben sich aus dem Einsatz von Energie weitere Umweltauswirkungen. Außer Abfallprodukten (Entsorgungsproblematik) entstehen bei der Verbrennung von Energieträgern Emissionen, die an die Atmosphäre abgegeben werden. Von den Emissionen ist zur Zeit der CO₂-Ausstoß am meisten diskutiert. In **Tabelle 3-3** sind die spezifischen CO₂-Emissionen bei der Verbrennung fossiler Energieträger aufgeführt.

Tabelle 3-3: Spezifischer CO₂-Ausstoß bei der Verbrennung fossiler Energieträger

Energieträger	CO₂-Ausstoß
Erdgas	55.150 kg/TJ
leichtes Heizöl	74.050 kg/TJ
schweres Heizöl	78.770 kg/TJ
Steinkohle	93.350 kg/TJ
Braunkohle	ca. 100.000 kg/TJ

Quelle: GEMIS

4 Umweltrechtliche und politische Rahmenbedingungen

4.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für das betriebliche Energiemanagement lassen sich in ordnungsrechtliche Vorschriften und Vorschriften zu freiwilligen Maßnahmen unterteilen.

Die „Verordnung über die freiwillige Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung“ (Öko-Audit-Verordnung) sowie die ISO 14000ff /3/ (Umweltmanagementsysteme) prägen den Begriff des Energiemanagements. Diese Maßnahmen haben jedoch freiwilligen Charakter; die Entwicklung von derartigen Managementsystemen bleibt den Unternehmen freigestellt.

Die ordnungsrechtlichen Vorschriften, insbesondere die anlagenbezogenen Vorschriften des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) /4/ mit den dazugehörigen Verordnungen und Verwaltungsvorschriften, sind demgegenüber für alle Unternehmen bindend.

Ordnungsrecht

Jeglicher betrieblicher Einsatz von Energie zieht mittelbar oder unmittelbar die Entstehung von Emissionen nach sich. Folgerichtig wird das betriebliche Energiemanagement auf der ordnungsrechtlichen Seite primär von dem Bundes-Immissionsschutzgesetz und den dazugehörigen Verordnungen und Verwaltungsvorschriften für genehmigungspflichtige Anlagen bestimmt.

Das BImSchG beruht auf vier Grundsätzen: dem Schutzgrundsatz, dem Vorsorgegrundsatz, dem Entsorgungsgrundsatz und der Wärmenutzungspflicht.

Der *Schutzgrundsatz* findet seinen Niederschlag in der Festlegung von Immissionsgrenzwerten in der TA-Luft /5/. Die Einhaltung der hier festgelegten Grenzwerte ist Genehmigungsvoraussetzung für die Errichtung und den Betrieb von genehmigungspflichtigen Anlagen und stellt somit auch eine wichtige Aufgabe des betrieblichen Umweltschutz- und Energiemanagements dar.

Gleiches gilt für den *Vorsorgegrundsatz*. Gemäß §5 I (2) BImSchG obliegt dem Betreiber genehmigungspflichtiger Anlagen die Pflicht der Emissionsvermeidung entsprechend dem „Stand der Technik“. Diesbezügliche Minimalanforderungen



sind z.T. in Teil 3 der TA-Luft mit der Festlegung von Emissionsgrenzwerten konkretisiert worden. Darüber hinaus hat sich der „Stand der Technik“ zum zentralen Begriff in der Praxis und zum bedeutsamsten Instrument der Luftreinhaltungspolitik entwickelt. Durch diesen Begriff ist behördlicherseits die Grundlage für die Anpassung der Genehmigungsbedingungen an die fortschreitende Technikentwicklung gegeben. Ein Beispiel hierfür mit erheblicher Praxisrelevanz ist die 13. BImSchV (Großfeuerungsanlagenverordnung), in der Emissionsgrenzwerte durch eine entsprechende Dynamisierungsklausel nach oben offen gehalten worden sind. Das betriebliche Umweltmanagement, und im Bereich der Emissionen somit primär das Energiemanagement hat diesen dynamischen rechtlichen Anforderungen Rechnung zu berücksichtigen und in die Praxis umzusetzen.

Für das betriebliche Energiemanagement ist der Grundsatz der Vermeidung oder energetischen Verwertung von Abfällen (*Entsorgungsgrundsatz*) von Bedeutung.

Die *Wärmenutzungspflicht* ist derzeit nicht in einer Verordnung geregelt: auf die Verabschiedung der geplanten Wärmenutzungsverordnung wurde aufgrund der Selbstverpflichtungserklärung der Industrie zur Reduzierung des CO₂-Ausstosses zunächst verzichtet.

Aufgrund der komplexen Auswirkungen energietechnischer Systeme auf die Umwelt sind auch etliche weitere Bereiche des Umweltrechts für das betriebliche Energiemanagementsystem relevant, wie z.B. das Wasserrecht bei der Nutzung der Brennwertechnik zur Energieeinsparung. Eine umfassende Behandlung dieses komplexen Themas würde jedoch den Rahmen des vorliegenden Leitfadens bei weitem sprengen.

4.2 Die Öko-Audit-Verordnung der Europäischen Gemeinschaften

Am 13. Juli 1993 ist die „Verordnung (EWG) Nr. 1836/93 des Rates vom 29. Juni 1993 über die freiwillige Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung“ in Kraft getreten, die in Deutschland besser bekannt ist unter dem Namen Öko-Audit-Verordnung. /6/

Ziel des EG-Systems ist die kontinuierliche Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes durch ein wirksames Umweltmanagement. Das schließt die Festlegung einer Umweltpolitik, die Erarbeitung und Umsetzung von Umweltprogrammen und den Aufbau eines Umweltmanagementsystems ebenso ein wie eine objektive und regelmäßige Bewertung dieser Elemente im Rahmen einer Umweltbetriebsprüfung. Die Öffentlichkeit ist in Form einer Umwelterklärung über den Stand des betrieblichen Umweltschutzes zu unterrichten.

Eine Teilnahme am System der EG-Verordnung ist freiwillig und kann von den Unternehmen nur standortbezogen erfolgen.

Teilnahmeberechtigt sind Unternehmen, die an einem oder mehreren Standorten eine gewerbliche Tätigkeit ausüben, sowie Unternehmen, die mit Erzeugung von Strom, Gas, Dampf und Heißwasser sowie Recycling, Behandlung, Vernichtung oder Endlagerung von festen oder flüssigen Abfällen beschäftigt sind. Versuchsweise können auch für nichtgewerbliche Sektoren wie Handel oder den öffentlichen Dienstleistungsbereich entsprechende Bestimmungen erlassen werden.

Die Idee zu einem solchen System ist nicht völlig neu. Sie entspricht im wesentlichen dem von der Internationalen Handelskammer (ICC) entwickelten Audit-Konzept, erweitert um eine Umwelterklärung /7/. In der britischen Norm BS 7750 ist die Idee in ähnlicher Weise umgesetzt.

4.2.1 Ablauf und Beschreibung der Tätigkeiten nach der Verordnung

Der grundsätzliche Ablauf der Tätigkeiten nach der Öko-Audit-Verordnung ist in **Bild 4-1** graphisch umgesetzt und stellt sich folgendermaßen dar:

Beim Einstieg in das System ist eine standortübergreifende Umweltpolitik zu entwickeln und eine erste Umweltprüfung durchzuführen. Auf Basis der Prüfung ist ein Umweltprogramm zu erstellen. Danach kann die erste Umwelterklä-

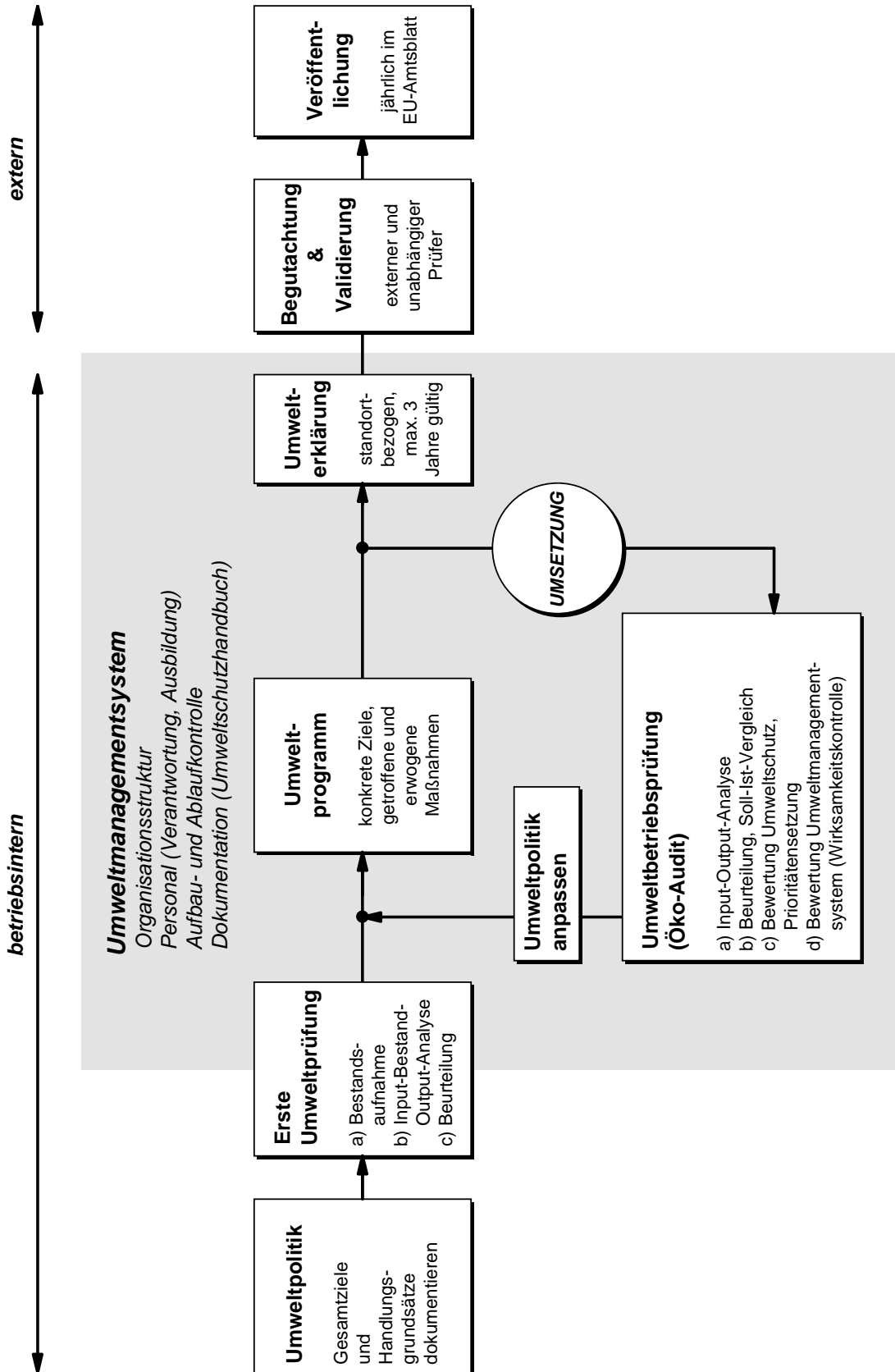


Bild 4-1: Ablauf des Öko-Audits

rung veröffentlicht werden. Spätestens nach der Erstellung des ersten Umweltprogramms, sinnvollerweise jedoch schon parallel zur ersten Umweltprüfung ist mit dem Aufbau eines Umweltmanagementsystems zu beginnen. Die in den folgenden Jahren durchzuführenden Umweltbetriebsprüfungen sind in das Managementsystem eingebettet. Die erzielten Erkenntnisse bei der Betriebsprüfung münden in ein neues Umweltprogramm und dienen zur Überprüfung der Umweltpolitik sowie des gesamten Umweltmanagementsystems.

Umweltpolitik

Erster Schritt zum Aufbau eines Umweltmanagements ist die Festschreibung der unternehmens- und standortbezogenen Umweltpolitik auf der obersten Managementebene. Die dokumentierten Leitlinien und Handlungsgrundsätze sind als „ökologisches Grundgesetz“ des Unternehmens zu verstehen. Neben der

- Einhaltung der gültigen Umweltvorschriften soll die Umweltpolitik auf eine
- kontinuierliche Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes hinwirken, und zwar mit der wirtschaftlich vertretbaren Anwendung der besten verfügbaren Technik.

Erste Umweltprüfung (environmental review)

Um die Umweltpolitik in konkrete Ziele und Maßnahmen umzusetzen, ist eine genaue Analyse des Ist-Zustandes vorzunehmen, aus deren Ergebnissen ein erstes Programm abgeleitet werden kann. In Artikel 2 wird für die Umweltprüfung „eine erste umfassende Untersuchung“ der am Standort auftretenden Umweltfragen und Umweltauswirkungen gefordert. Dies bedeutet, daß eine genaue Erfassung der betrieblichen Stoff- und Energieströme notwendig wird.

Bei der ersten Umweltprüfung sind durchzuführen:

- eine Bestandsaufnahme der Organisation und des betrieblichen Umweltschutzes,
- die Erhebung aller ökologisch relevanten Daten (Input, Output und Bestand),
- eine erste Einschätzung und Beurteilung der Daten und Informationen.

Umweltprogramm

Das Umweltprogramm ergibt sich aus den Ergebnissen der ersten Umweltprüfung bzw. der im folgenden durchzuführenden Umweltbetriebsprüfung. Es enthält die konkreten, umweltbezogenen Ziele des Unternehmens und eine Beschreibung der getroffenen oder in Betracht gezogenen Maßnahmen, mit denen diese Ziele erreicht werden sollen. Nach Möglichkeit sollen Fristen gesetzt werden, innerhalb derer die Maßnahmen umzusetzen sind.

Umweltmanagementsystem

Die zentrale Forderung der EG-Verordnung ist die Verankerung des Umweltschutzes im Management. Die Belange des Umweltschutzes sollen den übrigen Management-elementen gleichgestellt sein und so auf die betrieblichen Entscheidungsfindungsprozesse mit einwirken.

Das Umweltmanagementsystem

- soll die Umsetzung von Umweltpolitik, -zielen und -programm gewährleisten
- und beinhaltet mit der Umweltbetriebsprüfung ein Instrument der Eigenkontrolle, mit dem die Überprüfung und Anpassung der Leitlinien, Ziele und Programme erfolgen kann.

Zu beachten ist, daß das Umweltmanagementsystem nicht den Umweltschutzstandard festlegt, sondern eine Voraussetzung für die Sicherung und Einhaltung des Standards sowie dessen stetiger Verbesserung schafft.

In Artikel 2 ist das Umweltmanagementsystem als „der Teil des gesamten übergreifenden Managementsystems“ beschrieben, „der die Organisationsstruktur, die Zuständigkeiten, die Verhaltensweisen, die förmlichen Verfahren, die Abläufe und die Mittel für die Festlegung und Durchführung der Umweltpolitik einschließt“. Zentrales Informations- und Dokumentationssystem des Umweltmanagements ist in der Regel ein Umweltschutzhandbuch.

Detailliertere Erläuterungen zum Umwelt- bzw. Energiemanagement finden sich in den Ausführungen zum Energie-Audit in Kapitel 4.2.

Umweltbetriebsprüfung (Umweltaudit)

Im Abstand von maximal drei Jahren ist eine erweiterte interne Prüfung durchzuführen, die „eine systematische, dokumentierte, regelmäßige und objektive Be-

wertung“ der Leistungen auf der organisatorischen und der technischen Umweltmanagementebene liefert.

Voraussetzung für diese Umweltbetriebsprüfung ist die regelmäßige Erhebung der ökologisch relevanten Daten (Umweltprüfung) z.B. in einer Input-Output-Analyse. Daten und Informationen können dabei beschafft werden über

- die Analyse vorhandener Dokumente,
- Checklisten für eingesetzte Stoffe, Energien oder Prozesse und
- Betriebsbegehungen mit Interviews.

Im Rahmen der Umweltbetriebsprüfung sind folgende Tätigkeiten auszuführen:

- Beurteilung: Soll-Istzustand-Vergleich, inwieweit wurde das letzte Umweltprogramm umgesetzt?
- Bewertung der durch den Betrieb verursachten Auswirkungen auf die Umwelt
 - Offenlegen von Schwachstellen und Optimierungspotentialen
 - Ausarbeitung eines Prioritätenkataloges
- Bewertung des bestehenden Umweltmanagementsystems (Wirksamkeitskontrolle).

Die Umweltbetriebsprüfung ist zwingend in das Umweltmanagementsystem eingebunden. Es werden Bewertungen erarbeitet, die bei wiederholter Durchführung und konsequenter Anwendung auf eine stetige Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes abzielen. Eine vergleichende, umfassende Bewertung aller Umweltbeanspruchungen durch ein objektives Bewertungsverfahren ist nur schwer möglich, da unterschiedliche Umwelteinwirkungen nicht ohne weiteres miteinander verglichen werden können.

In Anhang I.B.3 ist im Rahmen der Registrierung und Bewertung von Umweltauswirkungen eine Berücksichtigung folgender Kriterien gefordert:

- kontrollierte und unkontrollierte Emissionen in die Atmosphäre,
- kontrollierte und unkontrollierte Emissionen in Gewässer oder die Kanalisation,
- feste und andere Abfälle, insbesondere gefährliche Abfälle,
- Kontaminierung von Erdreich,
- Nutzung von Boden, Wasser, Brennstoffen und Energie sowie anderen natürlichen Ressourcen,

- Freisetzung von Wärme, Lärm, Geruch, Staub, Erschütterungen und optische Einwirkungen,
- Auswirkungen auf bestimmte Teilbereiche der Umwelt und auf Ökosysteme.

Umwelterklärung

Im Zuge der Erkenntnisse aus der Umweltbetriebsprüfung ist eine Umwelterklärung zu erstellen, die die Öffentlichkeit in knapper und verständlicher Form über den Stand des betrieblichen Umweltschutzes informiert. Zwischen zwei Umwelterklärungen dürfen höchstens drei Jahre vergehen.

Laut Artikel 5 umfaßt die Umwelterklärung „insbesondere

- eine Beschreibung der Tätigkeiten des Unternehmens an dem betreffenden Standort,
- eine Beurteilung aller wichtigen Umweltfragen im Zusammenhang mit den betreffenden Tätigkeiten,
- eine Zusammenfassung der Zahlenangaben über Schadstoffemissionen, Abfallaufkommen, Rohstoffverbrauch, Energieverbrauch, Wasserverbrauch und gegebenenfalls über Lärm und andere bedeutsame umweltrelevante Aspekte, soweit angemessen, [...]
- eine Darstellung der Umweltpolitik, des Umweltprogramms und des Umweltmanagementsystems des Unternehmens für den betreffenden Standort [...].“

Begutachtung & Validierung

Nach Artikel 4 prüft der Umweltgutachter,

- ob Umweltpolitik, Umweltprogramm, Umweltmanagementsystem, Umweltprüfungs- und Umweltbetriebsprüfungsverfahren mit den Vorschriften der Verordnung übereinstimmen (insbesondere ist die technische Eignung der Umweltprüfung bzw. der Umweltbetriebsprüfung zu kontrollieren),
- ob die Umwelterklärung vollständig ist, v.a. ob die wichtigsten am Standort auftretenden Umweltfragen berücksichtigt sind, und
- ob die Angaben in der Erklärung zuverlässig sind.

Sind diese Anforderungen erfüllt, so wird die Erklärung validiert und der Betriebsstandort in ein öffentliches Register eingetragen. Der Betrieb darf das Teilnahme-Label führen, jedoch nicht im Bereich der Produktwerbung. Die Streichung eines Standortes aus dem Verzeichnis ist als Folge einer Begutachtung möglich, aber theoretisch auch zu jedem beliebigen anderen Zeitpunkt, an dem die Zulassungsstelle feststellt, daß nicht mehr alle Anforderungen der Verordnung eingehalten werden.

4.2.2 Bewertung des EG-Systems

Mit der Öko-Audit-Verordnung wird erstmals versucht, europaweit ein einheitliches Instrument zur Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes zu etablieren. Oberstes Ziel ist dabei die Verankerung des Umweltschutzgedankens in der Managementebene.

Durch die freiwillige Teilnahmemöglichkeit wird den Unternehmen eine höhere ökologische Eigenverantwortung übertragen. Von verschiedenen Anspruchsgruppen ausgehender Druck kann jedoch faktisch zu einem Teilnahmezwang führen, insbesondere wenn sich der Betrieb Markt- und Wettbewerbsvorteile, einen Imagegewinn oder Vorteile bei Kredit- und Versicherungsfragen verspricht. Es handelt sich bei der Verordnung also um ein marktwirtschaftlich ausgerichtetes Instrument, das gleichzeitig die Chance bietet, das geltende Ordnungsrecht abzubauen oder zumindest nicht weiter fortzuschreiben.

Das EG-Gemeinschaftssystem soll erklärtermaßen Informationen über betriebliche Stärken und Schwächen im Umweltschutzbereich auf Grundlage einer umfangreichen Datenbasis liefern. Daraus ergeben sich vielfältige Vorteile und Chancen für das Unternehmen. Im Vordergrund stehen dabei Kosteneinsparungen durch Verbrauchsminimierung und Prozeßoptimierungen als Folge der ökologischen Verbesserung von Produkten und Produktionsvorgängen. Weiterhin verfügt das Unternehmen neben dem Nachweis über die Einhaltung von Umweltvorschriften und Gesetzen über eine verbesserte Statistik umweltrelevanter Störungen. Eine Minimierung und genauere Einschätzung des Umwelthaftungsrisikos wird möglich, was von Fall zu Fall niedrigere Versicherungsprämien und höhere Rechtssicherheit für die Verantwortlichen zur Folge haben kann. Der Zugang zu öffentlichen Finanzierungsquellen wird erleichtert, eventuell ergibt sich eine höhere Kreditwürdigkeit bei Banken.

Besonders in der Einstiegserklärung sind bei korrekter Vorgehensweise des Unternehmens keine Probleme bezüglich einer Validierung zu erwarten. Erst bei folgenden Erklärungen kommt als eines der Hauptkriterien die kontinuierliche Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes zur Geltung. Darüber sollte sich die Unternehmensführung vor einem Teilnahmebeschluß im klaren sein.

Gleichzeitig ist zu bedenken, daß eine kontinuierliche Verbesserung des Umweltschutzes keine absoluten Grenzwerte oder Kriterien setzt. Unterschiedliche Umweltstandards in den verschiedenen Ländern der EU werden durch die dynamischen Anforderungen der Verordnung ausgeblendet.

4.2.3 Anmerkungen zur Erfassung und Aufbereitung der ökologisch relevanten Daten

Die vorzunehmende Umweltbetriebsprüfung beinhaltet organisatorische und technische Vorgänge. Der Arbeitsaufwand auf der technischen Ebene ist vorrangig durch die Erfassung und Aufbereitung der ökologisch relevanten Daten bestimmt. Dies sind im wesentlichen die Stoff- und Energieströme, die in den Bilanzraum „Betrieb“ eintreten und diesen wieder verlassen. Entscheidend für die Aussagekraft und eine Vergleichbarkeit der gewonnenen Daten ist die Einhaltung der Bilanzgrenzen. Das betrifft die örtlichen (Betriebsbereiche), die zeitlichen (Bilanzierungszeitraum) und auch die prozeßtechnischen (Produktionsprozesse, verursachter Verkehr) Betrachtungsgrenzen.

Die ökologisch relevanten Daten werden in deutschen Umweltberichten meist zu einer gegliederten Input-Output-Bilanz verdichtet und als Ökobilanz bezeichnet. Diese Strukturierung ist nicht zwingend notwendig, schafft aber Übersichtlichkeit und fördert das strukturelle Verständnis schon bei der Erstellung. Durch eine lange Verweildauer im Betrieb und eine meist geringere ökologische Relevanz kommt dem Bestand (Anlagegüter) allgemein eine geringere Bedeutung zu als den Input- und Outputströmen (Umlaufgüter).

Um klare Aussagen über die innerbetriebliche Entwicklung treffen zu können und evtl. sogar Vergleiche mit anderen branchenverwandten Unternehmen zu ermöglichen, ist die Bildung leistungsbezogener Kennzahlen nötig. Diese Kennzahlen werden unterschiedlich aussehen. Je nachdem, ob es sich um einen Produktionsbetrieb oder ein Dienstleistungsunternehmen handelt, können Fluß- und Bestandsgrößen auf Produktionsleistung, Mitarbeiterzahl, Nutzfläche, erbrachte Transportleistung o.ä. bezogen werden. Hier einige Beispiele:

- Abfallmenge pro hergestelltem Produkt [kg/kg],
- Endenergieverbrauch pro hergestelltem Produkt [kJ/kg],
- Stromverbrauch pro Mitarbeiter [kWh/MA],
- Wasserverbrauch pro Nutzfläche [l/m²],
- Beförderungseinheiten pro erbrachter Transportleistung [kg/km].

4.3 Energie-Audit

Ein Energie-Audit wird typischerweise auf ein Energiemanagementsystem oder Elemente davon angewendet. Das Energiemanagementsystem ist die Umsetzung der Richtlinien und Anforderungen des Energiemanagements in konkrete Organisationsstrukturen, Verantwortlichkeiten, Prozesse und Verfahren. Technisch gesprochen sind im Energiemanagementsystem die (organisatorischen) Regelkreisstrukturen für den Energie-Bereich eines Betriebes festgelegt. Formal geschieht dies i.a. im Rahmen eines Energiemanagementhandbuchs.

Das Energie-Audit stellt ein Kontrollinstrument zur Überprüfung der Funktion und Zweckmäßigkeit des Energiemanagementsystems dar. Analog zur DIN/ISO 14010 /8/ wird es definiert als „Ein systematisches, dokumentiertes Überprüfungsverfahren der objektiven Ermittlung und Bewertung von Audit-Nachweisen, um die Konformität von festgelegten Umweltaktivitäten, -ereignissen, -zuständen, -managementsystemen oder -informationen darüber mit den Auditkriterien festzustellen.“

Übergeordneter Zweck eines Energie-Audits ist es, zu beurteilen, ob Verbesserungen und Korrekturmaßnahmen im Bereich des Energiemanagementsystems notwendig sind. In dieser Funktion ist es nicht zu verwechseln mit energietechnischen Tätigkeiten wie z.B. der Anlagenüberwachung oder Datenerfassung (vgl. Kapitel 2):

Durchführung und Methoden der regelmäßigen betrieblichen Energiedatenerfassung beispielsweise werden im Rahmen des Energiemanagementsystems mit entsprechenden Verfahrensanweisungen geregelt. Das Energie-Audit dient in diesem Zusammenhang z.B. der Überprüfung, ob die Energiedatenerfassung diesen Regelungen gemäß durchgeführt wird, und ob diese Regelungen (noch) geeignet sind, die übergeordneten Managementziele zu erreichen.

Mögliche Ziele eines Energie-Audits sind:



- Ermittlung, ob die Elemente des Energiemanagementsystems die festgelegten Forderungen, die sich z.B. aus der Öko-Audit-Verordnung (vgl. Kapitel 1.1) ergeben, erfüllen.
Die Öko-Audit-Verordnung fordert beispielsweise die regelmäßige Überprüfung der Energieträgerauswahl. Im Rahmen des Energie-Audits kann kontrolliert werden, ob und mit welchen Methoden die Energieträgerauswahl überprüft wird.
- Ermittlung der Wirksamkeit des Energiemanagementsystems:
In diesem Rahmen wird z.B. die Wirksamkeit der Regelmechanismen des Energiemanagementsystems überprüft: werden erhöhte Energieverbräuche registriert, werden die zuständigen Organisationseinheiten ordnungsgemäß informiert und reagieren sie mit geeigneten Korrekturmaßnahmen?
- Verbesserung des betrieblichen Energiemanagementsystems:
Die Ermittlung der Wirksamkeit des Energiemanagementsystems im Rahmen eines Energie-Audits liefert immer auch Informationen über Schwachstellen des Energiemanagementsystems und Verbesserungsmöglichkeiten: werden beispielsweise auf technischer Ebene wiederholt Störfälle oder Betriebszustände mit erhöhtem Energieverbrauch festgestellt, ohne daß eine Veränderung eintritt, so sind die Ursachen häufig auf der organisatorischen Ebene zu suchen. Die betrieblich Zuständigen können z.B. aufgrund fehlender Informationen nicht reagieren, weil im Energiemanagementsystem wichtige Informationswege schlichtweg nicht berücksichtigt sind.
- Prüfung, ob die Regelungen des Energiemanagementsystems eingehalten werden.
Beispielsweise wird im Energie-Audit geprüft, ob die Energiedatenerfassung (vgl. Kapitel 2) sorgfältig und den Verfahrensanweisungen gemäß durchgeführt wird.
- Durchführung der Umweltbetriebsprüfung zu Erfüllung der Regelungen der EG-Öko-Audit-Verordnung (vgl. Kapitel 1.1)

Der Ablauf eines Energie-Audits gliedert sich in die Phasen Vorbereitung sowie Durchführung und Auswertung. Diese sind nachfolgend detaillierter erläutert.

4.3.1 Vorbereitung von Energie-Audits: Organisation und Planung

Die Organisation und Planung von Energie-Audits erfolgt meist in Anlehnung an die Norm DIN/ISO 10011 Teil 1-3 /9/. Weitere Vorschriften und Hinweise können auch DIN/ISO 14010ff /8/, bzw. deren Entwurf, entnommen werden.

Im wesentlichen setzt sich die Organisation und Planung von Energie-Audits aus den folgenden vier Schritten zusammen:

- Festlegung der Zielsetzung und des Audit-Umfangs
- Ressourcenplanung
- Planung von Aufbau- und Ablauforganisation
- Inhaltliche Detailplanung

Schritt 1: Zielsetzung und Audit-Umfang

Die im Rahmen eines Energie-Audits gesammelten Kenntnisse und Nachweise sind stets nur eine Auswahl aller verfügbaren Informationen. Aufgrund der zeitlichen und finanziellen Restriktionen kommt daher der exakten Zielsetzung und realistischen Planung des Auditumfangs eine große Bedeutung zu. Im einzelnen sind hierbei insbesondere festzulegen:

- **Audit-Ziele:**
Welche Elemente des Energiemanagementsystems sollen überprüft werden? Beispiel: Überprüfung der durchgeführten energietechnischen Datenerfassung auf deren Übereinstimmung mit den Regelungen des Energiemanagementsystems.
- **Grenzen des Audits:**
Welche Anlagen des Standorts und welche energetischen Aspekte werden mit welcher Detailtiefe einbezogen? Achtung: die Schnittstellen sind jeweils exakt zu definieren.
- **Umfang des Audits:**
Welcher zeitliche und personelle Aufwand ist zur Erreichung der Audit-Ziele erforderlich?
- **Audit-Kriterien:**
Welche Festlegungen des Energiemanagementsystems sollen überprüft werden?
Das Energie-Audit als Instrument der Konformitätsprüfung bzw. des



Soll/Ist-Vergleiches erfordert stets definierte Maßstäbe oder „Kriterien“, an denen die Konformität gemessen wird.

Beispiel: Überprüfung, ob die Energiedatenerfassung in den im Energiemanagementsystem festgelegten Zeitabständen erfolgt. Das Audit-Kriterium ist hierbei der Zeitabstand.

Schritt 2: Ressourcenplanung

Im Anschluß an Schritt 1 erfolgt die Ressourcenplanung. Hierbei ist in Abhängigkeit von den Zielen und dem Umfang des Audits insbesondere festzulegen:

- Welche finanziellen und sonstigen Sach-Mittel müssen für die Durchführung des Audits bereitgestellt werden?
- Im Rahmen der Personalplanung muß berücksichtigt werden:
 - Inwieweit werden externe Fachleute für das Audit benötigt?
 - Die Zusammenstellung des Audit-Teams sollte entsprechend den fachlichen und persönlichen Fähigkeiten erfolgen. Hierbei ist insbesondere auch auf die ausreichende Neutralität und Unabhängigkeit der Auditoren von den zu auditierenden Unternehmensbereichen zu achten.

Schritt 3: Aufbau- und Ablauforganisation

Die Planung der Aufbauorganisation umfaßt die Festlegung der Hierarchien und Zuständigkeiten der einzelnen Mitglieder des Audit-Teams. Sie steht in engem Zusammenhang mit der Personalplanung. Eine exakte Definition und Abgrenzung der Aufgaben erleichtert die spätere Durchführung des Audits erheblich.

Die *Ablauforganisation* umfaßt die Planung der einzelnen Audit-Prozesse sowie deren zeitliche Abfolge. Hierzu gehören neben der Reihenfolgeplanung insbesondere auch die Termin- und Zeitplanungen. Eine sorgfältige Abstimmung mit den Verantwortlichen in der Produktion und mit den Zuständigen für die energietechnisch relevanten Anlagen ist anzuraten, um einen reibungslosen Audit-Ablauf zu gewährleisten.

Schritt 4: Inhaltliche Detailplanung des Audits

In Abhängigkeit von den Zielen des Audits werden im Rahmen der inhaltlichen Detailplanung die einzusetzenden Audit-Methoden und -Verfahren (vgl. Kapitel 4.3.2) sowie die zur Beurteilung der Erfüllung der Auditkriterien erforderlichen Auditinformationen und -beweise festgelegt.

Von besonderer Bedeutung ist die Erarbeitung der Checklisten, die zur Durchführung des Audits angewandt werden. Üblicherweise werden diese vom jeweils zuständigen Auditor erstellt. Wichtig ist hierbei eine ausreichend flexible Gestaltung der Arbeitsdokumente, um auf Schwerpunktverschiebungen, die sich aufgrund des Informationsgewinns im Zuge des Audits ergeben, reagieren zu können.

Die Inhalte und die Struktur der Checklisten hängen stark von der festgelegten Zielsetzung des Audits ab. In Anhang sind beispielhaft Auszüge aus Checklisten angefügt, die im Rahmen von Energie-Audits zum Einsatz kommen. Die Zusammenstellung des im jeweiligen Anwendungsfall geeigneten Fragenkatalogs obliegt dem Auditor, der über die erforderlichen Fachkenntnisse verfügen muß.

4.3.2 Durchführung und Auswertung von Energie-Audits

Die Durchführung und Auswertung von Energie-Audits umfaßt die folgenden vier Schritte:

- Einführungsgespräch
- Sammeln von Auditinformationen und -beweisen
- Bewertung der Auditbeweise
- Berichterstattung

Schritt 1: Einführungsgespräch

Das Einführungsgespräch stellt eine wesentliche Basis für den Erfolg des Audits dar. Es dient u.a. der Information und Motivation der vom Audit betroffenen Betriebsangehörigen. Entscheidend für den Verlauf des Audits ist erfahrungsgemäß, allen Beteiligten glaubhaft zu machen, daß im Rahmen des Audits ungenutzte Potentiale und neue Lösungen, nicht jedoch Verantwortungszuweisungen für Fehler in der Vergangenheit gesucht werden.

Gemäß ISO 14011 /10/ ist Zweck des Einführungsgespräches:

- die Mitglieder des Auditteams mit der Leitung der auditierten Organisation bekannt zu machen,
- den Auditumfang, die Zielsetzung und den Auditplan zu besprechen sowie den zeitlichen Ablauf abzustimmen,
- einen kurzen Überblick über die praktizierten Auditmethoden und -verfahren zu geben,



- die offiziellen Ansprechpartner zwischen Auditteam und der auditierten Organisation zu benennen,
- zu bestätigen, daß die vom Auditteam benötigten Mittel und Einrichtungen zur Verfügung stehen,
- die Uhrzeit und das Datum für das Schlußgespräch zu bestätigen,
- die aktive Beteiligung der auditierten Organisation zu fördern sowie
- die für das Auditteam zutreffenden standortbezogenen Sicherheits- und Notfallvorschriften zu besprechen.

Schritt 2: Sammeln von Auditinformationen und -beweisen

Die zu sammelnden Auditbeweise dienen der Beurteilung, ob oder in welchem Maße ein Unternehmen die im Rahmen der Auditplanung gesetzten Auditkriterien erfüllt. Auditinformationen schaffen darüber hinaus eine solide Daten- und Informationsbasis für die Optimierung des betrieblichen Energiemanagements.

Die wesentlichen Verfahren beim Sammeln von Auditinformationen und -beweisen sind:

- Interview-Gespräche anhand vorher ausgearbeiteter Checklisten
- Kontrolle der Dokumentation anhand von Checklisten
- Testen von Daten z.B. durch Plausibilitätskontrollen, Nachprüfen oder Ziehen von Stichproben

Schritt 3: Bewertung der Auditbeweise

Die Bewertung der gesammelten Audit-Beweise umfaßt die Prüfung der Vollständigkeit sowie die Aufbereitung der Auditergebnisse.

Im Rahmen der Vollständigkeits-Überprüfung ist zu kontrollieren, ob alle im Auditplan enthaltenen Auditprozesse durchgeführt wurden. Sofern einzelne Teile des Audits nicht oder nur unvollständig durchgeführt werden konnten, ist dies zusammen mit den dafür ausschlaggebenden Gründen bei der Aufbereitung der Auditergebnisse zu dokumentieren.

Die Aufbereitung der Auditergebnisse beinhaltet die logische Zusammenstellung der Auditergebnisse sowie die Feststellung des Zielerreichungsgrades der Auditkriterien. Im Falle der Nichteinhaltung einzelner Auditkriterien sind die ent-

sprechenden Fehler bzw. Nichtkonformitäten sowie deren Nachweis vom Auditteam präzise zu dokumentieren.

Schritt 4: Berichterstattung

Das Berichten der Auditergebnisse ist ein wesentlicher Teil des gesamten Energie-Audits. Zunächst werden die Auditergebnisse im Rahmen einer Präsentation den zuständigen Verantwortlichen der auditierten Organisation vorgestellt. Hierbei sollten auch positive Ergebnisse ausreichend betont werden. Es ist darauf zu achten, daß die präsentierten Ergebnisse und evtl. Schlußfolgerungen vom verantwortlichen Betriebspersonal in ihrer technischen und organisatorischen Bedeutung verstanden werden. Im allgemeinen wird das Auditteam auch Empfehlungen für Verbesserungen des Energiemanagementsystems und/oder der betrieblichen Energieanwendung liefern und diese mit den Verantwortlichen diskutieren.

Der abschließende Auditbericht faßt Art, Umfang und Ergebnisse des Energie-Audits in schriftlicher Form zusammen. Er sollte mindestens folgende Informationen beinhalten:

- Umfang und Ziele des Energie-Audits
- Angabe der auditierten Organisation bzw. der auditierten Bereiche, Angabe der Mitglieder des Audit-Teams und der Zuständigen der auditierten Organisation, die Audittermine sowie den Auditplan
- Angabe der angewandten Auditmethoden sowie der Referenzdokumente und der Auditkriterien, anhand derer das Energie-Audit durchgeführt wurde
- Auditergebnisse, insbesondere die Feststellung von Fehlern, Lücken oder Nichtkonformitäten in Bezug auf die Auditkriterien
- Abschließende Beurteilung des auditierten Systems in Bezug auf die Auditkriterien
- Verteilerliste für den Auditbericht

Für die Weiterverfolgung von Korrekturmaßnahmen ist primär die auditierte Organisation zuständig. In den meisten Fällen sind jedoch Empfehlungen der Auditoren bezüglich durchzuführender Maßnahmen erwünscht und sinnvoll.



4.3.3 Auditierung des Energiebereichs entsprechend den Anforderungen der Öko-Audit-Verordnung an die Umweltbetriebsführung

Die EG-Öko-Audit-Verordnung stellt spezifische Ansprüche an das Energiemanagementsystem. Die vorgeschriebene Umweltbetriebsprüfung wird dabei üblicherweise in Form eines Audits durchgeführt. Die nachfolgenden Ausführungen erläutern die entsprechenden Anforderungen an das Energie-Audit im Rahmen der *Umweltbetriebsprüfung*.

Die Inhalte der Umweltbetriebsprüfung im Energiebereich lassen sich in drei Teile untergliedern:

- Prüfung des energiebezogenen Umweltmanagementsystems
- Prüfung der Einhaltung von Rechts- und Umweltvorschriften
- Prüfung der Einhaltung interner Vorschriften, wie Umweltziele, Umweltprogramm, Umweltpolitik

Voraussetzung für die Durchführung von Umweltbetriebsprüfungen ist die Existenz eines Umweltmanagementsystems. Die entsprechenden Unterlagen wie

- das Umweltmanagementhandbuch,
- die Umweltschutz-Verfahrens- und Arbeitsanweisungen,
- das gültige Umweltprogramm,
- Genehmigungsbescheide und sonstige Dokumente

sind für die Vorbereitung und Energie-Auditplanung unbedingt erforderlich.

Die Inhalte der Checklisten sind nach Sichtung der Unterlagen den betrieblichen Gegebenheiten und dem existierenden Umweltmanagementsystem anzupassen.

Prüfung des energiebezogenen Umweltmanagementsystems

Im Rahmen des Energie-Audits ist insbesondere zu prüfen, ob

- für Energieeinsparmaßnahmen und für die Kontrolle des Energiebereichs ausreichend Anweisungen erstellt und in Kraft gesetzt sind,
- durch diese Anweisungen die guten Managementpraktiken und sonstige Richtlinien der Öko-Audit-Verordnung realisiert werden,
- die Anweisungen in den betroffenen Bereichen bekannt sind,
- diese Anweisungen eingehalten werden,
- die Anweisungen wirksam genug sind,



- durch das Umweltmanagementsystem eine kontinuierliche Optimierung des betrieblichen Energieeinsatzes gewährleistet werden kann,
- das Umweltmanagementsystem im Energiebereich im Einklang mit der Umweltpolitik steht.

Prüfung der Einhaltung von Rechts- und Umweltvorschriften

Die freiwillige Teilnahme am Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung erfordert die Einhaltung aller standortspezifisch gültigen Rechts- und Umweltvorschriften. Betriebe, die sich zur Teilnahme am Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung verpflichtet haben, unterliegen einer verstärkten Selbstkontrolle und können daher mit einer reduzierten behördlichen Kontrolltätigkeit rechnen.

Im Rahmen des Aufbaus des Umweltmanagementsystems werden alle am Standort relevanten Rechtsnormen für den Energiebereich ermittelt und verfügbar gemacht (vgl. Kapitel 4.1).

Im Rahmen des Energie-Audits ist darauf aufbauend zu prüfen, ob

- die Rechtsnormen vollständig sind,
- die Rechtsnormen auf dem neuesten Stand sind,
- die im Energiebereich relevanten Rechtsnormen bekannt sind,
- die Rechtsnormen eingehalten werden.

Prüfung der Einhaltung weiterer interner Vorschriften wie Umweltziele und Umweltprogramm und Umweltpolitik im Energiebereich

Umweltpolitik, Umweltziele und Umweltprogramm sowie sonstige betriebs- und standortspezifische interne Vorschriften sind Bestandteil des Umweltmanagementsystems. Im Rahmen der energiebezogenen Umweltbetriebsprüfung ist die Einhaltung dieser Vorschriften zu prüfen.

Die für das Audit verwendeten Checklisten und sonstigen Arbeitsunterlagen müssen von Fall zu Fall aufgrund der betriebsspezifischen Regelungen neu erstellt werden.

Sofern im Rahmen der Umweltbetriebsprüfung bzw. des Energie-Audits Soll/Ist-Abweichungen in diesem Bereich festgestellt werden, hat eine diesbezügliche Ursachenanalyse zu erfolgen.



5 Anhang

5.1 Einheiten und Dimensionen

Physikalische Größe	Einheit
Leistung:	kW oder MW (= 1000 kW)
Energie:	kWh oder MWh kJ
Während eines Jahres bezogene oder abgegebene Energiemengen:	Mwh/a MJ/a
Benutzungsdauer und Vollbenutzungsstunden:	h/a
Kohlendioxidemissionen:	t/a

5.2 Begriffsdefinitionen

Primärenergie

Unter dem Begriff Primärenergie versteht man den Energieinhalt von Energieträgern und regenerativen Energiequellen, die noch keiner Umwandlung unterworfen wurden.

Endenergie

Energieinhalt der Bezugsenergie, vermindert um den des nichtenergetischen Verbrauchs sowie die Umwandlungsverluste und den Eigenbedarf bei der Eigenherzeugung von Strom oder Gas beim Endverbraucher. Im Endenergieverbrauch wird nur die Verwendung derjenigen Energieträger aufgeführt, die unmittelbar der Erzeugung von Nutzenergie dienen. Thermisch genutzte Abfall- und Reststoffe und Energien aus regenerativen Quellen, die im Eigenaufkommen gewonnen werden, sind in der Bezugs- und Endenergie nicht enthalten, weil sie nicht Gegenstand des energiewirtschaftlichen Handels sind.

Nichtenergetischer Verbrauch

Energieinhalt von Stoffen, die bei der Umwandlung anfallen, deren Verwendung aber nicht durch ihren Energiegehalt, sondern durch ihre stofflichen Eigenschaften bestimmt wird (z.B. Bitumen für den Straßenbau, Schmierstoffe) sowie der Energieinhalt von Energieträgern (z.B. Rohbenzin, Raffineriegas und Flüssiggas

als Rohstoff chemischer Prozesse oder Koks als Reduktionsmittel bei der Roheisenerzeugung), die nicht energetisch verwendet werden.

Nutzenergie

Alle technischen Formen der Energie, welche der Verbraucher letztendlich benötigt, also Wärme, mechanische Energie, Licht, Nutzelektrizität (z.B. für Galvanik und Elektrolyse) und elektromagnetische Strahlung, um die Energiedienstleistungen wie Heizen, Beleuchten, Transportieren usw. durchführen zu können. Nutzenergien müssen im allgemeinen zum Zeitpunkt und am Ort des Bedarfs aus Endenergie mittels Energiewandlern erzeugt werden.

Energieumwandlung (Energieumformung)

Änderung der chemischen und/oder physikalischen Form von Energieträgern; sie schließt auch die Energieumwandlung in Nutzenergie mit ein.

Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad ist der Quotient aus der nutzbar abgegebenen Leistung und der insgesamt zugeführten Leistung (eines Prozesses, einer Anlage oder eines Aggregates). Er ist nur für stationäre Betriebszustände definiert und wird in der Regel für den Nennpunkt angegeben. Bei der Formulierung der Beziehung in konkreten Anwendungsfällen ist die Bewertung der beteiligten Energieströme nach angestrebtem Nutzen und notwendigem Aufwand zu beachten.

Nutzungsgrad

Der Nutzungsgrad ist der Quotient aus der innerhalb eines Zeitraumes nutzbar abgegebenen und der in diesem Zeitraum als Aufwand zugeführten Energiemenge (eines Prozesses, einer Anlage oder eines Aggregates). Die betrachteten Zeiträume können Stillstands-, Leerlauf-, Anfahr- und Abfahrzeiten, Teillastzustände und Betriebsstörungen beinhalten. Der Nutzungsgrad schließt damit auch instationäre Betriebszustände ein.

Zugeführte Energie

Der Begriff "zugeführte Energie" umfaßt die Summe aller über einen bestimmten Zeitraum einem festgelegten Bilanzkreis zugeführten Energiemengen.



Die sinnvolle Wahl von Bilanzzeitraum und Bilanzgrenzen obliegt dem Bearbeiter, wobei Bezugsniveaus für Temperatur, Druck usw. unbedingt angegeben werden müssen.

Bei der Berechnung der Energiemenge sind prinzipiell alle Teilströme und -mengen zu berücksichtigen. Eine Untergliederung in verschiedene Teilbeträge, wie z.B. Strom, Wärme und Brennstoffe, kann sinnvoll sein.

Spezifischer Energieverbrauch

Unter dem spezifischen Energieverbrauch versteht man den Quotienten aus dem Energieverbrauch und einer funktionalen Einheit, z.B. Energieverbrauch pro Produkt, Energieverbrauch pro Produktionsgröße in einem bestimmten Zeitraum.

Es müssen alle einem Bilanzkreis zugeführten Energiemengen in Beziehung zu der Menge der im selben Bilanzkreis gefertigten Produkte gesetzt werden.

Die Ermittlung des spezifischen Energieverbrauchs einer Anlage ist im Normalfall unproblematisch, führt jedoch in der Praxis bei Betrieben mit heterogener Produktpalette zu Schwierigkeiten bei der Definition einer Produktionsgröße. Bei Anlagen, die universal eingesetzt werden können, sind nach Möglichkeit sinnvolle Ersatzgrößen (z.B. Tonnen Aluminiumspritzgußteile) oder notfalls eine monetäre Größe zu wählen und konsequent beizubehalten.

Energiebilanz

Die Gegenüberstellung der einer Anlage zugeführten Energiemengen und der in der Anlage umgesetzten Reaktionswärme mit den die Anlage verlassenden Energiemengen einschließlich der Abwärme.

In einer Energiebilanz sind alle in einen Bilanzkreis ein- und austretenden Energiemengen für einen bestimmten Zeitraum gegenüberzustellen. Alle Energiemengen werden auf einen bestimmten, mit den Grenzen des Bilanzierungsraumes festzulegenden Grundzustand und Zeitraum bezogen.

Sieht man von Speicher- und Entspeichervorgängen innerhalb der Bilanzgrenzen ab, so muß die Summe der zu- und der abgeführten Energiemengen gleich sein. Daher ist es theoretisch - und in gewissem Umfang auch praktisch - möglich, einen unbekanntem Energiestrom aus den (restlichen) bekannten Energieströmen zu berechnen.

Kraft-Wärme-Kopplung

Als Kraft-Wärme-Kopplung bezeichnet man die gleichzeitige Gewinnung von mechanischer Arbeit und nutzbarer Wärme aus anderen Energieformen mittels eines thermodynamischen Prozesses in einer technischen Anlage. Die mechanische Arbeit wird dabei in der Regel unmittelbar in elektrische Energie umgewandelt.

Abwärme

Der Begriff der Abwärme umfaßt:

- alle den betrachteten Bilanzraum verlassenden Wärmeströme (d.h. die diffuse Abgabe von Wärme über die Systemoberflächen durch Wärmeleitung und Konvektion an die kältere Umgebung sowie die Wärmeabstrahlung), und
- alle thermisch an Stoffströme wie Verbrennungsabgase, Abluft oder Kühlwasser gebundenen Energien, welche über die Grenzen des betrachteten Bilanzraumes abgegeben werden.

sofern sie nicht zur Zielenergie sondern zur Verlustenergie zählen.

Anmerkung:

Es gibt nutzbare und nicht nutzbare Abwärme. Diese Unterscheidung kann jedoch nicht allgemeinverbindlich an einem einzigen Kriterium festgemacht werden.

- Wenn Abwärme als nutzbar anzusehen ist, heißt das noch nicht, daß sie auch tatsächlich genutzt wird. Dafür sind neben technischen auch wirtschaftliche und regulatorische Kriterien maßgebend.
- Genutzte Abwärme gilt - bezogen auf die betrachtete Energieumwandlung - definitionsgemäß als Verlustenergie. Dagegen zählt bei der Kraft-Wärme-Kopplung die nutzbar ausgekoppelte Energie zur Zielenergie. Allein anhand technischer Kriterien ist eine eindeutige begriffliche Abgrenzung nicht möglich.

Fortwärme

Fortwärme ist all diejenige Abwärme, die nicht gezielt anderen Energiewandlungsprozessen zugeführt wird, sondern an die Umgebung freigesetzt wird. Sie wird damit Bestandteil der Umweltwärme.



Energiemanagement

Gesamtheit der zur Steuerung des Energiebereichs eines Unternehmens erforderlichen Tätigkeiten und Zielsetzungen.

5.3 Beispiele aus Checklisten für Energie-Audits

1. Welche energetisch relevanten Anlagen werden am Standort betrieben?
2. Welche energetisch relevanten Verfahren kommen am Standort zum Einsatz?
3. Wie sind die energetisch relevanten Anlagen am Standort miteinander verknüpft?
4. Von welchen Parametern wird der Energieverbrauch der einzelnen Anlagen bestimmt?
5. Existieren Energiebilanzen für die wesentlichen Prozesse/Anlagen?
6. Wie gestaltet sich die Disaggregation des Energieverbrauchs nach Energieträgern und Energieverbrauchern?
7. Sind die Verfahren für die Messung, die Erfassung, die Protokollierung und die Weiterleitung aller energierelevanten Daten festgelegt?
8. Erfolgt die Erfassung der energierelevanten Daten anhand von festgelegten Erfassungsplänen?
9. Sind die Verfahren für die Erstellung und Freigabe von Erfassungsplänen festgelegt?
10. Enthalten die Erfassungspläne die notwendigen Vorgaben, wie z.B.
zuständige Mitarbeiter bzw. Organisationseinheit,
Erfassungsumfang,
Meßstellen,
Erfassungsverfahren,
verwendete Meßgeräte,
Erfassungsaufzeichnungen?
11. Werden die Erfassungen entsprechend den Erfassungsplänen ausgeführt?
12. Welche Energieverbrauchsdaten werden erfaßt?



13. Welche Energieträger werden wie erfaßt:
Brennstoffe
Elektrische Energie
Wärmeträger (Dampf etc.)
Kälte
Druckluft
etc.
14. Sind in Bezug auf die Meßgeräte die Verfahren für
Überwachung
Kalibrierung
Reparatur
festgelegt und werden sie eingehalten?
15. Sind Verfahren für die Identifizierung und die Dokumentation des Energieverbrauchs und für kontrollierte und unkontrollierte Emissionen in die Atmosphäre festgelegt?
16. Sind Verfahren für die Identifizierung und die Dokumentation der Umweltauswirkungen festgelegt für die Freisetzung von Wärme, Lärm, Geruch und Staub?
17. Sind bei der Datenerfassung neben normalen Betriebsbedingungen auch An- und Abfahrprozesse berücksichtigt?
18. Sind bei der Datenerfassung neben normalen Betriebsbedingungen auch nicht bestimmungsgemäße Betriebszustände berücksichtigt?
19. Sind bei der Datenerfassung neben normalen Betriebsbedingungen auch Auswirkungen geplanter Tätigkeiten am Standort berücksichtigt?
20. Erhält die oberste Leitung Kenntnis über die energierelevanten Daten und werden diese im Unternehmen weitergegeben?
21. Gibt es Verfahren für die Erstellung und Pflege der Daten über den Energieverbrauch des Unternehmens?
22. Sind Verfahren für die kontinuierliche Bewertung des Energieverbrauchs festgelegt?
23. Sind Verfahren für die kontinuierliche Bewertung der anfallenden Abgas- und Abluftmengen festgelegt?



24. Sind die Verfahren geeignet, um zu einer umfassenden Bewertung bezüglich einer kontinuierlichen Vermeidung bzw. Verringerung des Energieverbrauchs zu führen?
25. Wird das Zahlenmaterial aus der Bewertung aufbereitet, ausgewertet und für die Entwicklung von Korrektur- bzw. Verbesserungsmaßnahmen genutzt?

6 Literaturhinweise

- /1/ Loew, H.: Einführung in die Elektrizitätswirtschaft
IfE Schriftenreihe, Heft 16, Lehrstuhl für Kraftwerkstechnik und Energiewirtschaft, München, 1985
- /2/ Energieberatung für Industrie und Gewerbe
VDI 3922 (Entwurf), März 1996
- /3/ ISO 14000 ff Umweltmanagementsysteme
- /4/ Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) - Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge, 1990
- /5/ Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA-Luft: Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, 1986
- /6/ Amtsblatt der Europäischen Union (Hrsg.): Verordnung Nr. 1836/93 über die freiwillige Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung, Brüssel 1993
- /7/ Internationale Handelskammer (Hrsg.): Environmental Auditing, Paris 1989
- /8/ DIN/ISO 14010
Allgemeine Grundsätze für die Durchführung von Umweltaudits, Oktober 1995
- /9/ DIN/ISO 10011 Teil 1 bis 3
Leitfaden für das Audit von Qualitätssicherungssystemen, Juni 1992
- /10/ DIN/ISO 14011
Leitfaden für Umweltaudits: Auditverfahren, Oktober 1995