

DIE ENERGETISCHE BETRIEBSANALYSE - EINE GRUNDLAGE ZUR ENERGIEKOSTENPLANUNG
IN INDUSTRIEBETRIEBEN



von Dipl.-Ing. Michael MOOR

Institut für Wirtschafts- und Betriebswissen-
schaften, Technische Universität Graz

vorgetragen anlässlich des WIV-Kongresses 1982
am 11. Juni 1982 im Grazer Congress

1. EINLEITUNG

Die Auswirkungen des ersten Energieschocks im Jahre 1973 sind vielfältig und tiefgreifend. Sie schlagen sich nicht nur im markoökonomischen, d.h. gesamtwirtschaftlichen Bereich nieder, sondern berühren in zunehmendem Maße die Einzelwirtschaften und deren mikroökonomische Aufgabenstellungen. In diesen letzten neun Jahren ist die Kostenbelastung durch ständig steigende Energiepreise für viele Unternehmungen zu einem nicht zu unterschätzenden Problem geworden. Das gilt auch für solche Unternehmungen, für die die Energiekosten bis dahin von untergeordneter Bedeutung waren, da bei rezessiven Tendenzen die Überwälzungsmöglichkeiten dieser Kosten auf die Produkte zunehmend verringert werden. Aus diesen Gründen reißen die Diskussionen um die optimale Gestaltung der Energiewirtschaft nicht mehr ab. Die anstehenden Probleme können aber unter Berücksichtigung allein technisch orientierter Lösungsansätze nicht mehr zielführend bearbeitet werden. Vielmehr wird die optimale Planung, Gestaltung und auch Kontrolle betrieblicher Energiesysteme zu einer wichtigen Aufgabe zukunftsorientierter Unternehmungsführung. Die Zusammenfassung dieser speziellen Funktionsinhalte ist am deutlichsten durch den Begriff "Betriebliches Energiemanagement" umschrieben.

Die Abhängigkeit der Industriebetriebe von einer kostengünstigen und zuverlässigen Energieversorgung ist mit zunehmender Anlagenintensität steigend, eine störungsfreie Energieversorgung bildet daher eine grundlegende Voraussetzung moderner industrieller Produktion. Energie spielt im betrieblichen Geschehen eine zweifache Rolle: einmal ist Energie ein Produktionsfaktor zur betrieblichen Leistungserstellung in Form von mechanischer Energie für Antriebe,

von Prozeßwärme und chemisch gebundener Energie, Energie stellt aber auch einen Komfortfaktor dar, der in Form von Heizwärme oder Licht die Voraussetzungen für einen zufriedenstellenden Arbeitsplatz schafft (1). In Anbetracht dieser Tatsachen und auf Grund der heutigen Entwicklungen auf dem Energiesektor lassen sich besonders drei Tendenzen erkennen, die Energie zu einem Risikofaktor für die Unternehmungen werden lassen (2):

- steigende Energiepreise
- Ausfälle in der Versorgung
- staatliche Lenkungsmaßnahmen

Voraussetzung für die erfolgreiche Bewältigung dieser Entwicklung ist die rationelle Energieversorgung der Industriebetriebe, deren Ziel es ist, Energie genauso wirtschaftlich und sinnvoll einzusetzen wie andere Produktionsfaktoren. Dafür stehen zwar eine Reihe von geeigneten Instrumenten zur Verfügung, diese haben in der betrieblichen Realität jedoch nur wenig Anwendung gefunden. Es fehlt vielfach an ausreichenden Daten oder entsprechenden Informationen, noch sind die organisatorischen Voraussetzungen im Sinne eines Energiemanagements geschaffen.

2. DIE ENERGIEKOSTEN

Kosten sind nach Mellerowicz der "bewertete Verzehr" von Produktionsfaktoren zur Leistungserstellung. Die im Produktionsprozeß durch den Einsatz von Energie zur Deckung des sogenannten Nutzenergiebedarfes entstehenden Kosten sind somit analog "bewerteter Energieverzehr". Alle Energien unterliegen dem physikalischen Gesetz, daß sie nicht verbraucht, sondern nur umgewandelt werden können, letzten Endes in Wärme (1. Hauptsatz der Thermodynamik), die dem niedrigst erreichbaren Temperaturniveau zustrebt (2. Hauptsatz der Thermodynamik). Mit der Deckung des Bedarfes an Nutzenergien ist deshalb der Verzehr in nutzbarer Form verbunden (3).

Die Deckung des Bedarfes an Energie im betrieblichen Produktionsprozeß erfolgt vorerst durch den Einsatz von Energieträgern, die innerhalb des Betriebes mit geeigneten Anlagen in die nachgefragten Nutzenergien umgewandelt werden müssen. Energiekosten stellen daher nicht nur die Kosten des Energieträgerbezuges dar, sondern umfassen vielmehr noch verschiedene weitere Kostenkomponenten, die leider, in ihrer Bedeutung nur zu oft übersehen werden:

Zu diesen zählen (in Anlehnung an 4):

- die Nebenkosten des Energiebezuges
- die Kosten der Einlagerung speicherfähiger Energieträger
- die durch die Energieumwandlung in betriebseigenen Kraftwerken und Trafostationen sowie durch die innerbetriebliche Energiefortleitung in Rohren, Kabeln etc. anfallenden Kosten für Verzinsung und Abschreibung der hierfür erforderlichen Anlagen
- die Kosten von Zählern und Meßeinrichtungen
- die Kosten des Energieverbrauches für innerbetriebliche Transporte und den Fuhrpark
- die Anlage- und Betriebskosten eventuell vorhandener Energierückgewinnungsanlagen
- die anfallenden Personal- und Materialkosten für Betrieb, Wartung und Instandhaltung der Energieumwandlungs- und -verteilungsanlagen
- die anteiligen Kosten der Betriebsleitung und Verwaltung

Die Bedeutung der Energiekosten ist freilich von Branche zu Branche und von Betrieb zu Betrieb stark unterschiedlich, was auch zu unterschiedlich starken Bemühungen auf dem Gebiet des Betrieblichen Energiemanagements führt.

Einer Statistik des Wirtschaftsforschungsinstitutes (5) zufolge betrug in Österreich der Anteil der Kosten für den Energieträgerbezug am Produktionswert der Industrie im Jahre 1980 im Durchschnitt 4,5 %, wobei die Eisenhüttenindustrie mit 22 % die höchsten Belastungen aufweist. Die Belastung der Maschinenbauindustrie mit nur 1 % zeigt den breiten Streubereich, der innerhalb der Branchen weiteren Schwankungen unterliegen dürfte. Die tatsächlich anfallenden Gesamtkosten der Energieversorgung im Sinne der dargestellten Kostenkomponenten dürften jedoch wesentlich höher liegen.

	1975	1978	1980
Bergbau	9,3	9,0	10,0
Eisenhütten	29,7	19,9	21,8
Metallhütten	6,9	6,5	6,1
Steine, Keramik	11,0	10,2	11,8
Papier	4,6	6,2	6,7
Chemie	3,0	3,4	3,8
Gießerei	6,0	5,5	5,5
Maschinen	0,9	0,9	1,0
Industrie insgesamt	4,4	4,1	4,5

Abb. 1: Energie als Kostenfaktor, Anteil des Energieverbrauches in % am Produktionswert der Branchen in % (Quelle: 5)

Deutsche Statistiken zeigen ähnliche Ergebnisse.

Trotz dieses in vielen Branchen noch geringen Gewichtes der Energiekosten darf die Energie als Kostenfaktor heute nicht mehr vernachlässigt werden. Das Kostenrisiko der Energie besteht in der letzten Zeit starken Preisanstieg und wird durch unvermittelt auftretende Preissprünge (Heizöl, Erdgas) noch verstärkt, so daß Konkurrenz Nachteile im Energieverbrauch immer stärker ins Gewicht fallen und für Produkte mit hohem Energieanteil die Gefahr eines schrumpfenden Marktes besteht (6). Diese Tatsachen lassen eine intensivere Auseinandersetzung und Analyse der Energiekosten, als bisher in den meisten Betrieben üblich, durchaus sinnvoll erscheinen.

3. DIE PLANUNG DER ENERGIEKOSTEN

Jede Unternehmung benötigt zur Kontrolle der Wirtschaftlichkeit der Energieversorgung und zur Analyse der anfallenden Energiekosten eine geeignete Vergleichsbasis, um Möglichkeiten zur Beeinflussung dieser Kosten erkennen zu können. Da zwischenbetriebliche Energiekostenvergleiche ebenso wie die bloße Istkostenrechnung für diese Zwecke kaum aussagefähige Einblicke erlauben, erscheint es sinnvoll, die Plankostenrechnung auf Grund ihrer Zukunftsbezogenheit im Zusammenwirken mit der Istkostenrechnung als wirksames Hilfsmittel zur Kontrolle und Steuerung einer wirtschaftlichen Energieversorgung einzusetzen.

Die Problematik einer Plankostenrechnung liegt unter anderem auch in der "richtigen", d.h. weitgehend verursachungsgerechten Ermittlung der Plankosten, was gerade im Energiebereich eine nicht leicht zu lösende Aufgabe darstellt. Die Planung der Kosten erfolgt üblicherweise in zwei Hauptschritten:

- Nach der Einteilung in Kostenstellen, Auswahl der Bezugsgrößen und Bestimmung der Planbeschäftigung werden die Planpreise für die Produktionsfaktoren festgelegt
- Nach Bestimmung der Planmengen der Produktionsfaktoren auf Grund eines Mengengerüsts erhält man durch Multiplikation mit den Planpreisen die Plankosten

Plankosten ergeben sich also durch Multiplikation von Planmengen mit Planpreisen:

$$\text{Plankosten} = \text{Planmenge} \times \text{Planpreis}$$

bzw. für den Energiebereich:

$$\text{geplante Energiekosten} = \text{geplanter Energieeinsatz} \times \text{Planpreis}$$

$$\left(\frac{S}{\text{produzierte Einheit}}, \quad \left(\frac{\text{Energieeinheit}}{\text{prod.Einheit}}, \quad \left(\frac{S}{EE} \right) \right. \right. \\ \left. \left. \frac{S}{\text{Verbraucher u.Periode}} \right) \quad \frac{EE}{\text{Verbraucher u.Periode}} \right)$$

Während die Festlegung der Planpreise auf dem Energiesektor - auch für überschaubare Zeiträume - schon schwierig genug ist, bereitet die verursachungsgerechte Ermittlung der benötigten Planmengen des Produktionsfaktors Energie sowie die Auswahl geeigneter Bezugsgrößen nicht unerhebliche Schwierigkeiten. Energiekosten für Betriebe, Abteilungen oder gar Kostenstellen kann man nur dann "richtig" vorgeben und entstandene Abweichungen nur dann zielführend analysieren, wenn die Bedarfsstruktur der Energieversorgung bekannt ist. Hierzu bedarf es aber entsprechender energetischer Analysen und ausreichender Messungen.

3.1 DIE ERMITTLUNG DER PLANPREISE

Die Ermittlung der Planpreise ist wesentlich von zwei Faktoren beeinflusst:

- Zum ersten werden die Planpreise durch den Einkaufspreis der Energieträger am Markt bestimmt. Für die österreichischen Industriebetriebe hat sich der Preis für alle Energieinputs von 1964 bis 1980 in Jahresdurchschnitt nominell um 6,2 % erhöht, wobei Preissprünge 1973 bis 1975 und 1979 bis 1981 bis zu 33 % betragen. In den Preisentwicklungen der einzelnen Energieträger zeigen sich seit 1973 deutliche Unterschiede zwischen den Brennstoffen und Strom, obwohl im Falle einer starken Steigerung des Preises eines Energieträgers die Preise anderer Energieträger bald nachziehen. Eine deutliche Differenzierung der Preise ergibt sich auch nach Branchen und Regionen (7).

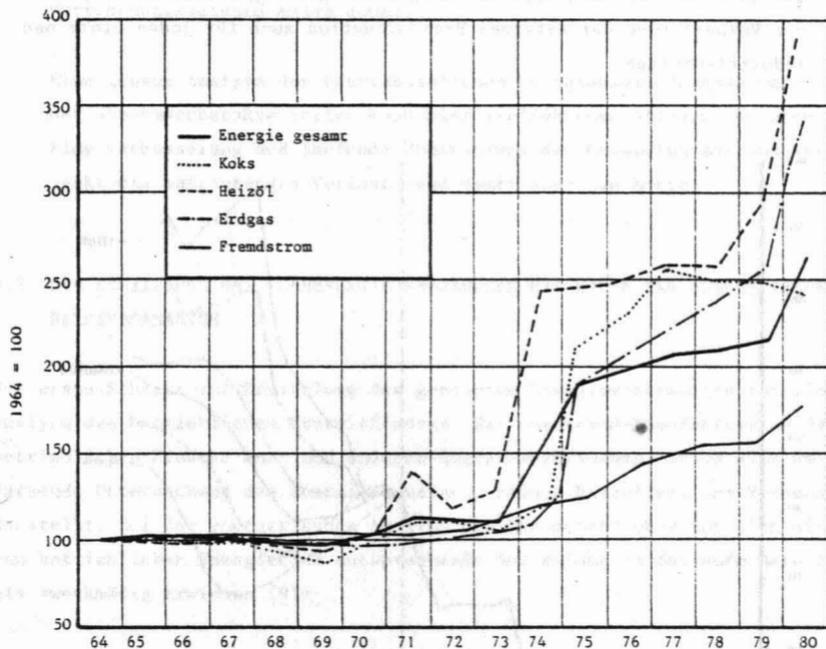


Abb. 2: Entwicklung der Energiepreise der Industrie nach Energieträgern (Quelle: 7)

Eine Prognose über die zukünftige Entwicklung der Energiepreise ist derzeit - vor allem langfristig - äußerst schwierig. So zeigen verschiedene Preisszenarien in Abhängigkeit von Wirtschaftswachstum, Erdölproduktion, technischen Randbedingungen und zufälligen politischen Einflüssen sehr breite Streubereiche auf, deren Eintreffen von verschiedensten Faktoren beeinflusst wird. Trotzdem kann gesagt werden, daß sich das Energieproblem für Industriebetriebe in Zukunft weniger als ein Mengenproblem (weltweit sinkender Erdölverbrauch) darstellen wird, sondern daß die Unternehmungsplanung vielmehr davon auszugehen hat, daß die Preise für den Energieträgerbezug auch künftig stärker steigen werden als das allgemeine Preisniveau.

Eine Überprüfung der Bezugsverträge leitungsgebundener sowie eine kostenoptimale Lagerhaltung speicherfähiger Energieträger sind Ansatzpunkte zur Verbesserung der externen Preissituation auch für jeden einzelnen Industriebetrieb.

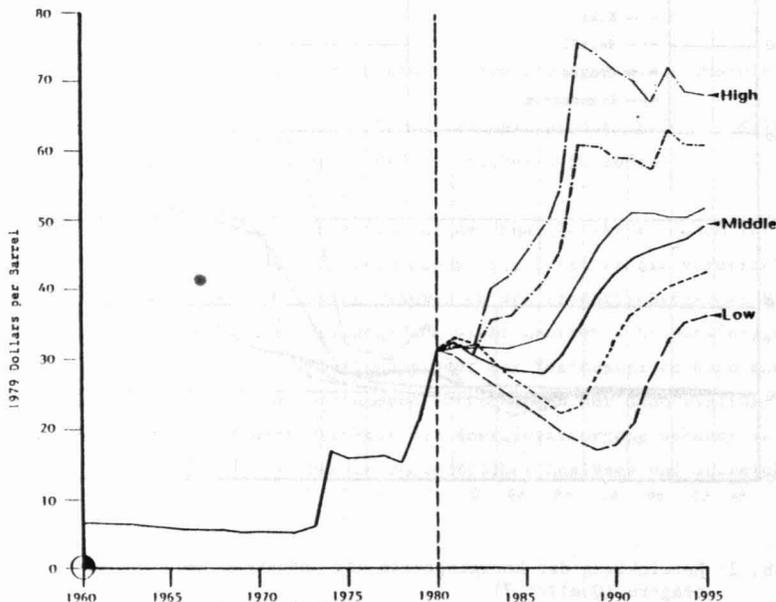


Abb. 3: Energiepreisszenarien (Quelle: 8)
(Alternative World Oil Prices, 1960 - 95)

- Zum zweiten müssen über die verrechnungstechnische Einrichtung von nach Energieträgern gegliederten Vorkostenstellen auch die Kosten für Umwandlungs- und Verteilungsanlagen, für Wartung, Betrieb, Lagerung sowie Personal etc. erfaßt, den externen Energieträgerpreisen überlagert und als geplante innerbetriebliche Energieverrechnungspreise entsprechend dem Verbrauch den einzelnen empfangenden Kostenstellen angelastet werden. Dabei können besonders die Verrechnung der auftretenden Verluste, die Festsetzung von Planverrechnungspreisen bei Kuppelprodukten (Kraft-Wärme-Kopplung), die Unterscheidung in leistungs- und arbeitsabhängige Kosten sowie die kostenrechnerische Behandlung von Ener-

gieströmen aus Wärmerückgewinnungsanlagen zu Diskussionen bzw. erhöhtem Verrechnungsaufwand Anlaß geben.

Eine genaue Analyse der betriebsinternen Energieumwandlungsanlagen und der Abnehmercharakteristika kann hier zielführende Aussagen bringen.

Eine Verbesserung und laufende Überwachung der Umwandlungswirkungsgrade senkt die auftretenden Verluste und damit auch die Kosten.

3.2 DIE ERMITTLUNG DES PLANENERGIEVERBRAUCHES MIT HILFE DER ENERGETISCHEN BETRIEBSANALYSE

Der erste Schritt zur Ermittlung des geplanten Energieverbrauches ist eine Analyse des betrieblichen Energieflusses, die ausgehend vom Istzustand der betrieblichen Produktions- und anderer Energieverbrauchsprozesse eine umfassende Untersuchung des Energieeinsatzes, seiner Verteilung und Verwendung darstellt. Bei der energetischen Analyse des Gesamtbetriebes hat sich eine dem betrieblichen Energiefluß entsprechende Aufteilung in folgende Bereiche als zweckmäßig erwiesen (9):

- Betriebsbereich Energieträgerbezug: Hierbei geht es um eine zeitliche und mengenmäßige Analyse des Energieträgereinsatzes, wie z.B. Heizöle, Kohle, Gas, Elektrischer Strom, Fernwärme, Wasser etc., um Fragen der Substitution einzelner Energieträger und Anpassungen an veränderte Bedarfsstrukturen, um die Überprüfung der tariflichen Situation bei leitungsgebundenen Energieträger etc. Es ist also die Frage zu klären, welche Energieträger in welcher Menge eingesetzt werden. Dieser Bereich ist in den meisten Industriebetrieben noch hinreichend genau untersucht.

- Betriebsbereich Energieumwandlung und -verteilung: Eine Analyse der betriebseigenen Umwandlungsanlagen, wie z.B. Kesselanlagen, Kraft-Wärme-Kopplung, Blockheizkraftwerke, Trafostationen, Anlagen zur Druckluft-erzeugung, Kältemaschinen u.ä. und eine Aufteilung der Energieströme nach Energieträgern für die einzelnen Verbrauchssektoren sowie eine Analyse der dabei auftretenden Umwandlungs- und Verteilungsverluste (Rauchgasverluste, Trafoverluste, Druckverluste, Leckverluste etc.) bringen weitere grundlegende Aussagen für die Kostenplanung. Es ist zu klären, welche Kosten bei der innerbetrieblichen Energieumwandlung und -verteilung anfallen.

- **Betriebsbereich Energienutzung:** Die nach der innerbetrieblichen Umwandlung zur Verfügung stehenden Energieträger werden dem Produktionsprozeß zugeführt und mit den dortigen Umwandlungsanlagen (Motoren, Öfen, Lampen, Wärmetauscher etc.) in entsprechende Nutzenergieformen, d.s. Wärme für Produktions- und Heizzwecke, mechanische Energie, chemisch gebundene Energie, Beleuchtung - in manchen Fällen spricht man auch noch von Nutzelektrizität -, umgewandelt. Es ist nun die Frage zu klären, welche Energieträger welchem Produktionsbereich in welcher Menge und zu welche Zweck zugeführt werden.
- **Restwärmebereich:** Ist die eingesetzte Energie im jeweiligen Verbrauchssektor für den entsprechenden Produktionszweck genutzt worden, liegt meist nur noch minderwertige und verteilt anfallende Restwärme, wie z.B. Abwärme aus Transmission, Lüftung, Kühlwasser oder Abwasser, vor, deren neuerliche Einsatzmöglichkeiten (Wärmerückgewinnung, Verkauf an Dritte) zu prüfen sind, ehe die Energie den Betrieb wieder verläßt.

Solche Analysen sind zwar für die Kostenplanung direkt nicht anwendbar, bringen aber wertvolle Rationalisierungsansätze, die sich letztlich auf die gesamte Energiekostensituation positiv auswirken können. Vor der Untersuchung von Energieeinsparungsmöglichkeiten in diesem Bereich ist jedoch eine eingehende Untersuchung der vorgelagerten Bereiche zur Vermeidung von Fehlschlüssen erforderlich.

Ein hervorragendes Hilfsmittel zur Darstellung dieses betrieblichen Energieflusses sind graphisch konzipierte Energieflußbilder in der Art von Sankey-Diagrammen, die in übersichtlicher und einprägsamer Weise Herkunft, Einsatzbereich und Verbleib der verwendeten Energieträger durch zueinander proportionale Strombreiten kennzeichnen. Je nach vorhandenen Aufschreibungen und Messungen sowie nach dem verfolgten Zweck können solche Energieflußbilder für den Gesamtbetrieb, für einzelne Fertigungsbereiche bzw. Produktionsprozesse gegliedert nach Energieträgern und/oder Nutzenergieformen dargestellt werden und detaillierte Aufschlüsse über Zusammenhänge im innerbetrieblichen Energiefluß aufzeigen. Zur Abbildung der verschiedenen Energieträger in einem Mengenstrom müssen diese entsprechend ihren Wärmeäquivalenten auf gleiche physikalische Energieeinheiten (z.B. MWh/Jahr, GJ/Jahr) umgerechnet werden.

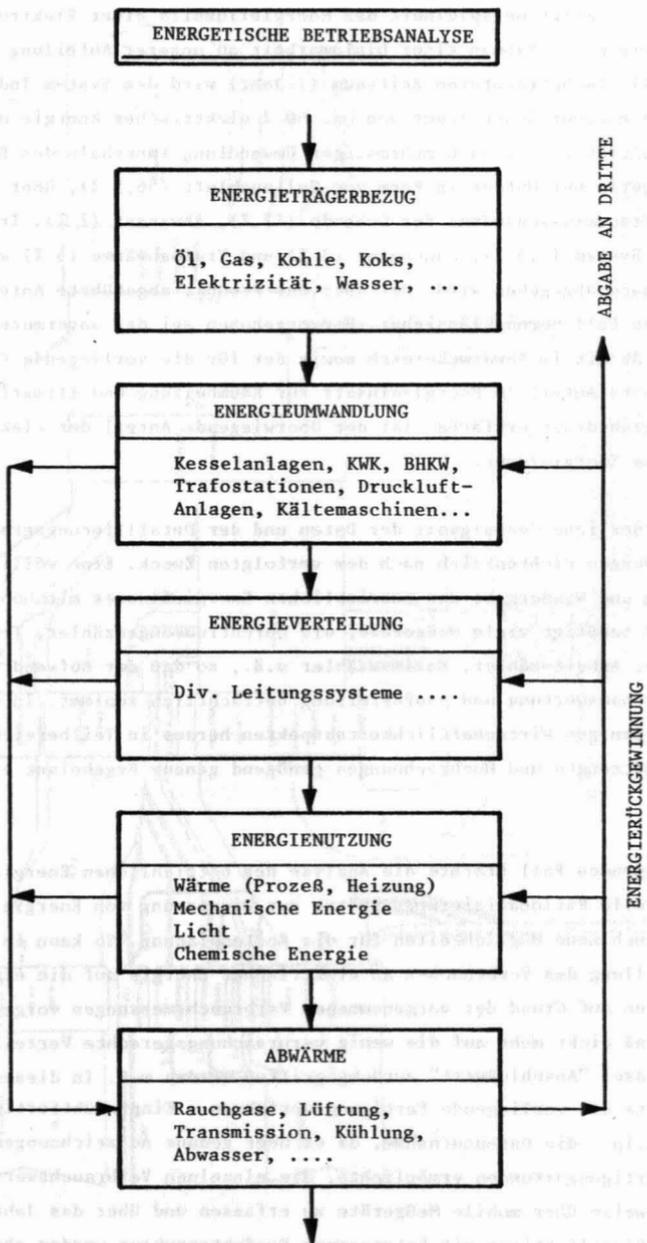


Abb. 4: Der betriebliche Energiefluß (Quelle: 10)

Abbildung 5 zeigt beispielhaft das Energieflußbild einer Elektronikteile-Fabrik, wie es im Rahmen einer Diplomarbeit an unserer Abteilung erstellt wurde (11). Im betrachteten Zeitraum (1 Jahr) wird dem System Industriebetrieb ein energetischer Input von ca. 60 % elektrischer Energie und 40 % Erdgas zugeführt, der nach mehrmaliger Umwandlung innerhalb des Betriebes als energetischer Output in Form von Hallenabluf (56,5 %), über Kühltürme (15 %), Transmissionswärme der Gebäude (12 %), Abwasser (7 %), Transportverluste im System (3,5 %), Rauchgase (3 %) und Trafoabwärme (3 %) wieder an die Umgebung abgegeben wird. Der über das Produkt abgeführte Anteil ist im speziellen Fall vernachlässigbar. Hervorgehoben sei der unvermutet große Anteil der Abluft im Abwärmebereich sowie der für die vorliegende Fertigung relativ hohe Anteil am Energieeinsatz zur Raumheizung und Klimatisierung. Technologiebedingt erklärbar ist der überwiegende Anteil der elektrischen Energie am Energieinput.

Die erforderliche Genauigkeit der Daten und der Detaillierungsgrad solcher Untersuchungen richten sich nach dem verfolgten Zweck. Eine völlig exakte Erfassung und Wiedergabe des betrieblichen Energieflusses mit hohem Detaillierungsgrad benötigt viele Meßgeräte, wie Durchflußmengenähler, Temperaturmeßgeräte, Arbeitszähler, Maximumzähler u.ä., so daß der Aufwand für Messungen sowie Datenauswertung und -aufbereitung beträchtlich zunimmt. In vielen Fällen wird man aus Wirtschaftlichkeitsaspekten heraus in Teilbereichen jedoch mit Abschätzungen und Hochrechnungen genügend genaue Ergebnisse erzielen können.

Im vorliegenden Fall brachte die Analyse des betrieblichen Energieflusses nicht nur wertvolle Rationalisierungsansätze zur Einsparung von Energie, sondern brachte auch neue Möglichkeiten für die Kostenplanung. So kann in Zukunft die Aufteilung des Verbrauches an elektrischer Energie auf die einzelnen Kostenstellen auf Grund der vorgenommenen Verbrauchsmessungen vorgenommen werden, so daß nicht mehr auf die wenig verursachungsgerechte Verteilung über den Schlüssel "Anschlußwert" zurückgegriffen werden muß. In diesem Punkt begünstigte das vorliegende Fertigungsverfahren - Einproduktfertigung im Fließprinzip - die Datenaufnahme, da es über genaue Aufzeichnungen der monatlichen Fertigungsstunden ermöglichte, die einzelnen Verbrauchswerte stunden- oder tageweise über mobile Meßgeräte zu erfassen und über das Jahr hochzurechnen. Einzelfertiger mit heterogener Produktstruktur werden aber nur über den Einbau stationärer Meßgeräte zumindest für die wichtigsten Verbraucher oder Verbrauchergruppen zu aussagefähigen Ergebnissen kommen.

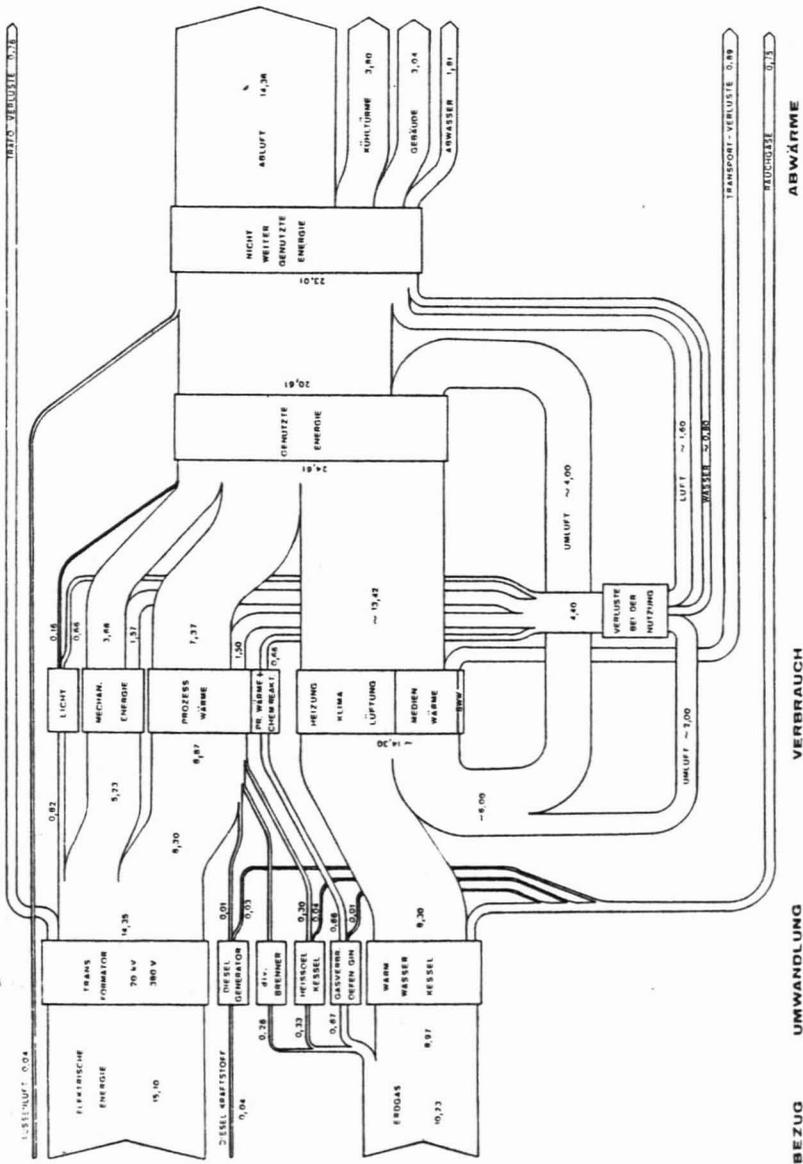


Abb. 5: Energieflußbild einer Elektronik-Teile-Fabrik (Quelle: 11)

Im Rahmen der Förderung energiesparender Maßnahmen durch den Bund werden für die Anschaffung von Meßgeräten zur Erfassung des innerbetrieblichen Energieflusses Investitionszuschüsse gewährt, sofern der Bewerber einen Energiebeauftragten namhaft macht und der jährliche Energieverbrauch der Unternehmung über 50 Terajoule, d.s. $50 \cdot 10^{12}$ J (= 1200 t Öl) liegt.

Neben der besprochenen Darstellung der Energiemengenströme können in gleicher Weise - zumindest bis in den Bereich der Energienutzung - auch die Energiekostenströme anschaulich aufgezeigt werden. Die Abbildung von Energieeinsatz und -verwendung in Form von Tabellen und Energiemengenbilanzen nach dem Muster von Betriebsabrechnungsbögen ist als Grundlage für die Energiekostenplanung ebenso geeignet.

Ein weiterer Schritt zur Ermittlung des geplanten Energieverbrauches ist die sogenannte energetische Makroanalyse eines Industriebetriebes. Diese befaßt sich mit der zeitlichen Entwicklung und den Abhängigkeiten des gesamtbetrieblichen Energie- und Leistungsbedarfes. Basis der Makroanalyse sind Aufzeichnungen über den Energieverbrauch (Tages-, Monats-, Jahreswerte) und bei leistungsgebundenen Energieträgern auch über den Leistungsverlauf (12).

Ebenso sind entsprechende Daten aus der Produktion zu erfassen, die wohl eine der wichtigsten und jene für die Kostenplanung einzig geeignete Einflußgröße für den Energieverbrauch darstellt. Den stochastischen Zusammenhang zwischen Energieverbrauch E und Fertigung F kann man meist mit einer linearen Gleichung in Form

$$E = E_0 + e_F \cdot F$$

angeben, deren Koeffizienten E_0 (fertigungsabhängigen Anteil des Energieverbrauches, d.h. jener Anteil, der zur Aufrechterhaltung der Betriebsbereitschaft erforderlich ist) und e_F (fertigungsabhängiger Anteil des Energieverbrauches) sich durch eine Regressionsrechnung ermitteln lassen. Diese Gleichung basiert auf zwei Annahmen:

- Der Energieverbrauch setzt sich zusammen aus einem fertigungsunabhängigen (fixen) und einem fertigungsabhängigen (variablen) Anteil, was aus dem üblichen Betriebsgeschehen heraus jedoch erklärbar erscheint, und
- der Zusammenhang mit der Produktion ist mit guter Näherung linear. Diese Forderung kann für die im praktischen Betrieb auftretende Schwankungsbreite der gewählten Produktionsgröße durchaus unterstellt werden.

Wesentliches Kriterium bei der Bestimmung des Zusammenhanges zwischen Energieverbrauch und Fertigung ist die Festsetzung einer geeigneten Kenngröße für die Produktion, die in kausalem Zusammenhang mit dem Energieverbrauch steht und einen dominierenden Einfluß ausübt. Dies können z.B. produzierte Stückzahlen, Tonnen, Produktionsstunden, bearbeitete m^2 oder Laufmeter u.ä. sein, wobei auch hier Betriebe mit Serienfertigung von einigen wenigen Produkten solche Bezugsgrößen wesentlich einfacher finden können. Bei heterogener Produktstruktur erleichtert eine Gliederung des Gesamtbetriebes in Energieverbrauchsbezirke mit weitgehend homogener Struktur analog der üblichen Einteilung in Kostenstellen das Festlegen entsprechender Bezugsgrößen, vermehrt allerdings den Meß- und Auswertungsaufwand. Allerdings sind Fertigung und Produktionsprogramm in der Regel nicht die einzigen Einflußgrößen. Besonders die Außentemperatur kann den Energieverbrauch für wärmetechnische Produktionsprozesse erheblich beeinflussen, und Veränderungen der Produktionstechnologie im Beobachtungszeitraum können zu einem nur scheinbaren Verlauf der Regressionskurve führen. Der Einfluß zweier oder mehrerer Größen auf den Energieverbrauch kann mathematisch durch eine Zwei- oder Mehrfachregression quantifiziert werden. Eine statistische Kennziffer für die Güte des Zusammenhanges ist der Korrelationskoeffizient r bzw. das Bestimmtheitsmaß $B = r^2$, das angibt, wieviel % der Änderung des Energieverbrauches aus der Höhe der Produktion erklärbar sind und wieviel % durch andere, unkontrollierte Einflußgrößen verursacht werden. Zur Bestimmung von Vorgabewerten für den Energieverbrauch in der Produktion sollte die Anzahl der Ausgangsdaten mindestens 30 sein und der Korrelationskoeffizient über 0,75, besser über 0,8, liegen.

Ein praktisches Beispiel für die erfolgreiche Anwendung einer solchen Verbrauchsgleichung zur Vorgabe von Sollverbrauchswerten bietet eine steirische Kartonfabrik. Dort wird der tägliche Gesamtenergieverbrauch der Fabrik gemessen und mit dem Produktionsausstoß in Beziehung gesetzt. Der Vergleich der so ermittelten Kenngröße mit dem durch Regressionsanalysen errechneten Sollwert ermöglicht eine laufende Kontrolle des Energieverbrauches und somit auch der Energiekosten. (13)

Die zuvor beschriebene allgemeine Verbrauchsgleichung $E = E_0 + e_F \cdot F$ kann aber auch speziell auf verschiedene Arten von Energieträgern oder Nutzenergieformen bezogen werden (14). So ergibt sich beispielsweise die Möglichkeit, den Verbrauch von elektrischer Energie zur Erzeugung von mechanischer Arbeit für Produktionszwecke oder den Verbrauch von Produktionswärme in Abhängigkeit von

entsprechenden Produktionskenngrößen, aber auch den Verbrauch von elektrischer Energie für Beleuchtungszwecke in Abhängigkeit von jahreszeitlich bedingten Dunkelstunden oder den Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der Außentemperatur nach Aufnahme geeigneter Daten zu bestimmen und zu kontrollieren. Bei der Planung des Energieverbrauches für Heizzwecke ist der Verlauf der Außentemperatur zwar nicht vorhersehbar, aber ausgehend von einer dem langjährigen Durchschnitt entsprechenden Heizperiode können auch Planwerte ermittelt und auftretende Abweichungen durch Vergleich mit dem tatsächlichen Außentemperaturverlauf auf ihre Zulässigkeit hin überprüft werden.

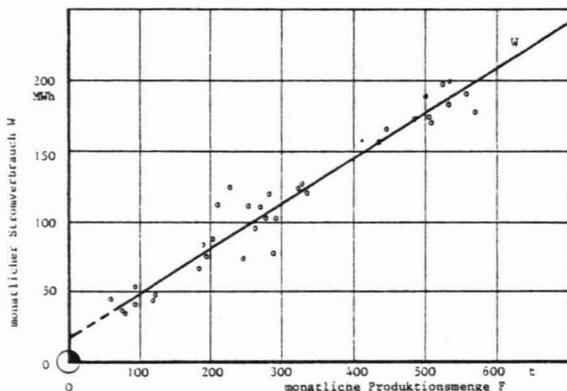


Abb. 6: Stromverbrauch in Abhängigkeit von der Produktionsmenge (Quelle: 15)

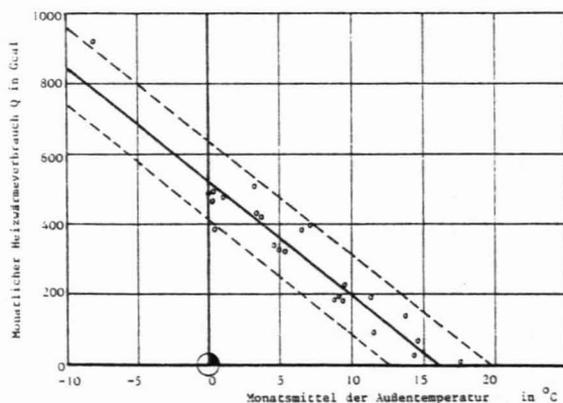


Abb. 7: Wärmeverbrauch für die Raumheizung in Abhängigkeit von der Außentemperatur (Quelle: 16)

Die energetische Mikroanalyse untersucht hingegen das Betriebsverhalten einzelner Maschinen und Anlagen hinsichtlich ihres Energie- und Leistungsbedarfes, der durch eine Reihe von Einflußfaktoren, wie technischer Zustand der Anlage, Betriebszustände, Lastgrad, zeitlicher Ablauf des Einsatzes, Art der Bedienung u.ä. bestimmt sein kann. Untersuchungen dieser Art sind für die Kostenplanung weniger von Bedeutung, vielmehr können daraus wichtige Erkenntnisse über Rationalisierungsansätze, energetische Verfahrensvergleiche und Optimierungen gewonnen werden.

4. SCHLUSSBETRACHTUNG

Zur Planung und Überwachung des innerbetrieblichen Energieflusses (Planenergieverbrauch) ist die genaue Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Produktion, Umwelteinflüssen, Umwandlungserfordernissen, Nutzenergieverbrauch und anderen möglichen Einflußfaktoren notwendig. Voraussetzung dafür ist eine ausreichende energetische Betriebsanalyse, die Erstellung von Energiebilanzen und Energieflußbildern sowie die Ermittlung geeigneter Energieverbrauchskennzahlen. Eine zweckmäßige meßtechnische Erfassung und sinnvolle Auswertung energetischer Betriebsdaten bildet dabei die Grundlage. Das kann ständig oder in gewissen Zeitabständen geschehen. Der technische und personelle Aufwand muß dabei allerdings in einem angemessenen Verhältnis zum erzielbaren Nutzen stehen. Dabei darf aber ein psychologischer Aspekt nicht übersehen werden, nämlich daß allein schon der Zwang zur Registrierung energetischer Verbrauchsdaten bei den Verantwortlichen eine "Motivation" zum sparsamen Einsatz von Energie erzeugen wird. Nach Erstellung von entsprechenden mathematischen Modellen zur Datenauswertung ist in Abstimmung mit anderen betrieblichen Teilplänen wie Absatz-, Produktions- und Investitionsplan, die Vorgabe von Sollwerten für den Energieverbrauch innerhalb gewisser Toleranzgrenzen möglich. Eine solche Festlegung von Planwerten mit Vorgabecharakter trägt ebenso wesentlich zur Senkung der Energiekosten bei wie regelmäßige und gezielte Information der für den Energieeinsatz verantwortlichen Betriebsabteilungen über ihre Verbrauchswerte.

Die aufgezeigten Risiken für eine störungsfreie und kostengünstige Energieversorgung von Industriebetrieben erfordern auch Konsequenzen auf dem Gebiet der Energiekostenplanung und -kontrolle. Eine ausreichende meßtechnische Erfassung der einzelnen Energieverbraucher und ein an die Bedürfnisse der Ener-

gieversorgung angepaßtes Kostenrechnungssystem mit Vorkostenstellen und weitgehend verursachungs- und verantwortungsgerechter Verteilung der Energiekosten bilden die Grundlage für die Beurteilung der Gesamtkosten der Energiebedarfsdeckung sowie für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von energiesparenden Rationalisierungsmaßnahmen. Betriebliches Energiemanagement darf sich nicht in aperiodischen, punktuellen Einzelmaßnahmen erschöpfen, sondern stellt eine kontinuierliche Aufgabe der Unternehmungsführung dar. Dies bedeutet auch laufende Planung, Steuerung und Kontrolle des betrieblichen Energieflusses und der Energiekosten in einer Art Energie-Controlling nach dem Muster der im betriebswirtschaftlichen Bereich erfolgreich angewendeten Funktion mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand.

LITERATURANGABEN

- (1) Baumberger, Heinz: Die Energieversorgung im Betrieb - Risiken und Bewältigungsmöglichkeiten, Vortrag anläßlich Bossard Seminar: Die Bedeutung der Materialwirtschaft für die Unternehmensstrategie der 90er Jahre, Zug 1981, S. 65
- (2) Fankhauser, Klaus: Kann die Industrie der Energieproblematik der Zukunft Herr werden? in: Journal für Betriebswirtschaft 40(1980)4, S. 218 ff.
- (3) Mueller, Herbert, F.: Energie - Ware und Markt, Gräfelfing 1970, S. 51
- (4) Kern, Werner: Aktuelle Anforderungen an die industriebetriebliche Energiewirtschaft, in: DBW 41(1981)1, S. 6 f.
- (5) Bayer, Kurt: Energieverbrauch und Einsparungsmöglichkeiten in der Industrie, 1. Teil, in: WIFO-Monatsberichte 1/1982, S. 40
- (6) Baumberger, Heinz: a.a.O., S. 65 f.
- (7) Bayer, Kurt: a.a.O., S. 37 ff.
- (8) Hrsg.: Department of Energy, USA: Annual Report 1980