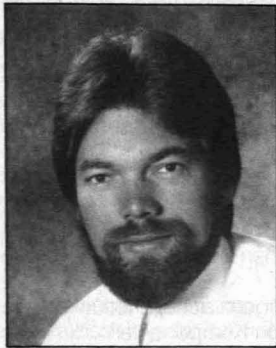




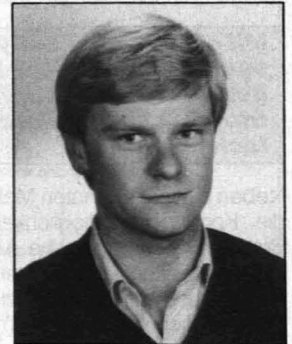
Kostenoptimale Energiebereitstellung mittels EDV



Andreas EDER, Dipl.-Ing., Jahrgang 1956, WIV, Studium Wirtschaftsingenieurwesen für Maschinenbau an der TU-Graz, seit 1984 für die BMW-Motoren Ges.m.b.H. in diversen Projekten tätig.

Werner ADELBERGER, Dipl.-Ing., WIV, Jahrgang 1957, Studium Wirtschaftsingenieurwesen für Maschinenbau an der TU-Graz, seit 1982 für BMW in München und Steyr tätig.

Schwerpunkt der bisherigen gemeinsamen freiberuflichen Arbeit: Konzeption und Realisierung von Simulations- und Optimierungsprogrammen für Fließfertigungssysteme bzw. für die Energiebereitstellung; Systemanalyse, Projektplanung und -abwicklung auf den Gebieten der Energietechnik sowie integrierter Informations- und Leitsysteme im Fertigungs- und Montagebereich.



Die BMW-Motoren Ges.m.b.H. Steyr optimiert den Betrieb ihres Blockheizkraftwerkes mit Hilfe eines eigens dafür entwickelten Computerprogrammes. In einem ersten Schritt wird simulativ für den zugrundegelegten Jahresbedarf des Werkes an Strom und Wärme die kostengünstigste Höhe der maximal zu beziehenden Spitzenlast für Gas und Strom ermittelt. Darauf aufbauend liefert der Rechner Betriebsvorschläge zur optimalen Bereitstellung des tatsächlichen aktuellen Energiebedarfes. Der Einsatz des Programmes erbrachte bereits im ersten Jahr realisierte Kosteneinsparungen in Millionenhöhe.

1. Einleitung

● Das BHKW der BMW-Motoren Ges.m.b.H.

Die bei der BMW-Motoren Ges.m.b.H. installierte Kraft-Wärme-Kopplung besteht aus 5 Gasmotoren, die insgesamt 5 MW elektrische Leistung, 4,5 MW Hochtemperaturwärme aus dem Abgas und 3 MW Niedertemperaturwärme aus dem Kühlkreislauf liefern. Die Motorenanlage wird mit Erdgas betrieben. Zusätzlich sind 2 Heißwasserkessel zur Unterstützung der Kraft-Wärme-Kopplung vorhanden, die ggf. den gesamten Werksbedarf an Hochtemperaturwärme abdecken können. Die Kessel können sowohl mit Erdgas als auch mit extraleichtem Heizöl betrieben werden. Über einen Wärmetauscher kann Hoch-

temperaturwärme in Niedertemperaturwärme transferiert werden. Damit ist die Bereitstellung des Niedertemperaturwärmebedarfes auch ohne Kraft-Wärme-Kopplung sichergestellt.

Eventuell entstehender Überschuß an Niedertemperaturwärme wird über Kühltürme abgeführt (siehe Abb. 1).

● Problematik des BHKW-Betriebes

Der maximale Wirkungsgrad der Motorenanlage liegt bei 86 %.

Der hohe Wirkungsgrad von Kraft-Wärme-Kopplungen kann nur dann wirtschaftlich genutzt werden, wenn die produzierten Energiearten auch zur Gänze gebraucht werden. Dies ist durch den zwangsweisen Anfall von Strom und Wärme in einem bestimmten Verhältnis aufgrund der Koppel-

produktion nicht immer der Fall. Verschärft wird das zeitweise Auseinanderklaffen von Bereitstellung und Bedarf noch durch die Nutzung der Wärme in zwei getrennten Temperaturniveaus. Aufgrund der wirtschaftlichen Auswirkungen der Erzeugung von überschüssiger Energie kommt dem gezielten Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung hohe Bedeutung zu.

2. Optimierungsvorgang

(Abb. 2)

● Ausgangspunkt ist der Bedarf

Als Basis des Optimierungsvorganges dient der Jahresbedarf des Werkes an Strom, Hoch- und Niedertemperaturwärme. Der Bedarf selbst wird nicht optimiert, er muß jedoch in diskreten Leistungsklassen in Form von Dauerlinien vorliegen.

● Bezugs- und Bereitstellungsebene

Der Bedarf an Einsatzenergieträgern führt einerseits direkt zum Fremdbezug von Strom, andererseits indirekt zum Bezug von Erdgas und Heizöl als Brennstoff für die Heißwasserkessel und die Kraft-Wärme-Kopplung.

Innerhalb dieser Ebene liegen die Möglichkeiten der Beeinflussung der Bezugsstruktur durch gezielten Einsatz der Energieumwandlungsanlagen:

In Zeiten hohen Strombedarfes (während der Produktion) können Spitzen im Fremdbezug durch die Kraft-Wärme-Kopplung abgefangen werden. Der vermehrte Einsatz der KWK führt zu einem höheren Gasbezug, was in der kalten Jahreszeit die bezogene Spitzenlast Gas ungünstig beeinflusst. Diese Erhöhung der Spitzenlast Gas kann durch Umschalten eines der beiden Kessel auf Ölbetrieb kompensiert werden.

● Kostenebene

Die Ermittlung der Höhe der einzelnen Kostenarten, die aufgrund einer bestimmten Betriebsweise des Blockheizkraftwerkes anfallen, ist die Voraussetzung für die Formulierung des Optimierungszieles.

Folgende Kosten werden dabei berücksichtigt:

- Leistungskosten für Strom und Gas
- Arbeitskosten für Strom und Gas
- Brennstoffkosten für Heizöl
- Fixe Wartungskosten für Kessel und KWK

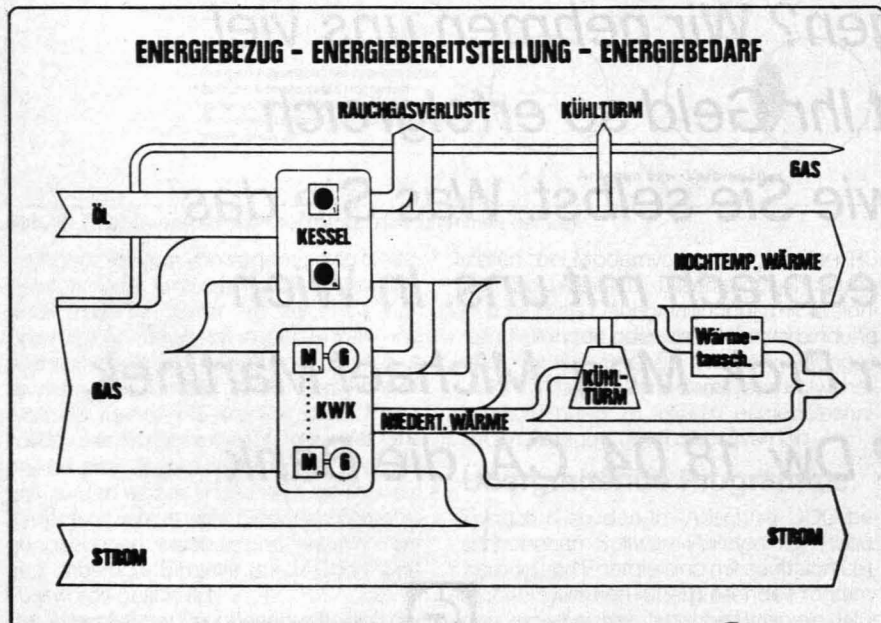


Abb. 1: Schematischer Energiefluß



— Betriebsabhängige Wartungskosten
Die fixen Kosten der bereits bestehenden Energieumwandlungsanlagen werden deshalb weiter nicht berücksichtigt, da sie für die Bestimmung der kostenoptimalen Betriebsweise nicht mehr entscheidungsrelevant sind.

● Optimierungsziel

Erst die Summe der einzelnen Kostenarten innerhalb des zur Berechnung der Leistungskosten notwendigen Zeitraumes (allg. ein Kalenderjahr) ermöglicht die Bewertung der Optimalität einer bestimmten Betriebsweise des BHKW.

3. Aufbau des Programmpaketes EBO

Das Programmpaket EBO (für Energiebereitstellungs-Optimierung) ist von seiner Konzeption her allgemein gehalten, wodurch ein Einsatz in anderen BHKW-Anlagen durchaus möglich ist.

EBO besteht aus mehreren Modulen, die über klar definierte Schnittstellen zusammenwirken. Der Anwender kann menügeführt die einzelnen Funktionen anwählen und damit arbeiten.

Aufgrund des in Punkt 2 skizzierten Optimierungsgedankens wurden folgende Einzelmodule entwickelt (siehe Abb. 3):

● Datenbasis

Die Datenbasis dient zur Abspeicherung aller jener Werte, die später zur weiteren Verarbeitung gebraucht werden. Das Modell

ermittelt seine Kenngrößen aus Vergangenheitswerten des Energiebedarfes nach statistischen Gesichtspunkten. Die Zuverlässigkeit dieser Daten hat wesentlichen Einfluss auf die Güte der Simulationsergebnisse.

— Energiedaten

Falls eine Aufbereitung der Bedarfsstruktur gewünscht wird, müssen die untersuchten Energiearten (Eigenstrom, Fremdstrom, Hoch- und Niedertemperaturwärme, Anteil Kessel an der Erzeugung Hochtemperaturwärme) als Viertelstundenwerte über einen Tag eingegeben werden.

Falls die Daten lediglich für die späteren Regressionsanalysen dienen sollen, genügt die Eingabe von Tagessummen des Energieverbrauches.

— Produktionsdaten

Für die Produktionstage unter den eingegebenen Tagen müssen zusätzlich die zugehörigen Produktionszahlen der einzelnen Fertigungslinien abgespeichert werden.

— Meteorologische Daten

Für sämtliche eingegebenen Tage wird die mittlere Außentemperatur mitabgespeichert. Für den Standort des BHKW müssen Werte des langjährigen meteorologischen Durchschnitts (Regeljahr) vorliegen.

● Aufbereitungsmodul

Die in der Datenbasis viertelstundenweise eingegebenen Energiewerte können unter

dem entsprechenden Tagesdatum in Form von Ganglinien und Dauerlinien abgerufen werden. Weiters ermittelt das Programm Kenngrößen, wie maximale, minimale und durchschnittliche Viertelstundenleistung.

● Regressionsanalysen

Aus den Werten der Datenbasis werden mit Hilfe der Gauß'schen Methode der kleinsten Fehlerquadrate Abhängigkeiten des Energiebedarfes von den Haupteinflussgrößen untersucht:

— Außentemperatur - Wärme

Die Abhängigkeit des Bedarfes wird für Hoch- und Niedertemperaturwärme separat für Produktionstage und produktionslose Tage (z.B. Wochenenden) errechnet. Berechnungsgrundlage sind Tagesarbeit und mittlere Tagesaußentemperatur.

Das Programm unterscheidet weiters zwischen einem temperaturabhängigen und einem temperaturunabhängigen Bedarfsbereich (ab einer bestimmten Grenze sinkt trotz steigender Außentemperatur der Wärmebedarf nicht weiter ab).

— Produktion - Strombedarf

Dem Strombedarf pro täglicher Arbeitszeit werden die Fertigungsstückzahlen gegenübergestellt. Je nach vorhandenen Produktionsdaten kann eine ein- bis 15-fache lineare Regression gewählt werden ($y = ax + by + cz + \dots$).

Für die spätere Hochrechnung werden die einzelnen Koeffizienten zum Bedarf

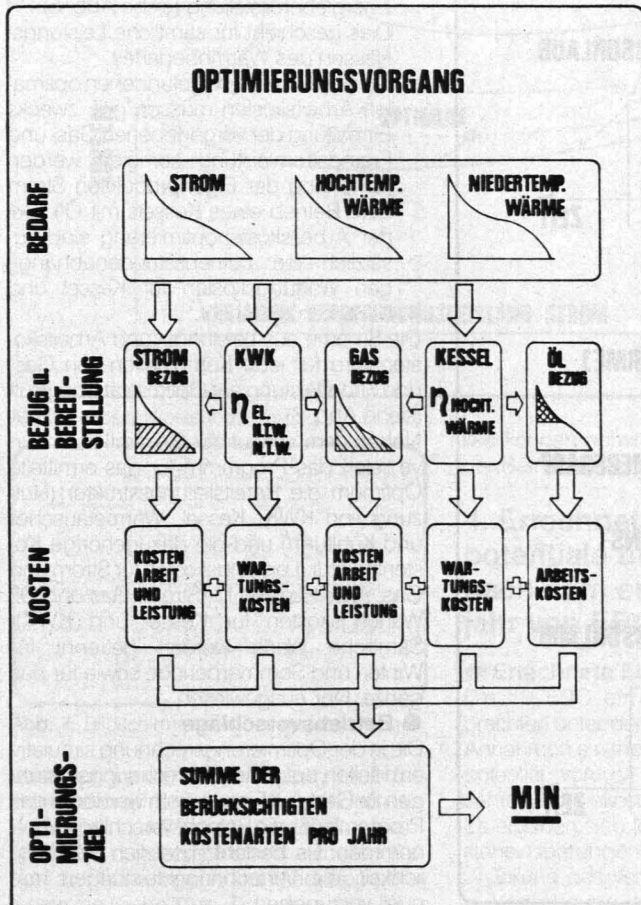


Abb. 2: Optimierungsvorgang

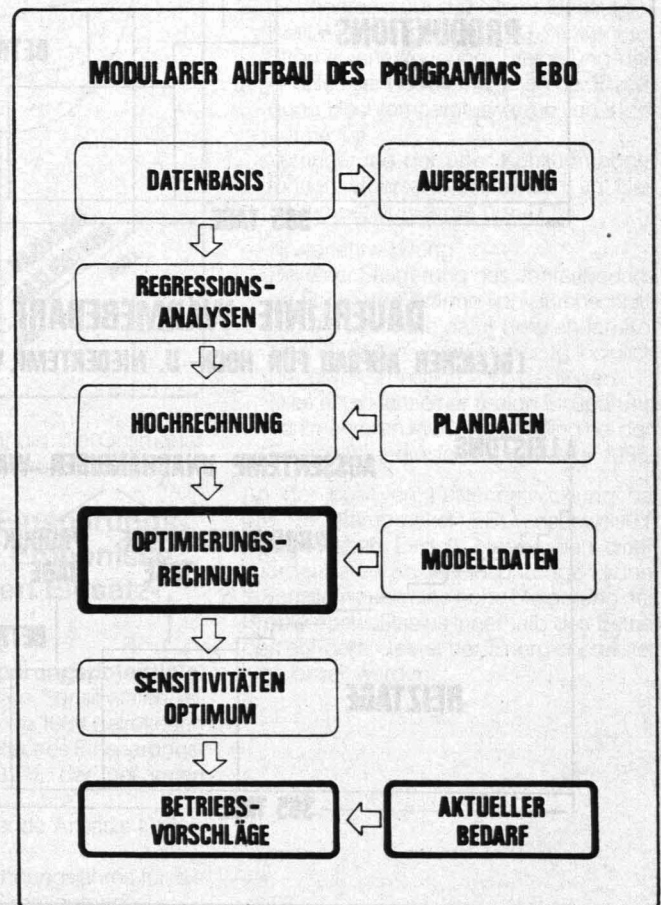


Abb. 3: Aufbau des Programmpaketes EBO

pro Motor zusammengesetzt ($y = mx$). Für die produktionslose Zeit an Produktionstagen und für produktionslose Tage wird jeweils der Mittelwert über die vorhandenen Daten gebildet.

● Hochrechnung des Jahresbedarfes

Mit den Ergebnissen aus den Regressionsanalysen und den meteorologischen Basisdaten (Regeljahr), ergänzt mit den Planungsdaten (Anzahl der Arbeitstage pro Jahr, Produktionsprogramm, Heizgrenztemperaturen), erfolgt die Hochrechnung des Jahresplanbedarfes des Werkes an Strom und Wärme (siehe Abb. 4).

Die strukturierte Hochrechnung des Jahresbedarfes in Form von Dauerlinien erfüllt mehrere Aufgaben:

- Unterstützung bei der Energieplanung (Bedarfsentwicklung, Einflüsse der Planungsdaten)
- Möglichkeit des SOLL-IST-Vergleiches durch fundierte Planbedarfswerte (Ab-

weichungskontrolle)

- Input für die Optimierungsrechnung

Der hohe Wirkungsgrad der KWK kann nur dann wirtschaftlich genutzt werden, wenn die produzierten Energiearten auch zur Gänze gebraucht werden.

● Modelldaten

Die modellhafte Charakterisierung des Blockheizkraftwerkes, die mathematische Formulierung der Energiebezugsverträge sowie die Berücksichtigung allgemeiner Randbedingungen (Bsp. Vorgaben zur Betriebsweise des BHKW) geht unmittelbar in die Optimierungsrechnung ein. Das Programm arbeitet mit ca. 50 Modelldaten. Anzahl und Lastbereich der Gasmotore und Kessel können frei gewählt werden. Sämtliche Wirkungsgradverläufe sind in Form von Potenzfunktionen abgebildet.

Die Charakterisierung der Energiebezugsverträge geht über die tatsächlichen Vertragsbedingungen hinaus und erlaubt somit ein Testen von denkbaren Verrechnungsvarianten hinsichtlich Kosteneinsparungen (z.B. geteiltes Verrechnungsjahr). Weiters können die Verrechnungsleistungen für Gas und Strom sowie verschiedene Betriebsweisen des BHKW vorgegeben werden (z.B. hochtemperaturorientierte Betriebsweise). Damit kann der IST-Betrieb modellhaft nachgebildet werden, was einerseits durch einen Vergleich mit dem tatsächlichen Verbrauch und den tatsächlichen Kosten eine Abschätzung der Güte der Simulation erlaubt, andererseits eine gleichwertige Basis für die Ermittlung der Einsparungspotentiale schafft.

● Optimierungsrechnung

Mit dem Jahresenergiebedarf aus der Hochrechnung und den Modelldaten erfolgt die Optimierungsrechnung. Sie besteht im wesentlichen aus zwei Vorgängen:

- Leistungsproblematik
Mittels einer Totalenumeration wird systematisch die Höhe der zugelassenen maximalen Fremdleistung für Gas und Strom variiert. Für jede Variation der Gasleistung werden sämtliche Variationen der Stromleistung durchlaufen.
- Arbeitskostenoptimierung
Innerhalb jedes Variationsschrittes von Gas- und Stromleistung erfolgt die Ermittlung des kostengünstigsten Anteiles der Kraft-Wärme-Kopplung an der Energiebereitstellung (siehe Abb. 5). Dies geschieht für sämtliche Leistungsklassen des Wärmebedarfes. Die auf diese Weise gefundenen optimalen Arbeitskosten müssen ggf. zwecks Einhaltung der vorgegebenen Gas- und Fremdstromleistung korrigiert werden (Erhöhung der Eigenproduktion Strom bzw. Betrieb eines Kessels mit Öl). Bei der Arbeitskostenoptimierung sind zusätzlich die betriebsstundenabhängigen Wartungskosten für Kessel und KWK berücksichtigt.

Die Summe aus Leistungs- und Arbeitskosten wird für jede Kombination von Gas- und Stromleistung auf Optimalität überprüft (siehe Abb. 6).

Neben dem Verlauf der Gesamtkostenkurve liefert das Programm für das ermittelte Optimum die Bereitstellungsstruktur (Nutzung von KWK, Kessel, Wärmetauscher und Kühlturm) und die dazugehörige Kostenstruktur (Leistungskosten für Strom und Gas, Arbeitskosten für Strom, Gas und Öl, Wartungskosten für Kessel und KWK). Sämtliche Werte werden getrennt für Winter- und Sommerperiode sowie für das ganze Jahr ausgewiesen.

● Betriebsvorschläge

Die in der Optimierungsrechnung simulativ ermittelten optimalen Verrechnungsleistungen für Gas und Fremdstrom werden in das Programm für die Betriebsvorschläge übernommen. Es besteht zusätzlich die Möglichkeit, die Verrechnungsleistungen manuell vorzugeben.

Unter Berücksichtigung der vorgegebenen

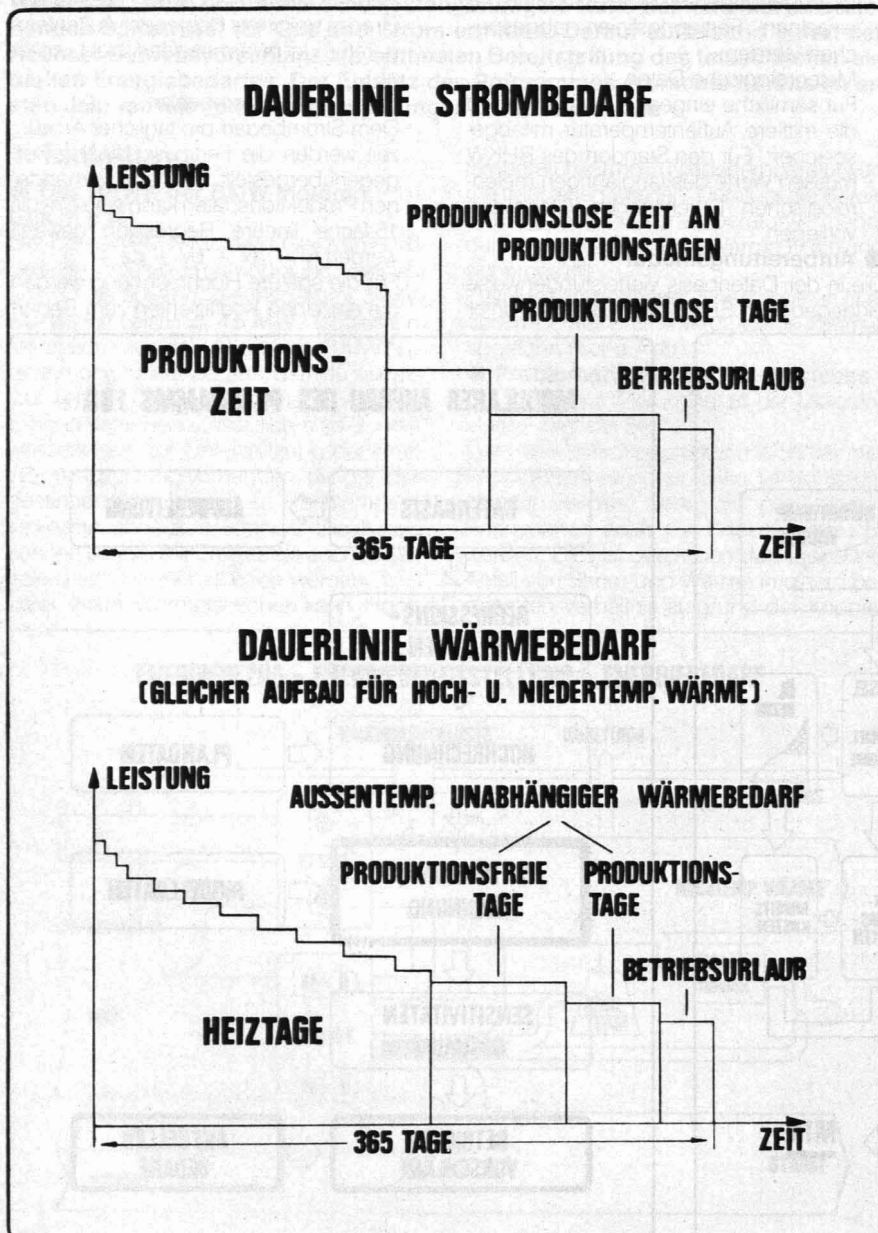


Abb. 4: Strukturierung Jahresbedarf

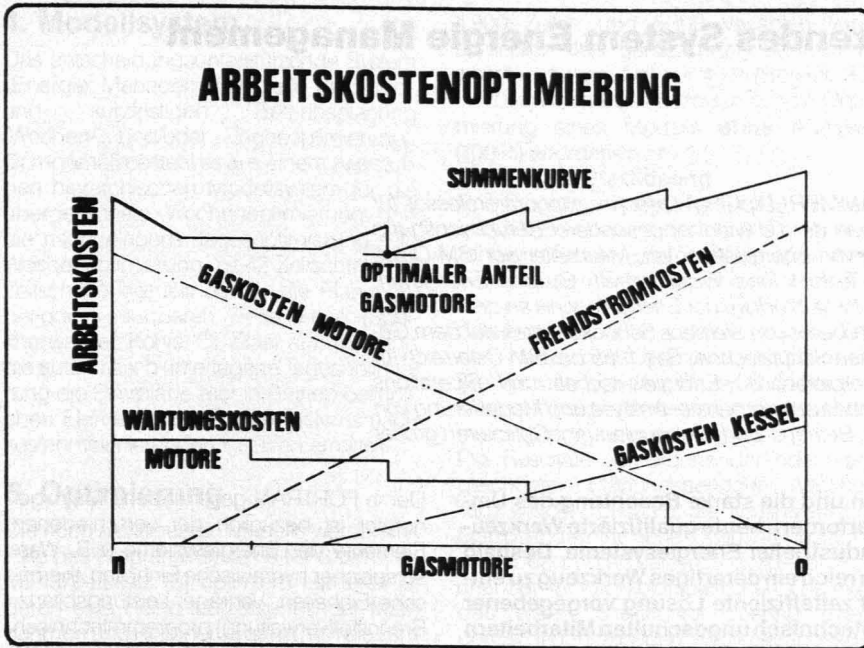


Abb. 5: Arbeitskostenoptimierung

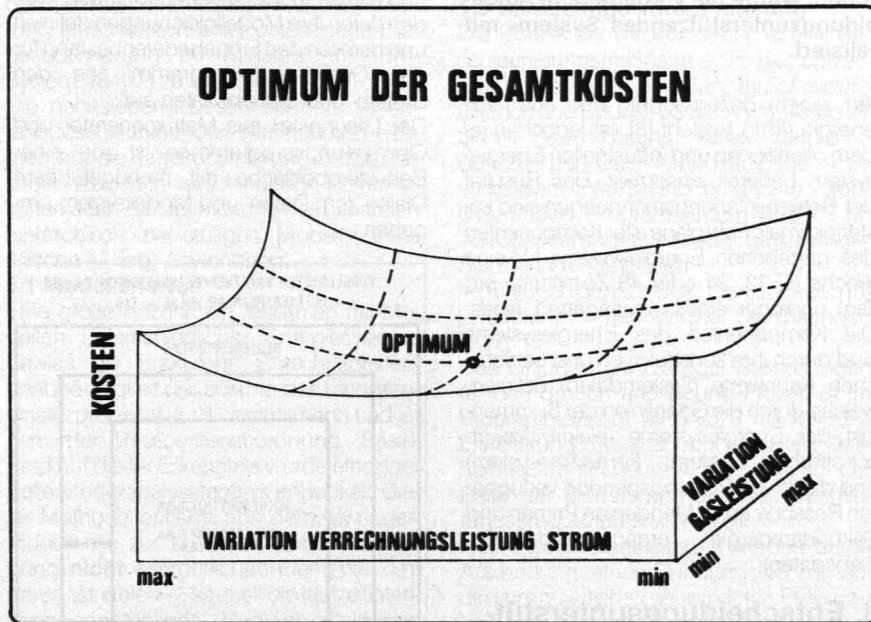


Abb. 6: Gesamtkostenoptimierung

BETRIEBSVORSCHLÄGE	
MAXIM. FREMDESTROMLEIST.: 6.000 MW	MAXIM. GASLEIST.: 2500 MW-H
1 ... BEGRIFF HT-LAGERHE (MW) 16.000	
2 ... BEGRIFF HT-LAGERHE (MW) 2.000	
3 ... BEGRIFF STROM (MW) 8.700	
DIPTE ZUMUFG: 48 GASSTROMT., MITT. 1.010 % LEISTET	
ENTSPRICHT: 4.000 MW STROMGENERAZ. 4.700 MW FREMDESTROM	
12.500 MW HT-LAGERHE MIT KESSEL	
8.400 MW HT-LAGERHE ÜBER LAGERHETAUSCHER	
BEDARFSERHEBUNG (T. 2.3) NEUE PRODUKTE (P. 1 ENER. 1E.)	

Abb. 7: Bildschirmmaske Betriebsvorschläge

Leistungsgrenzen für den Bezug liefern die Betriebsvorschläge die kostenoptimale Kombination der Energiebereitstellungsanlagen für den tatsächlichen aktuellen Bedarf an Strom, Hoch- und Niedertemperaturwärme (siehe Abb. 7). Die Betriebswärter des Blockheizkraftwer-

kes können somit ständig die Optimalität der Betriebsweise überprüfen.

4. Errechnete Einsparungspotentiale und Ergebnisse nach dem ersten Einsatzjahr von EBO

- **Errechnete Einsparungspotentiale**
Die mit EBO ermittelten Sensitivitäten erbrachten unter den Ende 1984 getroffenen Annahmen ein theoretisches Einsparungspotential von ca. 10 % der gesamten Jahresenergiekosten. Es ergaben sich folgende Ansätze für Kosteneinsparungen:
 - Teilung des Verrechnungsjahres für die Verrechnung der Stromleistung
 - Optimierung der Verrechnungsleistung

- Fremdstrom (besonders wirksam bei geteiltem Verrechnungsjahr)
- Ändern der bisherigen Betriebsweise des BHKW auf gezielten Einsatz der Motorenanlage (Abfangen von Stromspitzen, ansonsten Vermeiden von Wärmeüberschuß, Vollastbetrieb)
- Mehr Augenmerk auf das Erreichen der möglichen Wirkungsgrade für Kessel und Kraft-Wärme-Kopplung

Neben den Kosteneinsparungen konnte durch EBO vor allem eine Steigerung des Energiebewußtseins innerhalb des Betriebes erzielt werden.

- **Ergebnisse nach dem ersten Einsatzjahr von EBO**
Nach dem ersten Einsatzjahr von EBO sind bereits wesentliche Veränderungen in der Bezugs- und Bereitstellungsstruktur sowie auf der Kostenseite ersichtlich. Die folgenden Zahlenwerte beruhen auf dem Vergleich der Jahre 1984 (ohne EBO) und 1985 (mit EBO). Kostenüberlegungen basieren auf dem Preisniveau 1985.

- **Energiebezugsstruktur**
Der Fremdstrombezug erhöhte sich um 19 %, der Erdgasbezug sank um 2 %. Die Ursache liegt in einem verminderten KWK-Betrieb.
- **Energiebereitstellungsstruktur**
Geringerer, dafür gezielterer Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung (10 % weniger Stromeigenerzeugung, Steigerung des Anteiles der Kesselanlage an der Erzeugung Hochtemperaturwärme von 31 % auf 54 %). Verringerung der über Kühlturm abgeführten Überschußproduktion an Niedertemperaturwärme um 47 %.
- **Kostenentwicklung**
Bei einer Steigerung des Jahresbedarfs an Strom und Wärme von durchschnittlich 9 % sind die dafür anfallenden Kosten für Strom- und Gasbezug lediglich um durchschnittlich 2 % gestiegen. Dies entspricht einer realen Einsparung von mehreren Millionen Schilling bei den Energieträgerkosten für das Jahr 1985.

An der positiven Kostenentwicklung hat das Programmpaket EBO nachweislich maßgeblichen Einfluß. Neben den direkt zuordenbaren Kosteneinsparungen konnte vor allem auch eine hohe Steigerung des Problembewußtseins innerhalb des Betriebes auf dem Gebiet der Energiebereitstellung erzielt werden.

