



# Entscheidungsunterstützendes System Energie Management



Peter G. HARHAMMER, Dipl.-Ing. Dr.techn., Honorarprofessor für Energiewirtschaft an der TU-Wien mit besonderer Berücksichtigung der Modellierung von Energiesystemen, Mitarbeiter der IBM Österreich, Abteilung Technik und Wissenschaft, Gruppe Energiewirtschaft, Jahrgang 1934, Studium der Energietechnik an der TU-Wien, 1959 — 1964 Mitarbeiter von Siemens Schuckert Wien auf dem Gebiet der elektrischen Schutztechnik. Seit 1965 bei IBM Österreich im Bereich der Energietechnik, Energiewirtschaft und Operations Research tätig. Arbeitsschwerpunkte: Analyse und Modellierung von Energiesystemen, Betriebs- und Ausbauplanung, Optimieren großer Probleme.

Die energiewirtschaftliche Gesamtsituation und die starke Beachtung des Umweltschutzgedankens in der Öffentlichkeit erfordern heute qualifizierte Werkzeuge zur Betriebsplanung öffentlicher und industrieller Energiesysteme. Deshalb entschlossen sich STEWEAG und IBM Österreich ein derartiges Werkzeug zu entwickeln. Dieses mußte nicht nur eine CPU zeiteffiziente Lösung vorgegebener Güte sicherstellen, sondern auch von datentechnisch ungeschulten Mitarbeitern in Fachabteilungen (z.B. Lastverteilung) einfach bedienbar sein. Um diesen beiden Anforderungen qualifiziert zu entsprechen, wurde die vorgegebene Aufgabenstellung datentechnisch als »Entscheidungsunterstützendes System« mit Dialog-, Daten- und Modellkomponente realisiert.

## 1. Einleitung

Das entscheidungsunterstützende System »Energie Management« [1] ist auf einzelne und/oder kombinierte Energiesysteme (elektrizitätswirtschaftliche Systeme, Fernwärmesysteme und Kombinationen) anwendbar, um deren Betrieb für eine Woche und/oder einen Tag im voraus wirtschaftlich zu planen.

Drei Hauptziele waren bei dieser Gemeinschaftsentwicklung zu beachten:

- Richtiges Modellieren des hoch nicht-linearen Energiesystems bezüglich praxisakzeptabler Ergebnisse
- Rechenzeitbeschleunigende Optimierungsmethoden
- Anwenderfreundliche Benutzeroberfläche

Dieses entscheidungsunterstützende System — datentechnisch aus Dialog-, Daten- und Modellkomponente bestehend — geht von einer kostenminimierenden Zielfunktion (Kosten für Brennstoff und Anfahrvorgänge thermischer Einheiten sowie für Fremdbezug an Energie) im Modellsystem aus. Diese Zielvorstellung kommt im allgemeinen einer Brennstoffminimierung gleich, womit sich auch die Emissionen der Dampfblöcke verringern; dies kann als Beitrag zum Umweltschutz verstanden werden [2].

## 2. Definition der Aufgabenstellung

Das entscheidungsunterstützende System »Energie Management« wurde zwar auf der Basis des elektrizitätswirtschaftlichen Systems der STEWEAG entwickelt, welches aus fünf Speicherkraftwerken, vier Schwellwerken (Enns), einschließlich dreier Wehrkraftwerke, sechs thermischen Einheiten,

einem Bezugsvertrag und aus Laufenergie (Mur) besteht [3], ist jedoch in jedem öffentlichen und industriellen Energiesystem generell einsetzbar. Das Resultat der Betriebsplanungsrechnungen sind kostenoptimale Fahrpläne aller Komponenten des gegebenen Energiesystems für eine Woche (6, 12, 24 oder 48 Zeitschritte pro Tag) und/oder eines unterlagerten Tages. Die Komponenten des Energiesystems sind durch ihre konstruktiven und betrieblichen Kennwerte (Systemdaten) definiert, welche durch die Ganglinien der Summenlast der Energiesysteme (elektrizitätswirtschaftliches System, Fernwärmesystem) und die für die Planungsperiode verfügbaren Ressourcen — Mengen an Primär- und Sekundärenergie — ergänzt werden (Betriebsdaten).

## 3. Entscheidungsunterstützendes System »Energie Management«

Das entscheidungsunterstützende System »Energie Management« [4] basiert auf zwei hierarchisch angeordneten Modellen (Abb. 1), wovon jedes aus vier Basismodulen besteht: Problemdateneingabe, Matrixgenerator (MIP-Modell), Optimierung (MPSX/370 mit MIP/370 Erweiterung), farbgrafische und/oder numerische Ausgabe der Resultate. Diese Gemeinschaftsentwicklung wird durch die zwei nachstehenden Punkte wie folgt charakterisiert:

- Praxisgerechte Lösung der gegebenen hoch nichtlinearen Aufgabenstellung
- Anwenderbezogenheit durch eine menügeführte Benutzeroberfläche für Dateneingabe, Verarbeitungssteuerung und farbgrafischer Darstellung der Ergebnisse (Fahrpläne).

Der in FORTRAN geschriebene Matrixgenerator ist bezüglich der verschiedenen Elemente der Energiesysteme (z.B. Wasserspeicher, hydraulische Einheiten, thermische Einheiten, Verträge, Leistungsbilanz, Brennstoffverwaltung) programmtechnisch modular strukturiert. Alle Systemelemente und deren logische Verknüpfungen werden durch ihre Modellgleichungen definiert und bereiten den Eingabedatenbestand für das Optimierungsprogramm aus den System- und Betriebsdaten auf.

Der Lösungsteil aus Matrixgenerator und Optimierungsprogrammen ist von einer Benutzeroberfläche mit menügeführtem Dialog zum Daten- und Modellsystem umgeben.

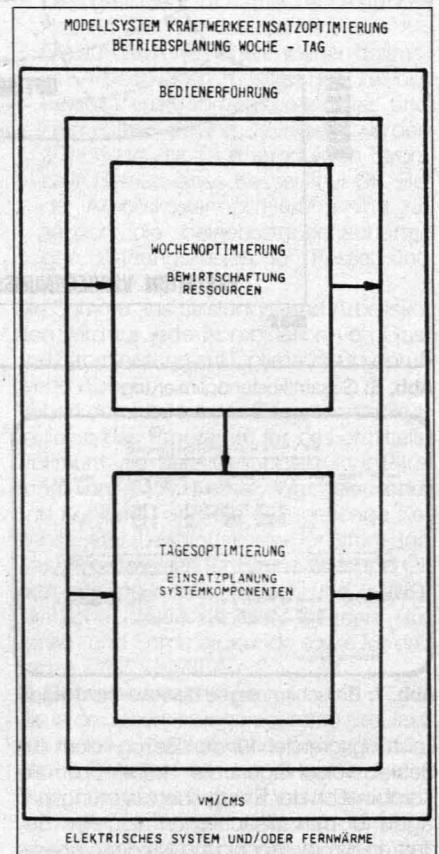


Abb. 1: Modellsystem Kraftwerkseinsatzoptimierung — Betriebsplanung Woche — Tag

## 4. Modellsystem

Das entscheidungsunterstützende System »Energie Management« dient der mittel- und kurzfristigen Betriebsplanung (Wochen- und/oder Tagesoptimierung). Demgemäß besteht es aus einem zweistufigen hierarchischen Modellsystem für die übergeordnete Wochenoptimierung und die nachgelagerte Tagesoptimierung. Die Wochenoptimierung mit 42 Zeitschritten (6 Zeitschritte/Tag) teilt die für die Planungsperiode verfügbaren Ressourcen (Speicherwasser, Kohle, Öl, Gas) auf, während die automatisch unterlagerte Tagesoptimierung die Fahrpläne aller in Betrieb befindlichen Elemente des Energiesystems nach kostenminimierenden Kriterien ermittelt.

## 5. Optimierung

Die hoch nichtlinearen Modelle werden mit Hilfe des Programmsystems MPSX/370 mit MIP/370-Zusatz [5] optimiert. Letzteres ist durch eine Reihe laufzeitsenkender Maßnahmen und Routinen ergänzt, um die zum Ziel gesetzten Durchführungszeiten (Tagesoptimierung 30 Minuten, Wochenoptimierung einschließlich einer unterlagerten Tagesoptimierung 60 Minuten am IBM-System 4341-2) zu erreichen.

Die nachstehend beschriebenen, verfahrensbeschleunigenden Maßnahmen nehmen auf die Tagesoptimierung Bezug, sie finden jedoch in verschiedenen Kombinationen auch zur Optimierung des gesamten hierarchisch zweistufigen Modellsystems (Woche — Tag) Anwendung.

### 5.1 Modellanalyse

Eine große Anzahl von Testläufen mit Modellen unterschiedlicher Energiesysteme bewies die praktische Zeitschrittbreitenunabhängigkeit der Lösung des Einheiten-einsatzproblems (unit commitment) und jenem der Ressourcenzuordnung. Basierend auf dieser Erkenntnis wurde eine spezielle Modellanalysetechnik entwickelt. Diese Methode entfernt aus dem jeweiligen Modell alle zur korrekten Systemnachbildung **nicht** erforderlichen Elemente, d.h. deren Variablen — speziell die laufzeitintensiven ganzzahligen. Dadurch verkleinert sich der Modellumfang. Deshalb wird zuerst die Aufgabenstellung der Tagesoptimierung mit 6 Zeitschritten gelöst, was eine Rechenzeit von 1 bis 2 Minuten erfordert. Das Resultat wird danach per Programm einer Analyse unterzogen, um jene thermischen Einheiten aus dem Modell zu entfernen, die während der Planungsperiode nicht oder konstant eingesetzt sind. Die Ausgabe des Analyseprogrammes besteht in einem sogenannten REVISE-Datenbestand, welcher durch das MPSX-Steuerprogramm bei Start des Optimierungslaufes zur Verkleinerung des Umfangs des Modells mit 48 Zeitschritten aufgerufen wird. Die Matrix des das gegebene Energiesystem der STEWEAG repräsentierende Tagesmodells wird durch Anwendung des beschriebenen Analyseverfahrens von etwa 3.000 Zeilen und 7.800 Variablen (einschließlich 1.000 ganzzahliger) auf

1.900 Zeilen und 5.300 Variablen (einschließlich 490 ganzzahliger) verkleinert, womit in diesem Fall nur 40% (Bereich 30 — 70%) Rechenzeit bezogen auf die Optimierung eines Modells **ohne** Analyse (100%) erforderlich ist.

### 5.2 Lineare Startlösung

Das Programmsystem MPSX/370 mit der MIP/370 Erweiterung besteht aus einer Anzahl von Modulen und Zusätzen, die mit einer speziellen Steuersprache elastisch an das jeweilige Modell menügeführt angepaßt werden können. Letztere steuert auch den Ablauf des Optimierungsverfahrens. Die Vorgabe einer kontinuierlichen Startlösung ist in beiden Steuersprachen des Optimierungsprogrammes möglich.

Die Resultate vorhergehender oder vergleichbarer Planungsperioden (Woche, Tag) werden deshalb als kontinuierliche Startlösungen für neue Optimierungsläufe verwendet und ersparen bis zu 70% an Rechenzeit für die kontinuierlichen Lösung, den ersten Schritt zur Lösung einer gemischt-ganzzahligen Optimierungsaufgabe.

### 5.3 Ganzzahlige Voro Optimierung

Die Technik der Voro Optimierung ist eine Beschleunigungsmaßnahme, um das laufzeitmäßige Verhalten des Ganzzahligkeitsteils (Branch and Bound Algorithmus) — zweiter Schritt zur Lösung einer gemischt-ganzzahligen Optimierungsaufgabe — zu verbessern. Zwei Methoden sind im voroptimierenden Programmsystem (PROPTIM) zur Generierung qualifizierter ganzzahliger Startlösungen enthalten:

- Einfügen ganzzahliger Startlösungen [6]
- Generieren heuristischer Startlösungen [7]

Das Einfügen ganzzahliger Startlösungen für den Branch and Bound Prozeß ist im Programmsystem MPSX/370 mit MIP/370 Erweiterung zunächst nicht enthalten. Deshalb wurde ein neuer Algorithmus auf der Basis der Steuersprache dieses Optimierungsprogrammes entwickelt.

Heuristische Startlösungen werden durch Anwendung einer Rundungstechnik auf die kontinuierliche Lösung durch Fixierung gewisser ganzzahliger Variabler auf 1 — nach der kontinuierlichen Lösung nicht ganzzahlig, jedoch über einem vorgegebenen Wert zwischen 0 und 1 — gefunden. Derzeit ist ein zweistufiges Verfahren implementiert. Zuerst wird versucht, ausgewählte ganzzahlige Variable größer als der erste niedere Schwellwert (z.B. 0,5) zu behandeln; führt diese Maßnahme auf eine unzulässige Lösung, wird in einer zweiten Stufe dasselbe Verfahren mit einem größeren (z.B. 0,8) Schwellwert berücksichtigt. Mit der so ermittelten ganzzahligen Startlösung versucht der PROPTIM-Algorithmus zunächst, eine zulässige Lösung zu finden. Ist die Suche erfolgreich, werden die aus der ganzzahligen Startlösung stammenden, vorher fixierten ganzzahligen Variablen wieder freigesetzt und das Basislösungsverfahren (OPTIMIX) des Optimierungsprogrammes aufgerufen, um eine ganzzahlige Lösung zu suchen.

Das voroptimierende Programm PROPTIM bietet eine Anzahl von Parametern an, um es elastisch an die Struktur und die Erfordernisse der gegebenen Optimierungsaufgabe menügeführt anpassen zu können. Weitere 10 — 30% an der gesamten Rechenzeit lassen sich mit diesem Verfahren im Ganzzahligkeitsteil einsparen.

### 5.4 Beendigungskriterien

Eine Anzahl von Beendigungskriterien (z.B. erwünschte Anzahl ganzzahliger Lösungen, maximale Iterationszahlen, maximal zulässige Rechenzeit) können definiert werden, um den Optimierungsvorgang zu beenden. Zwei Beendigungskriterien ließen sich durch die Analyse einer großen Anzahl von Testfällen mit verschiedenen Modellen finden.

- Maximal zulässige Abweichung der gemischt-ganzzahligen von der linearen Lösung
- Gradientenkriterium

Ein Hauptvorteil aller auf der linearen Planungsberechnung basierenden Verfahren zur Lösung von gemischt-ganzzahligen Optimierungsproblemen besteht in der Möglichkeit, quantifizierbare Angabe über die Güte ganzzahliger Lösungen zu machen; dies durch Vergleich des Zielfunktionswertes der kontinuierlichen Lösung mit jenem der ganzzahligen oder dem Funktionswert des besten Warteknotens der Branch and Bound Suche. Deshalb wird der Optimierungsvorgang zweckmäßigerweise beendet, wenn die Abweichung der ganzzahligen Lösung von der linearen Lösung als ein vorher definierter Wert (z.B. 1%) ist.

Der Quotient aus der Differenz der Zielfunktionswerte zweier aufeinanderfolgender ganzzahliger Lösungen und der Differenz der zugehörigen Rechenzeiten läßt sich auch als Beendigungskriterium heranziehen, wenn der so definierte Gradient kleiner als ein vorgegebener Wert ist.

## 6. Rechenzeiten

Die Implementierung aller beschriebenen rechenzeitbeschleunigenden Maßnahmen erbrachte im konkreten Fall einer Tagesplanung 77% Einsparung an Rechenzeit für die Optimierungsprozedur (32 auf 7,24 Minuten, IBM System 3033). Für Optimierungsmodelle ergibt sich die Rechenzeit eines IBM Systems 4341-2 durch Multiplikation mit dem Faktor 3,2 jener auf einem IBM System 3033. 23,17 Minuten wäre daher die Durchführungszeit auf einem IBM System 4341-2, was noch immer weit unter der definierten Vorgabe von 30 Minuten für die Tagesoptimierung liegt. Die Wochenoptimierung, einschließlich eines unterlagerten Tages erbringt — wie gefordert — eine Rechenzeiten von 57 Minuten. Als Mittelwert über vier Wochen (Sommerwoche, Übergangswoche zwei Winterwochen) mit je 7 unterlagerten Tagen. Die zugehörige Vorgabe von 60 Minuten wird daher auch hier unterschritten. Es ist jedoch zu betonen, daß das Resultat der untersuchten Wochen hinsichtlich der Rechenzeit stark schwankt (Sommerwoche, ohne thermische Einhei-



ten 22 Minuten, Übergangswache 74 Minuten, Winterwochen 75 Minuten).

## 7. Zusammenfassung

Das entwickelte entscheidungsunterstützende System »Energie Management« ist auf einzelne und kombinierte öffentliche und industrielle Energiesysteme (elektrizitätswirtschaftliche Systeme, Fernwärmesysteme und deren Kombinationen) einsetzbar, um eine Woche und/oder einen Tag im voraus nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu planen. 1 bis 2% Ersparnisse an Betriebskosten (Brennstoff- und Anfahrkosten thermischer Einheiten sowie Kosten für vertragsmäßige bezogene Energie) können aufgrund der bisherigen Erfahrung ebenso erwartet werden, wie ein damit implizit verbundener Beitrag zur Verringerung der Umweltbelastung. Das mit einer anwendergerecht ausgestatteten Benutzeroberfläche versehene Programmsystem läuft unter Steuerung des Betriebssystems VM/CMS mit menügeführter Eingabe der System- und Betriebsdaten sowie farbgrafischer und/oder numerischer Ausgabe der Optimierungsergebnisse (Fahrpläne, Kosten, Wasserwirtschaft) über Datenendgeräte (Farbschirme, Farbdrucker). Es ist bereits im In- und Ausland mit Erfolg in der Praxis eingesetzt.

### Literatur:

- [1] STEINBAUER, E. et al: Kraftwerkeinsatzoptimierung, in: ÖZE (1985) 1, S. 1 — 7.
- [2] HARHAMMER, PG.: Umweltfreundliche Betriebsplanung energetischer Systeme, in: EuM (1982) 5, S. 231 — 234.
- [3] STEINBAUER, E.: Kraftwerke an der Steirischen Enns — Betriebsführung der Kraftwerkskette, in: ÖZE (1973) 5, S. 185 — 191.
- [4] STEINBAUER, E. et al: Menue Driven Program Package »Operation Planning of Energy Systems«, PSCC VIII Report, Helsinki, August 1984.
- [5] N.N.: IBM Mathematical Programming System Extended/370 Program Reference Manual, 1975.
- [6] NIMFÜHR, W.: Ganzzahlige Startlösungen für das Programmsystem MPSX/370 mit

MIP/370 Zusatz, Diplomarbeit, TU-Wien, unveröffentlicht, 1984.

[7] SUHL, U.: Solving Large Scale Mixed-Integer Programs with Fixed Charge Varia-

bles, Research Report, IBM Thomas J. Watson Research Center, RC 10266 (No. 45712), 11/83.



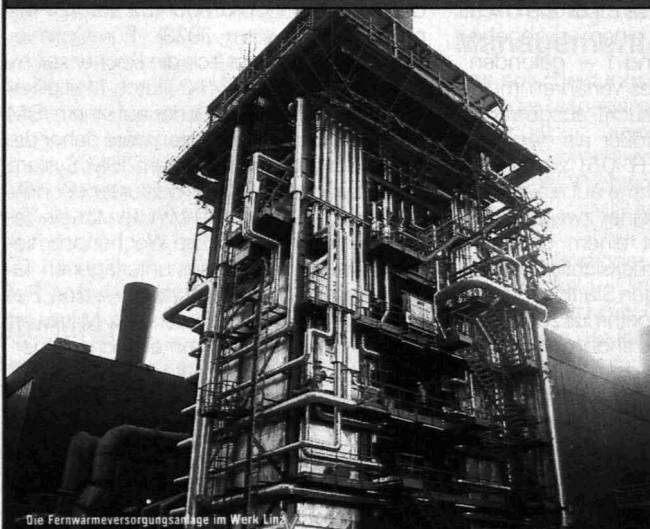
**1,2 Millionen Steirer brauchen täglich 13,6 Millionen Kilowattstunden Strom. Wir machen ihn.**

*Wir haben uns verpflichtet, Strom jederzeit, preiswert und umweltbewußt zu erzeugen!*

**STEWEAG**

STEIRISCHE WASSERKRAFT- UND ELEKTRIZITÄTS-AKTIENGESELLSCHAFT 8010 GRAZ, LEONHARDGÜRTEL 10

## VOEST-ALPINE INDUSTRIE SERVICE



Die Fernwärmeversorgungsanlage im Werk Linz

Ihr Partner für Energieberatung in den Bereichen:

### INTEGRIERTE ENERGIESYSTEME

- Auswahl von Energieträgern
- Optimale Energienutzung
- Energierückgewinnung
- Emissionsminimierung

### WÄRMEVERSORGUNG

- Konzeption eines Wärmeversorgungsnetzes
- Verwertung von industrieller Abwärme für Heizzwecke

Wir bieten Ihnen unser ENERGIE-SERVICE an:

### BERATUNG:

- Neue Energieträger und -systeme
- Versorgungsoptimierung
- Neue Umweltschutz-Technologien
- Auswahl von Anlagenkomponenten
- Individuelle Finanzierungskonzepte
- Wirtschaftlichkeitsberechnungen

### PLANUNG

- Energie- und Umwelt-Studien
- Um- und Neubauten für Systeme zur Energieeinsparung
- Berechnung von Modellvarianten

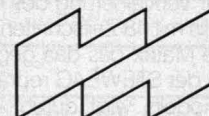
- Servicearbeiten, Instandhaltung und Generalüberholungen

- Ausschreibungen und Angebotsvergleiche

### ABWICKLUNG

- Lieferung von Komponenten und schlüsselfertigen Anlagen
- Bauüberwachung sowie Abnahme von Lieferungen
- Inbetriebnahme und Abrechnung
- Energieverbrauchsmessungen sowie Emissionsanalysen

VOEST-ALPINE Industrie-Service Ges.m.b.H.  
Postfach 2, Krempplstraße 5  
A-4010 Linz/Austria  
Tel. (0 732) 585, Telex 2209-259



VOEST-ALPINE INDUSTRIE-SERVICE