Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 76 (1985)

Heft: 2

Artikel: Einsatz des Arbeitsplatzrechners in der Elektrizitätswirtschaft

Autor: Handschin, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904542

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Einsatz des Arbeitsplatzrechners in der Elektrizitätswirtschaft

E. Handschin

Der Beitrag erläutert einige grundsätzliche Vorteile des Einsatzes von Arbeitsplatzrechnern in der Elektrizitätswirtschaft und behandelt sodann an Hand einiger typischer Aufgaben die Vorgehensweise für die Erarbeitung praxisorientierter Lösungen, nämlich bei der Lastanalyse bzw. -prognose, der Wirtschaftlichkeitsberechnung sowie der Optimierung.

L'article présente quelques avantages fondamentaux de l'utilisation de microordinateurs dans l'économie électrique et traite ensuite, à l'aide de quelques problèmes typiques, du processus employé pour mettre au point des solutions pratiques, à savoir pour l'analyse ou le pronostic de charge, le calcul de rentabilité ainsi que l'optimisation.

Adresse des Autors

Prof. *Edmund Handschin*, Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgung, Universität Dortmund, Postfach 50 05 00, D-4600 Dortmund 50

1. Einleitung

Die Einsatzmöglichkeiten eines Arbeitsplatzcomputers im Bereich elektrizitätswirtschaftlicher Problemstellungen sind ausserordentlich vielseitig. Es würde daher den Rahmen dieser Ausführungen sprengen, wenn ein vollständiger Überblick gegeben werden müsste. Deshalb soll anhand einiger, typischer Aufgaben die Vorgehensweise für die Erarbeitung praxisorientierter Lösungen mit Arbeitsplatzcomputern behandelt werden.

Zunächst soll jedoch kurz auf die allgemeinen Aspekte eingegangen werden. Der Einsatz eines Arbeitsplatzcomputers im Bereich der Elektrizitätswirtschaft bietet folgende Vorteile:

1. Komplexe, rechenintensive Arbeiten können sehr schnell gelöst werden, wobei die Lösung im Hinblick auf Randbedingungen unmittelbar überprüft und ggf. neu bestimmt werden kann.
2. Arbeiten, die vorher von Hand oder mit einfachen Taschenrechnern gelöst worden sind, können systematisch und nach Normen und Regeln, die innerhalb des Unternehmens einheitlich festgelegt werden, bearbeitet werden.
3. Der Programmieraufwand reduziert sich durch die Mehrfachausnutzung eines Programmes in mehreren Abteilungen eines Unternehmens.
4. Ergebnisse können aufgrund aktueller Informationen sofort erhalten werden und so z.B. den Ablauf einer technisch-wirtschaftlichen Besprechung unmittelbar beeinflussen.
5. Dank gut entwickelter, grafischer Ausgabemöglichkeiten können technische Sachverhalte übersichtlich und gut verständlich dokumentiert werden. Dabei verstreicht zwischen Problemeingabe und Ergebnisdarstellung nur wenig Zeit, so dass die Aktualität der grafischen Ergebnisse sehr hoch ist.
6. Entwicklung und Testen neuer Lösungsmethoden ist einfach und mit geringem administrativem Aufwand möglich. Ebenso lässt sich die Verbesserung und Erweiterung bestehender Programme jederzeit durchführen.

Für die Sicherstellung dieser Vorteile ist es unbedingt erforderlich, dass alle Programme nach einem einheitlichen Muster vollständig und ausführlich dokumentiert werden. Der professionelle Einsatz von Arbeitsplatzcomputern ist nur dann gewährleistet, wenn diese wichtige Forderung uneingeschränkt und in jedem Zeitpunkt erfüllt ist.

2. Lastanalyse und -prognose

Eine wichtige Grösse zur Beschreibung des Lastverlaufes in einem Energieversorgungsunternehmen ist die Tagesbelastungskurve (Fig. 1). Sie beschreibt über 24 Stunden den Verlauf der Last $P(t)$ als Funktion der Zeit t. Im Hinblick auf die unterschiedlichen Belastungen der Produktions-, Übertragungs- und Verteilanlagen während der Tages- und der Nachtzeit ist eine rechnergestützte Auswertung der Lastkurve von grosser Bedeutung. Darüber hinaus sind Massnahmen zu untersuchen, wie der Lastbedarf gleichmässiger gestaltet werden kann.

Zunächst sind aufgrund der stündlich vorgegebenen Lastkurve $P(t)$ folgende Grössen zu bestimmen:

- Grafische Darstellung des Lastverlaufes
- Berechnung des Gesamtenergieverbrauches

$$W = \int_0^{T_0} P(t)\,dt \text{ in kWh mit } T_0 = 24 \text{ h} \quad (2.1)$$

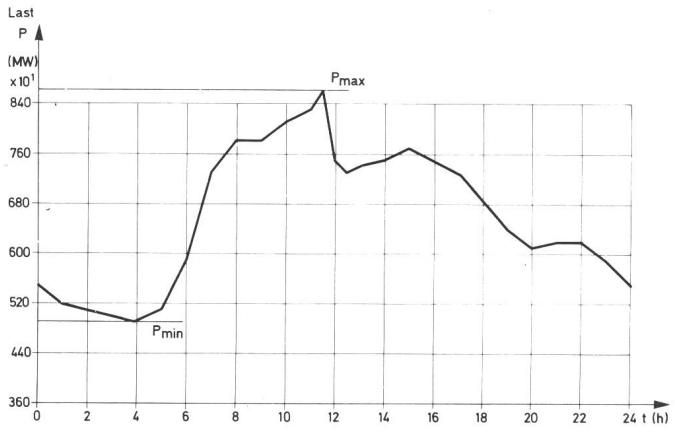


Fig. 1
Tagesbelastungskurve

- Ausgabe folgender Leistungswerte

P_{min}: Lastminimum in MW mit Zeitpunkt t_1 (2.2)

$$P_{mittel} = \frac{W}{T_0} \text{ in MW} \quad (2.3)$$

P_{max}: Lastspitze in MW mit Zeitpunkt t_2 (2.4)

$$P_{Differenz} = P_{max} - P_{min} \text{ in MW} \quad (2.5)$$

- Mittlere Benutzungsdauer

$$T_m = \frac{W}{P_{max}} \text{ in h} \quad (2.6)$$

- Kenngrössen (dimensionslos)

Ungleichförmigkeitsgrad $m_0 = \frac{P_{min}}{P_{max}}$ (2.7)

Belastungsfaktor $m = \frac{W}{W_{max}} = \frac{W}{P_{max} T_0}$ (2.8)

In den bisherigen Überlegungen ist der betrachtete Zeitraum $T_0 = 24$ h gewählt worden. Natürlich kann T_0 auch als eine Woche $T_0 = 168$ h oder ein Jahr $T_0 = 8760$ h gewählt werden.

Die geordnete Belastungskurve (Fig. 2) gibt an, wie lange eine bestimmte Leistung im betrachteten Zeitraum T_0 genutzt wird. Man nennt diese Darstellung deshalb auch Leistungsdauerlinie. Sie entsteht aus der Belastungskurve dadurch, dass man diese in waagerechte Schnitte zerlegt und die von ihr abgeteilten Strecken bis an die Ordinate verschiebt. Da die Leistungsdauerlinie die Häufigkeit angibt, mit der eine Leistung genutzt wird, lässt sich durch den Übergang auf eine normierte Darstellung die Wahrscheinlichkeit α, mit der eine bestimmte Leistung P_G auftritt, angeben.

$$P_r\{P \geqq P_G\} = \alpha \quad (2.9)$$

Dabei gilt: für $P_G = P_{max}$: $\alpha = 0$ (2.10)

für $P_G = P_{min}$: $\alpha = 1$ (2.11)

Durch die rechnergestützte Analyse von Leistungsdauerlinien können die Einflussgrössen verschiedener Versorgungsgebiete oder durch Rundsteuerung eingesetzter Verbraucher (z.B. Nachtspeicherheizung) sehr gut erfasst und beschrieben werden.

Schliesslich kann anhand der Leistungsdauerlinie die Grundlast A_1, die Mittellast A_2 und die Spitzenlast A_3 für zahlreiche Varianten miteinander verglichen werden.

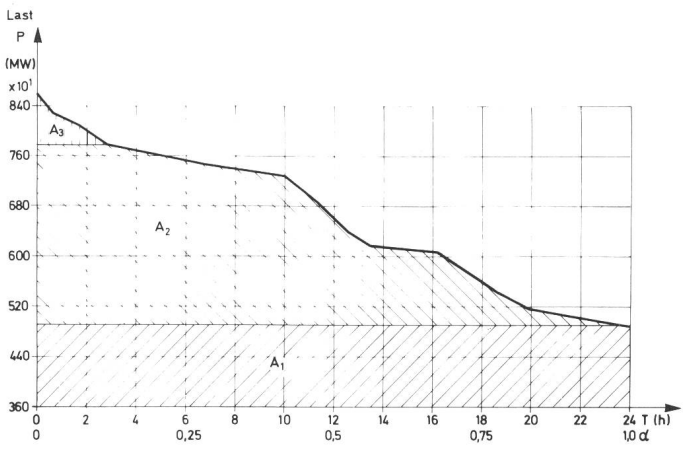
Ausgehend von der Kenntnis der Tagesbelastungskurven sowie der wichtigsten Einflussgrössen kann eine kurzfristige Lastprognose im Zeitbereich zwischen einer Stunde und einer Woche durchgeführt werden. Prognoseverfahren lassen sich mit einem Arbeitsplatzcomputer vorteilhaft realisieren, wenn mit Hilfe eines Dialogsystemes die externen Einflussgrössen im Sinne von Variantenrechnungen untersucht werden. Prognostizierte Lastkurven können wegen ihres ausgeprägten, typischen Verlaufes im allgemeinen recht genau berechnet werden. Aufgrund der Lastprognose lässt sich ein energiewirtschaftlich optimaler Einsatzplan für die Kraftwerke dann bestimmen, wenn vorher aufgrund einer übergeordneten, umfangreichen Jahresoptimierung ein Globaleinsatzplan bestimmt worden ist. Hier zeigen sich auch die Grenzen der Arbeitsplatzcomputer, da die Jahresoptimierung mit Hilfe der linearen Programmierung nur mit entsprechend grosser Rechenkapazität bestimmt werden kann.

3. Wirtschaftlichkeitsberechnung

Im Rahmen der Planungsaufgaben sind sehr vielfältige Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchzuführen, die in sehr engem Zusammenhang mit technischen Aufgabenstellungen stehen. Es ist deshalb zweckmässig, dass derartige Rechnungen vom Planungsingenieur selbst durchgeführt werden. Dazu ist es erforderlich, dass ihm entsprechende Berechnungsprogramme zur direkten Verfügung stehen. Ferner ist in diesem Zusammenhang nochmals auf die wichtige Möglichkeit des Arbeitsplatzcomputers hinzuweisen, die Ergebnisse in grafischer Form übersichtlich und anschaulich darstellen zu können.

Als ein Beispiel der dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung wird hier die Kapitalwertmethode an einem vereinfachten Beispiel kurz vorgestellt. Der Kapitalwert K_w einer Investition ist die Differenz zwischen der Summe aller auf den Zeitpunkt t_0 abgezinsten Brutto-Erlösüberschüsse $\ddot{U}_B(k)$ und der Investition A_0 zum Zeitpunkt t_0.

Fig. 2
Leistungsdauerlinie



$$K_w = \sum_{k=1}^{n} \frac{\ddot{U}_B(k)}{q^k} - A_0 \qquad (3.1)$$

Der Zinsfaktor q errechnet sich aus dem kalkulatorischen Zinsfuss p, angegeben in %

$$q = 1 + \frac{p}{100\%} \qquad (3.2)$$

Ein positiver Kapitalwert K_w gibt an, um welchen Betrag eine Investitionsmassnahme im Zeitpunkt t_0 wertmässig günstiger ist als ein für die Nutzungsdauerperiode $T_n = n$ Jahre zum Kalkulationszinsfuss festverzinslich angelegter Kapitalbetrag in Höhe der Investitionen A_0. Die Investitionsmassnahme ist dann betriebswirtschaftlich vorteilhaft, wenn der Kapitalwert grösser als Null ist; d.h.

$$K_w > 0 \qquad (3.3)$$

Der interne Zinsfuss r einer Investition ist jener Zinsfuss, bei dem der Kapitalwert K_w der Investition gleich Null wird. Die Investition ist dann betriebswirtschaftlich vorteilhaft, wenn der interne Zinsfuss r grösser als der Kalkulationszinsfuss p ist

$$r > p \text{ für } K_w = 0 \qquad (3.4)$$

Für Zeitintervalle $k > 3$ führt die Lösung von Gl. (3.1) unter Einhaltung von (3.4) auf eine nichtlineare Gleichung. Die Lösung muss deshalb iterativ mit Hilfe des Newton-Verfahrens gesucht werden, was sich auf dem Rechner gut durchführen lässt.

Wenn $\ddot{U}_B$ konstant ist, kann Gl. (3.1) vereinfacht werden

$$K_w = \ddot{U}_B \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{q^k} - A_0 \qquad (3.5)$$

wobei für die geometrische Summe

$$\sum_{k=1}^{n} \frac{1}{q^k} = \frac{1}{q^n} \frac{q^n - 1}{q - 1} = b_n \qquad (3.6)$$

gilt.

Mit Hilfe des Barwertfaktors b_n lässt sich die Annuität A berechnen

$$A = K_w \frac{1}{b_n} \qquad (3.7)$$

Eine Investitionsmassnahme ist dann betriebswirtschaftlich gerechtfertigt, wenn der verrentete Kapitalwert A gemäss Gl. (3.7) nicht negativ ist.

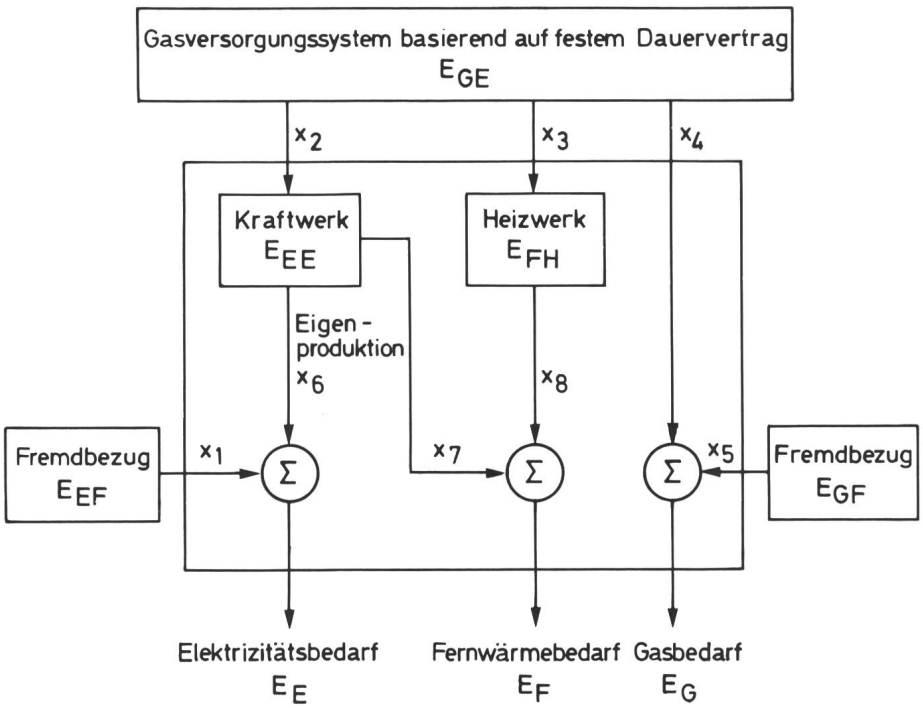


Fig. 3 Systemtechnische Definition des Querverbundes für einen festen Zeitpunkt

Diese Darstellung ist bewusst sehr vereinfacht. Sie benötigt in dieser Form noch nicht den Einsatz eines Arbeitsplatzcomputers. Es ist jedoch leicht abzusehen, dass die Berücksichtigung variabler Erlösüberschüsse, des Sachgutwertes am Ende der angesetzten Nutzungsdauer sowie der möglichen Folgekosten rasch zu komplexeren Aufgaben führen, deren Lösung mit einem entsprechenden, interaktiven Programm effizient bestimmt werden kann. Insbesondere sei in diesem Zusammenhang auch auf die damit verbundenen Probleme der Tariffragen hingewiesen.

4. Optimierung

In diesem Abschnitt wird die Bedeutung der Optimierungsprobleme in der Energieversorgung angesprochen. Die Forderungen nach sicherer und wirtschaftlicher Energieversorgung erfordern den Einsatz von Optimierungsmethoden, die sowohl den Bereich der Planung wie auch des Betriebes unmittelbar berühren. Im Zusammenhang mit Arbeitsplatzcomputern können dabei sicher nicht alle Aufgaben durchgeführt werden. Es gibt eine Reihe von Problemstellungen, die sich wegen ihrer Komplexität nur auf einem Grossrechner lösen lassen. Es sei in diesem Zusammenhang auf die Jahresoptimierung des Kraftwerkeinsatzes hingewiesen. Dazu sind umfangreiche Optimierungsprogramme erforderlich, die entsprechende Rechen- und Speicherkapazität benötigen.

Daneben gibt es jedoch sehr zahlreiche Probleme, die mit dem Arbeitsplatzrechner sehr gut gelöst werden können. Wiederum im Sinne eines vereinfachten Beispiels soll im folgenden auf die Thematik des Querverbundes eingegangen werden. Dabei werden innerhalb eines Unternehmens die Bereiche Elektrizität, Gasversorgung und Fernwärme abgedeckt. Entsprechend Figur 3 wird angenommen, dass in einem festen Zeitpunkt die Bedarfsanforderungen an Elektrizität E_E, an Fernwärme E_F und an Gas E_G durch entsprechende Prognoseprogramme vorgegeben sind. Da man den Erlös für jeden Energieträger kennt, kann der Gesamterlös K_E unmittelbar bestimmt werden

$$K_E = k_E E_E + k_F E_F + k_G E_G \qquad (4.1)$$

wobei k_i der Erlös pro kWh verkaufte Energie E_i (i = E, F, G) dargestellt.

Formuliert man nun die Optimierungsaufgabe als Gewinnoptimierung, so ist die Kostendifferenz

$$\Delta = K_E - K_K \qquad (4.2)$$

maximal zu machen. Dabei bezeichnet K_K die Summe aller Aufwendungen der Energiebeschaffung. Entsprechend Figur 3 gibt es bei der Energiebeschaffung folgende Möglichkeiten

x_1: elektrische Energie durch Fremdbezug
x_2: Gasenergie für Betrieb des eigenen Kraftwerkes
x_3: Gasenergie für Betrieb des eigenen Heizwerkes
x_4: eigene Gasenergie für die direkte Gasversorgung
x_5: Gasenergie aus Fremdbezug

Jeder Energieform x_i (i = 1, 2, ...5) wird ein Preis α_i in Fr./kWh zugeordnet. Damit lautet die Zielfunktion (4.2)

$$\Delta = K_E - \sum_{i=1}^{5} \alpha_i x_i \overset{!}{=} \text{Max} \qquad (4.3)$$

Diese Optimierungsaufgabe soll nun unter Beachtung folgender Randbedingungen gelöst werden. Der Fremdbezug elektrischer Energie E_{EF} ist nach oben begrenzt

$$x_1 \leqq E_{EF} \qquad (4.4)$$

Ebenso ist die gesamte, zur Verfügung stehende Gasenergie aus dem eigenen System auf den Wert E_{GE} begrenzt

$$x_2 + x_3 + x_4 \leqq E_{GE} \qquad (4.5)$$

Auch der Fremdbezug von Gas ist nach oben begrenzt

$$x_5 \leqq E_{GF} \qquad (4.6)$$

Schliesslich ist die elektrische Energie x_6 und die gleichzeitige Wärmelieferung x_7 des Kraftwerkes durch die Nennleistung E_{EE} des Kraftwerkes nach oben begrenzt

$$x_6 + x_7 \leqq E_{EE} \qquad (4.7)$$

Gleichzeitig ist auch die Wärmeabgabe x_8 des Heizwerkes durch die installierte Leistung nach oben begrenzt

$$x_8 \leqq E_{FH} \qquad (4.8)$$

Die weiteren technischen Randbedingungen lassen sich als Gleichungen formulieren. Die Energiebilanzen für Elektrizität und Gas müssen erfüllt sein. Für die Elektrizität gilt für die Produktions- und Verbraucherseite, ohne die Verluste im Kraftwerk zu berücksichtigen,

$$x_2 - x_6 - x_7 = 0 \qquad (4.9)$$

und

$$x_1 + x_6 = E_E \qquad (4.10)$$

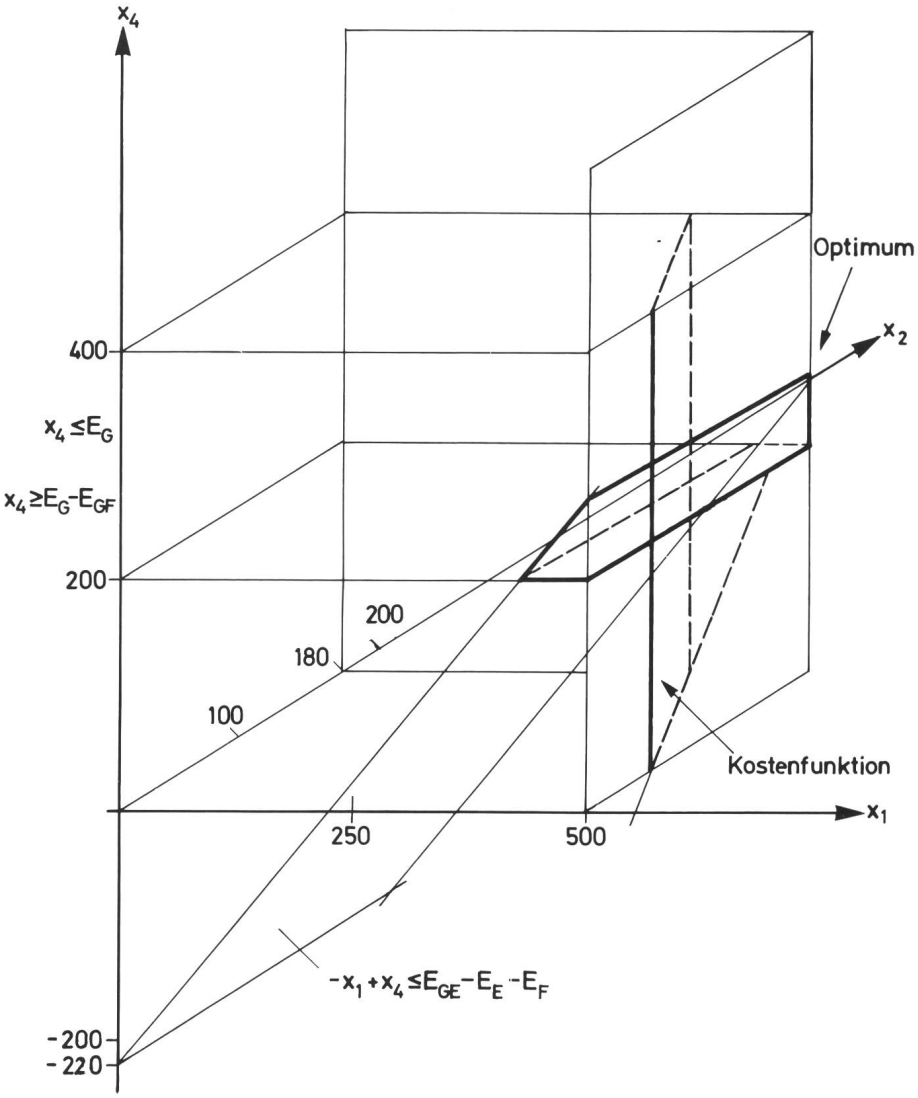


Fig. 4 Grafische Lösung der Querverbundoptimierung

In ähnlicher Form müssen für den Gasbezug auf der Produktions- und Verbraucherseite die Forderungen erfüllt sein

$$x_3 - x_8 = 0 \qquad (4.11)$$

und

$$x_7 + x_8 = E_F \qquad (4.12)$$

Der Gasbedarf führt auf die Nebenbedingung

$$x_4 + x_5 = E_G \qquad (4.13)$$

Alle zu optimierenden Grössen x_i müssen positiv sein

$$x_i \geqq 0 \quad i = 1, 2, \ldots 8 \qquad (4.14)$$

Das Optimierungsproblem lässt sich durch folgende Substitution auf drei unabhängige Variablen x_1 (= Strom aus Fremdbezug), x_2 (= Gasmenge für Kraftwerk) und x_4 (= Gasmenge für direkte Versorgung) reduzieren.

$x_3 = -x_1 - x_2 + E_E + E_F$ aus (4.11)

$x_5 = -x_4 + E_G$ aus (4.13)

$x_6 = -x_1 + E_E$ aus (4.10)

$x_7 = x_1 + x_2 - E_E$ aus (4.9)

$x_8 = x_1 - x_2 + E_E + E_F$ aus (4.12)

Dadurch lauten die Nebenbedingungen in Form der Ungleichungen

$$x_1 \leqq \text{Min}\,(E_E, E_{EF}) \qquad (4.15)$$

$$x_2 \leqq E_{EE} \qquad (4.16)$$

$$x_4 \leqq E_G \qquad (4.17)$$

$$x_4 \geqq E_G - E_{GF} \qquad (4.18)$$

$$x_1 + x_2 \leqq E_E + E_F \qquad (4.19)$$

$$x_1 + x_2 \geq E_E \text{ falls } E_F - E_{FH} \leq 0 \quad (4.20)$$

$$x_1 + x_2 \geq E_E + E_F - E_{FH} \text{ falls } E_F - E_{FH} > 0 \quad (4.21)$$

$$-x_1 + x_4 \leq E_{GE} - E_E - E_F \quad (4.22)$$

Durch die Variablen-Transformation vereinfacht sich die Zielfunktion (4.3) auf drei Variablen x_1, x_2 und x_4. Sie lautet nun

$$\Delta = K_E - \sum_{i=1}^{5} \alpha_i x_i = K_E - [(\alpha_1-\alpha_3) x_1 + (\alpha_2-\alpha_3) x_2 + (\alpha_4-\alpha_5) x_4 + \alpha_3 (E_E+E_F) + \alpha_5 E_G] \quad (4.23)$$

Figur 4 zeigt die Lösung des Optimierungsproblems mit Hilfe der linearen Programmierung für folgende, willkürlich gewählte Zahlenwerte im (x_1, x_2, x_4)-Raum.

Bedarf:

Elektrizität E_E	$= 500\ 10^3$ kWh
Fernwärme E_F	$= 300\ 10^3$ kWh
Gas E_G	$= 400\ 10^3$ kWh

Begrenzungen:

Elektrizität (Fremdbezug): E_{EF}	$= 600\ 10^3$ kWh
Elektrizität (eigen): E_{EE}	$= 180\ 10^3$ kWh
Fernwärme E_{FH}	$= 200\ 10^3$ kWh
Gas (Fremdbezug) E_{GF}	$= 200\ 10^3$ kWh
Gas (eigen) E_{GE}	$= 580\ 10^3$ kWh

Energiekosten in Fr./kWh:

$\alpha_1 = -.10$
$\alpha_2 = -.08$
$\alpha_3 = -.09$
$\alpha_4 = -.06$
$\alpha_5 = -.10$

Energieerlös in Fr./kWh:

$k_E = -.15$
$k_F = -.12$
$k_G = -.11$

Die Veränderung der vorgegebenen Parameter führt zu einer Verschiebung des optimalen Lösungspunktes. Ausgehend von Fig. 4 werden nun einige Variationen vorgestellt.

Die Vergrösserung der Gasenergie E_{GE} der Energieversorgung bewirkt eine Verringerung des Strombezugs E_{EF} aus der Fremdlieferung, was zu einer Kostenreduktion führt.

Die Kosten sinken, bis das Kraftwerk (x_2) und das Heizwerk (x_3) voll ausgelastet sind.

$$x_2 = E_{EE} \text{ und } x_3 = E_{FH}$$

Wird die Wärme-Kraft-Kopplung x_7 unterbrochen, so kann der Fremdwärmebedarf E_F nur nach Erhöhung der Heizwerkkapazität E_{FH} gedeckt werden.

Bei allen Änderungen wird so wenig Gas wie möglich aus Fremdbezug genommen. Es wird soviel Wärme aus dem Elektrizitätswerk entnommen wie möglich. Gleichzeitig wird möglichst wenig Strom aus dem Fremdbezug benutzt. Wichtige Einflussgrösse auf die Kostensenkung ist die Erhöhung der Gasmenge E_{GE} des Dauervertrages. Eine Erhöhung von E_{GE} bewirkt zuerst eine Erhöhung von x_4 (Gas für Gasgeschäft) und dann von x_3 (Gas für Heizwerk).

5. Abschliessende Bemerkungen

Die Einsatzmöglichkeiten von Arbeitsplatzrechnern für die Bearbeitung elektrizitätswirtschaftlicher Probleme sind ausserordentlich gross. Die Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Randbedingungen ermöglicht ein effizientes und sachbezogenes Arbeiten, wobei der Rechner für die Untersuchung von Varianten wertvolle Unterstützung gewährleistet. Die Bereitstellung leistungsfähiger, interaktiver Programme ermöglicht eine rasche Bearbeitung, die nicht durch organisatorisch bedingte Wartezeiten beeinträchtigt wird. Besonders im Zusammenhang mit grafischen Ausgabemöglichkeiten erlauben Arbeitsplatzcomputer eine übersichtliche Darstellung komplexer Sachverhalte. Die Ergebnisse zeichnen sich durch ein hohes Mass an Aktualität aus, wobei auch sehr kurzfristig zusätzliche Berechnungen aufgrund geänderter Vorgaben durchgeführt werden können.

Alle hier behandelten Beispiele sind bewusst vereinfacht dargestellt worden, um verschiedene Einsatzgebiete beschreiben zu können. Die Berücksichtigung praxisrelevanter Einflussgrössen erhöht die Komplexität der Lösung und rechtfertigt von daher auch den Einsatz eines Arbeitsplatzcomputers.