

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 52 (1961)
Heft: 22

Artikel: Elektronische Rechengeräte im Kraftwerkverbundbetrieb
Autor: Becker, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059089>

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: 16.01.2026

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

Elektronische Rechengeräte im Kraftwerkverbundbetrieb

Von G. Becker, Dortmund

681.14 - 523.8 : 621.311.161

Es ist seit jeher das Bestreben der Versorgungsunternehmen, die Gestehungskosten der elektrischen Energie so niedrig wie möglich zu halten. Um den Kraftwerkseinsatz unter Berücksichtigung der Verluste im übergeordneten Verbundnetz einem Kostenoptimum zuzuführen, verlangt die Theorie die Lösung umfangreicher Gleichungssysteme, einen guten Einblick in die Wärmeökonomie der Dampfkraftwerke und eine umfassende Kenntnis über den Einfluss der Belastung auf die Verluste im Verbundnetz. Erst die Entwicklung schnell arbeitender elektronischer Rechengeräte gestattet es, die theoretischen Überlegungen in der Praxis sinnvoll zu verwerten. Der folgende Artikel versucht einen zusammenfassenden Überblick über die anstehenden Probleme, die bisher erarbeiteten Lösungen und die hiefür praktisch eingesetzten Verfahren zu geben. Außerdem werden Hinweise auf verwandte Randgebiete, wie Netzberechnungen, Kurzschlussprobleme, Netzregelung unter Verwendung elektronischer Rechner, eingestreut.

Die Versorgungsunternehmen sind bestrebt, die elektrische Energie den Verbrauchern so sicher als möglich und preislich zu den günstigsten Bedingungen darzubieten. Dies verlangt von der Betriebsführung die eigenen Erzeugungsquellen und gegebenenfalls vorhandene Fremdstromlieferungen unter Berücksichtigung der Gegebenheiten durch das Verbundnetz so einzusetzen, dass betrieblich und wirtschaftlich ein Optimum erzielt wird. Dabei können sich betriebliche Erfordernisse und wirtschaftliche Belange teilweise widersprechen. In der Praxis geht man daher häufig so vor, dass man zunächst die optimale Erzeugungs- und Bezugsmöglichkeit ermittelt und diese dann entsprechend den betrieblichen Notwendigkeiten abwandelt. Dieses Problem soll nachstehend erörtert werden.

Die Aufgabe, den Energieanfall so zu steuern, dass die niedrigsten Gesamtkosten entstehen, konnte bisher nur in mehr oder minder guter Annäherung gelöst werden, da die genaueren Verfahren eines erheblichen zeitlichen Rechenaufwandes bedürfen, so dass das Ergebnis erst vorliegt, wenn es infolge geänderter Belastungsverhältnisse bereits lange überholt ist. Die Entwicklung moderner, schneller Analog- und Digitalrechner auf elektronischer Grundlage füllte hier eine spürbare Lücke aus, und liess erwarten, dass die Probleme jetzt einer erfolgreichen Lösung zugeführt werden können. Die daraufhin in Europa etwa ab 1950 und in den USA etwas früher angelaufenen Untersuchungen haben bis heute bereits zu einem beachtlichen Ergebnis geführt.

Der Grundgedanke der wirtschaftlich günstigsten Verteilung der Belastung auf zahlreiche Einheiten baut auf Überlegungen [1] ¹⁾ auf, die an einem einfachen Beispiel kurz erläutert seien.

Es ist eine gegebene Belastung P auf zwei Maschinen eines Dampfkraftwerkes so aufzuteilen, dass der gesamte Wärmeverbrauch ein Minimum wird. Der Wärmeverbrauch jeder Maschine ist eine Funktion der jeweiligen Belastung.

$$Q_1 = f(P_1)$$
$$Q_2 = f(P_2)$$

Die Summe der Leistung der beiden Maschinen soll die Netzelastung ergeben, die zu dem betrachteten Zeitpunkt als konstant anzusehen ist.

$$P = P_1 + P_2$$

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Les fournisseurs d'énergie électrique ont toujours cherché à réduire autant que possible leurs frais de production. Pour atteindre une valeur optimale de ces frais, en tenant compte des pertes dans le réseau d'interconnexion, la théorie exige la solution d'un vaste système d'équations, un bon aperçu de l'économie thermique des usines à vapeur et une connaissance étendue de l'influence de la charge sur les pertes dans le réseau d'interconnexion. Ces considérations théoriques n'ont pu être mises efficacement en pratique que depuis que l'on dispose de calculatrices électroniques rapides. Dans cet article, l'auteur tente de donner un aperçu général des problèmes qui se posent, des solutions déjà trouvées et des procédés pratiques dans ce domaine. Il mentionne également des domaines connexes, tels que ceux des calculs des réseaux, des problèmes de court-circuit, de la régulation, etc., pour lesquels des calculatrices électroniques sont utilisées avec profit.

Der gesamte Wärmeverbrauch der Maschinen beläuft sich dann auf

$$Q = Q_1 + Q_2$$

Es sollen nun die Leistungen von P_1 und P_2 der beiden Maschinen so bestimmt werden, dass der gesamte Wärmeverbrauch Q ein Minimum wird. Entsprechend den Regeln der Differentialrechnung erhält man als Ergebnis

$$\frac{dQ_1}{dP_1} = \frac{dQ_2}{dP_2} = \lambda$$

Diese Gleichung sagt nun aus, dass die beiden Maschinen so zu beladen sind, dass die Differentialquotienten der beiden Wärmeverbrauchskurven gleich werden. Da der Differentialquotient den Anstieg der Wärmeverbrauchskurven an einen bestimmten Punkt angibt, kann man auch sagen, dass der Zuwachsverbrauch an Wärme für beide Einheiten gleich sein muss, um einen gesamten optimalen Wärmeaufwand zu erzielen. Der Wert λ ist dabei der Zuwachs-Wärmeverbrauch für den betrachteten Belastungsfall.

Die Ausführungen gelten exakt beim Gleitdruckbetrieb der Turbine, bei dem sämtliche Ventile geöffnet sind. Bei einem anderen Betrieb treten in der Nähe der Öffnungspunkte der einzelnen Ventile Unstetigkeitsstellen in den Wärmeverbrauchskurven auf, die gegebenenfalls zu beachten sind [2].

Das, was von einzelnen Maschinensätzen gesagt wurde, gilt auch für Kessel und Maschinenkombination in Kraftwerken. Für die Lastverteilung im Verbundnetz ist hier der Zuwachs-Wärmeverbrauch für die einzelnen Kraftwerksteile zu ermitteln und den Vergleichen zu Grunde zu legen. Besteht die Möglichkeit von Industriekraftwerken oder von benachbarten Unternehmen Energie zu beziehen, so sind diese Angebote unter Beachtung Ihrer Wertigkeit mit in die Betrachtungen einzubeziehen, wobei vertragliche Abmachungen, z. B. über garantierte Abnahmemengen und Leistungen, gebührend zu berücksichtigen sind. In der Praxis verwendet man für dieses Verfahren häufig spezielle Rechenschieber.

Die vorstehenden Überlegungen bringen jedoch nur ein optimales wirtschaftliches Ergebnis, so lange die Verluste im übergeordneten Verbundnetz, in das die Kraftwerke einspeisen, vernachlässigbar sind. Diese Annahme ist aber je nach der Gestaltung des Netzes und der Lage von Einspeisungen und Abnahmen nicht

immer zulässig. Die Entstehungskosten vermindern sich theoretisch tatsächlich meistens weiter, falls bei dem Kostenzuwachsverfahren die Übertragungsverluste in dem Höchstspannungsnetz berücksichtigt werden [3; 4; 5; 6; 7; 8]. Wie stark sich dies in der Praxis auswirkt, wird jedoch erheblich von der Situation in den einzelnen Netzen beeinflusst. Zu beachten ist hiebei, dass eine Lastverteilung, die die niedrigsten Netzverluste bringt, nicht diejenige sein muss, die auch dem Kostenoptimum gleich kommt.

Um die Transportverluste im Höchstspannungsnetz mit in die Rechnung zur Optimierung der Erzeugungskosten einbeziehen zu können, benötigt man die Verluständerung in diesem Netz in Abhängigkeit von der Einspeiseleitung in den Knotenpunkten [9; 10]. Diese Funktion wird mit hinreichender Genauigkeit für praktische Fälle durch die sog. Netzverlustformel dargestellt. Sie lautet:

$$P_v = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n P_i B_{ik} P_k$$

P_v gesamte Verluste des Verbundnetzes für einen Lastfall

P_i, P_k Einspeiseleistung des i -ten bzw. k -ten Kraftwerkes

P_i, P_k Verlustkoeffizienten (können für verschiedene Belastungsfälle unterschiedlich sein).

Die vorstehende Beziehung gilt, falls bei Laständerungen im Netz alle Abnahmestellen sich etwa im gleichen Verhältnis daran beteiligen und außerdem der Leistungsfaktor beibehalten wird.

Ein Bestimmen der Netzverlustkoeffizienten durch eine Rechenkraft stösst bereits bei kleineren Netzen auf zeitliche Schwierigkeiten, so dass man zunächst Netzmodelle zur Hilfe nahm. Da auch hier der Zeitaufwand bei grösseren Netzen beträchtlich wurde, hat man Programme entwickelt, die es gestatten, auf elektronische Rechenmaschinen zurückzugreifen. Solche Rechner von mittlerer Grösse geben für Netze bis zu ca. 60 Knoten annehmbare Rechenzeiten. Für grössere Netze erhalten die Maschinen zweckmässigere zusätzliche Speicherkapazitäten, z. B. in Form von Magnetbandspeichern.

Es ist für den Versorgungsfachmann interessant festzustellen, dass die Rechenprogramme zur Ermittlung der Netzverlustkoeffizienten bei geschickter Aufstellung und nach leichter Variation auch geeignet sind, Lastflussstudien und Untersuchungen über Spannungshaltung in beliebigen Versorgungsnetzen [11; 12; 13; 14] durchzuführen. Man ist zur Zeit dabei, dieses Verfahren zu ergänzen, um auch symmetrische und asymmetrische Kurzschlussprobleme lösen zu können. Infolge des wachsenden Energiebedarfes nimmt die Kurzschlussleistung zeitweilig Werte an, die sich der Grenzleistung der Schalter nähern, so dass durch entsprechende Wahl des Kraftwerkeinsatzes oder durch geeignete Netzauf trennungen unzulässige Beanspruchungen vermieden werden müssen. Ein Verfahren, das schnell und genau die anstehenden Kurzschlussleistungen ermittelt, wird daher dringend benötigt. Die Rechengänge sind dabei meist in komplexer Form durchzuführen.

Derartige Methoden dürften in Zukunft von Interesse sein, wenn man bedenkt, dass eine Erstberechnung eines Verbundnetzes mit 60 Knoten und 100 Leitun-

gen auf einem elektronischen Rechner etwa eine Stunde Rechenzeit beansprucht. Aufbauend auf diese Erstberechnung lassen sich dann die Auswirkungen von Netz- oder Belastungsänderungen innerhalb weniger Minuten ermitteln. Besonders vorteilhaft ist, dass man sich die Daten der Erstberechnung auf einen Lochstreifen ausgeben lassen kann. Entstehen nach einiger Zeit neue Probleme, so ist der elektronische Rechner nach Eingabe des Lochstreifens der Erstberechnung in einigen Minuten bereits wieder rechenbereit, ohne dass eine neue Erstberechnung vorgenommen werden muss.

Der weiter oben erwähnten Netzverlustformel liegt der Gedanke zu Grunde, dass sämtliche Abnahmen in einem Schwerpunkt zusammengefasst sind, auf den die Kraftwerke einspeisen. Verfolgt man diese Überlegung weiter, so lässt sich nachweisen, dass in diesem Fall der optimale Kraftwerkeinsatz dann vorliegt, wenn die Belastung der Kraftwerke so gewählt wird, dass die Zuwachskosten, die in den Kraftwerken und durch die Netzverluste entstehen, für alle Einspeisungen gleich sind. Es muss danach sein:

$$\frac{dQ_i}{dP_i} + \lambda \frac{\delta P_v}{\delta P_i} = \lambda$$

oder

$$\frac{dQ_i}{dP_i} + \lambda (2 \sum B_{ik} P_k) = \lambda \quad \text{Gl. (1)}$$

worin

Q_i Wärmeverbrauch der i -ten Einheit

P_i Leistung der i -ten Maschine

P_v Verlustleistung des Netzes

λ Zuwachskosten

B_{ik} Netzverlustkoeffizienten.

Eine Auswertung dieser Gleichung für ein Netz mit zahlreichen Kraftwerken bei tragbarem Zeitaufwand ist nur mittels geeigneter Rechengeräte durchführbar.

Bei zwei grossen Verbundunternehmen in der deutschen Bundesrepublik werden für diesen Zweck speziell ausgelegte Analogrechner verwendet [15]. Die Netzverlustkoeffizienten werden durch auswechselbare Widerstandseinheiten nachgebildet, die in Matrizenform angeordnet sind. Die Einspeiseleistung der einzelnen Kraftwerke und die Zuwachskosten lassen sich an Potentiometern einstellen. Leuchtziffern zeigen das Ergebnis an, das außerdem mittels eines angeschlossenen Blattschreibers festgehalten werden kann. Das eine Gerät befindet sich in einem Netz mit vorwiegender Erzeugung auf Steinkohlenbasis, das andere in einem Netz, dessen Erzeugungsgrundlage durch Wasserkräfte gegeben ist. Beide Netze sind zeitweilig auf Fremdenergiebezug angewiesen.

Während bei den erwähnten Geräten die Einstellung von Hand vorgenommen werden muss, wobei man sich in einigen Schritten an das Optimum herantastet, wurde von einer Grossfirma ein Gerät entwickelt, das ebenfalls nach dem Analogprinzip [16] arbeitet, dabei aber den Abgleich auf optimalen Kraftwerkeinsatz bei einer vorgegebenen Netzlaf automatisch vornimmt. Die Kostenkurven für die einzelnen Kraftwerke sind durch Widerstandskombinationen nachgebildet, und können je nach Kraftwerkeinsatz leicht ausgewechselt werden. Jedem Kraftwerk ist ein Instrument zugeordnet, das die optimale Leistung bei dem betreffenden Lastfall anzeigt. Daneben werden noch die Gesamt-

kosten und die Zuwachskosten ausgewiesen. Ein Gerät dieser Art befindet sich seit einigen Monaten in einem grösseren Netz in der Erprobung.

Parallel zu dieser Entwicklung wurden Programme ausgearbeitet, die es gestatten, die Aufgabe mit digitalen Rechenmaschinen zu lösen. Diese Verfahren sind besonders dann zu bevorzugen, wenn man sich zunächst orientieren will, wie hoch die Einsparungen sind, falls man bei der Optimierung des Kraftwerkseinsatzes die Netzverluste mit in Ansatz bringt, um dann von dem Ergebnis abhängig zu machen, ob die Anschaffung eines speziellen, auf das betreffende Netz zugeschnittenen Rechners, für den Lastverteiler tatsächlich verwertbare wirtschaftliche Vorteile bietet. Bei dieser Rechenmethode sind lineare Gleichungssysteme zu lösen, die sich aus der Optimierungsbedingung nach Gl. (1) ergeben [17]. Der Umfang des Systems wird im wesentlichen durch die Zahl der Kraftwerke bestimmt. Die exakte Lösung der Gleichung ist möglich. Vorteile bieten jedoch Iterationsverfahren, die daher auch bevorzugt angewandt werden. Die Kostenkurven werden durch Gerade angenähert nachgebildet. Um eine grössere Genauigkeit zu erzielen, kann es empfehlenswert sein, unterschiedliche Netzverlustkoeffizienten einzusetzen, die sich bei einer stark schwankenden Gesamtbelaistung des Netzes für verschiedene Tageszeiten ergeben können. Als Ergebnis werden Lastverteilungstabellen ausgedruckt, die bei einer angenommenen stufenweisen Zunahme der Netzbelaistung von einem Minimalwert bis zur Höchstlast, für jede Stufe die optimale Leistung für jedes Kraftwerk ausweisen. Daneben können die jeweiligen Zuwachskosten, die Gesamtkosten und die Netzverluste ausgeworfen werden. Es lassen sich somit in gewissem Umfang auch Untersuchungen über die Netzverluste anstellen und Durchleitungsprobleme behandeln. Dies gilt übrigens auch für die analog arbeitenden Geräte. Die digitalen Rechner, die Netzberechnungen bis zu 60 Knotenpunkten erledigen können, verarbeiten Optimierungsaufgaben bis zu 40 Einspeisungen. Bei umfangreicheren Verbundnetzen wird entweder zusätzlicher Speicherraum benötigt oder aber der Einsatz grösserer Maschinen erforderlich.

Der Fragenkomplex der wirtschaftlichen Lastverteilung wurde zunächst für Netze mit vorwiegender Versorgung aus Dampfkraftwerken behandelt. Inzwischen gelang es aber auch, die Wasserkraftwerke mit in die Überlegungen einzubeziehen. Ein besonderes Kapitel stellt hier das Verhalten der Speicherwerke, vor allem der Pumpspeicher, dar. Liegt die Erzeugungsbasis in einem Netz auf Öl oder Steinkohle, so ist es oft nur möglich, den Pumpspeicher optimal in das Belastungsdiagramm des gesamten Netzes einzubauen, wenn man auf einen elektronischen Rechner zurückgreift.

Entsprechend der bisherigen Ausführungen genügte es, die optimale Lastaufteilung jeweils für einen bestimmten Zeitpunkt zu bestimmen, wobei die Spanne bis zur Wiederholung der Rechnungen von der gewünschten Genauigkeit und den Belastungsverhältnissen abhängt. Da es sich bei einem Pumpspeichereinsatz, jedoch nicht nur um ein Leistungs-, sondern auch um ein Arbeitsproblem handelt, das je nach Grösse des Pumpenspeichers bis zu einem Tag umfasst, werden hier zahlreiche Variationsrechnungen erforderlich, bis das gewünschte Ergebnis vorliegt. Neben den Netzverlusten sind dabei die unterschiedlichen Wirkungsgrade

der Speicheranlagen beim motorischen und generatorischen Betrieb zu beachten.

Eine Voraussetzung dafür, dass die geschilderten Verfahren in der Praxis auch tatsächlich Einsparungen an Kosten erbringen, ist, dass die Kostenkurven für die einzelnen Einheiten mit ausreichender Genauigkeit vorliegen und Änderungen, die durch Unterschiede im Heizwert und Preis des Brennstoffes hervorgerufen oder durch ein abweichendes wärmetechnisches Verhalten verursacht werden, so schnell wie möglich Berücksichtigung finden. Wärmetechnische Abweichungen gegenüber den Anfangsdaten können z. B. durch Verschmutzen des Kessels oder der Kondensatorrohre, durch Versalzen der Turbinenschaufeln, durch geänderte Kühlwassertemperatur und viele andere Dinge mehr bedingt sein. Zunächst benütze man die bei der Lieferungen von Kessel und Maschine vereinbarten Garantiewerte um die Kostenkurven zu ermitteln. Diese Angaben erfuhren durch wärmetechnische Kontrollmessungen, die sich aber wegen ihres erheblichen apparativen, personellen und zeitlichen Aufwands nur selten durchführen liessen, gelegentlich eine Korrektur, die häufig erst vorlag, wenn ihr Ergebnis bereits überholt war. Diese Kostenkurven waren daher nur bedingt brauchbar. Eine Verbesserung versprach man sich durch eine laufende Überwachung der Kraftwerkseinheiten durch eine wirtschaftliche Nachkalkulation [18]. Hiefür werden stündlich die Daten aufgeschrieben oder registriert, die notwendig sind, um das wärmetechnische Verhalten des Blockes zu überprüfen. Diese Daten werden einmal monatlich ausgewertet und den Daten, die bei der ersten Inbetriebnahme der Einheiten galten, gegenüber gestellt. Da monatlich ein erhebliches Zahlenmaterial zu verarbeiten ist, kann eine termingerechte Bereitstellung der Ergebnisse nur gewährleistet werden, falls die Auswertung auf elektronischen Rechnern erfolgt. Geeignet sind dazu kleinere Geräte.

Aus der Gegenüberstellung der Werte kann man monatlich Korrekturfaktoren gewinnen, durch die die Kostenkurve der Einheiten in den Kraftwerken, den jeweiligen tatsächlichen Verhältnissen für bestimmte Zeiträume besser angepasst werden können. Ausser diesen Korrekturfaktoren, die für die Lastverteilung von Interesse sind, liefert die wirtschaftliche Nachkalkulation zusätzliche Erkenntnisse über das thermische und betriebliche Verhalten der einzelnen Kraftwerksteile. Mängel können erkannt und abgestellt werden. Anregungen für Verbesserungen lassen sich bei eingehendem Studium der so erstellten Unterlagen häufig gewinnen.

Wendet man erhebliche Mittel auf und treibt einen gewissen apparativen Aufwand, um bei der Optimierung des Kraftwerkseinsatzes durch die Berücksichtigung der Netzverluste die letzten Möglichkeiten auszuschöpfen, die noch irgendwelche Einsparungen versprechen, so befriedigen auch die mittels der wirtschaftlichen Nachkalkulation monatlich korrigierten Kostenkurven bezüglich ihrer Genauigkeit noch nicht. Es müssen vielmehr laufend die erforderlichen Kenngrössen aufgenommen werden und daraus für die jeweilig vorliegende Belastung der tatsächliche Wärmeverbrauch und damit auch die Erzeugungskosten der Einheiten bestimmt werden. Bei Kraftwerkblöcken, deren Grösse heute zwischen 100 ... 150 MW liegt, müssen einige 100 Meßstellen überwacht und ausgewertet werden. Dies bedingt, dass jedem Block im Kraftwerk ein Rechengerät zugeordnet wird. In den USA wird

im Kraftwerk Sewaren mittels eines Rechners ein Versuch in dieser Richtung durchgeführt. Der Sinn dieser Bemühungen ist es, zunächst die Erfassung und Weiterverarbeitung einer derartig grossen Zahl von Messwerten sicher zu beherrschen, um dann dazu überzugehen, dem Rechner auch die Steuerung und Überwachung von Kessel und Maschine zu übertragen. Wenn diese Automatisierung bereits im normalen Betriebszustand das Personal entlastet, so dürfte sich ihr Vorteil erst beim An- und Abfahren und in Störungsfällen voll auswirken, wenn es gilt, zahlreiche Messwerte zu beobachten und Bedienungsgriffe in festgelegter Reihenfolge durchzuführen, ohne gefährliche Grenzwerte von Temperatur, Druck, Ausdehnung usw. zu überschreiten. Bei den modernen Einheiten mit ihren zahlreichen Vorwärmstufen und Anzapfungen zur Verbesserung des Wärmeaushaltes müssen in diesen Fällen bereits erhebliche Sicherheitsabstände von diesen Grenzwerten eingehalten werden, um bei der Bedienung durch das Personal Schäden an wertvollen Betriebsmitteln zu vermeiden. Ein elektronisches Rechengerät hat jedoch jederzeit den erforderlichen Überblick über sämtliche Daten und kann daher seine Steuerbefehle viel präziser und schneller geben als der Mensch, der nur eine beschränkte Anzahl Werte gleichzeitig verarbeiten kann. Man verspricht sich durch diese Automatisierung eine erhebliche Beschleunigung der An- und Abfahrvorgänge, bei schonendster Behandlung von Kessel und Maschine und eine bessere Reaktionsfähigkeit in Störungsfällen.

Die wirtschaftliche Lastverteilung ist neben der genauen Ermittlung der Betriebskosten auch an der schnelleren Manövrierfähigkeit der Kraftwerkblöcke interessiert. Führt man diese Überlegungen folgerichtig bis zum Ende weiter, so ist es nicht ausgeschlossen, dass die bisherigen Kessel und Maschinenregler, soweit sie nicht unmittelbar Sicherheitsfunktionen ausüben, in Zukunft bei grossen Blockeinheiten durch programmgesteuerte Rechengeräte ersetzt werden, die einen automatischen Kraftwerksbetrieb durchführen und gleichzeitig über Fernmesskanäle dem Lastverteiler die jeweiligen Erzeugungskosten mitteilen. Dieser ermittelt in einem zentral für sein Versorgungsgebiet aufgestellten Rechner den optimalen Einsatz der Kraftwerke und Fremdstrombezüge unter Berücksichtigung der Netzverluste. Es wäre nun nur noch ein kleiner Schritt, die Ergebnisse wieder rückwärts an die Kraftwerke zu geben, um damit die Blöcke oder die einzelnen Maschinen entsprechend zu steuern.

Der Zusammenschluss grosser Verbundnetze stellt besondere Anforderungen an die Einhaltung der vereinbarten Frequenz und der vorgesehenen Austauschleistung zwischen den Verbundpartnern. Auf dem Kontinent in Westeuropa dient hiezu die sog. Frequenzleistungsregelung, die automatisch arbeitet. Bei einer Störung in der Frequenzhaltung beteiligen sich zunächst die unter ihren Turbinenreglern laufenden Maschinen sämtlicher am Verbundbetrieb angeschlossenen Unternehmen im Sinne der Wiederherstellung der Nennfrequenz. Hierbei entstehen an den Kuppelstellen der Netze Leistungsflüsse, die von den Sollwerten bei der Nennfrequenz abweichen, wobei Vorsorge zu treffen ist, dass keine Überlastauslösungen erfolgen. Die Netzregelung, d. h. die Frequenzleistungsregelung beeinflusst dabei nur die Regelkraftwerke in dem Netz, in dem die Störung aufgetreten ist, während bei den übrigen Partnern die Netzregler nicht

eingreifen. Ein einwandfreies Arbeiten dieses Verfahrens setzt jedoch voraus, dass ausreichende Regelleistungen jederzeit dem Netzregler zur Verfügung stehen und dass die Leistungszahl des Reglers auf die des Netzes abgestimmt ist.

Zunächst gibt eine derartig aufgebaute Netzregelung ihre Anweisungen zur Vornahme von Belastungsänderungen in den Regelkraftwerken ohne Rücksicht auf die wirtschaftlichen Belange. Ist bei einem Lastverteiler bereits ein Gerät vorhanden, dass kontinuierlich den Kraftwerkseinsatz nach optimalen Gesichtspunkten steuert, so ist es naheliegend, diesem auch die Leistungsanforderungen des Netzreglers zuzuführen und mittels eines Ergänzungsprogramms auch die an der Regelung beteiligten Einheiten entsprechend ihrer Wirtschaftlichkeit zu beaufschlagen. Überlegungen in dieser Richtung wurden bereits von verschiedenen Seiten angestellt. Ob eine derartige Anlage aber bereits verwirklicht wurde, ist dem Verfasser bisher nicht bekannt geworden.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Rechengeräte für die Optimierungsaufgabe, ähnlich wie die Netzregelung in der Praxis bisher nur zu bestimmten Tageszeiten sinnvoll eingesetzt werden können. Vor allen Dingen zu Schwachlastzeiten, wenn der Einsatz der Wärmekraftwerke durch die technische Mindestleistung, die die Einheiten noch fahren können, vorgeschrieben wird, bei Laufwasserkraftwerken möglichst keine hydraulische Energie ungenutzt über die Wehre laufen soll, und die den fremden Zulieferanten garantierte Mindestabnahme eingehalten werden muss, bleibt für die Optimierung kaum noch ein Spielraum. Dann können die elektronischen Rechner zur Lösung anderer Probleme des Verbundbetriebes herangezogen werden.

Immer wieder taucht die Frage auf, benachbarten Unternehmen kurz- oder langfristige Aushilfslieferungen anzubieten. Welche Kosten sind hier zu verrechnen? Welche Zuschläge sind für die Netzverluste, die sich den Verlusten für die eigene Versorgungsaufgabe überlagern, für den Transport zur Übergabestelle zuzuschlagen? Ähnliche Probleme entstehen, falls fremde Leistung vorübergehend übernommen werden soll. Lohnt es sich, diese Leistung aufzunehmen? Welche eigenen Leistungen sind zurückzusetzen? Sind gegebenenfalls zwei Übergabestellen vorhanden, so ist zu entscheiden, welcher von beiden der Vorzug zu geben ist, um im eigenen Netz die geringsten Verluste zu erzielen. Es kann sein, dass durch die Verlusteinsparung der Fremdenergiebezug erst interessant wird. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden sehr stark durch die Jahreszeiten, die Revisions- und Reparaturarbeiten in den Kraftwerken und die jeweilige Netzkonstellation beeinflusst, so dass eine häufige Nachprüfung unerlässlich ist. Antworten auf diesen gesamten Fragenkomplex gibt schnell und zuverlässig der bereits für die Optimierung des Kraftwerkseinsatzes vorbereitete Rechner in den erwähnten Stillstandzeiten.

Es sei noch erwähnt, dass auch die Verluste und Kosten, die infolge Durchleitungslieferungen für befreundete Partner gelegentlich entstehen, bequem auf diese Weise ermittelt werden können.

Im Zusammenhang mit diesem Thema ist auch die Abrechnung der Energielieferungen, die innerhalb des Verbundbetriebes erfolgen, zu sehen. Häufig bereitet sie nur wenig Arbeit und ist ohne zusätzliche Hilfsmittel

tel zu bewältigen. Es ergeben sich jedoch auch Sonderfälle, in denen zahlreiche Kraftwerke einer Interessengruppe an den verschiedensten Stellen in das Netz einspeisen, aber gemeinsam abgerechnet werden müssen. Das umfangreiche Zahlenmaterial, das hiefür monatlich zu bearbeiten ist, verlangt nach schnell rechnenden programmgesteuerten Geräten, um den Zeitaufwand bis zur Rechnungsteilung in tragbaren Grenzen zu halten.

Die vorstehenden Ausführungen versuchten zu umreißen, für welche Aufgaben nach den heutigen Erkenntnissen sich der Einsatz von elektronischen Rechenmaschinen im Kraftwerkverbundbetrieb anbietet. Es wurde auf bereits bestehende Anlagen und Programme hingewiesen und Entwicklungsmöglichkeiten für die nächste Zeit angedeutet.

Literatur

- [1] Schurig, W.: Wärmeirtschaftliche Nachkalkulation und Lastverteilung. Brennstoff-Wärme-Kraft [BKW] 5(1953)1, S. 1...8.
- [2] Schurig, W.: Grundsätzliches zur Anwendung des Zuwachsv erfahren bei der Belastung von Turbogeneratoren. Elektr.-Wirtsch. 53(1954)23, S. 733...737.
- [3] Steinberg, M. I. und T. H. Smith: Economic Loading of Steam Power Plants and Electric Systems. New York: Wiley 1943.
- [4] Kirchmayer, L. K.: Economic Operation of Power Systems. New York: Wiley; London: Chapman & Hall 1958.
- [5] Kirchmayer, L. K. und G. H. McDaniel: Transmission Losses and Economic Loading of Power Systems. Gen. Electr. Rev. 54(1951)10, S. 39...46.

- [6] Bauer, H.: Optimaler Verbundbetrieb. Arch. Elektrotechn. 42 (1955)1, S. 13...25.
- [7] Bauer, H.: Verbundbetrieb mit geringsten Verlustkosten. ETZ-A 76(1955)11, S. 389...391.
- [8] Bauer, H.: Günstigste Lastverteilung und Verluste in Drehstromnetzen. Elektr.-Wirtsch. 55(1956)17, S. 600...605.
- [9] Schneider, W.: Rechnerische Ermittlung von Verlusten in elektrischen Netzen zur Erzielung einer optimalen Lastverteilung. Elektr.-Wirtsch. 55(1956)7, S. 184...190.
- [10] Bauer, H.: Die Ermittlung der Verluste in Drehstromnetzen und das Optimierungsproblem des Lastverteilers. Elektr.-Wirtsch. 55(1956)7, S. 180...183.
- [11] Edelmann, H.: Verlustformel für ein Verbundnetz und Ausmessung der Verlustkoeffizienten. ETZ-A 79(1958)16, S. 561...567.
- [12] Bauer, F. L. und R. Baumann: Mathematische Behandlung von Netzwerksaufgaben mit Hilfe elektronischer Ziffernrechenanlagen. Elektr.-Wirtsch. 57(1958)7, S. 181...187.
- [13] Baumann, R.: Automatisierte digitale Netzberechnung. Elektron. Rechenanlagen 2(1960)2, S. 75...84.
- [14] Baumann, R., G. Boll und W. Schneider: Anwendung von programmgesteuerten Rechenmaschinen zur Berechnung elektrischer Netze. Elektr.-Wirtsch. 60(1961)2, S. 36...43; 4, S. 96...101.
- [15] Schneider, W.: Ein neues Analogrechengerät für Netzaufgaben. Elektr.-Wirtsch. 58(1959)15, S. 524...531.
- [16] Bauer, H. und H. Edelmann: Der Sielomat, ein Hilfsmittel des Lastverteilers für optimalen Kraftwerkseinsatz. Elektr.-Wirtsch. 57(1958)7, S. 173...180; 10, S. 301...307; 13, S. 389...392.
- [17] Edelmann, H.: Berechnung des optimalen Verbundbetriebes in Energieübertragungsnetzen. Siemens-Z. 35(1961)1, S. 58...59.
- [18] Tremba, E.: Die wärmeökonomische Nachkalkulation. Elektr.-Wirtsch. 49(1950)4, S. 111...115.

Adresse des Autors:

G. Becker, Diplom-Ingenieur, Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG, Ostwall 51, Dortmund (Deutschland).

Der Zieltaster Ein automatischer Rufnummerngeber für Fernsprechteilnehmer

Von K. Richter, Stuttgart

621.395.636

Der Zieltaster ist ein automatischer Rufnummerngeber, der dem Fernsprechteilnehmer die Möglichkeit gibt, bestimmte und häufig benötigte Verbindungen durch einfachen Tastendruck herzustellen.

1. Einleitung

Mit der fortschreitenden Automatisierung des Fernsprechverkehrs wächst die Zahl der Fernsprechanschlüsse, die der einzelne Teilnehmer durch Selbstwahl erreichen kann, ständig. Selbstwählferndienst und Durchwahlverkehr in Nebenstellenanlagen machen den Teilnehmer weitgehend unabhängig von Fernamt und Vermittlung. Damit geht aber die «Arbeit», die mit dem Herstellen der Verbindungen verknüpft ist, auf ihn über, d. h. er muss entsprechend mehr Ziffern wählen, als er es im normalen Ortsverkehr zu tun gewohnt ist. Für den Fernsprechteilnehmer ist es zwar eine Annehmlichkeit, wenn er seine gewünschten Verbindungen sofort und ohne Verzug bekommt. Das Wählen vielstelliger Rufnummern kann aber zu einer Belastung werden, wenn es mehrmals am Tage zu geschehen hat und bei mangelnder Aufmerksamkeit kann es leicht zu einer Falschwahl und damit zu Fehlverbindungen kommen.

Nach dem Einführen des Selbstwählferndienstes tauchte deshalb bald der Wunsch auf, für den Teilnehmer eine ähnliche Einrichtung zu schaffen, wie sie bereits zum Entlasten des Vermittlungspersonals der Nebenstellenanlagen als «Zieltastenzusatz zum Speicherzahlengeber»¹⁾ zur Verfügung steht. Mit dieser Einrichtung kann die Vermittlungsperson durch

Drücken nur einer Taste einen vorbestimmten Teilnehmer erreichen. Der Zieltastenzusatz und auch der «Zieltaster für Teilnehmerstelle» bieten folgende Vorteile:

- a) Es gibt keine Fehlverbindungen durch Falschwahl, da das Gerät sich nicht irren kann.
- b) Der Verbindungsaufbau wird wesentlich beschleunigt, da der Zieltaster mit maximaler Geschwindigkeit wählt, die manuell, insbesondere bei vielstelligen Rufnummern, kaum erreicht wird.

Der Teilnehmer braucht sich die Rufnummern der auf «Zieltaste» liegenden Anschlüsse nicht mehr zu merken, und spart außerdem die Zeit, die er sonst zum Herstellen der Fernsprechverbindungen benötigt.

Da die Anzahl der häufig anzuwählenden Teilnehmer in den meisten Fällen verhältnismäßig klein ist, wurden für den Zieltaster 30 Verbindmöglichkeiten als ausreichend angesehen. Die Rufnummern können bei 20 Verbindungen bis zu 8stellig und bei 10 Verbindungen bis zu 16stellig sein.

Der Zieltaster kann sowohl für Hauptanschlüsse als auch für Nebenstellen verwendet werden. In Nebenstellenanlagen können bei Bedarf zwei Nebenstellen an einen Zieltaster-Relaiszusatz angeschlossen werden. Durch einen Zusatz kann die Anschlussmöglichkeit sogar auf vier Nebenstellen erweitert werden. Die Gesamtkapazität von 30 Zielen steht dann allen angeschlossenen Teilnehmern gemeinsam zur Verfügung. Gespeist wird die Einrichtung entweder aus einem

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.