Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 62 (1971)

Heft: 21

Artikel: Tagesprobleme der amerikanischen Energieversorgung

Autor: Kroms, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915865

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: 09.08.2025

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

Energie-Erzeugung und -Verteilung

Die Seiten des VSE

Tagesprobleme der amerikanischen Energieversorgung

Von *A. Kroms,* Boston, USA

Der ununterbrochene Anstieg des Energiebedarfs hat die Energieversorgung der USA so stark expandiert, dass ihre weitere Ausdehnung auf Schwierigkeiten sowohl bezüglich der verfügbaren Primärenergiequellen als auch der Auswirkung der Energieanlagen auf die Umgebung stösst. Dadurch haben sich für die Energiewirtschaft neue Probleme ergeben, die immer mehr in den Vordergrund treten und dringend einer Lösung bedürfen.

Die USA stehen an der Spitze der elektrischen Energieversorgungen der Welt [1; 2; 3], weshalb hier die erwähnten Schwierigkeiten besonders deutlich werden. Die dabei auftretenden Probleme haben die Aufmerksamkeit nicht nur der amerikanischen, sondern auch ausländischer Kreise auf sich gelenkt, weil sie eine Vorschau auf diejenigen Aufgaben geben, welche bald auch in anderen Ländern irgendwie gemeistert werden müssen.

1. Die Ursachen der Schwierigkeiten

Die elektrische Energie kann bei dem heutigen Stand der Technik nicht in sehr grossen Mengen gespeichert werden. Deshalb muss die Elektrizitätswirtschaft zwei Forderungen erfüllen:

— den jederzeit auftretenden Energiebedarf unverzüglich zu decken, d. h. den Bedürfnissen der Leistungsbilanz zu folgen;

— die erforderlichen Energiemengen auf dem wirtschaftlich günstigsten Wege zu liefern, d. h. den Forderungen der Energiebilanz nachzukommen.

Obwohl diese beiden Forderungen eng miteinander verbunden sind, treten doch bei ihrer Erfüllung unterschiedliche Probleme auf. Während die Leistungsbilanz die Ausbaugeschwindigkeit der Energieanlagen und demzufolge die erforderlichen Kapitalinvestitionen bestimmt, hängt die Energiebilanz in erster Linie von den verfügbaren Energiequellen und ihrer Preislage ab. Von der Verbraucherseite aus werden die Leistungs- und Energieforderungen von der Höhe und dem Verlauf des Energiebedarfs beeinflusst; da die Erfüllung dieser Forderungen von den Möglichkeiten der Energielieferung abhängt, besteht zwischen der Energieerzeugung und dem Energiebedarf eine enge Wechselwirkung, so dass die Entwicklung in dem einen Sektor eine entsprechende Auswirkung auf den anderen Sektor hat.

Der Bedarf an elektrischer Energie ist im Laufe von mehreren Jahrzehnten rasch, mit einer Verdoppelungszeit von $\leq$ 10 Jahren, angestiegen. Dies hat zu so grossen Bedarfsmengen und einer dementsprechenden Ausdehnung der Energieversorgung geführt, dass die weitere Entwicklung der Energieerzeugung nicht mehr von bloss rein technischen und wirtschaftlichen Faktoren bestimmt werden wird, sondern hier schon die von der Natur gezogenen Begrenzungen einen merkbaren, manchmal sogar entscheidenen Einfluss ausüben. Da die Auswirkungen der Energieanlagen auf die Umgebung immer mehr zum Vorschein treten, muss man bei dem Ausbau der Anlagen zusätzliche Faktoren in Betracht ziehen, die vorher fast keinen Einfluss hatten. Diese Begrenzungen, die zum grössten Teil von den Forderungen des Umweltschutzes bestimmt werden, kommen vor allem in den dicht besiedelten Gebieten zum Ausdruck; sie haben eine Reihe neuer Probleme geschaffen, die in vergangenen Jahren nicht bekannt waren oder eine nur geringfügige Rolle spielten.

Mit einer installierten Leistung von 330 GW und einer Jahresarbeit von rd. 1500 TWh erzeugen die amerikanischen Kraftwerke mehr als ein Drittel der Energie der Welt. Der Jahreszuwachs des Bedarfs an elektrischer Energie beträgt zur Zeit rd. 100 TWh, weshalb jährlich eine zusätzliche Kraftwerksleistung von 20...30 GW benötigt wird [4; 5]. Innerhalb von zehn Jahren werden diese Zahlen ungefähr auf das Doppelte anwachsen, d. h. man wird gezwungen sein, jährlich eine neue Kraftwerksleistung von mehr als 40 GW in Betrieb zu setzen. Die Kraftwerksneubauten allein werden jährlich eine Kapitalanlage von 6,0 bis 10 Milliarden $ benötigen; zusammen mit dem entsprechenden Netzausbau wird sich der Investitionsbedarf ungefähr verdoppeln. Um diese enorme Aufgabe meistern zu können, werden sehr hohe Anforderungen an die Elektrizitätswirtschaft gestellt.

Noch vor kurzem war man sich dieser neuen Probleme nicht bewusst, so dass man keine besonderen Schwierigkeiten in der Energieversorgung voraussah. Der stürmische Anstieg des Energiebedarfs hat aber die Situation geändert und die Elektrizitätswirtschaft mit schwierigen Aufgaben belastet, welche dringend einer befriedigenden Lösung bedürfen. Diese Probleme sind auf folgende Ursachen zurückzuführen:

— Der Anstieg des Energiebedarfs und der Jahresspitze mit einem Jahreszuwachs von 7...8,5 % hat die früheren Voraussagungen übertroffen. Man schätzt, dass diese Bedarfszunahme auch während der 70er Jahre anhalten und jährlich eine immer grössere zusätzliche Kraftwerksleistung notwendig wird. Der hohe Anteil des Haushaltbedarfs verursacht eine ausgeprägte wetterabhängige Spitze in den heissen Sommermonaten.

— Eine ungenügende Kraftwerksleistung, d. h. eine zu geringe Leistungsreserve, führt zum Leistungsmangel während der Hochlastsaison, so dass zeitweilig entweder die Energielieferung an einige Abnehmergruppen beschränkt werden muss oder man gezwungen ist, die Betriebsspannung herabzusetzen. Der Leistungsmangel ist aus mehreren Gründen — wegen des unerwarteten raschen Bedarfsanstiegs, der zunehmenden Baukosten, der Verspätungen des Maschinenbaus in der Herstellung der Kraftwerksausrüstung und nicht zuletzt wegen des langen Prozesses bei der Erteilung der Baugenehmigung der Kraftanlagen — entstanden. Die Errichtung neuer Kraftanlagen wird oft durch die Einwände örtlicher Organisationen gegen die ausgewählte Baustelle auf mehrere Jahre verzögert oder man muss die geplante günstige Lage des Kraftwerks aufgeben, was mit grossem Zeitverlust verbunden ist. Die neuen Verordnungen gegen Immissionen (Rauchgase, Asche, Abwärme) haben die Auswahl der Bauplätze oder die zu verwertenden Primärenergiequellen für die thermischen Anlagen sehr eingeschränkt.

— Die grossen Energieaggregate (500...1000 MW und mehr) benötigen die Bereithaltung einer entsprechend grossen Reserveleistung in den Energie-Versorgungssystemen, wobei die Möglichkeit vorhanden sein muss, diese Reserve je nach dem Bedarf zwischen den Energie-Versorgungssystemen auszutauschen. Die ungenügenden Hochspannungsverbindungen ermöglichen es aber nicht, die verfügbare Reserveleistung eines Systems zur Unterstützung anderer Systeme in gewünschtem Masse einzusetzen.

Die erwähnten Umstände ziehen mehrere Folgen nach sich:

— zeitweilige Unterbrechungen der Energielieferung in einigen Gebieten, was zur Abschaltung einiger Verbrauchergruppen oder zur Spannungssenkung führt;

— eine Erhöhung der Energiepreise, um die ansteigenden Bau- und Betriebskosten decken zu können;

— die Notwendigkeit, entweder neue Wege der Energieerzeugung innerhalb einer angemessenen Zeitperiode zu entwickeln oder auch den weiteren Anstieg des Energieverbrauchs einzuschränken;

— die Erkenntnis, dass die Energieversorgung für eine angemessene Zeitperiode (ca. 10 Jahre) im voraus geplant und diese Pläne systematisch in die Tat umgesetzt werden müssen.

Der Mangel an genügender Reserveleistung, welche während der Sommerspitzenzeit zu Unterbrechungen der Energielieferung führt, ist vorwiegend in den Großstädten der dicht besiedelten Ostküste vorgekommen. So entstand z. B. eine schwierige Situation in New York im Sommer 1970 dadurch, dass während der heissen Tage im Kraftwerk Ravenswood ein 1000 MW-Turboaggregat ausfiel und gleichzeitig das Kernkraftwerk Indian Point mit 275 MW stillgelegt worden war. Die in den Spitzenstunden fehlende Leistung wurde zum Teil aus den Nachbarsystemen, dem TVA-System (Tennessee Valley Authority), wie auch aus Kanada ersetzt, doch mussten einige Abnehmergruppen zeitweilig abgeschaltet und die Energielieferung an andere Gruppen eingeschränkt werden, was in der Großstadt erhebliche Unannehmlichkeiten mit sich brachte.

Der hohe Verbrauch der elektrischen Energie, der schon 7000 kWh/a je Kopf überschritten hat, ist zum grossen Teil auf die relativ niedrigen Energietarife zurückzuführen; dies trifft vor allem auf den Haushaltbedarf zu, dessen Anteil am Gesamtbedarf elektrischer Energie 32 % erreicht hat und fortwährend im Ansteigen ist.

Die Energiekosten sind im Laufe von mehreren Jahrzehnten trotz eines beständigen Anstiegs der allgemeinen Lebenskosten, stetig gesunken; die Durchschnittspreise wiesen folgende Werte auf [4]:

		1930	1969
Haushalt	cents/kWh	0,60	0,20
Gesamtverbrauch	cents/kWh	0,275	0,15

Der Anstieg der Bau- und Betriebsausgaben der Energieversorgung hat nun den seit langem anhaltenden Preisrückgang beendet und letzthin zu einer Preissteigerung geführt. So hat die TVA ihre Energietarife, die erheblich niedriger als die

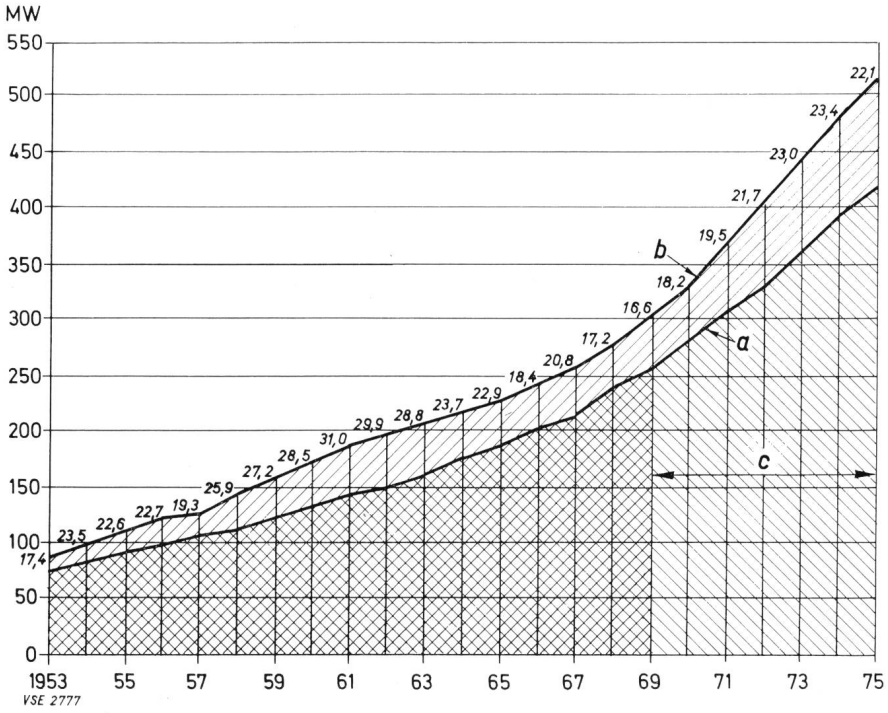
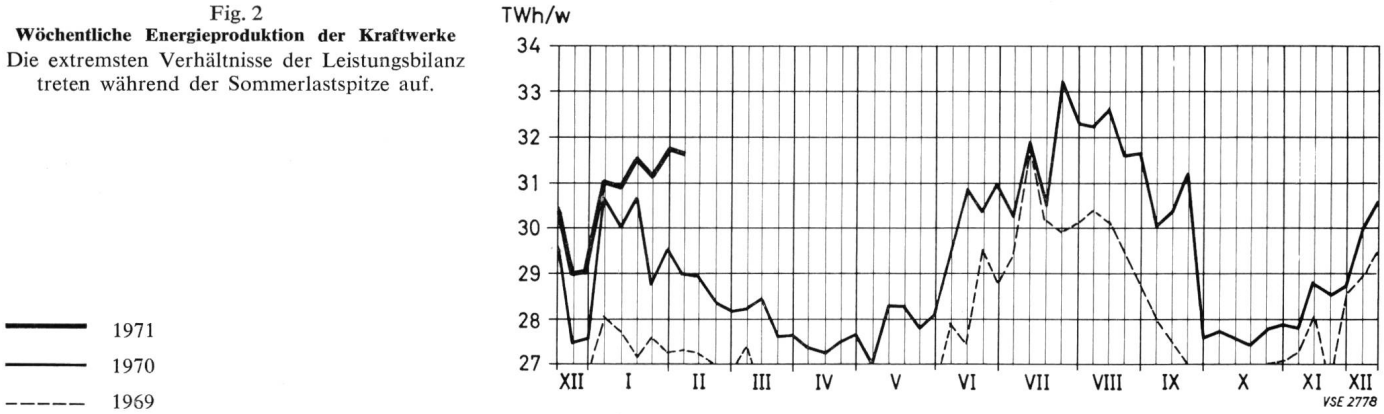


Fig. 1
Kraftwerksleistung, Sommerspitze und Reserve
a Sommerspitzenbedarf
b Verfügbare Kraftwerksleistung
c Prognose
Die über den Kurven angegebenen Zahlen geben die Leistungsreserve in % während der Sommerspitzenlast an.

Fig. 2
Wöchentliche Energieproduktion der Kraftwerke
Die extremsten Verhältnisse der Leistungsbilanz treten während der Sommerlastspitze auf.



Durchschnittswerte der USA sind [6], um 23 % erhöht. Auch eine Anzahl der privaten EVU haben die Federal Power Commission um die Genehmigung einer Erhöhung des Energiepreises bis 25 % ersucht. Doch auch nach diesen Preissteigerungen wird elektrische Energie immer noch relativ billig sein. In der modernen energieorientierten Wirtschaft ist reichlich verfügbare, billige Energie eine unentbehrliche Voraussetzung einer gesunden Entwicklung.

2. Der Lastanstieg

Die Leistung der amerikanischen Kraftwerke, die Sommerspitze und der Reservefaktor während der Sommerspitze sind in Fig. 1 angeführt [5].

Während des letzten Jahrzehnts hat sich der Charakter der Jahreslastkurve geändert, was durch den raschen Anstieg des Haushaltbedarfs hervorgerufen worden ist. Bis 1963 trat die Jahreshöchslast im Winter auf; danach hat sich die Lastspitze auf die heissen Sommermonate, während welcher die zahlreichen Klimaanlagen eingesetzt werden, verlagert. Die vorherrschende Rolle der Sommerspitze ist in der Lastkurve des Jahres 1970 deutlich ersichtlich (Fig. 2) [8], besonders, weil in diesem Jahr im Spätsommer hohe Temperaturen auftraten. Man erwartet, dass in Zukunft die Sommerspitze noch mehr als bisher in der Jahreslastkurve hervortreten wird. Während sie zur Zeit die nachfolgende Winterspitze ungefähr um 5 % übertrifft, wird um 1975 dieser Unterschied erwartungsgemäss 10 % betragen (Fig. 3). Die ausgesprochene Sommerspitze stellt schwierige Probleme für die elektrische Energieversorgung auf; sie hat zu Leistungsmangel geführt und zeitweilige Unterbrechungen in der Bedarfsdeckung verursacht.

Obwohl der Lastanstieg einzelner Jahre je nach den Konjunktur- und Wetterverhältnissen erheblichen Schwankungen unterworfen ist, können jedoch folgende Durchschnittszahlen den Anstieg der Höchstlast kennzeichnen:

Zeitperiode	Jahreszuwachs der Lastspitze
1957...63	8...10 GW oder 6,4 %
63...69	10...24 GW oder 8,3 %
69...77	22...36 GW oder 7,5...8,0 %

Aus den angegebenen Zahlen geht hervor, dass während der 70er Jahre eine neue Kraftwerksleistung von 25...40 GW jährlich in Betrieb genommen werden muss. Die Bereitstellung einer so grossen Leistung in der Zeitperiode eines raschen Preisanstiegs gibt für die Elektrizitätswirtschaft schwierige Probleme auf.

Da während der Jahre 1965...70 die Sommerspitze schneller als die Jahresarbeit anstieg, ist der Lastfaktor im Laufe dieser Zeit von 65 % auf 63 % gesunken. Die geringere Auslastung der Kraftwerksleistung erhöht den Bedarf an billigen, schnell erstellbaren Spitzenwerken, wodurch der Bau von Gasturbinen- und Pumpspeicheranlagen gefördert wird [9; 10].

Der elektrische Energiebedarf verdoppelt sich in ungefähr zehn Jahren. Da bisher keine Anzeichen einer wesentlichen Verlangsamung des Bedarfsanstiegs zu verzeichnen sind, nimmt man an, dass die zehnjährige Verdoppelung des Elektrizitätsbedarfs sich auch im Laufe der kommenden Dekaden fortsetzen wird [11]. Dies wird bald zu so grossen Bedarfswerten führen, dass sie mit den bisherigen Methoden der Energieerzeugung und Verteilung kaum mehr gedeckt werden können. Die Energietechnik muss daher entweder neue Wege der Energieversorgung finden oder ist gezwungen, die weiter zunehmende Energieabgabe einzuschränken. Der letztere Schritt würde aber weitgehend die Entwicklung des wirtschaftlichen Lebens zum Stillstand bringen. Um dies zu vermeiden, muss man rechtzeitig nach neuen technischen Lösungen in der Energieversorgung suchen und die Versäumnisse der vergangenen Jahre im Ausbau der notwendigen Energieanlagen nachholen.

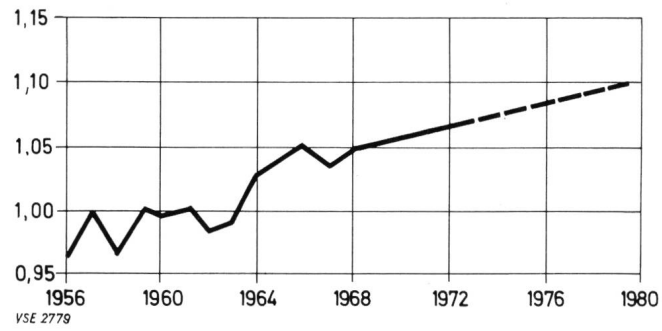


Fig. 3
Verhältnis Sommer- zu Winterspitze

3. Der Leistungsausbau

Der Leistungsanstieg der Kraftwerke sowie der absolute Jahreszuwachs sind in Fig. 4 angegeben.

Die Verdoppelungsperioden t_0 der installierten Leistung werden wie folgt geschätzt:

1957...67	t_0 = 10 Jahre
1967...76	t_0 = 9 Jahre (Voraussage)
1976...86	t_0 = 10 Jahre (Voraussage)

Laut diesen Zahlen muss in den 70er Jahren eine neue Kraftwerksleistung von rd. 340 GW, in den 80er Jahren sogar

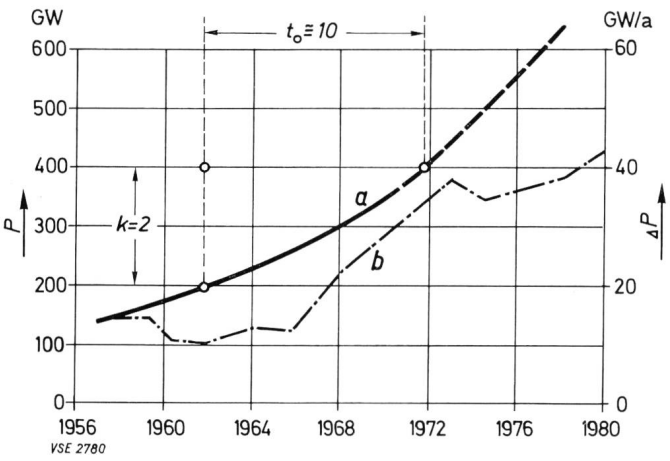


Fig. 4
Anstieg der installierten Kraftwerksleistung
a Gesamtleistung (P in GW)
b Jährlicher Leistungszuwachs (AP in GW/a)
k Zuwachsfaktor
t Verdoppelungsperiode (Jahre)

von mehr als 600 GW in Betrieb genommen werden. Ob es gelingen wird, diese gewaltige Aufgabe trotz der erwähnten Schwierigkeiten zu meistern und die Reserve auf die gewünschte Höhe zu bringen, kann vorläufig noch nicht gesagt werden.

Die Grösse der Leistungsreserve ist in Fig. 5 gezeigt, wo auch die geschätzten Werte des Reservefaktors während der Spitzenzeit angegeben sind. Da 1960...67 der Lastanstieg die Leistungszugänge übertraf, ging die tatsächliche Reserve während der Sommermonate bis auf 17...18 % zurück. Dieser Reservebetrag wird als unzureichend angesehen, wenn man folgende Umstände in Betracht zieht:

— Die Last nimmt in einzelnen Versorgungsgebieten recht unterschiedlich zu (Fig. 6) [12]. Dabei ist der zu erwartende Lastanstieg während der vergangenen Jahre in einigen Gebieten stark unterschätzt worden, wodurch ein Leistungsmangel eingetreten ist. So wurde 1964 in der «National Power Survey» die Last eines örtlichen Verbundbetriebs (PJM) für das Jahr 1975 auf 29 GW geschätzt; unerwarteterweise ist man aber jetzt gezwungen, wegen der raschen Bedarfszunahme diese Zahl auf 39 GW zu erhöhen, d. h. nach 6 Jahren musste die frühere Voraussage um 35 % nach oben berichtigt werden. Dadurch ist die Leistungsreserve zu stark zurückgegangen, und da der Einsatz neuer Leistungen — von der Planung bis zur Inbetriebnahme — ungefähr 5 Jahre in Anspruch nimmt, ist es schwierig, das Versäumte mittels neuer Grosskraftwerke einzuholen; nur die schnell erstellbaren Gasturbinenkraftwerke können gewissermassen Hilfe leisten.

— Die vorhandene Reserveleistung ist auf die einzelnen Energie-Versorgungssysteme nicht gleichmässig verteilt; während

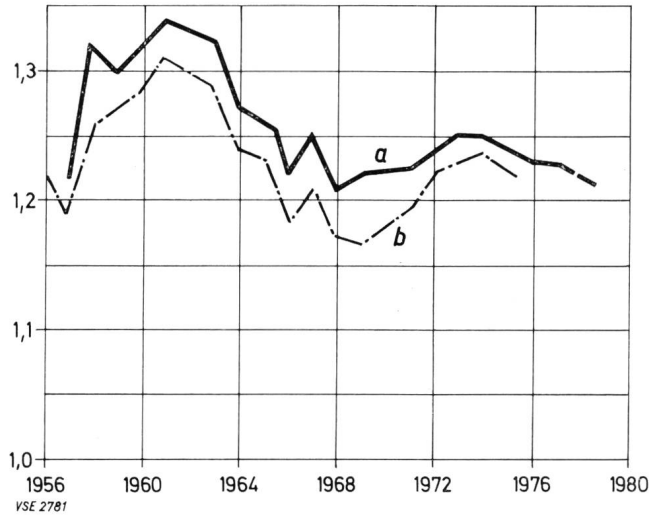


Fig. 5
Reservefaktor
a Verhältnis der am Jahresende vorhandenen Leistung zur vorangegangenen Sommerspitze
b Tatsächlicher Reservefaktor in der Sommersaison

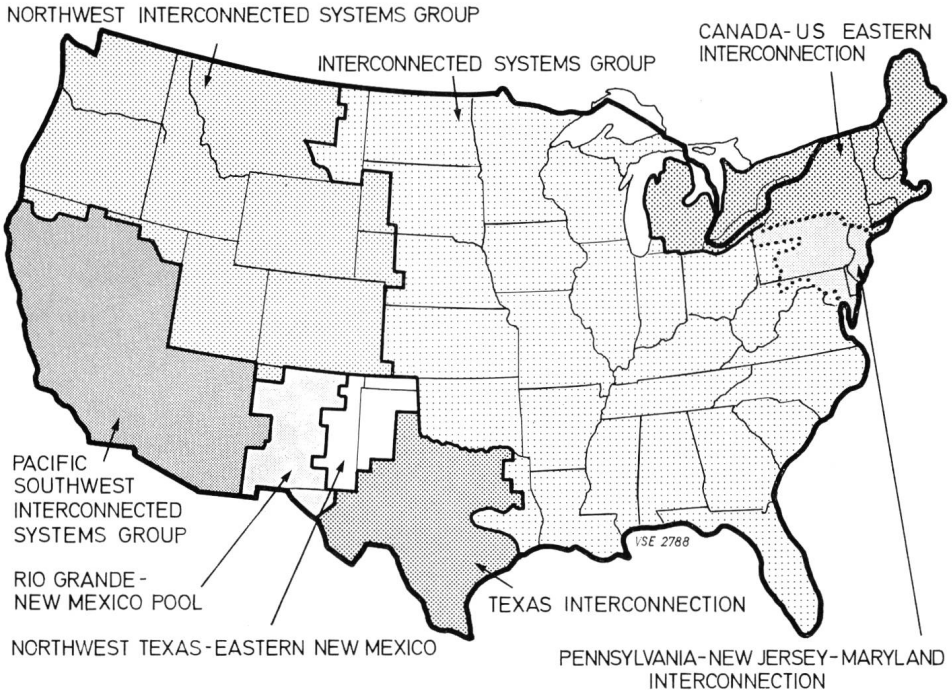


Fig. 6
Jahreszunahme der Energieerzeugung in verschiedenen Gebieten der USA
(Stand im Oktober 1970)
Durchschnittlicher Zuwachs für 1969...1970 = 7,1 %
Zuwachsfaktor für die Zeitperiode 1958...1970 k = 2,4

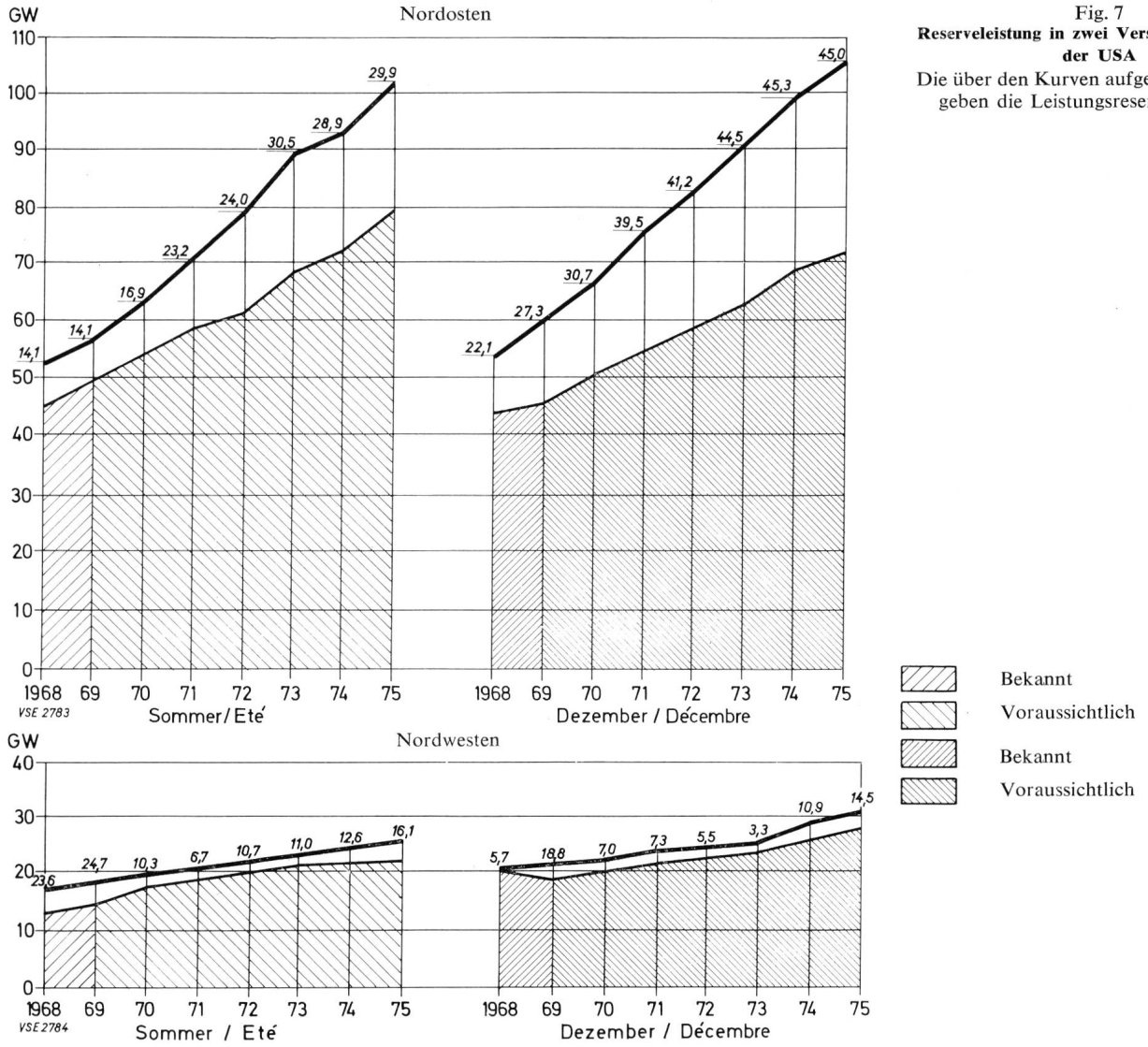


Fig. 7
Reserveleistung in zwei Versorgungsgebieten der USA
Die über den Kurven aufgeführten Zahlen geben die Leistungsreserve in % an.

einige Gebiete über eine genügende Reserveleistung verfügen, herrscht in anderen Gebieten ein akuter Leistungsmangel (Fig. 7) [5]. Der grossen Entfernungen und Leistungen wegen kann die freie Reserve eines Energiesystems nur begrenzt zur Unterstützung anderer Gebiete eingesetzt werden. Die bestehenden Hochspannungsleitungen reichen nur vereinzelt zur Fernübertragung grosser Leistungsblöcke aus.

— In den neuen Kraftanlagen installiert man Energieaggregate für 500...1000 MW und noch höhere Einheitsleistungen, sodass jedes Aggregat einen hohen Anteil (5...10 % oder mehr) der Gesamtlast des betreffenden Energiesystems trägt; die Leistungsreserve muss entsprechend hoch gehalten werden. Die sehr grossen Energieaggregate weisen ausserdem eine etwas geringere Verlässlichkeit als die Einheiten mässigerer Leistungen (< 500 MW) auf [13]. Obgleich man erwartet, dass sich nach gewissen Betriebserfahrungen ihre Verlässlichkeit erhöhen wird, muss man vorläufig mit einer grösseren Ausfallwahrscheinlichkeit der Grossaggregate rechnen, was bei der Festlegung der nötigen Reserve in Kauf genommen werden muss.

Um die Kraftwerksreserve auf die gewünschte Höhe zu bringen, sind für die 70er Jahre Leistungszusätze geplant worden, welche die vorausgesehenen Bedarfszuwachsraten übersteigen.

Die während der kommenden Dekade jährlich in Betrieb zu nehmende Leistung wird 30...40 GW betragen, wobei die Ausführung der Aufträge 4...6 Jahre in Anspruch nehmen soll. Man ist allerdings nicht sicher, ob in Hinsicht auf die schon erwähnten Schwierigkeiten des Kraftwerksbaus die geplanten Neubauten rechtzeitig fertiggestellt werden können; die gespannte Situation in der Leistungsbilanz kann sich im kommenden Jahrzehnt fortsetzen oder sogar verschlechtern.

Die Inbetriebnahme der neuen Leistung und ihre Primärenergiequellen sind in Tabelle I angegeben [7].

Laut anderen Quellen wird erwartet, dass der Bau von Kernkraftwerken sogar rascher erfolgen und in den 70er Jahren

Kraftwerksleistung (GW)

Tabelle I

Energiequelle Jahr	Brennstoffe	Kernenergie	Wasserenergie	Insgesamt
1960	9,45	0,30	1,35	11,10
1965	10,60	—	1,75	12,35
1970	21,95	2,25	1,70	25,90
1975 (geschätzt)	21,60	12,65	2,75	37,00
1980 (geschätzt)	20,90	18,90	2,20	42,00
1985 (geschätzt)	31,40	28,40	3,20	63,00

einen Jahreszuwachs von rd. 20 GW aufweisen wird. In der Mitte der 80er Jahre werden in Kernkraftwerken voraussichtlich mehr als 40 % der neu hinzugekommenen Leistung untergebracht werden. Nachher werden die Kernkraftanlagen in einem noch schnelleren Tempo die Brennstoffkraftwerke ersetzen. Wasserkraft wird nur eine geringe Rolle in der neuen Leistung spielen; die Pumpspeicherwerke dagegen werden als günstige Spitzenwerke in der Leistungsbilanz eine zunehmende Bedeutung gewinnen.

4. Die Energiequellen

Die Sicherung einer technisch und kostenmässig befriedigenden Primärenergiegrundlage zur Erzeugung der grossen Energiemengen wird noch schwierigere Probleme als die Bereitstellung der nötigen Kraftwerksleistung aufwerfen. Der Schwerpunkt der Probleme wird sich dadurch von der Leistungs- auf die Energiebilanz verlagern. Man wird gezwungen sein, nach neuen Methoden der Energieerzeugung zu suchen, um die verwertbaren Energiequellen vollständiger ausnutzen, die Energiegrundlage erweitern und die Verordnungen bezüglich des Umweltschutzes befriedigen zu können.

Die USA besitzen reichliche Primärenergievorräte, so dass der wirtschaftliche Wettbewerb zwischen verschiedenen Primärenergieträgern die Gestaltung der elektrischen Energieversorgung in grossem Masse beeinflusst hat. Die Rolle der einzelnen Energiequellen im Kraftwerksbetrieb und die voraussehbare Entwicklung ist in Tabelle II angegeben.

In der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts werden tiefgreifende strukturelle Veränderungen in der Primärenergiegrundlage des Kraftwerksbetriebs stattfinden. Während 1930...70 die Lastzunahme zum grössten Teil von Brennstoffkraftwerken aufgenommen wurde, wird gegen Ende des Jahrhunderts Kernenergie den Vorrang erhalten. Die Rolle der Wasserkraft wird sich dagegen allmählich vermindern.

4.1 Wasserkraft

Die Jahresarbeit der ausbauwürdigen Wasserkräfte der USA wird auf 500...700 TWh geschätzt. Die ausgebauten Wasserkraftwerke, mit einer Leistung von rd. 50 GW, erzeugen durchschnittlich 200...220 TWh/a. Mehr als 50 % der Wasserkräfte befinden sich in den westlichen Gebirgsgebieten, vor allem im Nordwesten, wo im Columbia-Flussgebiet ein Kraft-

Die Energiequellen der Kraftanlagen (%)

Tabelle II

Energiequelle / Jahr	1930	1950	1966	1975	2 000 [1]
Wasserkraft	34	29	16	12	5
Fossile Brennstoffe	66	71	84	80	40
Kernenergie	—	—	—	8	55

[1]) Schätzungen

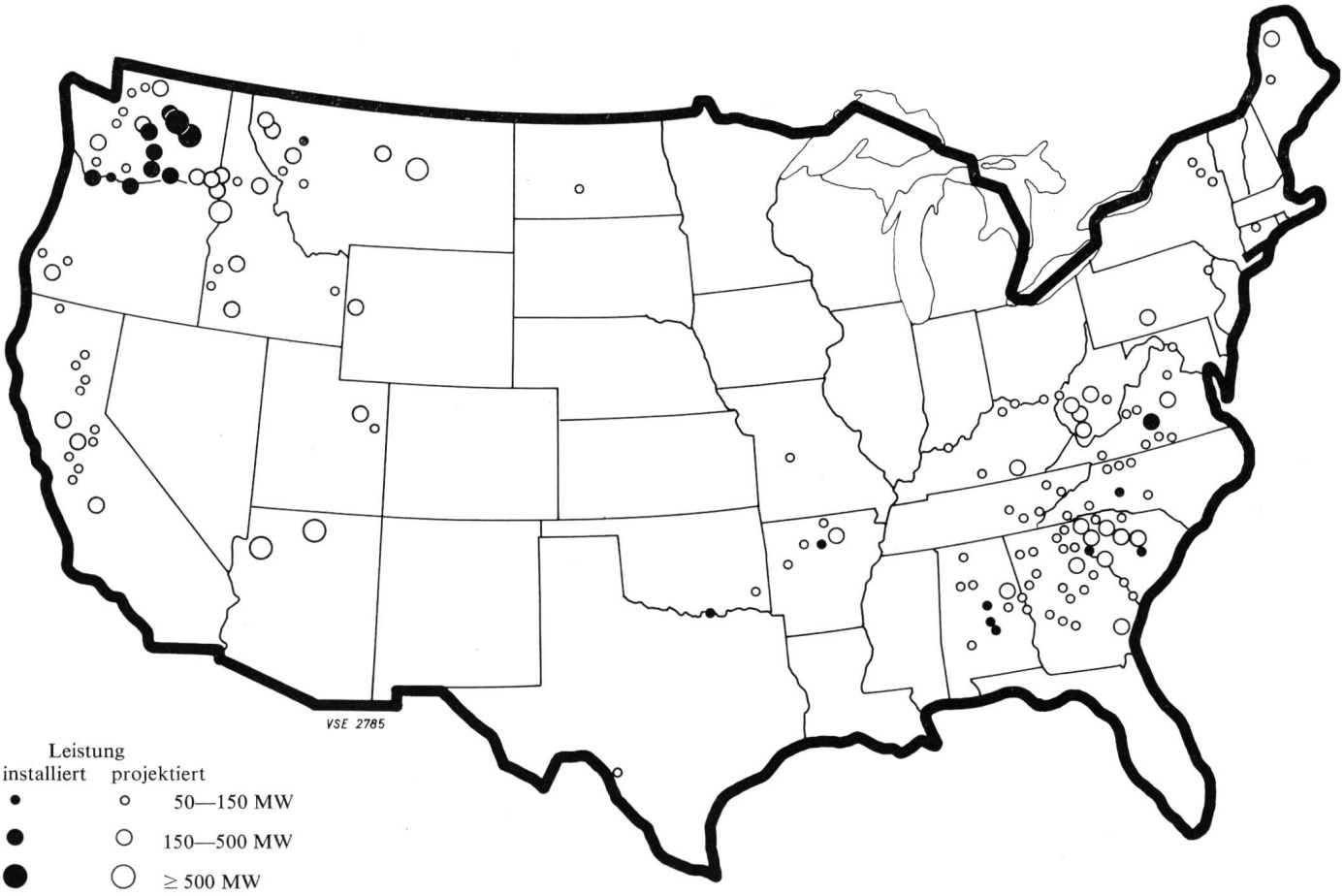


Fig. 8
Projekte der Wasserkraftwerke für die Periode 1964...80
Schwarze Kreise — Erweiterungen der bestehenden Kraftwerke

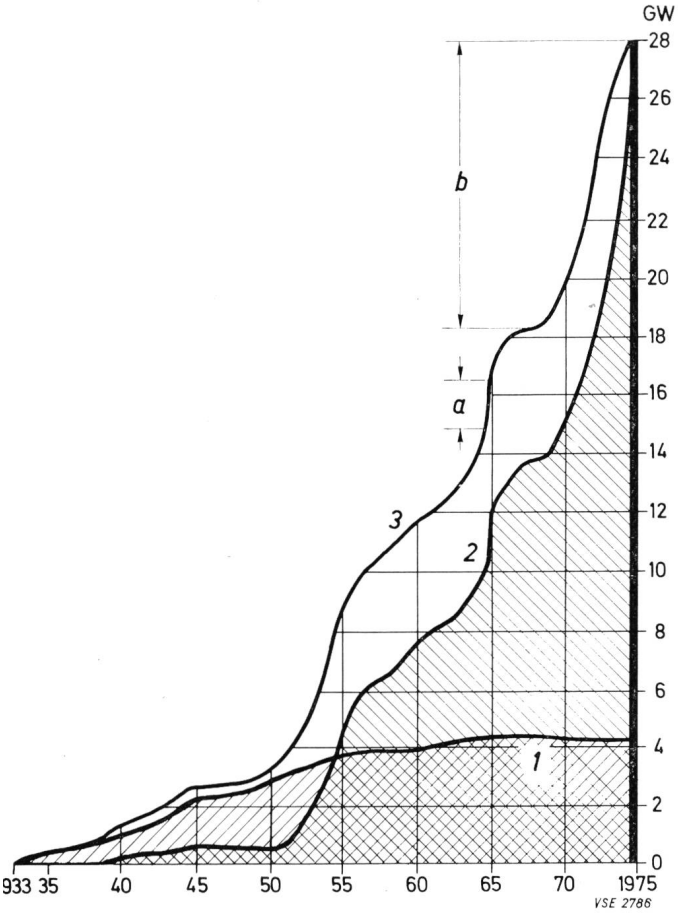


Fig. 9
Leistungszunahme des TVA-Energiesystems
1 Wasserkraftleistung
2 Dampfkraftleistung
3 Gesamtleistung
a Leistungserhöhung der Dampfkraftwerke
b Leistung der sich im Bau oder in Konstruktion befindlichen Kraftwerke (vorwiegend Kernkraftleistung)

werkssystem von 15 GW errichtet worden und noch erweiterungsfähig ist [14]. Es ist zweifelhaft, ob alle zur Zeit als ausbauwürdig gewerteten Wasserkräfte auch tatsächlich ausgebaut werden. Da die neue Kraftwerksleistung in grossen Blöcken zugesetzt werden muss und Kernenergie dazu günstige Lösungen verspricht, muss man damit rechnen, dass eine Anzahl kleinerer, relativ teurer Wasserkräfte für immer unausgebaut verbleiben wird.

Der Wasserkraftausbau wird durch mehrere Umstände verlangsamt:

— Die günstigsten Wasserenergiequellen sind schon erschlossen worden, so dass man mit dem Ausbau weniger geeigneter Wasserkräfte beginnen muss; die dazu benötigten Investitionen und der hohe Zinssatz des Kapitals belasten die Wasserkraftanlagen schwer. Da Wasserkraftwerke standortgebunden sind, benötigt auch die Übertragung der Energie hohe Kapitalinvestitionen.

— Die Umgebung des Flusstals wird vom Flussausbau in hohem Masse beeinträchtigt, was Einwände von den Naturschutzorganisationen auslöst; dadurch wird die Baugenehmigung verzögert und das Projekt geändert oder aufgegeben. So ist der Bau eines 2,0-GW-Pumpspeicherwerks am Hudson-Fluss, in der Nähe New Yorks, seit 5...6 Jahren aufgehalten worden, obwohl die Stadt wegen Mangel an Spitzenleistung zu Abschaltungen oder zur Verminderung der Betriebsspannung greifen muss. Auch ist der Ausbau einiger Wasserkraftwerke im Westen aus ähnlichen Gründen zurückgestellt worden.

Die Wasserkraft ist bei weitem nicht imstande, die rasche Zunahme des Energiebedarfs allein zu decken. Man schätzt, dass der Leistungszuwachs der Wasserkraftwerke bis 1980 jährlich 2,0...3,0 GW oder nur 7...10 % des gesamten Leistungszuwachses betragen wird. Die Wasserkraftleistung wird dadurch um 1980 rd. 80 GW erreichen, wobei die Neubauten mehrere Kraftwerkserweiterungen für Spitzendeckung, vor allem im Columbia-Flussgebiet, enthalten werden (Fig. 8) [15; 16]. In dieser Zahl sind die Pumpspeicherwerke nicht eingeschlossen, die als schnell einsetzbare Spitzenwerke immer mehr an Bedeutung gewinnen. Die Leistung der betriebenen, im Bau befindlichen und geplanten Pumpspeicherwerke übersteigt 15 GW, wobei neue Bauprojekte ständig hinzukommen.

Da die auszubauenden Wasserkräfte allmählich erschöpft sind, verwandeln sich die ursprünglich hydraulischen Energiesysteme in hydraulisch-thermische Systeme, in denen Wärmekraftwerke die führende Rolle übernehmen. So wird das TVA-System letzthin ausschliesslich mittels thermischer Anlagen erweitert (Fig. 9) [17;6]. Sogar im Nordwesten, trotz der ergiebigen Wasserkräfte dieses Gebiets, wird neben den Erweiterungen der Wasserkraftwerke der Bau grosser thermischer Kraftanlagen geplant.

4.2 Die fossilen Brennstoffe

Die fossilen Brennstoffe stellen die zur Zeit wichtigste Energiequelle der Kraftwerke dar. Obwohl sie allmählich von der Kernenergie verdrängt werden, werden sie doch bis zur Jahrhundertwende noch ihre wesentliche Rolle im Kraftwerksbetrieb beibehalten.

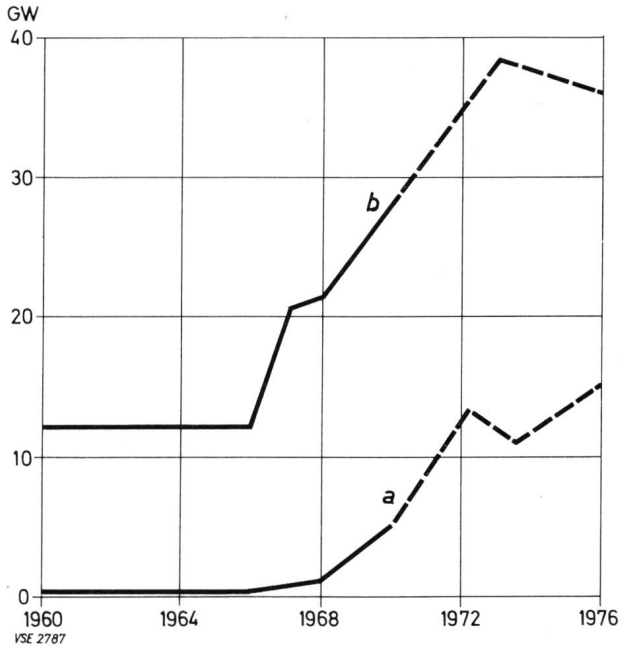


Fig. 10
Kernkraftleistung neuer Kraftwerke
a Kernkraftleistung
b Gesamtleistung

4.3 Kernenergie

Die USA haben im Laufe von mehr als zwei Jahrzehnten grosse Mittel zur Entwicklung der Kernenergietechnik aufgebracht. Bis 1965 wurden vorwiegend nur Versuchsreaktoren, nicht aber schlüsselfertige Kraftanlagen, gebaut. Da die USA über genügend Vorräte an fossilen Brennstoffen verfügen, war es nicht nötig, den Einsatz der Kernenergie zu beschleunigen, bevor eine gewisse technische Reife im Kernkraftwerksbau erzielt worden war und Kernenergie mit den fossilen Brennstoffen in Wettbewerb treten konnte.

Die Situation änderte sich 1967 mit dem Bau des Oyster-Creek Kernkraftwerks (Fig. 10) [19]. Es stellte sich dabei heraus, dass die Kernkraftwerke den Wettbewerb mit den fossilen Brennstoffen schon aufnehmen konnten. Dies führte zu einem Wendepunkt im Kernkraftwerksbau, so dass seit 1967 die Maschinenindustrie mit Aufträgen für kernenergetische Ausrüstungen plötzlich überflutet wurde. Da aber die Industrie für diese Aufgabe nicht vorbereitet war, entstanden Verspätungen in der Fertigstellung der Kernkraftwerke. Ausserdem wurde die Inbetriebnahme der Kernkraftwerke durch Einwände der Bevölkerung, die übertriebenen Sicherheitsvorschriften wie auch durch technische Mängel verzögert. Trotz dieser Hindernisse befindet sich zur Zeit eine Kernkraftleistung von nahezu 100 GW im Betrieb, Bau und in Planung [18].

Die früheren viel zu vorsichtigen Schätzungen der zukünftigen Rolle der Kernenergie sind später nach oben berichtigt worden. Während 1965 die Atomic Energy Commission für 1980 eine Kernkraftleistung von nur 40...50 GW voraussah, ist diese Schätzung inzwischen auf 150 GW erhöht worden; es ist möglich, dass sogar diese Zahl übertroffen werden wird, weil Schwierigkeiten mit den fossilen Brennstoffen einen rascheren Einsatz der Kernenergieanlagen begünstigen. Man schätzt, dass in den 80er Jahren rd. 50 % der neuen Kraftwerksleistung in Kernkraftanlagen installiert sein wird. Auf lange Sicht wird die Rolle der Kernenergie von den Erfolgen in der Entwicklung der Brutreaktoren beeinflusst werden, doch kann Kernenergie auch auf der Grundlage der bisher vorherrschenden, wassergekühlten thermischen Reaktoren ihr Arbeitsfeld erheblich erweitern, obwohl die Uranvorräte der USA nicht ergiebig sind und die bisherigen Reaktortypen die Primärenergiequelle sehr unvollständig ausnutzen.

Die Erstellung der Kernkraftwerke nimmt 5...7 Jahre in Anspruch; ihre Bauzeit wird durch die langen Wartezeiten in der Fertigung der Kernkraftausrüstung und Schwierigkeiten in der Erhaltung der Bau- und Betriebsgenehmigungen verlangsamt.

Die Maschinenindustrie ist mit Aufträgen schwerer Kraftwerksausrüstung überlastet, so dass die EVU mit erheblichen Verspätungen in der Inbetriebnahme der geplanten Kernkraftwerke rechnen müssen. Sie sind in einigen Fällen gezwungen, ihre Pläne des Kernkraftwerksbaus aufzuschieben und vorläufig noch Brennstoffkraftwerke zu errichten, um die benötigte Leistung rechtzeitig in Betrieb nehmen zu können. Auch die Erteilung der Genehmigung zur Errichtung und zum Betrieb von Kernkraftanlagen ist ein zeitraubender Prozess, besonders wenn es sich um Baustellen nahe besiedelter Ortschaften handelt. Daher muss der Bau der Kernenergieanlagen rechtzeitig im voraus geplant und aufgenommen werden.

Einige der aufgezählten Hindernisse sind vorübergehender Natur und wenn sie auch zur Zeit den Kernkraftwerksbau gewissermassen hemmen, können sie doch nicht die Umschaltung der Energieversorgung auf Kernenergie aufhalten. Die Mängel in der Beschaffung von fossilen Brennstoffen wirken zugunsten der Kernenergie, weshalb einige Energiesysteme ihr Bauprogramm vollständig auf Kernenergie umgestellt haben. So hat die TVA das grösste Programm des Kernkraftwerksbaus eingeleitet, obwohl das Energiesystem in den Kohlengewinnungsgebieten liegt; im TVA-System befinden sich zur Zeit 9 Kernkraftaggregate für 10,2 GW im Bau und in Auftrag [17; 18]. Sogar in den südwestlichen Gasgewinnungsgebieten erwägt man die Errichtung von Kernkraftwerken. Diese optimistischen Erwartungen werden durch einen neuen Anstieg in den Aufträgen von Kernkraftausrüstungen, die nach dem Rekordjahr 1967 zurückgegangen waren, bestätigt.

Um die Probleme der Primärenergiequellen auf lange Sicht lösen zu können, müssen energetisch wirksamere Kernreaktoren, vor allem Brutreaktoren, entwickelt und möglichst schnell in der Energieversorgung eingesetzt werden. Da hier aber noch erhebliche technische Entwicklungsarbeit geleistet werden muss, schätzt man, dass die Brutreaktoren vor den 80er Jahren keine praktische Rolle im Kraftwerksbetrieb spielen werden. Bemühungen in dieser Richtung müssen aber gesteigert werden, um die Lücke in der Primärenergiegrundlage, die gegen Ende des Jahrhunderts eintreten kann, abwenden zu können. Deshalb wird auch den Versuchen mit thermonuklearen Reaktoren mehr Beachtung geschenkt. Es müssen jedoch die in der nahen Zukunft zu lösenden Probleme noch mittels der bestehenden Typen der Energieanlagen gemeistert werden. Die neuen Verfahren der Energieerzeugung können die Energieversorgung nur gegen Ende des Jahrhunderts oder noch später praktisch beeinflussen.

5. Der Verbundbetrieb

Die elektrische Energie wird in den USA von zahlreichen, zum grössten Teil privaten EVU erzeugt. Erst in der letzten Zeit fangen sie an, sich in grossen Verbundgruppen zu vereinigen. Der Ausbau eines Hochspannungsnetzes war während mehrerer Jahrzehnte vernachlässigt worden, so dass der Leistungsaustausch zwischen den regionalen Netzen oder die Fernübertragung der Energie nur in beschränktem Masse erfolgen konnte. Die höchste bis 1965 benutzte Spannungsebene war 345 kV, welche zur Übergabe grosser Leistungsblöcke nicht genügt. Der Mangel eines entwickelten Hochspannungsnetzes war eine Schwäche der amerikanischen Elektrizitätswirtschaft, die auch jetzt noch nicht völlig behoben worden ist, wenn auch letzthin grössere Anstrengungen in dieser Richtung als vorher gemacht werden. Eine dringende Aufgabe ist es, ein leistungsfähiges Netz von Fernleitungen zu errichten, um einen wirtschaftlich zweckmässigen Verbundbetrieb über ausgedehnte Territorien zu ermöglichen; bei den rasch zunehmenden Kraftwerksleistungen stellt dies keine leichte Aufgabe dar. Dabei stellt sich auch die Frage, ob die Hochspannungsübertragungen in einer Gemeinschaftsarbeit der privaten EVU oder von einer übergeordneten Behörde geplant und gebaut werden sollen. Bisher haben sich im Netzausbau die beiden Sektoren der Energieversorgung — der private und der staatliche — beteiligt.

Mit der Leistungszunahme des Energieerzeugungsapparats und dem Zusammenschluss kleinerer Systeme entstand in den 60er Jahren die Notwendigkeit, die Übertragungskapazität der elektrischen Netze wesentlich zu steigern. Dies brachte eine Erhöhung der Betriebsspannungen mit sich, was zum Bau von 500...765 kV Drehstrom- und 750 kV Gleichstrom-Übertragungen führte [20]. Da in Zukunft die zu übertragenden Leistungen beständig zunehmen werden, erwägt man die Anwendung noch höherer Betriebsspannungen ($\geq$ 1000 kV); es werden Versuche mit diesen Höchstspannungen durchgeführt.

Die Programme des Netzausbaus müssen nicht bloss mit dem Leistungsanstieg der Kraftanlagen Schritt halten, sondern auch die Versäumnisse der vergangenen Bauperioden beheben.

Seit Mitte der 60er Jahre, als der Zusammenschluss einzelner Energiesysteme mittels der Hochspannungsleitungen (für $\geq$ 345 kV) begann, ist der Netzausbau schneller als der Lastanstieg der Kraftwerke fortgeschritten. Innerhalb von 6 Jahren hat sich die Übertragungskapazität der Netze verdoppelt, wobei dies zum überwiegenden Teil durch die verstärkte Errichtung von Hochspannungsübertragungen erreicht worden ist.

Der Ausbau von Hochspannungsleitungen hat eine gewisse Konzentration der früher zersplitterten Energieversorgung ermöglicht. Dadurch sind Verbundgruppen entstanden, welche ausgedehnte Territorien umfassen (Fig. 11) [15]. Die Zusammenarbeit einiger Netzgruppen ist so wirkungsvoll, dass sie die neuen Kraftwerke gemäss den Forderungen des ganzen Verbundes als Gemeinschaftsanlagen auslegen und ihre Leistungsflüsse je nach Bedarf lenken. In anderen Fällen dagegen bestehen zwischen den Systemen nur relativ schwache Verbindungen, die bloss zum Austausch gewisser Reserveleistungen genügen, so dass ein echter Verbundbetrieb unmöglich ist.

Der Ausbau des Hochspannungsnetzes mit einer Leistungsfähigkeit, die eine zweckmässige Zusammenarbeit der grossen Kraftwerksgruppen ermöglichen würde, wird enorme Mittel und viel an organisatorischem Talent bedürfen. Der Errichtung neuer Überlandleitungen wird von den Befürwortern des Umweltschutzes noch mehr Widerstand als bei der Erstellung der Kraftanlagen entgegengebracht; man erwägt deshalb in den dicht besiedelten Ortschaften den Übergang auf Kabel-Leitungen, die aber mit erheblich höheren Kosten verbunden sind. Die zweckmässigste Anordnung der in Zukunft zu erstellenden Kraftwerke und der Übertragungen grosser Energieflüsse bedarf eingehender energiewirtschaftlicher Prüfung, wobei die zu erwartenden technischen Entwicklungen der Energieversorgung in Betracht gezogen werden müssen. Diese Aufgabe kann nicht auf eine spätere Zeitperiode aufgeschoben werden, weil es schwierig und kostspielig ist, die beim Kraftwerk- und Netzausbau begangenen Fehler später zu berichtigen.

6. Zusammenfassung

Im Aufsatz sind die wichtigsten Probleme der amerikanischen Energiewirtschaft aufgezählt worden, die in naher Zukunft gelöst werden müssen, um Rückschläge in der elektrischen Energieversorgung verhindern zu können. Dabei müssen zwei Hindernisse — Mangel an Kraftwerksleistung und Lücken in der Beschaffung von Primärenergieträgern — überwunden werden. Die Ursachen dieser Mängel sind verschiedener Natur, wobei einige davon aus den spezifischen amerikanischen Umständen hervorgehen, die anderen dagegen für die Versorgung mit elektrischer Energie jedes Landes typisch sind.

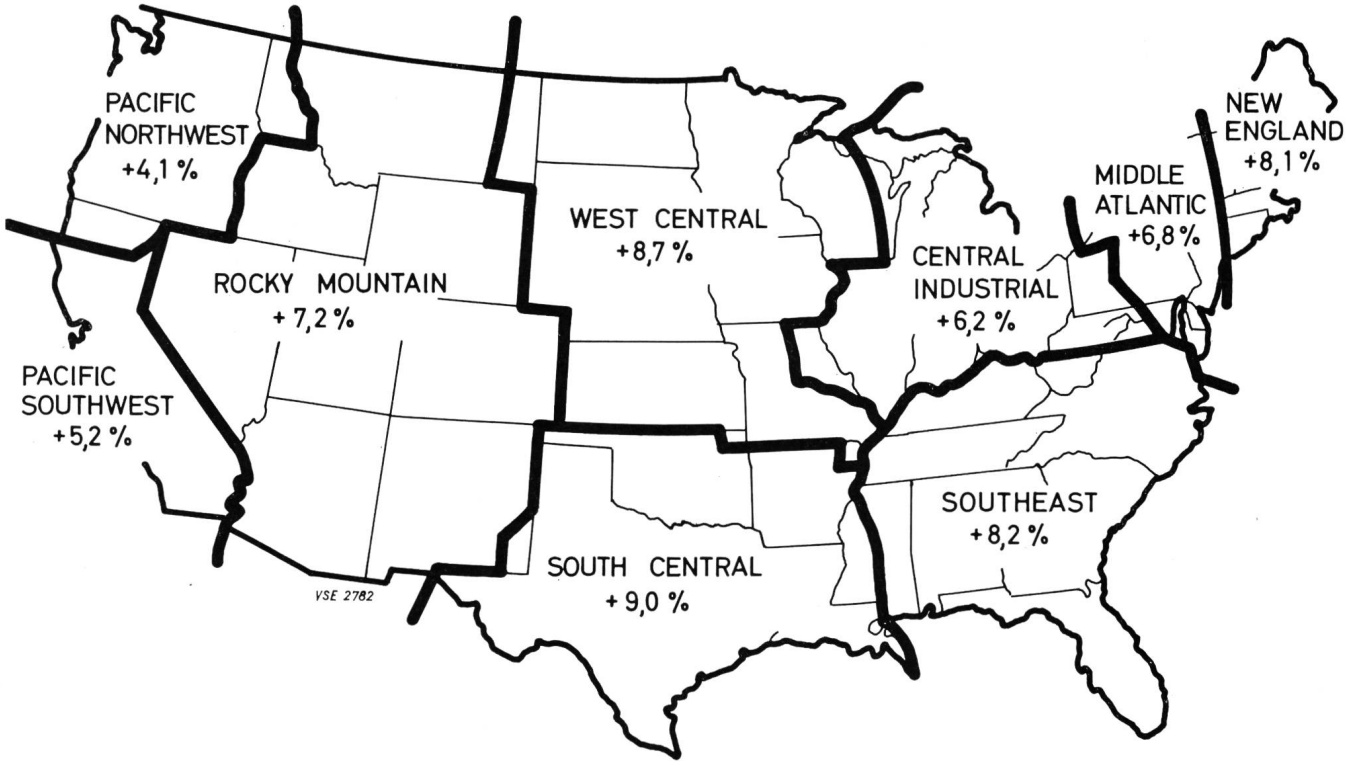


Fig. 11
Verbundgruppen

Zur Überwindung von Schwierigkeiten in der Energieversorgung müssen Massnahmen technischer, wirtschaftlicher und organisatorischer Natur angewandt werden. Um eine ungestörte Energieversorgung zu erzielen, müssen folgende Schritte erwogen werden:

— eine eingehende Auswertung der zu lösenden Probleme und die Festlegung der dazu einsetzbaren praktischen Massnahmen;

— grosse Kapitalinvestitionen zum weiteren Ausbau der herkömmlichen Energieanlagen, wie auch zur Entwicklung neuer Wege der Energieerzeugung;

— angemessene organisatorische Massnahmen zur reibungslosen Ausdehnung der Energiewirtschaft.

Die amerikanische Elektrizitätswirtschaft hat ein umfangreiches Bauprogramm der Kraftanlagen (rd. 200 GW im Bau und in Planung) und Netze eingeleitet; man hofft dadurch den Leistungsmangel in der Mitte der 70er Jahre abwenden zu können. Es wird dagegen schwieriger sein, die grossen Mengen der Primärenergieträger zur Deckung des beständig zunehmenden Energiebedarfs zu beschaffen; da die fossilen Brennstoffe infolge ihrer begrenzten Vorräte, rasch ansteigender Preise und der vom Standpunkt des Umweltschutzes auferlegten Beschränkungen bald nicht mehr fähig sein werden, auf eine längere Zeitperiode die Energiebedürfnisse zu befriedigen, wird die Energieversorgung sich in zunehmendem Masse auf Kernenergie umstellen. Deshalb müssen erhebliche Bemühungen zur Entwicklung von Brutreaktoren aufgebracht werden, weil die Ausnutzung des Kernbrennstoffes in den gegenwärtigen thermischen Reaktoren so unvollständig ist, dass auch die Kernenergievorräte nicht imstande sein werden, mit diesen Reaktortypen den rasch ansteigenden Energiebedarf auf lange Sicht zu decken.

Literatur

[1] World Power Data, 1967. Federal Power Commission. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C.

[2] *A. Kroms:* Die Elektrizitätswirtschaft der USA. Bulletin des SEV (Die Seiten des VSE), 61(1970), 24 und 26, S. 1159...1162 und 1276...1279; 62(1971), I, S. 91...96.

[3] *A. Kroms:* Stromversorgung der Welt. Elektrizitätswirtschaft, 68(1969)19, S. 367...375.

[4] Statistical Year Book of the Electric Utility Industry for 1969. Edison Electric Institute, New York, 1970.

[5] 47th Semi-Annual Electric Power Survey. Edison Electric Institute, New York, 1970.

[6] *A. Kroms:* Das hydraulisch-thermische Energiesystem der Tennessee Valley Authority. Bull. des SEV (Die Seiten des SEV), 60(1969), 22, S. 1061...1072 und 23, S. 1112...1114.

[7] *L. M. Olmsted:* 21st Annual Electrical Industry Forecast. Electrical World, 174(1970)6, p. 35...50.

[8] Electrical World, 175(1970)5, p. 27.

[9] Hydroelectric Power Evalution, Federal Power Commission, 1968. Supplement Nr. 1, 1969. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C.

[10] *H. E. Lokay; C. E. Seglem:* The Gas Turbine — its Growth in the Electric Utility Industry. Mechanical Engineering, 92(1970)10, p. 34...38.

[11] *A. Kroms:* Prognosen der amerikanischen Elektrizitätswirtschaft. Elektrizitätswirtschaft, 69(1970)5, S. 130...137.

[12] Power Engineering, 74(1970)11, p. 14.

[13] *P. G. Palo; G. O. Wessenauer; J. R. Parrish; E. F. Thomas:* TV's Experience with Thermal Units with Capacity from 500 to 1150 Megawatts. VII World Power Conference, Moscow, 1968. Paper C-146.

[14] *A. Kroms:* Wasserkraft in der Energieversorgung der USA. OZE, 19(1966)2, S. 85...98.

[15] National Power Survey, 1964, Federal Power Commission. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C.

[16] *A. Kroms:* Zur Erweiterung des Grand Coulee Kraftwerks. öZE, 21(1968)3, S. 118...123.

[17] *R. H. Dunham:* Growth of Steam Power on TVA System. Power Engineering, 74(1970)7, p. 38...41.

[18] Nuclear Plants «Break a Hundred» Electrical World, 174(1970)7, p. 30...34.

[19] *F. C. Olds:* The Nuclear Power Schedule Struggle. Power Engineering, 74(1970)9, p. 34...41.

[20] *O. B. Falls:* Changing Patterns in Energy Transport. Power Engineering, 73(1969)5, p. 28...33.

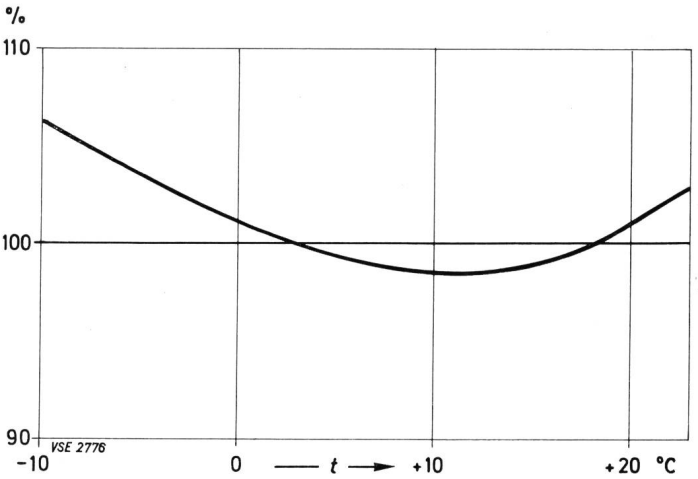
Adresse des Autors:
A. Kroms, 50 Rockland Avenue, Malden, Mass. 02 148 USA.

Verbandsmitteilungen

Abhängigkeit des Spitzenleistungsbedarfs von der Lufttemperatur in der Schweiz

Zur Ermittlung der nebenstehenden Kurve sind maximale Tages-Leistungswerte der letzten 11 Jahre unter Berücksichtigung der jährlichen Zuwachsraten des Strombedarfs herangezogen worden und in Abhängigkeit der betreffenden Mitteltemperatur aufgetragen, wobei der mittlere Spitzenleistungsbedarf die 100-%-Linie bildet. Die Abweichung einzelner Werte von der durchschnittlichen Leistungsbedarfskurve beträgt bis zu 9 %. Die Temperaturen resultieren aus Messungen in vier Städten, wobei auf die wichtigsten Stromverbrauchszentren und auf die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen möglichst weitgehend Rücksicht genommen wurde.

Neben einem Anstieg des Energiebedarfs in den Wintermonaten (elektr. Raumheizung, Strassenbeleuchtung, erhöhter Stromverbrauch in den Haushaltungen) zeigt sich auch eine Steigerung während sehr warmer Sommertage. Dies dürfte unter anderem auf den vermehrten Kühl- und Wasserbedarf (Bad und Dusche) zurückzuführen sein. *K. Blank*



Temperaturabhängigkeit des schweizerischen Spitzenleistungsbedarfs