

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 62 (1971)
Heft: 5

Rubrik: Energie-Erzeugung und Verteilung : die Seiten des VSE

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

Energie-Erzeugung und -Verteilung

Die Seiten des VSE

Der 15. Kongress der UNIPEDE in Cannes (13. — 17. Sept. 1970)

Hauptbericht des Direktionskomitees ¹⁾ der UNIPEDE

Wachstumsprobleme der Elektrizitätswirtschaft bei Verdreifachung des Verbrauchs

Vorwort

Die «Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique» (Internationale Union der Erzeuger und Verteiler von elektrischer Energie), abgekürzt UNIPEDE, hält traditionsgemäss alle drei Jahre einen internationalen Kongress ab. Der letzte Kongress fand im September 1970 in Cannes statt. Dort stiess besonders ein Bericht auf das lebhafteste Interesse aller Teilnehmer, der unter dem Titel «Wachstumsprobleme der Elektrizitätswirtschaft bei Verdreifachung des Verbrauchs» weite Beachtung über den Kreis der unmittelbar Interessierten verdient. In der Annahme, dass dies auch für die Leserschaft des Bulletins SEV und der «Seiten des VSE» gilt, haben wir die UNIPEDE um die Erlaubnis zur Übersetzung und zum Abdruck des Berichtes in vollem Wortlaut gebeten. Im Anschluss an den Kongressbericht publizieren wir eine in der Zeitschrift «Electricité» (herausgegeben vom belgischen Elektrizitätswerksverband) erschienene Zusammenfassung der in Cannes geführten Diskussion. Schliesslich werden in einem Kurzkomentar die ersten Schlussfolgerungen aus den im Kongressbericht entwickelten Zukunftsaussichten für unser Land gezogen.

Einleitung

Allgemeine Überlegungen und Wahl der Untersuchungsperiode

Es ist gut, wenn man von Zeit zu Zeit versucht, von den alltäglichen Problemen Abstand zu gewinnen und die grossen Linien einer Entwicklung zu erforschen, bei der wir gleichzeitig sowohl Miterlebende als Mithandelnde sind. Es handelt sich um eine Entwicklung, die im Laufe der Jahre nicht nur unser Lebensrahmen und unser Verhalten, sondern sogar unsere Denkweise radikal umformt. Eine solche Überlegungspause ist immer gut; sie wird aber um so nützlicher und notwendiger, wenn der Gegenstand der Betrachtung immer *rascheren Veränderungen* unterworfen ist. Das gleiche gilt, wenn man sich mit einem Gebiet befasst, auf dem einige Entschlüsse eine grosse Zahl von Folgen hat, die auch eine entferntere Zukunft massgebend beeinflussen können. Wie kann man aber solche Entschlüsse sorgfältig fassen, wenn man keine Vorstellungen über deren Fernwirkung hat, und wie kann man diese Folgen für die

Zukunft mindestens in den grossen Zügen kennen, wenn man über die Zukunft, die wir heute vorbereiten, nichts weiss? Mehr als andere Industriezweige muss die *Elektrizitätswirtschaft* grosse Anstrengungen für eine *langfristige Forschung* unternehmen; denn sie arbeitet in einem Gebiet, das seit über 75 Jahren überdurchschnittliche Wachstumsraten aufweist, und sie ist ferner eine Schwerindustrie, die vorwiegend Anlagen mit langer Lebensdauer erstellt und betreibt.

Weil die Zukunft unsicher ist, zweifeln viele Leute an der Möglichkeit solcher Zukunftsüberlegungen. Sie können darauf hinweisen, dass man von falschen Voraussetzungen ausgehen kann und dass es immer wieder unvorhergesehene Ereignisse gibt, die zum Teil weitreichende Auswirkungen haben können. Soll man aber andererseits die Trägheit vieler Abläufe übersehen und nicht beachten, dass das, was war, oft einen sehr grossen Einfluss hat auf das, was ist? Ohne Zweifel sind diese beharrenden Einflüsse nicht immer gleich stark. Die Elektrizitätswirtschaft ist besonders geeignet für eine Untersuchung über die zukünftige Entwicklung; denn sie ist eine Schwerindustrie mit einer sehr *hohen Belastung für langfristige Investitionen* (jedes Jahr muss rund die Hälfte des Umsatzes investiert werden); sie muss diese grossen Investitionen aufbringen, und zwar trotz der raschen Entwicklung, aus der eher eine grössere Freiheit abzuleiten wäre als für andere Branchen.

Bei der geplanten Zukunftsforschung muss man sich anderseits im Programm auf Gebiete und Fragen beschränken, für die sich ein grösserer Aufwand an Forschung tatsächlich lohnt und für die er sinnvoll ist. Von diesem Standpunkt ist festzuhalten, dass es besonders auf einem Gebiet mit sehr rascher Entwicklung und damit vielen Veränderungsmöglichkeiten problematisch ist, zukünftige Ereignisse mit *allzugrosser Präzision* festlegen zu wollen. Andererseits ist es aber oft wichtig, dass man von einem zukünftigen Ereignis sagen kann, ob man mit ihm rechnen muss oder nicht; denn je nach der einen oder andern Hypothese können sich stark unterschiedliche Entschiede aufdrängen. Mit einer solchen Denkweise und Fragestellung kann man sich die Untersuchung stark vereinfachen, da man eine grosse Zahl von unsicheren Faktoren beiseite lassen kann wie zum Beispiel die variablen konjunkturellen Einflüsse. Ebenso muss man katastrophale Ereignisse nicht mehr in Betracht ziehen, es sei denn, solche Ereignisse könnten die zu erreichenden Ziele (sofern man solche noch festlegen kann) und die verfügbaren Mittel (sofern es solche gibt) radikal verändern. Solche Möglichkeiten kann man eher in einer Gesamtbeurteilung der Zukunft berücksichtigen und daraus gewisse Schlüsse für vorbeugende oder für konser-

¹⁾ Dieser Bericht wurde von einer Gruppe von Fachleuten unter dem Vorsitz von Herrn Decelle, Präsident der UNIPEDE, verfasst. Der Gruppe gehörten folgende Herren an: Ailleret (Frankreich), Bardon (Frankreich), Chapuy (Frankreich), Francis (Grossbritannien), Giordani (Italien), Guck (Bundesrepublik Deutschland), Norrby (Schweden). Die Redaktion des Berichtes besorgte Herr Laigroz (Frankreich). Deutsche Übersetzung: P. Troller, dipl. Ing. ETH, 4000 Basel

vierende Massnahmen ableiten. Dieser Problemkreis, der nicht vernachlässigt werden darf, wird aber im vorliegenden Bericht nicht näher behandelt.

Auch die *Zeitdauer*, über die sich unsere Zukunftsbetrachtung erstrecken soll, muss vorher geprüft werden. Nimmt man eine relativ kurze Periode von z. B. nur 5 bis 10 Jahren, so ist die Analyse zwar relativ leicht; aber eine grössere Zahl der zu fassenden Entschlüsse kann nicht richtig beurteilt werden, da sie Entwicklungen zur Folge haben, die weit über diese Zeitspanne hinausgehen. Nimmt man für die Untersuchung eine wesentlich längere Periode von z. B. dreissig bis fünfzig Jahren, so wird die Analyse sehr schwierig, muss sich notwendigerweise auf die grossen Linien beschränken und wird wenig glaubwürdig. Gleichzeitig wird die Prognose für eine so lange Periode in ihrem Nutzen fragwürdig, weil der grösste Teil der notwendigen Entschlüsse und Annahmen nur für eine kürzere Zeitdauer einigermaßen richtig beurteilt werden kann. Es scheint, dass es zwischen den beiden genannten Grenzen (5 bis 10 bzw. 30 bis 50 Jahre) eine optimale Prognoseperiode gibt, die zwar nicht genau bestimmt werden kann, aber im allgemeinen in der Grössenordnung von 20 Jahren liegt.

Was geschieht in einer Periode, in der sich der Elektrizitätsverbrauch verdreifacht?

In der vorliegenden Studie soll untersucht werden, was in einer Periode geschieht, innert der sich der *Elektrizitätsverbrauch verdreifacht*. Gehen wir vom Jahre 1968 aus, das bei Abfassung dieses Berichtes das letzte erfasste Jahr war, so kommen wir mit einer jährlichen Verbrauchszunahme von 8 % (d. h. etwas höhere Zunahme als gegenwärtig) ins Jahr 1982, mit einer Verbrauchsverdoppelung innert 10 Jahren dagegen ins Jahr 1984 und bei einer Verbrauchszunahme von nur jährlich 6 % (d. h. etwas weniger als heute tatsächlich vorhanden) sogar ins Jahr 1987.

Wir haben für unsere Studien eine Zeitzone für eine optimale Prognose gesucht. Würde man diese Periode verlängern, so würde man bei vielen Kennwerten mehr an Genauigkeit verlieren als man bei einigen andern an zusätzlicher Information gewinnen könnte. Sucht man eine Periode mit Vervierfachung des Elektrizitätsverbrauchs, so kommt man mit den gleichen Varianten wie oben (d. h. 8 % Zuwachs, Verdoppelung in 10 Jahren, 6 % Zuwachs) vom Jahre 1968 ausgehend ans Ende der Jahre 1986 bzw. 1988 oder 1992.

Eine gewisse Vorsicht hat uns veranlasst, auf eine Untersuchungsperiode mit *Vervierfachung* des *Umsatzes* zu verzichten, und zwar aus folgenden Gründen: Aus vorhandenen Untersuchungen waren wenige Unterlagen vorhanden, die über 15 Jahre Zukunft hinausgingen. Noch knapper wären die Unterlagen gewesen für eine wahre Langfristuntersuchung bis zum Ende unseres Jahrhunderts, wofür man mit noch unsicheren Annahmen hätte arbeiten müssen. Verschiedene Überlegungen zeigten auch, dass man aus einer Studie über eine Vervierfachung des Elektrizitätsabsatzes keine grundsätzlich anderen Resultate erhalten hätte als im Falle einer Verdreifachung. Man entschied sich deshalb vorerst für eine Prognose und Untersuchung für eine «mittellange» Periode, wobei immer noch die Möglichkeit besteht, später eine neue Untersuchung für eine noch längere Periode vorzunehmen.

Die für die Untersuchung nun gewählte Periode mit Verdreifachung des Elektrizitätsverbrauchs hatte noch einen andern Vorteil. Wenn man nämlich den Verbrauch des Jahres 1968 durch 3 oder ungefähr durch 3 dividiert, so kommt man

in den meisten Fällen auf die Verbrauchszahlen am Anfang der fünfziger Jahre, in einer Zeit also, da die *Folgen des Zweiten Weltkrieges* für die wirtschaftliche Entwicklung einigermaßen *abgeklungen* waren. In der Zeit seit 1950 haben sich dann die uns zeitlich näher liegenden Vorkommnisse (Korea-Krieg, Suezkrise usw.) ereignet. Diese haben eine rasche und anhaltende wirtschaftliche Entwicklung zwar wohl beeinflusst, sie aber weder stark verzögert noch ganz gebremst. Diese in neuerer Zeit einzigartige Entwicklung steht in grossem Gegensatz zur Zwischenkriegszeit 1918/39, in welcher Periode Zeiten relativen Wohlstands mit mehr oder weniger starken Depressionen abwechselten. Wenn man die Möglichkeit eines dritten Weltkrieges ausschliesst, dann darf man wohl annehmen, dass wir es in Zukunft kaum mit wesentlich grösseren Schwankungen zu tun haben werden als mit den oben genannten.

Unter dieser Voraussetzung ist es praktisch und nicht unvernünftig, wenn man sich bei einer Prognose für die zukünftige Entwicklung auf eine *ähnlich gestaltete und ähnlich lange Periode* der Vergangenheit bezieht. Dabei stösst man auf eine Reihe von *Analogien*, die besonders interessant sind. So entstanden um 1950 herum die ersten grossen Turbogeneratorengruppen von mehr als 100 MW, welche die für die dreissiger Jahre typischen und nach Schluss des Zweiten Weltkrieges in grosser Zahl gebauten Gruppen von 50 bis 60 MW ersetzen. Unlängst hat die Leistungsstufe von 500 bis 600 MW je Turbogeneratorgruppe begonnen. Bereits sind aber die ersten Gruppen im Leistungsbereich von 1000 bis 1200 MW im Bau, und es ist gar nicht ausgeschlossen, dass man in 15 bis 20 Jahren unter dem Einfluss der Entwicklung der Atomkraftwerke zu Einheitsleistungen von 2000 MW oder sogar noch höher kommt. Für den Zeitraum einer Generation erscheint deshalb die Entwicklung der Leistungszunahme je Einheit sehr regelmässig, jedoch wesentlich rascher als die Verbrauchsentwicklung, nämlich rund doppelt so stark.

Eine ähnliche Entwicklung kann auch bei der *Fernübertragung der elektrischen Energie* festgestellt werden. Während über 20 Jahren arbeitete man bis in die fünfziger Jahre mit 110 bis 220 kV, ging dann im letzten Jahrzehnt auf Spannungen von 380 bis 500 kV über, und schon sind die ersten Anlagen mit 765 kV im Betrieb. Und man fragt sich bereits, wann die nächste Spannungsstufe verwirklicht wird, nachdem die Studien und Versuche für den Bereich von 1000 bis 1200 kV derzeit stark gefördert werden. Wir sehen also auch auf dem Gebiete der Höchstspannung eine ziemlich regelmässige Entwicklung, wenn sie auch schwächer ansteigt als die Verbrauchszunahme. Hiefür gibt es eine plausible Erklärung, obwohl die auf grosse Distanzen zu übertragenden Leistungen und Energiemengen gleich rasch zugenommen haben wie die gesamten Leistungen und die gesamten Energiemengen. Man hat nämlich bisher die Erhöhung der Übertragungsleistung von Fernleitungen ziemlich gleichmässig auf die Erhöhung des Betriebsstromes und auf die Erhöhung der Übertragungsspannung verteilt. Damit konnte man die Spannungserhöhung und damit die Vergrösserung der Abmessungen der Fernleitungen (Mastbild) in relativ engen Grenzen halten. Es stellt sich hier für Drehstromübertragungen mit über 1000 kV die Frage, ob der durch die Spannungserhöhung erzielte Vorteil nicht vermindert oder ganz aufgehoben wird durch grössere Spannweiten und damit durch grössere und teurere Masten.

Selbst wenn man keine zahlenmässig in sich geschlossene und genau fixierte Prognose vorlegen will, sondern sich be-

scheiden bemüht, die Grössenordnung der zu erwartenden Entwicklung und deren Folgen abzuschätzen, kommt man nicht um die Berücksichtigung der *geschichtlichen Entwicklung* herum, innerhalb derer sich das Geschehen abspielt.

Für unsere Untersuchungen haben wir uns einen Zeitpunkt in der Zeitzone 1983–1987 gewählt, mit *Schwerpunkt im Jahre 1985*. Im Verlauf dieser ab heute gerechnet 15jährigen Periode wird sich wohl ebensoviel ändern, wie sich in einer vergleichbaren verflossenen Periode geändert hat. Dies gilt nicht nur für die Elektrizitätswirtschaft, sondern auch für die gesamte Volkswirtschaft. Wenn man auch annehmen kann, dass der Zusammenhang zwischen politischer und volkswirtschaftlicher Entwicklung in grossen Zügen unverändert bleibt, so muss man innerhalb dieser so abgesteckten Grenzen doch überlegen, welche Änderungen der Entwicklung eintreten könnten, dies umso mehr, als sich der Zusammenhang zwischen Zunahme des Elektrizitätsverbrauchs und allgemeinem wirtschaftlichem Wachstum immer stärker erweist.

Der erste Teil der vorliegenden Studie wird deshalb vor allem die *Umgebungseinflüsse* untersuchen, die den Elektrizitätsverbrauch beeinflussen. Die Studie wird aber auch berücksichtigen, zu welchen *Bedingungen* sich die Elektrizitätswirtschaft ihre *Produktionsmittel* wie Arbeit, Kapital, Material und Energie beschaffen kann und welche von aussen kommenden *Verpflichtungen* und *Belastungen* der Elektrizitätswirtschaft als öffentlichen Dienst und zur Vermeidung von Umweltschädigungen auferlegt werden.

Wie kann die Elektrizitätswirtschaft die vielen teilweise gegenläufigen Forderungen erfüllen? Wir unterscheiden *zwei Sachgruppen*, die aber unter sich gewisse Zusammenhänge haben. Zur ersten Gruppe zählen wir alle Ausrüstungen, die dem Betrieb zur Verfügung stehen. Hier ist die technologische Entwicklung die Dominante; aber die begrenzten finanziellen Möglichkeiten verlangen eine kritische Auswahl, deren Methodik übrigens ständig verbessert wird. Diese Probleme werden im zweiten Teil der vorliegenden Studie untersucht. Im dritten Teil der Studie dagegen werden alle Fragen behandelt, welche die Art der *Betriebsführung* betreffen, nämlich Betriebstechnik und Unterhalt, tarifliche und wirtschaftliche Fragen, Führungsprobleme, Finanzfragen und menschliche Probleme. Damit wird alles durchleuchtet, was den Alltag der Elektrizitätswirtschaft ausmacht. Eine Schlussübersicht sieht die neusten Lehren aus dieser zukunftsgerichteten Übersicht.

Der allgemeine Rahmen für die Entwicklung

Warum und wie verdreifacht sich der Elektrizitätsverbrauch?

Als erste Aufgabe muss geprüft werden, ob eine Verdreifachung des Elektrizitätsverbrauchs in den nächsten 15 bis 20 Jahren nicht nur möglich, sondern auch einigermaßen *wahrscheinlich* ist. Wenn sich nämlich die jährliche Zuwachsrate des Elektrizitätsverbrauchs der Zuwachsrate des gesamten Energieverbrauchs (also Elektrizität plus feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe usw.) angleichen würde, so ergäbe sich eine Verdreifachung des Bedarfs erst innert 25 bis 30 Jahren. In einem solchen Falle müsste man eine Verdreifachung des Elektrizitätsverbrauchs etwas anders betrachten, und zwar sowohl die Entwicklung als solche als auch die zu ihrer Charakterisierung verwendeten Methoden.

Das auffallende Merkmal bei der Betrachtung des Elektrizitätsverbrauchs ist — von sehr wenigen Ausnahmen abge-

sehen — die allgemeine Dynamik. Tatsächlich haben sich wenige Industriezweige in einem so lange anhaltenden und so regelmässigen Rhythmus entwickelt wie die Elektrizitätswirtschaft, und man fragt sich mit Recht, ob man nicht bereits in einer nahen Zukunft mit einer *reduzierten Zuwachsrate* rechnen müsste. Ohne Zweifel gibt es verschiedene Gründe, die eine Abnahme der Zuwachsrate des Elektrizitätsverbrauchs als möglich erscheinen lassen. Ein unmittelbar erfassbarer Grund ist z. B. der relative (d. h. prozentuale, aber nicht absolute) Rückgang der Schwerindustrien, die Grossverbraucher elektrischer Energie sind. Die Verhältnisse auf diesem Gebiet schwanken stark von Land zu Land, da sich heute in einzelnen Ländern erst Schwerindustrien installieren, die in andern Ländern schon lange vorhanden sind. Fast allgemein gilt aber, dass die wirtschaftliche Weiterentwicklung in erster Linie auf den Gebieten der Umwandlung und dem sog. tertiären Sektor stattfindet, die im allgemeinen keine Grossverbraucher elektrischer Energie sind. Ein weiterer, aber weniger allgemeiner Grund, der nur für einige bereits sehr stark entwickelte Länder gilt, ist eine zunehmende Sättigung für gewisse traditionelle Elektrizitätsanwendungen.

Es darf aber nicht übersehen werden, dass diese wenigen Gründe für eine zukünftig reduzierte Zuwachsrate eine *begrenzte Bedeutung* haben im Vergleich zu den vielen *andern Faktoren*, die eine *Steigerung* der Zuwachsrate erwarten lassen. In fast allen Ländern ist der Steinkohlenbergbau im Rückgang, teilweise auch die Eisenbahntransporte, woraus sich insgesamt für dieses Teilgebiet eine kleinere Verbrauchszunahme oder sogar ein Rückgang ergeben kann. Aber viele andere Industrien mit grossem Elektrizitätsverbrauch wie Herstellung von Baustoffen, Papier, die chemische Industrie usw. sind in einer viel besseren Lage. Vor allem aber die grosse Zahl der Betriebe der Leichtindustrie sowie die öffentlichen und privaten Dienstleistungsbetriebe stehen in einer bemerkenswerten Entwicklung. In diesen Zweigen wird die elektrische Energie hauptsächlich für mechanische Zwecke und nicht für thermische Anwendungen gebraucht.

Der technische Fortschritt, der sich hauptsächlich in einer stets stärker vorangetriebenen Mechanisierung auswirkt, erhöht den Elektrizitätsverbrauch zusätzlich zum Mehrbedarf infolge von Betriebsausweitungen, während bei thermischen Anwendungen als Folge sukzessiver Verminderung des spezifischen Energieverbrauchs eher eine umgekehrte Wirkung zu erwarten ist. Es ist aber klar, dass diese Einsparungen bald einmal an ihre Grenzen kommen, während für den Mehrverbrauch wegen der zunehmenden Mechanisierung noch kein Ende abzusehen ist. Zusammenfassend kann man sagen, dass die zunehmende wirtschaftliche Expansion und die Erhöhung der Produktivität eine *anhaltende Verbrauchszunahme* von elektrischer Energie bewirken werden. Diese Feststellung ist von grundsätzlicher Bedeutung und zeigt auch, dass die gegenseitige Abhängigkeit von Elektrizitätswirtschaft und allgemeiner Volkswirtschaft immer stärker wird.

Eine andere bedeutsame Erscheinung wirkt sich in gleicher Richtung aus. Bis vor relativ kurzer Zeit gab es für die Elektrizität mit Rücksicht auf deren Preis verschiedene spezifische Anwendungen wie Licht, Kraft, Elektrolyse. Die relative Preissenkung, auf die wir weiter unten noch zurückkommen werden, ermöglicht es der Elektrizität immer mehr, für *thermische Anwendungen* mit andern Energieträgern in *Wettbewerb* zu treten, z. B. für elektrische Öfen in der Industrie, für elektrische

Raumheizung von Wohnungen usw. Zu der Entwicklung auf den traditionellen Gebieten gibt es für die Elektrizität neue Gebiete, wo sie als Substitutionenergie auftritt. Die bekannten Vorzüge der elektrischen Energie wie Anpassungsfähigkeit, bequeme Anwendung, Fehlen von Umweltverschmutzung und von Abfällen werden natürlich den Absatz auf diesen Gebieten fördern. Wenn man an den Gesamtbedarf an thermischer Energie denkt, so steht hier für die Elektrizität noch ein weites Feld offen. Man muss hier auch an die in vielen Fällen mögliche Vollelektrifizierung denken, wofür die vollelektrischen Haushalte ein gutes Beispiel sind. Wenn in einer Haushaltung einmal das Licht, die Haushaltapparate, die Warmwasserbereitung usw. elektrisch sind, dann wird es für die Haushaltung bald einmal interessant, auch die Küche und die Heizung elektrisch zu betreiben, besonders, wenn der Mehrverbrauch bei degressiven Tarifen nun zu einem reduzierten Preis bezahlt werden muss.

Eine ganze Reihe von *soziologisch-wirtschaftlichen Erscheinungen* bewirkt ebenfalls einen erhöhten Elektrizitätsverbrauch. Das normale Wachstum der Bevölkerung von 0,5 bis 1 % ist dabei nicht einmal so wichtig. Wichtig ist aber die erhöhte Zahl von Wohnungen für eine gegebene Bevölkerungszahl. Die Familie wird in vermehrter Masse auf die Eltern und die minderjährigen Kinder begrenzt. Die erwachsenen Söhne und Töchter schaffen sich immer mehr eine eigene Wohnung an, während die älteren Leute bei ihren erwachsenen Kindern immer weniger willkommen sind und deshalb ihre bisherige Wohnung weiter behalten müssen. Die Verbesserung der Lebenshaltung bewirkt auf unzählige Arten einen erhöhten Elektrizitätsverbrauch. Die je Person zur Verfügung stehende Wohnfläche nimmt zu und mit ihr der Bedarf an Licht und Heizung. Das Bedürfnis für erhöhten Wohnkomfort steigt an und damit der Verbrauch von elektrischen Haushaltapparaten für die Erzeugung von Wärme, Kälte, motorische Kraft, für arbeitssparende Einrichtungen und für elektrische Unterhaltung (Fernsehen, Radio, Plattenspieler usw.). Die Gewohnheit, eine Zweitwohnung zu haben, nimmt ebenfalls zu, und der in der Zweitwohnung nötige zusätzliche Elektrizitätsverbrauch wird in der Hauptwohnung oft nicht voll eingespart.

Ferner muss man daran denken, dass zu der vermehrten Benutzung bestehender Anwendungen in den nächsten Jahren *neue Anwendungsgebiete* für elektrische Energie kommen werden, wie das bis jetzt schon der Fall war. In der Industrie bringt die Anwendung von immer vollkommeneren Einrichtungen einen erhöhten Energieverbrauch, vor allem aber erhöhten Elektrizitätsverbrauch.

Die *Verbesserung der Arbeitsbedingungen* wird zu einem wichtigen Faktor zur Erhöhung der Produktivität und bringt zusätzlichen Energieverbrauch für Beleuchtung, Heizung und Klimatisierung. Die Klimatisierung beschränkt sich heute nicht mehr auf die Arbeitsstätten, Versamlungs- und Vergnügungsorte verschiedenster Art, sondern sie wird auch in den Wohnungen immer mehr gefragt, was neben der Raumheizung einen sehr grossen potentiellen Markt für elektrische Energie eröffnet. In der *Landwirtschaft* gibt es noch sehr viele Anwendungsmöglichkeiten für elektrische Energie, die mit zunehmender Modernisierung immer mehr angewendet werden, wie dies bereits viele Realisierungen in zahlreichen Ländern beweisen. Daneben gibt es noch viele andere Möglichkeiten, die in Betracht gezogen werden müssen. Wir können sie hier nicht alle aufzählen und noch weniger voraussagen, mit

welcher Wahrscheinlichkeit sie in grösserem Umfange verwirklicht werden. Wir beschränken uns auf die Nennung einiger weniger Beispiele.

Der ständig steigende *Wasserbedarf* wird den Bau von vielen Reinigungsanlagen zur Folge haben. Bei Fehlen von genügend Süsswasser werden Anlagen für Meerwasserentsalzung erstellt werden müssen, die übrigens in wirtschaftlich günstiger Weise mit thermischen Kraftwerken gekuppelt werden können. Die Entwicklung der Städte wird den Bedarf an öffentlichen Transportmitteln, die häufig unterirdisch angelegt werden und deshalb einen grossen Elektrizitätsbedarf für Zugförderung, Beleuchtung und Ventilation haben werden. Es ist auch damit zu rechnen, dass die Beleuchtung der Vorortstrassen und gegebenenfalls sogar der Überlandstrassen stark verbessert werden wird und dass gegen Glatteisbildung die elektrische Strassenheizung mindestens für gewisse Spezialfälle in Frage kommen kann. Es ist ferner nicht auszuschliessen, dass für den Stadtverkehr zahlreiche *elektrische Autos* mit Batteriebetrieb und Sofort-Batteriewechsel in besonders ausgerüsteten Servicestationen in Frage kommen kann. Voraussetzung für eine solche Entwicklung ist allerdings ein Leichtakkumulator, der leider heute noch fehlt. Es ist aber auch nicht ausgeschlossen, dass vor einem Leichtakkumulator eine Brennstoffzelle für elektrische Autos entwickelt wird, wobei dann allerdings dieses Absatzgebiet den Elektrizitätswerken verloren ginge. Eine Parallelentwicklung der beiden geschilderten Möglichkeiten (Leichtakku und Brennstoffzelle) ist auch denkbar, was eine Aufspaltung des neuen Marktes zur Folge haben würde.

Wahrscheinlich werden sich in den nächsten 15 Jahren nicht alle vorstehend erläuterten Entwicklungsmöglichkeiten voll realisieren. Es ist aber mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit zu erwarten, dass sich *einige der genannten Anwendungen stark entwickeln* werden, besonders die zuerst aufgeführten. Addiert man den dadurch bedingten Mehrverbrauch von elektrischer Energie zum Mehrverbrauch infolge zunehmender Mechanisierung und wachsender Konkurrenzfähigkeit der Elektrizität gegenüber andern Energieformen zum steigenden Niveau der Lebenshaltung und den übrigen Veränderungen der Lebensgewohnheiten, so ist man versucht, eher eine Steigerung der *Zuwachsrates* des Elektrizitätsverbrauchs als ein reduziertes Wachstum anzunehmen.

Mit diesen Feststellungen ist aber unser Problem erst teilweise gelöst. Man muss nämlich noch berücksichtigen, dass für die Verwirklichung all dieser Anwendungsmöglichkeiten *sehr grosse Kapitalinvestitionen* nötig sind, und zwar nicht nur bei der Erzeugung und bei der Verteilung der Elektrizität, sondern auch bei den Verbrauchern. Ausserdem sind alle diese Anwendungen, die einen erhöhten Elektrizitätsverbrauch bewirken, in starker Konkurrenz mit vielen andern Möglichkeiten, und man kann nicht ohne weiteres voraussagen, was sich aus diesem Kräftespiel der Konkurrenzierung ergeben wird. Auf alle Fälle ist es notwendig, dass die Elektrizitätswirtschaft wesentlich *erhöhte Anstrengungen* für *Marketing* und für *Verkaufsförderung* unternimmt. Das Schlussresultat wird aber stark vom Rhythmus der gesamten Wirtschaftsentwicklung abhängen und davon, welcher Teil des gesamtwirtschaftlichen Ertrages für die Kapitalbildung zur Verfügung steht und welcher Teil dieser Kapitalbildung dann für die Elektrizitätswirtschaft abgezweigt werden kann.

Wir haben gezeigt, dass es für die Elektrizität so viele Entwicklungs- und Absatzmöglichkeiten gibt, dass man für die

Zukunft ohne weiteres eine stärkere Verbrauchsentwicklung als bisher aufgetreten annehmen könnte. Mit gleichem Recht kann man aber auch annehmen, dass je nach den gefassten Entschlüssen und je nach der verfolgten Marktpolitik die zukünftige Verbrauchsvermehrung sich mit einer bestimmten Plus/Minus-Toleranz im *bisher aufgetretenen Rahmen* weiter entwickeln wird. Diese Überlegungen zeigen auch, dass wir mit der weiter oben getroffenen Wahl für die Länge der Zeitperiode für eine Verdreifachung des Elektrizitätsverbrauchs ungefähr richtig liegen, da diese Vermehrung auf unbestreitbaren Tatsachen beruht.

Die strukturellen Veränderungen des Elektrizitätsverbrauchs

Nachdem wir mit der Wahl der Zeitperiode einen ersten Fixpunkt haben, müssen wir uns nun fragen, welche strukturellen Veränderungen bei dieser Verdreifachung des Elektrizitätsverbrauchs in den nächsten 15 bis 20 Jahren auftreten können. Es gibt hier *drei wesentliche Gesichtspunkte*:

- a) geographische Verteilung des Absatzes, die einen Einfluss auf den Ausbau der Netze hat;
- b) zeitliche Verteilung des Absatzes mit allfälligen Veränderungen der Belastungskurven;
- c) Verteilung des Absatzes auf Hoch- und Niederspannungsabgabe, welche die Organisation der Belieferung der Abonnenten beeinflusst.

Ein wichtiger Punkt ist die *geographische Verteilung* des Energieverbrauchs. Sie ist eng verbunden mit der geographischen Verteilung der Bevölkerung und ihrer wirtschaftlichen Tätigkeit. In den letzten zwanzig Jahren stellt man in den meisten Ländern¹⁾ eine anhaltende und sogar beschleunigte *Verstädterung* und damit auf der andern Seite eine Entvölkerung der Landgebiete fest. Als vor rund 50 Jahren die systematische Elektrifikation der ländlichen Gebiete in Westeuropa begann, wohnte nur eine mehr oder weniger grosse Minderheit der Gesamtbevölkerung in den Städten, und die Versorgung der übrigen Bevölkerung auf dem Lande war damals ein nationales Problem. Heute nähern wir uns aber überall mit unterschiedlicher Geschwindigkeit einer Lage, wo 80 bis 90 % der Gesamtbevölkerung eines Landes in Städten und städtischen Agglomerationen wohnen und die Elektrizitätsversorgung der Restbevölkerung nur noch ein Randproblem ist, das in vielen Fällen einen mehr sozialen Charakter hat.

Das abnehmende demographische Gewicht der ländlichen Gebiete wird für die Elektrizitätsverteilung teilweise kompensiert durch den *steigenden Verbrauch je Abnehmer*. In vielen Gebieten verbraucht heute ein einziger Abonnent gleich viel Elektrizität wie vor einer Generation 10 Abonnenten. Da die Landbevölkerung aber nicht so stark ist wie die geschilderte spezifische Verbrauchszunahme, hat der gesamte Elektrizitätsverbrauch in ländlichen Gebieten trotzdem zugenommen, und zwar in vielen Fällen recht beträchtlich. Gewisse Schwierigkeiten bestehen aber immer noch. Aus politischen und aus sozialen Gründen sind die Elektrizitätstarife im allgemeinen in den Städten und auf dem Lande gleich, und die im Verlaufe der Zeit eingetretene Senkung der Elektrizitätspreise (bezogen auf die Preise anderer Leistungen oder Waren oder bezogen auf Geld mit konstantem Kaufwert) ist in beiden Fällen dieselbe. Andererseits entwickeln sich aber die Verbrauchsdichte und damit die

¹⁾ In einigen wenigen Ländern, wie z. B. in Grossbritannien, ist die Verstädterung und die Landentvölkerung bereits seit Jahren so stark fortgeschritten, dass die heute dadurch bedingten zusätzlichen Veränderungen nur noch gering sind.

Verteilungskosten in der Stadt und auf dem Lande unterschiedlich. Die demographische Entwicklung verstärkt in der Stadt den Einfluss der Verbrauchszunahme je Abonnent, während sie diesen Einfluss auf dem Lande abschwächt.

Nur mit einer sehr genauen Studie der verschiedenen Fälle könnte man die Analyse dieses Problems ausbauen. Da aber die hierzu nötigen statistischen Unterlagen in keinem Lande vorhanden sind, müssen wir darauf verzichten und uns mit einigen ergänzenden Bemerkungen begnügen. Bevor man sich ein Urteil bildet und sich für ein bestimmtes Vorgehen bei der *Elektrifizierung ländlicher Gebiete* entschliesst, muss man berücksichtigen, dass es auch auf dem Lande unterschiedliche Zonen gibt. Einerseits sind da die Gebiete, wo sich die Bevölkerung auf wenige grosse Dörfer konzentriert oder mindestens auf zwar locker bebaute, aber zusammenhängende Wohnzonen. Andererseits gibt es Gebiete mit ausgesprochenen Streusiedlungen, wobei auch grosse isolierte und voneinander weit entfernte Bauernhöfe möglich sind. In den geschlossen besiedelten Landgebieten ist die Elektrizitätsverteilung relativ leicht lösbar, da jede Siedlung mit einer Mittelspannungsleitung angespiesen werden kann und sich die Ausdehnung des Niederspannungsnetzes in vernünftigen Grenzen hält. Schwieriger wird die Verteilung in Gebieten mit Streusiedlung auch noch dadurch, dass die Bevölkerungsdichte klein ist, dies obwohl der einzelne Abonnent relativ viel Elektrizität verbraucht. Nur eine Differenzierung der Tarife zwischen Stadt und Land oder eine Subventionierung kann den Elektrizitätsgesellschaften finanzielle Lasten abnehmen, die sie normalerweise nicht tragen müssen.

Die *Verstädterung* stellt den Elektrizitätswerken für die Versorgung der Endverbraucher im Innern der Städte weder bei der Mittelspannung noch bei der Niederspannung besonders grosse Probleme. Dagegen stellen sich grosse Probleme für den Energietransport auf Landesebene und auf regionaler Ebene; denn in den in rascher baulicher Entwicklung befindlichen städtischen Gebieten findet man nicht mehr überall genügend Platz für die Erstellung von neuen grossen Kraftwerken, die immer mehr den Hauptteil der benötigten Leistung und Energie liefern müssen. Falls die Verkabelung der Verteilnetze in grossem Umfange kommt, wird auch dies die Gestehungskosten für elektrische Energie stark erhöhen.

Eine Entwicklung, die auf die Verstädterung vieler Länder einen grossen Einfluss haben wird, ist die starke Bevorzugung von *Küstengebieten am Meer*. Die Entwicklung des internationalen Handels, die Notwendigkeit, sich aus immer weiter entfernten Gebieten mit Rohstoffen zu versorgen, die Entwicklung der Transporttechnik auf dem Wasser, die eindeutig die grossen Hafenkomplexe begünstigt, erklären das starke Wachstum von städtischen Küstenzonen wie z. B. Hamburg, das Mündungsgebiet von Rhein und Maas (Antwerpen–Rotterdam–Amsterdam), Dünkirchen, das Mündungsgebiet der Seine (Rouen–Le Havre), das Mündungsgebiet der Rhone, die Gebiete in und um Genua, Neapel, Piräus (Athen) usw. Selbst ganz neue Zentren entstehen, wie z. B. in Fos. Andere Zentren haben grosse Entwicklungsprogramme, wie z. B. Brest. Andere Küstengebiete verdanken ihre ganze Entwicklung dem Fremdenverkehr, wie z. B. die Nordseeküste bei Ostende, das Gebiet Languedoc–Rousillon, die französische und die italienische Riviera. Für die Elektrizitätsversorgung dieser Küstengebiete und den Bau grosser Kraftwerke ist der Standort besonders in der Nähe grosser Häfen sehr günstig, da einerseits das Kühl-

problem dank dem vorhandenen Meerwasser gelöst werden kann und andererseits fast keine Transportprobleme entstehen.

Der relative Bedeutungsrückgang der Eisen und Kohle verarbeitenden Industriezentren im Innern des Landes (besonders in Grossbritannien, Deutschland und Frankreich) wird gebremst oder sogar kompensiert werden durch die Anziehungskraft, die diese im Landesinnern gelegenen Zentren auf neue Industrien ausüben als Reservoir von Arbeitskraft und von Kapital und als Verbrauchermärkte. Bei diesen *neuen Industrien* kommen vor allem in Frage die chemische Industrie, die Fabrikation mechanischer und elektrischer Apparate, die Nahrungsmittelindustrie usw. Einen wesentlichen Anteil an der weiteren Verstädterung wird der Bau von Satellitenstädten in der Umgebung hierfür geeigneter Stadtzentren haben. Die Gebiete von Mailand, Lyon-Grenoble, Strassburg, München, Frankfurt/Main sind typisch für diese Kristallisation um grosse Zentren, die mit wenigen Ausnahmen den mittleren und kleinen Städten nur geringe Entwicklungschancen lässt. Dieses konzentrierte Wachstum der Zentren wird die künftige geographische Verteilung neuer Kraftwerke und den Ausbau der Leitungsnetze stark beeinflussen und zu einem vom heutigen Zustand geographisch stark abweichenden neuen Zustand führen.

Auch die *Belastungskurven* werden sich bei Verdreifachung des Elektrizitätsverbrauchs verändern. Es wirken aber hier verschiedene Einflüsse mit, und es ist schwer, sich im voraus ein Bild über die kommenden Veränderungen zu machen. Dazu kommt noch, dass die statistischen Unterlagen über die beanspruchte Leistung viel weniger zahlreich sind als die Unterlagen über die abgegebenen Energiemengen in kWh. Man kann aber einige Faktoren nennen, welche die Belastungskurven verändern werden: Vermehrte Einführung der durchgehenden Arbeit in der Industrie, Änderung der Öffnungszeiten vieler Handelsbetriebe und die parallellaufende Entwicklung der elektrischen Raumheizung und der Klimaanlage. Diese Faktoren werden vorerst mehr die Abgabe in Hochspannung beeinflussen, aber sich später auch in der Niederspannungsverteilung bemerkbar machen. Die genannten Faktoren wirken in der Richtung einer regelmässigeren Belastungsverteilung auf die einzelnen Tagesstunden, aber auch auf eine ausgeglichene Saisonverteilung. Dazu kommt noch, dass auch die differenzierten Tarifbedingungen auf einen Ausgleich hinwirken.

Die *Verteilung der Gesamtlast auf Hochspannung und Niederspannung* interessiert vor allem die Betriebsleitungen der EW wegen ihrer Auswirkungen auf die zu erbringenden Dienstleistungen und zu erwartenden Einnahmen. Auch diese Probleme verdienen beachtet zu werden. Leider fehlen auch auf diesem Gebiete ausreichende Unterlagen für ein gründliches Studium. Man kann aber immerhin festhalten, dass im dicht bebauten Stadtgebiet und in Gebieten mit Hochhäusern die Niederspannung nur noch für die Energieverteilung im Inneren der Gebäude in Frage kommt. Dadurch werden die Probleme der Stadtnetze vereinfacht. Aber wenn wir auch in den eigentlichen Stadtzonen grosse Verbrauchsmengen je Gebäude haben, so trifft dies für städtische Wohnzonen mit Einfamilienhäusern und noch stärker für ländliche Zonen nicht mehr zu. Die Niederspannungsnetze werden deshalb, unter Auftrennung in Teilnetze, weiterbestehen und an vielen Stellen sogar verstärkt werden müssen. Das verhindert aber nicht, dass insgesamt betrachtet, die Bedeutung der Niederspannungsnetze zurückgehen wird. Besondere Verhältnisse liegen in Ländern vor, wo

die Niederspannungsverteilung bereits heute nur noch einen recht kleinen Teil der Gesamtabgabe überträgt, wie z. B. in Frankreich.

3. Entwicklung der durch die Umwelt gestellten Bedingungen

Wir leben in einer Zeit, in der das anhaltende und rasche Wachstum der Industrie und die Konzentration riesiger Anlagen, welche die Elektrizitätswirtschaft zur Deckung der wachsenden Bedürfnisse benötigt, immer gebietischer nach grösstmöglicher Schonung der Umwelt, unseres Lebensraumes, ruft. Es stellen sich hier verschiedene Teilprobleme. An erster Stelle steht der Kampf um einen Bauplatz in den bereits überfüllten Zonen. Das zweite Problem, auf das die öffentliche Meinung immer empfindlicher reagiert, ist die Veränderung der natürlichen Umweltsbedingungen durch Anhäufung von Abfällen, Verschmutzung des Wassers und der Luft, nachteilige Einwirkungen auf die Wohnbevölkerung durch Lärm, Erschütterungen, schlechte Gerüche usw. Das dritte Problem besteht in ästhetischen Überlegungen. Man kann diese aber als einen Spezialfall der zweiten Gruppe betrachten.

Hier nun nimmt die Elektrizitätswirtschaft eine besondere, eine bevorzugte Stellung ein. Sie erzeugt keinerlei Abfall, ein Vorteil, der besonders betont zu werden verdient. Man hat schon wiederholt gesagt, dass diese Tatsache den Elektrizitätsverbrauch mehr und mehr vergrössern werde. Etwas anders liegen die Verhältnisse bei der Erzeugung und bei der Übertragung von elektrischer Energie. Aber auch hier muss man zwischen den verschiedenen Arten von Kraftwerken und den verschiedenen Arten von Übertragungsleitungen unterscheiden.

Staumauern, Stauseen und *Wasserkraftwerke* bewirken mindestens in unsern Ländern keine Umweltverschmutzung. Die Ästhetik der Bauwerke wird selten angezweifelt. Die Hindernisse, welche die Wasserkraftanlagen für den Fischeaufstieg bilden, können mit einfachen Mitteln behoben werden. In vielen Gegenden bedeutet eine neu geschaffene Wasserfläche eine ins Gewicht fallende Verschönerung der Landschaft, von der auch der Fremdenverkehr Nutzen ziehen kann. Im Sinne einer Erschliessung der Landschaft wirken sich ferner die Erneuerung und Erweiterung des Strassennetzes aus, das für den Bau der Werke erstellt werden musste. Die Abflussregulierung wirkt schädlichen Hochwassern ganz oder teilweise entgegen. Hier und dort bietet sich auch die Möglichkeit einer Nutzung der Stauseen für die Fischzucht. Als einziger ins Gewicht fallender Nachteil der Wasserkraftanlagen ist die Beeinträchtigung natürlicher Wasseradern zu nennen. Im allgemeinen aber ist die Bilanz positiv zugunsten der Wasserkraftwerke. Freilich ist festzustellen, dass der Bau weiterer Wasserkraftwerke wegen des Mangels wirtschaftlich realisierbarer Stufen in vielen Ländern stark begrenzt, wenn nicht gar praktisch abgeschlossen ist.

Für die *thermischen Kraftwerke*, und zwar sowohl für die klassische Bauart mit Brennstoffeuerung als auch für die Atomkraftwerke, ergibt sich vorerst ein Standortproblem. Die Auswahl dieser Standorte wird mit zunehmender Grösse der Kraftwerke und der darin installierten Leistung immer schwieriger, und zwar besonders wegen der *Kühlwasserbeschaffung*. Bei einer Erwärmung von 1 °C je 1000 MW Generatorleistung benötigt man bei klassischer Bauart mit Brennstoffeuerung eine Kühlwassermenge von rund 350 m³/s und noch etwa die Hälfte mehr für ein Atomkraftwerk gleicher elektrischer Leistung, solange man noch nicht über Hochtemperatur-Atomkraftwerke verfügt. In den letzten 10 Jahren hat sich die übliche

Grösse eines neuen thermischen Kraftwerkes von 500 MW auf rund 1000 MW erhöht. Diese Werkleistung wird bald vorerst auf 2000 bis 3000 MW und später auf 5000 bis 10000 MW erhöht werden müssen. Man sieht, dass es dann schon wegen der Kühlwasserbeschaffung nur noch eine sehr kleine Auswahl von brauchbaren Standorten gibt.

Für Kraftwerke mit Brennstofffeuerung stellt sich das Problem der *Brennstoffzufuhr*. Je 1000 MW Werkleistung muss man täglich 6000 Tonnen Heizöl zuführen. Für die grossen Kraftwerke von morgen ergibt das täglich 15000 t Brennstoff, d. h. täglich fünf grosse Güterzüge oder 3 bis 4 Schubbootkombinationen. Da man wegen des allfälligen grossen Abstands von einer Raffinerie nicht ohne weiteres mit einer besonderen Pipeline rechnen kann, müssen solche neuen Grosskraftwerke an eine ausreichend leistungsfähige Eisenbahnlinie oder an einen Schifffahrtsweg angeschlossen werden können. Wenn es sich um Kohlenfeuerung handelt, liegen die angegebenen Tonnenzahlen rund 50 % höher als für Schweröl und dazu kommt noch der Abtransport von grossen Aschenmengen. Man sieht also, dass man solche Grosskraftwerke nicht mehr innerhalb von Städten erstellen kann und immer weniger auch nicht in städtischen Randzonen.

Bei der Standortwahl treten thermische Grosskraftwerke zudem in Konkurrenz mit Grossanlagen der Eisenerzeugung, der erdölverarbeitenden Industrie und mit der chemischen Grossindustrie. All dies ruft vorerst nach einem Programm für die Ausnützung der verfügbaren Baustellen und im weiteren nach einer *Gesamt-Raumplanung*, wie sie in vielen Ländern begonnen worden ist, zuerst vor allem für die Küstengebiete und für die Wohngebiete in der Umgebung der Großstädte, wo der Interessengegensatz zwischen Wohnungsbedarf und Fremdenverkehr einerseits und der Industrie andererseits am stärksten ist.

Gleichgültig, wo solche neuen Grosskraftwerke erstellt werden, *verändern* sie auf alle Fälle die *physikalischen Verhältnisse der Umgebung*. Die Anwesenheit eines Grosskraftwerkes der oben genannten Grössenordnung genügt, um im Winter das Einfrieren eines Flusslaufs zu verzögern oder zu verhindern, die Nebelbildung zu erhöhen und die noch wenig erforschten und wenig bekannten Lebensbedingungen der Wasserflora und -fauna mehr oder weniger zu verändern. Um allfällige Nachteile oder Schäden zu vermeiden, wird man vielleicht dazu kommen, die zulässige Erwärmung von Gewässern durch Kraftwerke und Industriebetriebe immer stärker zu begrenzen.

Das Ausweichen auf *Kühltürme* ist im Prinzip stets möglich; aber es ist zu bedenken, dass Kühltürme sehr viel Platz brauchen (je 1000 MW 2 bis 3 Türme von je 130 Metern Durchmesser und Höhe und einem Bodenflächenbedarf von rund 10 Hektaren) und die Gestehungskosten der elektrischen Energie gegenüber Flusswasserkühlung um rund 10 % erhöhen. Statt den Abdampf der Turbine im Kondensator zu entspannen, kann man die Anlage im Gegendruckbetrieb fahren und die grossen, sonst verlorenen Wärmemengen z. B. einer Städtefernheizung, einer Abwasserkläranlage oder einer Meerwasserentsalzungsanlage zuzuführen. Selbstverständlich ergibt sich bei einer solchen Nutzung bei gleicher Kesselleistung eine verminderte Generatorleistung gegenüber Kondensationsbetrieb.

Eine weitere Schwierigkeit ist die meist *grosse Distanz* zwischen den Grosskraftwerken und den dicht bebauten Stadtzentren; denn Heizwärme lässt sich in Form von Dampf oder Heisswasser nicht gut und nicht wirtschaftlich über grössere Entfernungen übertragen. Die in Zukunft vielleicht mögliche

Erstellung von Atomkraftwerken in unmittelbarer Nähe von grossen Siedlungen könnte diese Verhältnisse etwas ändern. Es stellen sich aber weitere Probleme, weil vielfach die Belastungskurven für die Wärmeversorgung und für die Elektrizitätserzeugung nicht gleichartig verlaufen.

Die thermischen Kraftwerke mit Brennstofffeuerung haben den Nachteil, dass sie mit ihren Abgasen die *Luft verschmutzen* mit giftigen Gasanteilen, Russ und korrosiven Substanzen. Allerdings sind die Brennstoffkraftwerke nicht die einzigen und nicht einmal die schlimmsten Luftverschmutzer, besonders nicht mehr, seit man eine Reihe von Massnahmen ergriffen hat, um die Nachteile zu vermindern. Die Wirksamkeit dieser Schutzmassnahmen ist meist sehr gross. Die Verwendung von Hochleistungsbrennern und die verschiedenen Entstaubungsvorrichtungen ermöglichen es, die ausgeworfenen Feststoffe (Asche, Russ) ohne aussergewöhnliche Kosten zu nutzen, weil die Flugasche und der Russ einen gewissen wirtschaftlichen Wert haben und verkauft werden können. Der Bau hoher Kamine, welche die Verteilung der Abgase auf grosse Luftmengen ergeben, ermöglicht es, die Konzentration giftiger Abgase in der Luft unterhalb der Toleranzgrenze zu halten. Aber diese Verdünnung ist für gewisse schädliche Stoffe, wie die schwefelhaltigen Verunreinigungen, unter Umständen noch nicht genügend. In diesem Falle muss man entweder die Abgase entschwefeln, für welche Technik in nächster Zeit Fortschritte zu erwarten sind, oder man muss besonders schwefelarme Brennstoffe verwenden. Die für dieses Gebiet geltenden Grenzwerte werden in allen Ländern verschärft.

Die Einschränkungen, die sich für die Elektrizitätserzeugung und -verteilung von der Umgebung ableiten, sind bedingt durch die relative Seltenheit von geeigneten Standorten für Grosskraftwerke, durch die immer schärfer werdenden Bestimmungen für Brennstoffkraftwerke in bezug auf Umweltverschmutzung, durch die Unmöglichkeit, auf dem Lande die Zahl der Hochspannungs-Leitungstrassen zu vermehren, und durch die Notwendigkeit, in städtischen Gebieten die Leitungen immer mehr in den Boden zu verlegen, was entsprechende beträchtliche Mehrkosten zur Folge hat. Die Schwierigkeiten sind alle irgendwie überwindbar; sie müssen aber ernst genommen werden. Nur eine gewissenhafte Gesamtplanung des verfügbaren Raumes für alle in Frage kommenden Zwecke kann die Wahl zwischen ober- und unterirdischen Anlagen erleichtern. Alle diese Auflagen haben ausserdem eine Erhöhung der Gestehungskosten der elektrischen Energie zur Folge, was der sonst vorhandenen Tendenz nach deren Senkung entgegenwirkt.

4. Entwicklung der Produktionsfaktoren in der Elektrizitätswirtschaft

Dieses erste Hauptkapitel soll nicht geschlossen werden, ohne noch die Bedingungen zu untersuchen, zu denen sich die Elektrizitätswirtschaft ihre Produktionsmittel verschaffen muss und der Frage nachzugehen, welchen zahlreichen äusseren Einflüssen diese unterstehen.

An erster Stelle ist hier die *menschliche Arbeitskraft* zu nennen. Gegenwärtig erfolgt die starke Umsatzausweitung des Elektrizitätsabsatzes mit einem nur sehr schwach wachsenden Personalbestand. Die Zahl der insgesamt verfügbaren Arbeitskräfte nimmt aber noch langsamer zu, so dass der für die Elektrizitätserzeugung und insbesondere für die Elektrizitätsverteilung beanspruchte Anteil am insgesamt vorhandenen Arbeitskraftpotential zunimmt. Es muss hier betont werden, dass

sich diese Tendenz unter dem zunehmenden Personalbedarf des tertiären Wirtschaftssektors noch verstärken wird, wo die Maschine viel weniger Arbeitskräfte ersetzen kann (aber auch mehr als man früher lange Zeit geglaubt hatte). Dieser Wettbewerb der verschiedenen Wirtschaftszweige um die menschliche Arbeitskraft ist der Hauptgrund für notwendig werdende Realloohnerhöhungen, ist aber auch ein Anlass, um möglichst *Arbeitskräfte einzusparen*. Bei der Einsparung von Arbeitskräften wurden bemerkenswerte Resultate erzielt, besonders in Brennstoffkraftwerken, und zwar dank der grossen Anlagen und der weitgehenden Automatisierung der Betriebsabwicklung. Die derzeit im Gange befindliche revolutionäre Entwicklung der Datenverarbeitung wird es ermöglichen, auch auf dem Gebiete der Elektrizitätsverteilung, des Abonnentenwesens, der Personal- und Lohnverwaltung sowie bei der Bewirtschaftung der Materialvorräte Personaleinsparungen ähnlicher Grössenordnung zu verwirklichen. In einer Elektrizitätsunternehmung, die vom Kraftwerk bis zum letzten Abonnenten alles besorgt, ist rund zwei Drittel des Gesamtpersonals auf dem administrativen Sektor beschäftigt. Die Möglichkeiten für Einsparungen sind also noch recht beträchtlich.

Das beste Mittel zur Einsparung von menschlicher Arbeitskraft ist neben einer ständigen Verbesserung der Organisation der zunehmende Einsatz von *automatischen* Systemen und Maschinen, also von mehr Kapitalbedarf zu rechnen, der im Gegensatz steht zu den Kapitaleinsparungen als Folge der Anschaffung gleichartiger, grosser Einheiten für die Energieerzeugung und beim Materialeinkauf sowie steigenden Wirkungsgrades der Verteilnetze. Die Elektrizitätswirtschaft wird in unserer Volkswirtschaft einer der Zweige sein, der am meisten Kapital beansprucht. Der Wettbewerb um neues Kapital wird auch in Zukunft sehr gross sein und eventuell die bereits hohen Zinssätze noch höher hinauftreiben. Eine solche Entwicklung ist nicht abnormal in einer Gesellschaft, in der unter dem Einfluss des technischen und wirtschaftlichen Fortschrittes der Kapitalbedarf viel stärker zunimmt als die Ersparnisse. Das hat zur Folge, dass die Kapitalkosten in der Betriebsrechnung ein immer grösseres Gewicht erhalten.

Beim Ankauf von Verbrauchsmaterial und besonders von *Brennstoff* geht die Entwicklung umgekehrt. Die Brennstoffpreise sind bemerkenswert zurückgegangen; aber diese Entwicklung wird nicht unbegrenzt so weiter gehen, und es ist auf diesem Gebiet in Zukunft für die Elektrizitätswerke nicht mehr so viel zu erwarten wie bisher. Gleich verhält es sich mit der Verbesserung des Wirkungsgrades von Brennstoffkraftwerken, wo es immer weniger interessant wird, mit wachsendem Zinsfuss belastetes zusätzliches Kapital zu investieren, um je erzeugte Kilowattstunde immer weniger Thermien zu sparen, deren Preis zudem noch abnimmt. Das Erscheinen der Atomkraftwerke schafft hier eine neue Lage, allerdings um den Preis stark erhöhter Kapitalinvestitionen. Die übrigen Verbrauchsmaterialien der Elektrizitätswirtschaft, die für deren Betrieb nötig sind, haben eher sinkende Preistendenz, und ihre Bedeutung sinkt bei gegebener Energieproduktion.

Zum Schlusse dieses kurzen Überblicks können wir festhalten, dass sich der Schwerpunkt der Sorgen der Elektrizitätswirtschaft immer mehr auf das Gebiet der *Kapitalbelastung* verlagert und die Probleme der Versorgung mit Primärenergie, die mit zunehmender Zahl der Atomkraftwerke sich in neuer Form stellen, an Bedeutung eher verlieren. Die zunehmende Kompliziertheit der in der Elektrizitätswirtschaft zu treffenden

Entscheide sowie der zu verwendenden Materialien und der zu erstellenden Anlagen führen dazu, dass bei der Personalauswahl die Qualität vor der Zahl kommt. Das ist vom sozialen Standpunkt aus eine erfreuliche Entwicklung.

II. Kapitel

Erzeugung, Übertragung und Verteilung der elektrischen Energie

Entwicklungsmöglichkeiten

Die technischen Möglichkeiten, über welche die Elektrizitätswirtschaft in den nächsten 15 bis 20 Jahren verfügen wird, um die Verdreifachung der Energieerzeugung zu bewältigen, werden zum Teil ganz neuer Art sein, wobei vor allem an die Nutzung der Kernenergie zu denken ist. Unter neuen Möglichkeiten sind auch bereits bewährte technische Verfahren wie die Gasturbine oder das für Flugzeuge entwickelte Düsentriebwerk zu verstehen, die erst in neuester Zeit in grösserem Umfange in die Elektrizitätserzeugung Eingang finden.

Wir werden anschliessend die genannten Möglichkeiten näher betrachten; indessen ist es mit einer blossen Inventarisierung nicht getan. Ganz neue technische Entwicklungen müssen sorgfältig bedacht, und es müssen die schwindenden Möglichkeiten für den Bau weiterer Wasserkraftwerke, die Materialpreise und den Preis der Kalorie für thermische Kraftwerke, die erhöhten Kosten sowohl für die menschliche Arbeitskraft als auch für das erforderliche Kapital, überhaupt der technische Fortschritt auf allen Gebieten in Rechnung gestellt werden. Das alles macht die Anwendung von Programmiermethoden notwendig, deren Bedeutung mit dem Gewicht der möglichen Veränderungen zunimmt. Es ist wünschbar und zweckmässig, diese Programmierungsmethoden weiter zu entwickeln, führen sie doch zu einer echten wirtschaftlichen Strategie hin, in der jede Einflussgrösse nach sorgfältiger Gewichtung zu einem Element des Gesamtentscheides wird, der seinerseits auf ein optimales Gesamtergebn hinzielt.

Wir möchten hier den Begriff «*Produktion*» extensiv auslegen und darunter eine Tätigkeit verstehen, die einen Bedarf befriedigen will. Das setzt sowohl die Erzeugung eines Produktes im klassischen Sinne voraus wie auch die Zurverfügungstellung dieses Produktes an den Verbraucher dort und dann und so, wie es der Verbraucher wünscht. Das ist in der Elektrizitätswirtschaft die Aufgabe der Übertragung und der Verteilung, die deshalb nachfolgend auch berücksichtigt werden.

1. Die herkömmlichen Methoden der Elektrizitätserzeugung

Die Aussichten für den Weiterausbau von Wasserkraftwerken sind heute in den untersuchten Ländern ganz anders als vor 15 bis 20 Jahren. Die Möglichkeiten für den Bau weiterer Wasserkraftwerke sind heute stark eingeschränkt. Die Definition der «*noch ausbauwürdigen Wasserkräfte*» ist abhängig sowohl von der jeweiligen technischen Entwicklung als auch von wirtschaftlichen Bedingungen. Die technische Entwicklung hat die Nutzung der auch weniger günstigen Wasserkräfte und sogar den Bau von Anlagen ermöglicht, die man früher als unrealisierbar betrachtet hatte, wie z. B. in Frankreich die Anlage von Serre-Ponçon. Die Entwicklung der wirtschaftlichen Verhältnisse hat sich eindeutig gegen den Bau von neuen Wasserkraftwerken ausgewirkt. Die Senkung der Erzeugungskosten für eine Kalorie in einem thermischen Kraftwerk und die parallel verlaufende Verbesserung des Wirkungsgrades von Brennstoffkraftwerken haben den volkswirtschaftlichen Vor-

teil der Brennstoffeinsparung durch Elektrizitätserzeugung in Wasserkraftwerken stark vermindert. Die starke Zinsfusserhöhung und die Kapitalverknappung wirken sich eher zum Nachteil der Wasserkraftwerke aus, da diese oft erhebliche zusätzliche Investitionen verkraften müssen. Aus all dem ergibt sich, dass heute eine Anzahl Wasserkraftwerkprojekte, die vor zwanzig oder sogar noch vor zehn Jahren als günstig betrachtet worden sind, heute von der Liste der wirtschaftlich ausbaubaren Wasserkräfte gestrichen werden müssen. Es zeigt sich ferner, dass bei rein wirtschaftlicher Betrachtung und unter Ausschluss anderer Gesichtspunkte, wie z. B. Erschliessung und Förderung bestimmter Landesgegenden, sogar einige besondere zwischen 1955 und 1965 erstellte Wasserkraftwerke nicht gebaut worden wären, wenn man die heute eingetretene Entwicklung voll vorausgesehen hätte, womit gleichzeitig bewiesen ist, wie wichtig eine gute mittelfristige und halblangfristige Prognose ist.

Unter den noch ausbauwürdigen Wasserkraften, deren Bedeutung übrigens sowohl als Lieferanten von Leistung und noch mehr von Energie rasch abnimmt, werden die Anlagen mit relativ grosser Leistung trotzdem noch eine gewichtige Rolle spielen können. Der Begriff «grosse Leistung» ist indessen ebenfalls einem laufenden Bedeutungswandel unterworfen, und eine gegebene Leistung verliert relativ an Gewicht als Folge der ständigen Verbesserungen und Vergrösserungen bei den neuesten Kraftwerken, die alle thermisch sind.

Wenn somit vorausgesehen ist, dass neue Wasserkraftwerke nur noch in beschränkter Zahl gebaut werden dürfen, so werden die bestehenden Anlagen doch auch in Zukunft ihre grosse Bedeutung behalten, und zwar für die Deckung der Leistungsspitzen wie für die Schaffung von Leistungsreserven überall dort, wo hinreichend günstige Verhältnisse von Natur aus vorhanden sind.

Die *Pumpspeicherwerke* können unter wirtschaftlich konkurrenzfähigen Bedingungen Leistung erzeugen, wenn die Fallhöhe genügend gross ist, d. h. mindestens 150 Meter beträgt. Standorte für Pumpspeicherwerke sollten nicht zu weit von grossen Verbrauchszentren entfernt sein und die Möglichkeit bieten, ein oberes und ein unteres Speicherbecken mit genügend Höhendifferenz zu erstellen. Pumpspeicherwerke können regelmässig und mit relativ hoher Benützungsdauer betrieben werden, wenn in einem gegebenen Netz mit der Preisdifferenz zwischen Nacht- und Tagstrom die Kosten des Pumpspeicherbetriebes (ca. 70 % Gesamtwirkungsgrad) gedeckt werden können. Aber selbst wenn das Preisverhältnis zwischen Nacht- und Tagstrom ungünstiger ist, kann das Pumpspeicherwerk noch Tages-Spitzenleistungen liefern. Die Pumpspeicherwerke werden in solchen Fällen mit einem variablen Fahrplan betrieben, je nach der Verfügbarkeit der andern Kraftwerke, für die sie in Reserve stehen. So kann das Anfahren thermischer Gruppen für nur kurze Betriebszeit vermieden werden.

Eine andere Form des Einsatzes von Wasserkraftwerken für die Bewältigung von Leistungsspitzen ist die Installierung von zusätzlicher *Maschinenleistung* in bestehenden Anlagen, die ursprünglich für die Energieerzeugung mit sehr hoher Benützungsdauer erstellt worden sind. Ohne weitere Kosten für Staumauern kann in solchen Fällen durch zusätzlichen Maschineneinbau in den Tagesspitzenzeiten zusätzliche Leistung gewonnen werden, wobei allerdings bei gleichbleibendem Wasservorrat eine Betriebseinschränkung in den übrigen Stunden nötig wird.

Der Wert solcher Energielieferungen liegt in ihrer grossen *Anpassungsfähigkeit an den Bedarf* und in den Möglichkeiten, die sie der Betriebsleitung bei der Einsatzplanung der Grundlastwerke bieten. Ferner ist zu beachten, dass einzelne regelmässig durchlaufende Grundlastwerke zu bestimmten Zeitpunkten Energiemengen erzeugen, die den augenblicklichen übersteigen. Mit den Pumpspeicherwerken kann man eine Produktionsreserve schaffen, die in den Stunden oder Perioden des stärksten Bedarfs eingesetzt werden kann. Die Festlegung der Randbedingungen für neue Kraftwerke als auch der Bedingungen für die Erneuerung alter Kraftwerke werden immer mehr durch derartige Überlegungen beeinflusst werden. Für die Speicherkraftwerke mit Stausee und für die Schwellbetriebswerke mit nennenswerten natürlichen Zuflüssen mit oder ohne zusätzlichem Pumpbetrieb erhält die Lieferung von Leistung eine immer grössere Bedeutung.

Bei einigen Wasserkraftwerkprojekten besteht die Möglichkeit, die eigentlichen Kraftwerkanlagen zu ergänzen durch Einrichtungen für die Schifffahrt, für die Lieferung von Trinkwasser, für Bewässerungswasser oder Industrierwasser oder für Erholungszwecke. Diese *Mehrfachnutzung* kann eine vorteilhafte wirtschaftliche Gesamtbilanz ergeben, wobei allerdings von der Kraftwerkseite gewisse zusätzliche Bedingungen für den Ausbau der Anlagen und für die Betriebsführung in Kauf genommen werden müssen, die bei einer reinen Kraftwerkanlage nicht vorhanden gewesen wären. Dagegen stehen die Aussichten für den Bau weiterer hydraulischer Laufkraftwerke, die nur eine relativ geringe sichere Leistung abgeben können, nicht sehr günstig, wenn für deren Bau nicht zusätzliche Vorteile auf andern Gebieten sprechen. Diese Feststellung ist gültig, obwohl die allgemeine Entwicklung in der Richtung grösserer Einheiten läuft. Ein Beweis hierfür sind Projekte von Pumpspeicherwerken, die bei Leistungen von 200 bis 300 MW je Maschine Werkleistungen bis zu fast 2000 MW erbringen sollen.

Neben den Grosskraftwerken darf man die *kleineren Werke* nicht ganz vergessen, die vom lokalen Standpunkt aus wichtig sein können. Die bisherige Entwicklung der *Rohrturbinen* zum Beispiel bietet noch interessante Möglichkeiten, die noch nicht voll ausgeschöpft sind. Anders sind die Verhältnisse für weitere *Ebbe- und Flut-Kraftwerke*. Die bautechnischen Verhältnisse in den für solche Kraftwerke in Frage kommenden Küstengebieten sind so, dass das Versuchskraftwerk von La Rance kaum viele Nachfolger erhalten wird, unabhängig vom Wert der in Rance erzielten Ergebnisse. Diese Erkenntnis ist übrigens relativ neu; sie ist bedingt durch die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit von Atomkraftwerken. Man kann sagen, dass die Forschungen von St. Malo den Charakter einer Versicherung gegen Energieknappheit hatten für den Fall, dass die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der Kernenergie nicht Tatsache geworden wäre.

Bei der herkömmlichen Elektrizitätserzeugung in *brennstoffgefeuerten Kraftwerken* ist das wesentliche Merkmal die starke Erhöhung der Leistung je Maschinengruppe und je Kraftwerk. Wir haben auf diese Entwicklung bereits im ersten Kapitel dieser Studie hingewiesen, und zwar bei den durch die Kühlwasserbeschaffung auferlegten Begrenzungen. Die Entwicklung zu immer grösseren Einheiten lässt sich durch die hiedurch möglichen Reduktionen der spezifischen Bau- und Betriebskosten erklären. Eine bisher eingehaltene und auch in Zukunft zu berücksichtigende Bedingung lautet, dass die

Leistung einer einzelnen thermischen Gruppe nie einen relativ kleinen Prozentsatz (meist 1 bis 3 %) der gleichzeitig im gesamten Netz nötigen Spitzenleistung oder sogar nur der verfügbaren Leistung der thermischen Kraftwerke überschreiten soll. Dank des ausgedehnten Verbundbetriebes war es sogar möglich, die verfügbare Reserveleistung weniger stark zu erhöhen als es die Inbetriebnahme der grossen neuen Maschinengruppe eigentlich erfordert hätte. Das setzt aber voraus, dass die Verfügbarkeit der Maschinen gleich bleibt wie bisher oder sogar noch besser wird. Es zeigten sich aber in dieser Beziehung in letzter Zeit Schwierigkeiten, die vielleicht durch die sehr rasche Entwicklung bedingt waren. Nur eine noch schärfere Qualitätskontrolle kann auf diesem Gebiet eine negative Entwicklung verhindern.

Die genannten Entwicklungstendenzen werden, wenn auch unterschiedlich, auch in Zukunft anhalten. Wir haben weiter oben erläutert, dass die Randbedingungen für neue Wärmekraftwerke immer schärfer werden und damit die Zahl der möglichen Neubaustandorte immer kleiner. Diese *Standortknappheit* und die Vorteile grösserer Einheitsleistungen werden dazu führen, dass in einzelnen Kraftwerken eine grössere Zahl von Maschinengruppen mit der jeweils üblichen Einheitsleistung eingebaut werden. Anstelle von Kraftwerken von 250 bis 1000 MW Gesamtleistung mit 2, 3 oder 4 Maschinengruppen von früher je 125 MW und heute von 250 oder 600 MW je Maschine wird es in Zukunft Kraftwerke geben mit fünf oder sechs oder sogar noch mehr Maschinengruppen von 600 MW oder bald von 1000 MW bis 2000 MW oder mehr. Die Gesamtleistung dieser Kraftwerke wird also bald einmal 4000 bis 5000 MW, und später sogar das Doppelte erreichen und damit stärker wachsen als die Zahl der Produktionseinheiten. Auf der andern Seite erscheint es gegenwärtig als nicht sehr wahrscheinlich, dass man mit höheren Dampfdrücken und höheren Dampftemperaturen als in heutigen modernen Anlagen rechnen muss.

Die relative Konstanz der Dampfdaten ergibt eine Begrenzung der allfällig weiter möglichen *Brennstoffeinsparungen*. In der Richtung auf Brennstoffeinsparung wirken aber einige andere Faktoren, wie die zunehmende Automatisierung des Betriebes, der vermehrte Einsatz von Fernsteuerungen und Fernmessungen sowie die Benutzung von Computern zur laufenden Optimierung der Betriebsabwicklung. Im gleichen Sinne wirkt die grössere Regelmässigkeit des Lastfahrplanes für eine wachsende Zahl von thermischen Kraftwerken, was u. a. ermöglicht wird durch zusätzliche Produktionsmittel für die Erzeugung von Spitzenenergie in Pumpspeicherwerken, in Gasturbinenanlagen und gegebenenfalls in gemischten Gasturbinen-Dampfturbinen-Anlagen. Es ist trotz aller Tendenz zu Riesenanlagen nicht ausgeschlossen, dass man noch während längerer Zeit auch *Turbogeneratorengruppen* einer mittleren Grösse von ca. 250 MW bauen wird; denn solche Anlagen sind genügend elastisch, um im Belastungsdiagramm die Zone zwischen Grundlast und Spitzenlast zu übernehmen. Für Turbogruppen dieser Grössenordnung sind auch die oben erläuterten Standortbeschränkungen weniger scharf. Das gleiche gilt für Dieselgruppen in der Grössenordnung von 10 bis 25 MW, die für lokale Zuschusslieferungen ausserhalb der Schwachlastzeiten interessant sein können.

Es sind in diesem Zusammenhang noch zwei Fragen zu streifen. Die erste betrifft die allfällige Anwendung von *magnetohydrodynamischen* Anlagen. Nach zahlreichen leider erfolg-

losen Versuchen erscheint diese Art von Elektrizitätserzeugung nicht als sehr wahrscheinlich, und man erwähnt sie nur noch erinnerungshalber. Viel wahrscheinlicher sind allfällige Auswirkungen von Fortschritten, welche in der Metallurgie gewisser hochtemperaturfester Metalle erzielt worden sind. Bei den Dampfturbinen und den Gasturbinen könnten damit durch weitere Hochzüchtung erhebliche Wirkungsgradverbesserungen erzielt werden.

Zum Schlusse dieses Abschnittes ist zu erwähnen, dass ähnlich wie bei den Wasserkraftwerken auch bei den *thermischen* Kraftwerken mit *Mehrzweckanlagen* gerechnet werden kann, die in diesem Falle sowohl elektrische Energie als auch Wärme abgeben, z. B. für die Speisung von grossen und konzentrierten Industriekomplexen einschliesslich Meerwasser-Entsalzungsanlagen sowie für den Betrieb von grossen Städtefernheizungen. Es ist aber zu bedenken, dass die manchmal nicht gleichlaufenden Anforderungen an die Elektrizitätserzeugung einerseits und an die Wärmelieferung andererseits oft schwer auf einen Nenner gebracht werden können.

2. Der Durchbruch der Kernenergie

Die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der Kernenergie trat etwas später ein als erwartet. Sie ist nun Tatsache geworden, und so wird denn auch die Elektrizitätserzeugung aus Kernenergie in der von uns betrachteten Zukunftsperiode grössere Bedeutung erlangen.

Man kann heute noch nicht behaupten, dass die Kernenergie in wirtschaftlicher Beziehung die sogenannten klassischen Brennstoffkraftwerke ganz eingeholt hätte. Noch keines der grossen Kernkraftwerke, die in bezug auf Bau- und Betriebskosten mit den Brennstoffkraftwerken konkurrenzfähig sind, hat den Beweis erbracht, dass es auch hinsichtlich der *langfristigen Verfügbarkeit* gleichwertig ist. Die kleine Zahl der im industriellen Betrieb stehenden Kernkraftwerke und die Tatsache, dass es sich meist um Prototypen handelt, erklären diese Erscheinung. Solange man aus dieser Anfangsperiode nicht heraus ist — was zwar bald der Fall sein wird —, ist die Zeit der Kerntechnik für die Elektrizitätserzeugung noch nicht ganz angebrochen. Trotzdem steht heute schon fest, dass die Kernkraftwerke einen grossen Teil des zusätzlichen Elektrizitätsbedarfs decken werden.

Das Tempo der Entwicklung hängt stark von der relativen *Kostenentwicklung* der verschiedenen «*Brennstoffe*» ab, nämlich Heizöl, natürliches Uran, leicht angereichertes Uran und zum Schluss noch Plutonium als Betriebsstoff für Brüter-Reaktoren. So ist vor allem das Sinken der Ölpreise in den vergangenen Jahren mit ein Grund, warum die Reaktoren mit natürlichem Uran gegenüber Brennstoffkraftwerken nicht konkurrenzfähig werden konnten. Es ist wenig wahrscheinlich, dass sich der Heizölpreis in der hier ins Auge gefassten Zukunftsperiode langfristig sehr stark erhöhen wird, weil ständig genügend neue Ölvorkommen entdeckt werden, um der steigenden Nachfrage zu genügen. (Anmerkung des Übersetzers: Es scheint, dass die Verfasser des Berichtes die gegenwärtig auf dem Erdölmarkt wirksamen politischen Einflüsse eher unterschätzt haben.) Um eine starke Preiserhöhung des Erdöls zu bewirken, müsste sich, was später nicht unmöglich sein könnte, das Tempo in der Entdeckung neuer Ölfelder wesentlich verlangsamen, wofür aber heute keine Anzeichen vorhanden sind. Für die nächsten fünfzehn Jahre ist aber ein solcher Umschwung kaum zu erwarten.

Es scheint, dass sich beim *Uran* die gleichen Erscheinungen wiederholen wie beim Erdöl, indem auch beim Uran die Entdeckung neuer Vorkommen rascher fortschreitet als der Verbrauch. Die Uranpreise werden deshalb wahrscheinlich nicht stark ansteigen. Ausserdem braucht es beim Uran eine viel stärkere relative Preiserhöhung als beim Öl, um eine gleiche Erhöhung der Elektrizitätskosten zu bewirken. Wichtig ist heute vor allem das leicht, d. h. 2 bis 4 % angereicherte Uran, das mit seinem von den Vereinigten Staaten von Amerika festgesetzten Lieferpreis erstmals ermöglicht, dass Kernkraftwerke mit Brennstoffkraftwerken eindeutig konkurrenzfähig sind. Die zu erwartenden Verbesserungen bei den Kosten für den Uranankauf, beim Brennstoffkreislauf und bei der Verfügbarkeit des Urans werden die Konkurrenzfähigkeit der Kernkraftwerke weiter verbessern und einen zunehmenden und vielleicht sogar stürmischen Übergang auf Kernkraftwerke bewirken.

Eine Unbekannte ist die Kostenentwicklung für die *Urananreicherung*. Es ist schwierig vorauszusehen, wie sich der Verkaufspreis für angereichertes Uran entwickeln wird, wenn die hierzu nötigen, für andere Zwecke erstellten Fabriken ausgelastet sind. Ebenso wenig kann man voraussagen, wie hoch der Preis für angereichertes Uran aus europäischen Anlagen einmal sein wird. Europäische Anreicherungsanlagen sind aber nötig, wenn sich ein ganzer Kontinent für einen grossen Teil seiner Elektrizitätserzeugung auf angereichertes Uran abstützen soll.

Die Unsicherheit wird noch erhöht durch die Unmöglichkeit, die wirtschaftlichen Möglichkeiten des *Zentrifugierens* vorauszusagen; denn diese Technik ist heute noch im Laboratoriumsstadium, und man besitzt sehr wenige Informationen darüber. Eine grössere Klarheit über die bisher erzielten Resultate wäre für alle beteiligten Kreise von Interesse. Falls es sich zeigt, dass das Zentrifugieren wesentlich vorteilhafter ist als die Gasdiffusion, werden sich die Kernkraftwerke mit angereichertem Uran als Brennstoff sehr rasch entwickeln. Sollte sich aber zeigen, dass das Zentrifugieren mit der Gasdiffusion nicht konkurrenzfähig werden kann, dann wird man möglicherweise im Wege einer Vereinbarung der westeuropäischen Staaten gemeinsam eine Diffusionsanlage erstellen. Weil man dann für das Uran nicht mehr auf eine einzige Quelle angewiesen wäre, könnte man die Brennstoffversorgung der Kernkraftwerke mit angereichertem Uran als voll gesichert betrachten.

Eine weiter anhaltende Unsicherheit über den wirklichen Wert des Zentrifugierverfahrens könnte zu einer Verlangsamung des Baus neuer Kernkraftwerke mit angereichertem Uran führen.

Der *Brüterreaktor* wird in der von uns betrachteten Zukunftsperiode von 15 Jahren in der Elektrizitätserzeugung noch keine grosse Rolle spielen. Immerhin wird er die Brennstoffpolitik dieser Periode beeinflussen, indem man das erzeugte Plutonium im Hinblick auf seine spätere Verwendung in Brütern inzwischen einlagern wird, wodurch die Wiederverwendung von Plutonium in Reaktoren mit thermischen Neutronen eingeschränkt wird.

Die Ansichten über die Entwicklung anderer Reaktorbauten in den nächsten 15 Jahren sind geteilt. Bei der *Schwerwasserbauart* sind eine Reihe verschiedener Lösungen entwickelt worden. Trotz den potentiellen Möglichkeiten dieser Bauarten ist ihre Anwendung in der Praxis für die nächste und für eine fernere Zukunft heute noch umstritten. Andererseits ist der *Hochtemperatur-Graphit-Gas-Reaktor* aussichtsreich, und

zwar wegen der hohen Temperaturen, die erreicht werden können, und die es eines Tages vielleicht ermöglichen, vom Dampf abzugehen und eine Helium-Gasturbine zu verwenden. Die zukünftige Entwicklung hängt von allfälligen Verzögerungen bei der Brüterentwicklung und den Gesteungskosten der Energie ab, die in der Zwischenzeit mit andern Reaktorsystemen erreicht werden können. Man muss hier festhalten, dass die erreichbare Temperatur nur eine der die Stromkosten beeinflussenden Grössen ist. So ist gegenwärtig der allgemein als am wirtschaftlichsten betrachtete Reaktor derjenige mit der tiefsten Temperatur, nämlich nur rund 300 °C beim Leichtwasserreaktor.

Aus den vorstehenden Überlegungen kann man schliessen, dass der Brüterreaktor seine eigentliche industrielle Anwendung erst am Ende der betrachteten 15jährigen Periode finden wird. Die Möglichkeiten für andere Zwischensysteme sind unsicher, es wäre denn die Brüterentwicklung gerade stark in Rückstand. Die Mehrzahl der neuen Kraftwerke wird vorerst leicht angereichertes Uran als Brennstoff verwenden. Die fossilen Brennstoffe werden immer noch eine wichtige Rolle spielen, vor allem in den bereits bestehenden älteren Kraftwerken, aber auch in Kraftwerken für geringe und für mittlere Benutzungsdauer, wahrscheinlich meist in schwerölbetriebenen Gasturbinen, aber auch in Dieselmotoren verhältnismässig grosser Leistung.

Es scheint im gegenwärtigen Zeitpunkt, dass die Kernenergie die einzige moderne Technik ist, der in den nächsten 15 bis 20 Jahren alle Chancen für eine *rasche und beschleunigte Entwicklung* geboten ist. Weder für die Ausnutzung von Ebbe und Flut, von Sonnenenergie, von geothermischer Energie, von Windkraft, von Energie der Meeresbrandung oder der thermischen Energie der Meere bestehen irgendwelche Aussichten für die Elektrizitätserzeugung in grösserem Umfange, obwohl bei verschiedenen der genannten Energiequellen zwar erfolgreiche, aber nur begrenzte oder in ihrer Bedeutung kleine Versuche zu ihrer Ausnutzung unternommen worden sind.

Eine erfolgreiche Entwicklung der *Brennstoffzelle* kann vielleicht in bestimmten Fällen die Gesteungskosten der Elektrizität vermindern, indem hohe Verteilkosten eingespart werden können, wenn es sich um kleine Leistungen und um einen kleinen, diskontinuierlichen Energieverbrauch handelt. Aber diese Vervollkommenheit der Brennstoffzelle ist noch nicht erreicht. Auch wenn sie einmal erreicht würde, könnte dadurch die Struktur der Elektrizitätswirtschaft nur in einer sehr langen Zeitperiode tiefergreifend verändert werden. Heute erfordern die Grosskraftwerke als Massenproduktionsstätten ein ausgedehntes und angepasstes Verteilnetz für die Energielieferung an die Kundschaft.

3. Die Entwicklung der Netze

Um die verschiedenen Energiequellen in die Gesamtversorgung besser einzubauen und eine sichere Versorgung der Abnehmer zu gewährleisten, sind die europäischen Elektrizitätsnetze sowohl für den Ferntransport als auch für die regionale Verteilung und manchmal auch für die Detailverteilung unter sich eng verbunden.

Auf jeder Stufe erstrecken sich die Netze auf ein umso grösseres Gebiet, je grösser die zu übertragende Leistung ist, wobei dann meist auch die Spannung steigt. Bei der Fernübertragung überschreiten die Hochspannungsleitungen sogar die Landesgrenzen. Trotzdem sind die Distanzen zwischen den Knoten-

punkten der Höchstspannungsnetze, die den Abständen zwischen den grossen Kraftwerken und den durch sie versorgten Absatzgebieten entsprechen, meist bescheiden (vielfach in der Grössenordnung von 100 km). In den unteren Verteilebenen sind die Distanzen noch kleiner.

Die Struktur der *elektrischen Netze* hat eine gewisse Ähnlichkeit mit einem städtischen Netz und hat dessen relative Stabilität beibehalten. Im Laufe der Zeit sind die Spannungen erhöht worden. Die Netzstruktur wurde zwar beibehalten; aber die Aufgabe der Leitungen einer bestimmten Spannungsebene haben sich verändert. Im Laufe der Entwicklung ist die Verwendung bestimmter Spannungen zurückgegangen; andere wurden neu eingeführt, bei unterschiedlicher Entwicklung von Land zu Land. Aber überall ist die Absicht deutlich erkennbar, für jede der drei Hauptaufgaben — Fernübertragung, regionale Verteilung und Detailverteilung — nur je eine sehr begrenzte Zahl von verschiedenen Spannungen zu verwenden, meist nur eine oder höchstens zwei je Hauptaufgabe.

Gegenwärtig verwendet die Mittelspannungsebene eine Spannung, die 20- bis 60mal höher ist als die Niederspannung. Für die regionale Verteilung verwendet man Hochspannungen, die 4- bis 10mal höher sind als die Mittelspannung. Die Höchstspannung ist dann nochmals rund dreimal höher als die Hochspannung. Oft ist der Faktor 3 verwendet worden, wenn man von einer gegebenen Spannung auf die nächsthöhere überging.

Es zeigt sich, dass die zuletzt eingeführten Hochspannungen verhältnismässig nahe beieinander liegen. Übrigens ist der Abstand um den Faktor 3 zwischen den Spannungen von 380 und 220 kV offensichtlich zu klein für zwei aufeinanderfolgende Spannungsstufen in der gleichen geographischen Gegend.

Für die Wahl der nächsthöheren in der von uns betrachteten Periode zu realisierenden Spannungsstufe stellt sich die Frage, ob die Wahl von 765 kV später nicht als zu nahe bei 380 kV liegend betrachtet werden muss. Man kann sich deshalb fragen, ob nicht eine Höchstspannung im Bereich von 1000 bis 1200 kV in Betracht gezogen werden sollte. Über die mit dieser Frage zusammenhängenden technischen und wirtschaftlichen Probleme ist schon heftig diskutiert worden. Man kann hier ergänzen, dass die Wahl der höchsten Spannung auch eine neue Regelung in den nächstunteren Spannungsebenen zur Folge haben wird, indem man entweder den Bereich von 100 bis 150 kV oder die Spannung von 220 kV oder die von 380 kV aufhebt, um auf dem Gebiete der regionalen Verteilung die Anzahl der verwendeten Spannungen zu vermindern. Es ist auch zu bedenken, dass bis zu einem bestimmten Niveau die höchsten Spannungen die höchsten Übertragungsleistungen ergeben. Dadurch kann man die Zahl der nötigen Leitungen vermindern, was besonders in stark belasteten Zonen ein Vorteil ist. Diese Vorteile werden aber zum Teil wieder kompensiert durch die viel grösseren Masten, so dass man versucht sein könnte, die übertragenen Ströme stärker zu erhöhen als die Spannung.

Die Lösung dieser sehr heiklen Probleme muss auf internationaler Ebene gefunden werden, und sie wird beeinflusst werden durch die Entschlüsse, die gefasst werden zur erwünschten Koordination der Betriebsführung und der Ausbauprogramme.

Es scheint, dass die Verwendung von *hochgespanntem Gleichstrom* in Westeuropa, unerwartete Entwicklungen vorbehalten, in den nächsten 15 bis 20 Jahren keine grosse Aussicht

hat, obwohl die Gleichstrom-Hochspannungsübertragung Vorteile bietet, und zwar für die Steuerung des Verbundbetriebes, für die Begrenzung der Kurzschlussströme und für den Energietransport ins Innere sehr grosser Städte. Bei dieser Prognose sind Spezialfälle ausgenommen wie etwa die Kreuzung von Meeresarmen durch Gleichstrom-Unterwasserkabel, wie sie schon in einigen wenigen Fällen verwirklicht worden sind. Auch die relativ geringe bisher erreichte Sicherheit im Dauerbetrieb wird der Ausdehnung dieser Übertragungsart Grenzen setzen.

Was die eigentliche Verteilung anbetrifft, so erzwingt die zunehmende Verbrauchsdichte den Übergang auf direkte Mittelspannungspeisung vieler Gebäude. Und in dünn besiedelten Gebieten mit geringer Verbrauchsdichte ist es sehr schwierig wenn nicht unmöglich, ein Verteilnetz wirtschaftlich zu betreiben. Die Anwendung von leichteren Lösungen als bisher und einer differenzierteren Technik kann die Verhältnisse in diesen Fällen verbessern. Aber nur eine stärkere systematische Normalisierung auf internationaler Ebene kann bei der Versorgung dünn besiedelter Gebiete ins Gewicht fallende Einsparungen bringen, die viel grösser sind als diejenigen irgendeiner andern technischen Massnahme.

Bei der Energieverteilung werden sich die Anwendung von *Fernmessungen* und von *Fernsteuerungen* rasch ausbreiten mit dem Ziel, durch Computer-Auswertung der gewonnenen Daten die Kenntnisse über die Betriebsverhältnisse der Anlagen zu verbessern und die Automatisierung der Betriebsführung weiter zu treiben. Mit Hilfe der modernen Rechenmaschinen können die Bedingungen, wie und wann ein Netz ausgebaut werden soll, viel rationeller bestimmt werden.

Innerhalb der gesamten Elektrizitätswirtschaft hat die Energieverteilung eine sehr grosse Bedeutung, und es ist gerechtfertigt, für ihre Verbesserung und Weiterentwicklung beträchtliche Mittel aufzuwenden, auch wenn die Erfolge weniger spektakulär sind als beim Kraftwerkbau und beim Ferntransport der Energie.

4. Die strategischen Entscheide

Aus den bisherigen Ausführungen über die verschiedenen gegenwärtigen und zukünftigen Möglichkeiten für die Erzeugung und die Übertragung von elektrischer Energie ergibt sich, dass eine grosse Anzahl verschiedener Kombinationen derjenigen Elemente möglich ist, über die wir verfügen. Da die Anlagen der Elektrizitätswirtschaft eine lange Lebensdauer haben, läuft die Wahl zwischen den verschiedenen möglichen Kombinationen auf eine *langfristige Programmierung* hinaus, die ihrerseits eine Reihe von Annahmen über die von vielen Zufällen abhängige Zukunft einschliesst. Die Art und Weise, wie solche Probleme gelöst werden, hat sich in den verflossenen 20 Jahren stark entwickelt und wird sich noch weiter entwickeln. Dabei helfen uns die Fortschritte der Wirtschaftswissenschaft, die sowohl die bestehenden Hilfsmittel verbessert als auch neue Hilfsmittel schafft, ferner die Verwendung von Computern, die es ermöglichen, eine Unzahl von Modellfällen durchzurechnen. Wichtig ist dabei auch die Erkenntnis, dass die Beziehungen zur Umwelt sich nicht in einem Erdulden dieser Einflüsse erschöpfen dürfen, sondern dass es sich dabei um eine komplexe Interdependenz handelt, bei der auch die Elektrizitätswirtschaft ihre Rolle zu spielen hat. Man hat solche Wechselwirkungen kürzlich in mehreren Ländern bei der Brennstoffversorgung der Kraftwerke erlebt.

Es ist in diesem Bericht nicht möglich, auf die für die *Langfristprognosen* verwendeten Arbeitsmethoden näher einzugehen. Aber man muss hier betonen, dass diese Methoden die zukünftige Entwicklung der Elektrizitätswirtschaft immer mehr bestimmen werden. Vorerst beschränkte man sich bei der Programmierung darauf, für jeden einzelnen Fall die beste Lösung zu suchen. Diese Methode ist heute überholt. Sie hat nämlich den grundsätzlichen Nachteil, dass man immer nur meist kleine Veränderungen an einem bestehenden System untersucht und das System als solches nie als Ganzes betrachtet und in Frage stellt. Bei einer Verdoppelung der Elektrizitätserzeugung innert nur 10 Jahren ist eine solche Methode unzureichend oder sogar falsch. Sie hat grosse Ähnlichkeit mit rein finanziellen Überlegungen, die aber ein anderes Ziel haben. Die Methode wird in Zukunft nur noch verwendet werden für die Detailfixierung von vorher in grossen Zügen festgelegten Programmen zur Dimensionierung der einzelnen Bauwerke und Festlegung der Termine.

Die wahre Lösung des durch Richtentscheide gestellten-Gesamtproblems wird entweder durch *Simulationsmethoden* gefunden oder durch die Methoden der *mathematischen Programmierung*. Lineare Programme und immer mehr auch nicht-lineare Programme ermöglichen es, auf immer bessere Art die verfügbaren Möglichkeiten zu formulieren, mit ihnen Denkmodelle aufzustellen unter Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeiten, womit die Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung und die Reaktionen der Geschäftspartner der Elektrizitätswirtschaft, hier der Brennstofflieferanten und der Lieferanten der Kraftwerk- und Netzausrüstungen, einbezogen werden können. Der Nachteil solcher Programmierungen besteht in ihrer schwerfälligen Handhabung. Bei der Programmierung des Netzausbaues hat man sich mit Simulationstabellen geholfen. Mit Hilfe der Computer kann man heute ganze Planspiele über Kraftwerk- und Netzausbau veranstalten. Die Anwendung dieser Methode wird sich rasch ausbreiten; denn sie ermöglicht wesentliche Einsparungen von Anlagekapital.

III. Kapitel

Betriebsführungs-Methoden

Das beste Instrument ist nicht mehr wert als das, was der Benutzer aus ihm macht. Einen Betrieb führen heisst, die Produktionsmittel in gutem Zustand erhalten, sie optimal zur Deckung der Nachfrage einsetzen und diese Nachfrage durch die Tarife und durch entsprechendes kommerzielles Verhalten so zu fördern und zu beeinflussen, dass sich eine gute Ausnutzung der Anlagen ergibt. Einen Betrieb führen heisst auch ein Anlagekapital verwalten, das in der Elektrizitätswirtschaft besonders gross ist, und einen Betrieb führen heisst auch, ein Personal zu leiten, das trotz erheblicher Produktivitätssteigerung sehr zahlreich ist. Diese Probleme ziehen sich wie ein roter Faden durch das tägliche Leben der Betriebe. Sie sollen hier betrachtet werden unter dem Gesichtspunkt der hierfür bereits heute angewendeten und der in Zukunft anzuwendenden, vielleicht andersartigen Lösungen.

Unterhalt und technische Betriebsführung

Ein regelmässiger Unterhalt ist bekanntlich nötig für jede Anlage, die man betriebstüchtig erhalten will. Wenn man eine erhöhte Betriebssicherheit will, wie sie heute die Bezüger von elektrischer Energie immer dringender verlangen, dann bedingt das eine *systematische Überwachung* aller Anlageteile, für die

besonders wichtigen Teile eine ununterbrochene. Die Fernmesseinrichtungen, die betriebsinternen Fernsehanlagen, die Anwendung von Infrarot-Kontrolleinrichtungen zur Erfassung von zu starken Erwärmungen an einer Maschine oder an einem Leiter, die Anwendung von Ultraschallapparaten usw. leisten für eine solche Betriebsüberwachung sehr gute Dienste. Allgemein kann man sagen, dass jede physikalische Erscheinung für die Diagnose angewendet werden kann oder könnte. Der sogenannte vorausschauende Unterhalt wird nur in dem Umfange angewendet werden, als es sicher ist, dass die mit einem solchen Unterhalt verbundenen Risiken für Störungen und Unterbrechungen kleiner sind als die Störungen des Betriebes bei einer tatsächlich eingetretenen Panne.

Es genügt aber nicht, eine mögliche Störung rechtzeitig zu entdecken. Man muss auch eingreifen können, und hiezu ist meist eine Ausserbetriebsetzung von Anlageteilen nötig. Eine solche Ausserbetriebsetzung steht aber im Widerspruch zu einem ununterbrochenen Betrieb, wie ihn die Abnehmer immer mehr verlangen. Aus dieser Zwangslage heraus ist man zu Netzarbeiten *unter Spannung* gekommen. Diese Arbeitsmethode wird sich um so mehr verbreiten, je besser für die Sicherheit der arbeitenden Monteure gesorgt ist, und sie wird auch für Anlagen mit sehr hoher Spannung angewendet werden, was bisher eher selten war. Die Verwendung von isolierten Werkzeugen wird dann nicht mehr die einzige Lösung sein, und man wird den Monteur von einer isolierten Plattform aus arbeiten lassen, wo er das gleiche Potential hat wie die spannungsführenden Leiter. Gleichgültig, welche Arbeitstechnik hierbei angewendet wird: die Entwicklung wird weitergehen.

Der *Unterhalt* von *Kernkraftwerken* bringt verständlicherweise besondere Probleme wegen der *Radioaktivität* des Brennstoffs und aller Teile, die mit ihm in Berührung kommen. Wie man weiss, ist das Problem aber gelöst durch eine scharfe Abtrennung der radioaktiven Anlageteile und durch fernbediente Manipulatoren. Trotzdem kann es vorkommen, dass man im radioaktiven Teil des Kernkraftwerkes direkt eingreifen muss. Dann ist ein längerer Betriebunterbruch des Kernkraftwerkes nötig, was sehr viel Geld kostet und ein wesentlicher Nachteil der Kernkraftwerke ist.

Die *gemeinsame Betriebsleitung* einer Anzahl von Kraftwerken und Übertragungsanlagen ist ein komplexes Problem, das durch die vermehrten Kernkraftwerke wohl in Einzelheiten, nicht aber grundsätzlich verändert wird. Da die Kernkraftwerke sehr niedrige Brennstoffkosten aufweisen, werden sie im Gesamtdiagramm direkt oberhalb der hydraulischen Laufkraftwerke eingesetzt. Nur eine langfristige Betriebserfahrung kann zeigen, in welchem Umfange es wirtschaftlich ist, im Laufe des Tages eher die Belastung der Kernkraftwerke statt diejenige der grossen Brennstoffkraftwerke zu verändern, um sich dem veränderlichen Bedarf anzupassen. Die Existenz solcher Gruppen mit variabler Belastung stellt sowohl für Kernkraftwerke als auch für Anlagen mit Brennstofffeuerung eine Reihe von Problemen. Dazu gehören die notwendige Anfahr- und Abstellzeit und der Ersatz bei Ausfall einer solchen Anlage. Die Schwierigkeit, die mit der Anpassung an die Belastung entstehenden Probleme zu lösen, wird dadurch noch erhöht.

Um diese verschiedenen Probleme der Lastverteilung zu lösen, wendet man sowohl auf regionaler, nationaler und zum Teil auch auf internationaler Ebene integrierte *Überwachungs- und Lastverteilungssysteme* an, die mit allen notwendigen Recheneinrichtungen ausgerüstet sind und unter sich mit den

grossen Kraftwerken und mit den Netzscherpunkten durch ein vollständiges Fernmeldesystem verbunden sind. So wird es möglich, unter Berücksichtigung der physikalischen und der wirtschaftlichen Eigenschaften der Anlagen optimale Betriebsprogramme aufzustellen, aber vor allem auch die Ausführung dieser Programme laufend der effektiven Belastung und dem jeweiligen Zustand der Anlagen anzupassen. Am Schlusse einer solchen Entwicklung kann man mit dem Fernbetrieb von Kraftwerken rechnen, die von regionalen Befehlszentren aus gesteuert werden. Diese Befehlszentren (Lastverteiler) werden unter sich auch wieder verbunden sein, damit bei einer Störung in einem Steuerzentrum die andern Zentren aushelfen können. Es ist aber auch wichtig, dass man dafür sorgt, dass die in diesen automatisierten Befehlszentren arbeitenden Ingenieure fähig bleiben, bei einem Ausfall der Computer und Automaten die Anlage mit Handsteuerung zu fahren.

Finanzielle und administrative Geschäftsführung

Die Elektrizitätswirtschaft war von jeher ein «kapitalistischer» Industriezweig. Die Erstellung der Kraftwerke und der Netze erfordern *sehr viel Kapital*, und selbst in früheren Perioden, als für den Betrieb relativ viel mehr Personal benötigt wurde als heute, bildeten die Kosten für Verzinsung und Amortisation des Anlagekapitals eine sehr schwere Belastung für die Betriebsrechnung. Dies galt vor allem für Elektrizitätswerke mit nur oder mit vorwiegend Wasserkraftwerken. In neuerer Zeit haben die Senkung der Brennstoffkosten, die Verminderung des je Kilowatt Leistung nötigen Personals und die Zinsfußsteigerung das Gewicht der Kapitalbelastung für die Elektrizitätswerke wesentlich erhöht.

Man hat allen Grund anzunehmen, dass die Entwicklung in dieser Richtung noch weiter geht. Die drei genannten Entwicklungen (Senkung der Brennstoffkosten, Verminderung des spezifischen Personalbedarfs, Zinsfusserhöhung) werden sich, so wie es heute aussieht, kaum abschwächen oder gar umkehren. Auf der andern Seite wird der gegenwärtige Kapitalbedarf der Elektrizitätswerke noch erhöht werden durch den verstärkten Übergang zu neuen Kernkraftwerken, die wahrscheinlich auch in Zukunft mehr Kapital erfordern werden als gleich grosse Brennstoffkraftwerke, sowie durch die vermehrte Anwendung von sehr teuren Computeranlagen. Durch diese Entwicklung wird der reduzierte Kapitalbedarf als Folge des rückläufigen Anteils der Wasserkraftwerke wieder ganz oder teilweise kompensiert. Das Problem der Finanzierung der neuen Anlagen wird also nicht nur bestehen bleiben, sondern noch verschärft werden durch die erwähnte, im Vergleich zu steigenden Bedarf ungenügende Bildung von Ersparnissen in unserer Volkswirtschaft.

Man darf nun aber auch nicht ins andere Extrem fallen und, wie es etwa geschieht, eine spektakuläre Zunahme der Finanzierungsschwierigkeiten befürchten. Wenn auch die Kapitalkosten die Produktionskosten zusätzlich belasten, so wird doch der von der Elektrizitätswirtschaft benötigte Anteil an den steigenden Ersparnissen relativ kleiner. Man darf die beiden Erscheinungen nicht miteinander verwechseln. Eine Rolle spielen hier der zunehmende Wirkungsgrad der Anlagen und die auf konstanten Geldwert bezogen, sinkenden Materialpreise.

Der grosse Kapitalbedarf zwingt die Werke, sich anzustrengen, um einerseits die bisherigen Kapitalquellen besser auszuschöpfen und andererseits neue Quellen zu finden. Das

Kolloquium an der UNIPEDE-Tagung von Barcelona im Oktober 1967 über die *Finanzierung der Elektrizitätswerke* hat einen guten Überblick gegeben über die angewendeten und die empfehlenden Finanzierungsmethoden. Man kann auf diesem Gebiete noch viel unternehmen, um die Bedingungen für die Kapitalbeschaffung durch Aktien oder Obligationen zu verbessern. Bei der Aktienaussage kann man an die privaten Aktionäre oder an öffentliche Körperschaft appellieren, die Eigentümerin der Anlagen ist. Obligationenaussage erlaubt eine Internationalisierung der Operation, denn die einzelnen nationalen Geldmärkte sind nicht immer gleich offen oder verschlossen, wie dies der Erfolg des Euro-Dollars zeigt.

Die Schlussfolgerungen aus dem Kolloquium von Barcelona haben insbesondere gezeigt, dass die Elektrizitätswirtschaft wegen dem Ungenügen der äusseren Finanzierungsquellen darauf angewiesen ist, einen Teil des Finanzbedarfs aus eigenen Quellen, d. h. durch *Selbstfinanzierung*, zu decken. Da aber die elektrische Energie immer mehr in Konkurrenz tritt mit andern Energieträgern, muss man darauf achten, dass der Anteil der Selbstfinanzierung nicht zu hoch wird, da er die Tarife und damit notwendigerweise auch die Konkurrenzfähigkeit der elektrischen Energie belastet.

Immerhin sind *Tarifmassnahmen* denkbar, die sich auf die Einnahmen der Elektrizitätswerke und damit auf ihre Finanzkraft günstig auswirken können. Eine Beschleunigung der Zahlungseingänge aus der Niederspannungsabgabe ist eine solche Massnahme. Eine andere, wahrscheinlich sehr wichtige, bestünde darin, aus dem wachsenden Anteil der festen Kosten der Elektrizitätserzeugung vermehrte tarifliche Konsequenzen zu ziehen und für alle Abnehmer die Einnahmen aus den festen Entschädigungen (welche bei Niederspannungsabgabe fast Null sind) zu erhöhen und gleichzeitig die Einnahmen aus den abgegebenen kWh zu vermindern. Eine solche Tarifpolitik würde den für die Werke willkommenen Energiebezug mit hoher Gebrauchsdauer begünstigen und die sehr teure Energielieferung mit kleiner Benutzungsdauer verstärkt belasten.

In Grenzfällen und für eine sehr hohe Benutzungsdauer von 7000 und mehr Stunden im Jahr, wie man sie in bestimmten Industrien wie auch bei wichtigen Niederspannungsabgaben (z. B. kombinierte Abgabe für Raumheizung und Klimatisierung) antrifft, könnte man sogar das Wiederauftauchen eines Tarifs mit ausschliesslicher Verrechnung der beanspruchten Leistung in Betracht ziehen. Bei der Niederspannungsabgabe könnte man mit Hilfe von Leistungsgrenzen für eine bestimmte, für die Raumheizung und Klimatisierung abonnierte Leistung und einem entsprechenden Spielraum für die andern Elektrizitätsverbraucher diesen reinen *Leistungsspreistarif* in grösserem Umfange anwenden und damit erhebliche Einsparungen bei der Stromverrechnung erzielen durch automatische Pauschalverrechnung, Wegfall der Zählerablesungen usw. Eine solche Lösung setzt natürlich voraus, dass die tatsächlich beanspruchten Leistungen strikte innerhalb der im Abonnementsvertrag festgelegten Grenzen bleibt und dass die heute sehr guten Apparate für die Überwachung und Begrenzung der vom Abnehmer effektiv bezogenen Leistung in grossem Umfange eingesetzt werden.

Ferner müssen zur Verbesserung der Einnahmen der Elektrizitätswerke verfeinerte Methoden für die *Schwachlastzeit* entwickelt werden, da die Grenzkosten für die Energieerzeugung und -verteilung in der Schwachlastzeit sehr klein sind. In bestimmten Fällen könnte man auch Möglichkeiten zur Ver-

minderung der Kapitalkosten finden, indem man gegen entsprechende tarifliche Vergünstigungen mit dem Abnehmer die Garantie für die ständige Lieferbereitschaft vertraglich reduziert. Die Erfahrung zeigt nämlich, dass die Abnehmer diese ständige Lieferbereitschaft nicht zu ihrem vollen Wert, d. h. mindestens zu den effektiven Gestehungskosten, in Rechnung stellen, während bestimmte Bezüger einer Verminderung der ununterbrochenen Lieferbereitschaft des Werks ohne wesentliche Nachteile zustimmen könnten.

In den nächsten Jahrzehnten werden die Probleme der *administrativen Geschäftsführung* eine steigende Bedeutung erhalten. Die Elektrizitätswirtschaft kann sich dieser Entwicklung nicht entziehen, besonders nicht auf dem Gebiete der Energieverteilung, wo die Gesichtspunkte der Dienstleistung besonders wichtig sind. Abgesehen von diesem Punkt kann man sagen, dass die administrative Geschäftsführung der Unternehmungen der Elektrizitätswirtschaft keine wesentlichen Besonderheiten aufweist im Vergleich zu ähnlich grossen Betrieben anderer Branchen. Man kann also für die zukünftige Entwicklung auf diesem Gebiete einige allgemein gültige Überlegungen anstellen.

Ein wesentliches Merkmal ist die Sammlung, die Verteilung und die Auswertung einer wachsenden Zahl von *Informationen* mit Hilfe der Computer und der Fernübertragung. Parallel zu dieser Entwicklung wird eine Verminderung der bisherigen Geheimhaltung gehen. Betriebsintern ergibt sich dies daraus, dass eine wachsende Zahl von Informationen und Daten auf allen Stufen der Hierarchie bekannt wird. Die verminderte Geheimhaltung nach aussen entspricht übrigens dem Wunsche der öffentlichen Meinung, die immer mehr verlangt, möglichst umfassend informiert zu werden.

Eine weitere Entwicklungstendenz zeigt sich darin, dass sich die administrative Geschäftsführung neben den traditionellen Organisationsproblemen immer mehr mit *psychologischen* und *soziologischen* Problemen wird befassen müssen, ohne deren befriedigende Lösung alle Bestrebungen zur Erhöhung der Produktivität weitgehend zum Misserfolg verurteilt sind. Diese Feststellung gilt sowohl betriebsintern für die Personalführung und die Festlegung des Arbeitsstils als auch für die Beziehungen nach aussen. Sie gilt für die allgemeine Geschäftspolitik wie für die Schaffung des «Image», das sich die Öffentlichkeit von der Unternehmung und ihren Dienstleistungen und von der gesamten Elektrizitätswirtschaft macht. In einer Welt, in welcher der Anreiz zum Verbrauch eine immer wichtigere Rolle spielt, ist die Berücksichtigung dieser Tatsachen eine Voraussetzung für den industriellen Erfolg.

Die menschlichen Probleme

Wenn man die vorstehenden Ausführungen über die zunehmenden Veränderungen infolge der durch die Datenverarbeitung herbeigeführten, fast revolutionären Entwicklungen und die zunehmende Bedeutung der finanziellen Frage gelesen hat, könnte man versucht sein, anzunehmen, dass der menschliche Faktor in der Elektrizitätswirtschaft immer mehr nur noch eine sekundäre Rolle spielen werde. Man muss aber an die alte Wahrheit denken, dass auch ein noch so wirksames Werkzeug nur so viel hergibt wie der herausholt, der es bedient. Das ist der Grund, warum wir unsere Studie über die gegenwärtigen und zukünftigen Probleme der Elektrizitätswirtschaft mit einer Skizzierung der menschlichen Probleme abschliessen.

Die technische Entwicklung führt im allgemeinen dazu, dass sich der *Personalbedarf* für eine bestimmte Tätigkeit vermindert und damit einen gewissen Ausgleich bringt für den zusätzlichen Personalbedarf, der für die steigende Produktion und den steigenden Absatz notwendig ist. Ferner muss man daran denken, dass gewisse vertragliche Abmachungen wie der schlüsselfertige Ankauf ganzer Kraftwerke oder die Unterhaltsverträge mit den Maschinenlieferanten die Verteilung des Gesamtpersonals auf die Elektrizitätswerke einerseits und die Maschinenindustrie andererseits beeinflussen. Infolge der Automatisierung der Betriebsführung gibt es beim sog. tertiären Sektor erhebliche Möglichkeiten zur Personaleinsparung; denn in einer Elektrizitätsunternehmung, die vom Kraftwerk bis zum letzten Abonnenten alles besorgt, ist rund die Hälfte des gesamten Personals auf dem tertiären Sektor beschäftigt. Andererseits ergibt sich ein zusätzlicher Personalbedarf aus der Entwicklung der Beziehungen zu den Abnehmern, durch die Schaffung von Studienbüros und durch gewisse zusätzliche Tätigkeiten (Anmerkung des Übersetzers: z. B. Angliederung einer Städtefernheizung an ein Elektrizitätswerk). Aber insgesamt dürfte die Veränderung im Personalbestand nicht stark fühlbar werden.

Andererseits muss man aber mit einer sehr wesentlichen *Erhöhung* der *durchschnittlichen Qualität* des Personals rechnen, was auch eine dauernde Personalweiterbildung bedingen wird. Maschinisten und Schaltbrettwärter werden ersetzt werden durch Techniker mit erhöhtem Ausbildungsniveau und durch Spezialisten für Regulierung und Steuerung; gewöhnliche Schreibkräfte und Magaziner werden ersetzt durch Systemanalytiker und Spezialisten der automatischen Lagerbewirtschaftung usw. Die effektive Arbeitszeit wird sich vermindern, sei es, dass man in Stunden je Tag rechnet oder in effektiven Arbeitstagen im Jahr, die durch verlängerte bezahlte Ferien oder weitere bezahlte Feiertage reduziert werden. Der in der Elektrizitätswirtschaft für gewisse Bereiche notwendige durchgehend ganzjährige Tag- und Nachtbetrieb stellt Probleme, die immer schwieriger zu lösen sind, und man muss daran denken, dass in Zukunft die Nachteile des Schichtdienstes noch besser entschädigt werden müssen. Es werden weitere Untersuchungen nötig sein, um diese Probleme, die noch zu wenig abgeklärt sind, besser kennenzulernen.

Auch die innerbetrieblichen menschlichen Beziehungen müssen sich noch sehr weiterentwickeln. Es ist wahrscheinlich, dass die Qualitätsverbesserung des Personals und die Anwendung moderner Einrichtungen zu einer verstärkten *Mitbeteiligung aller* an den zu fällenden Entscheiden führen und dass dem Einzelnen im Rahmen einer von Routinearbeiten entlasteten Arbeitsgruppe mehr Initiative bei der Ausführung seiner Arbeit belassen wird.

Man kann sich den Umfang dieser Veränderung noch nicht genau vorstellen; aber er wird bestimmt gross sein. Von einer guten Lösung dieser Probleme wird der Gesamterfolg der Elektrizitätswirtschaft in den nächsten 15 bis 20 Jahren wesentlich abhängen. Aus diesem Grunde müssen die Organisationsprobleme im geschilderten Sinne aufmerksam untersucht werden, damit man die nötigen Unterlagen hat für fortschreitende und sorgfältige aufeinander abgestimmte Reformen. Nur so wird es möglich sein, zu einer Geschäftsorganisation zu kommen, die den neuen technologischen und soziologischen Umweltbedingungen angepasst und damit wirklich arbeitsfähig ist.

Schlussfolgerungen

Unsere Zukunftsschau konnte nicht alle Fragen und Probleme ins Auge fassen: Wir konnten nur versuchen, in jedem Gebiet die hauptsächlich möglichen Veränderungen zu prüfen, und man ist etwas überrascht, dass man zu einem Schlussbild kommt, das der Gegenwart ähnlich, in mancher Hinsicht aber doch stark verändert ist.

Nach dem äusseren Schein ist nichts grundsätzlich umgestürzt. Die Kraftwerke sind immer noch da, zwar etwas weniger zahlreich in den Stadtgebieten und an deren Peripherie und somit etwas weniger auffallend. Dass die einzelnen Kraftwerke über eine wesentlich grössere Leistung verfügen, ist von aussen nicht ohne weiteres sichtbar. Einzelne Kraftwerke haben auch weniger Kamine. Aber schon seit längerer Zeit rauchen die Kraftwerksskamine dank stark verbesserter Russ- und Staubabscheidung nicht mehr.

Auch die Leitungsnetze sind immer noch da, und einige Leute beklagen sich deswegen. Man musste viele neue Leitungen bauen, die Spannungen erhöhen, und die so verwirklichten Konstruktionen sind häufiger als früher und fallen auch dem unaufmerksamen Beobachter auf. Die Umgebung von grossen Schaltstationen ist zur eigentlichen Industrielandschaft geworden. In den Städten dagegen sind die elektrischen Leitungen in dem Umfange aus dem Blickfeld verschwunden, als die Verkabelung ausgedehnt worden ist.

Aber wie so oft im Leben sieht man das Wichtige von aussen nicht ohne weiteres. Manchmal ist das Wichtige auch das, was sich nicht verändert hat. So sieht man von aussen kaum, dass sich der gesamte Personalbestand der Elektrizitätswirtschaft kaum erhöht hat. Diese Erscheinung ist vor allem wichtig für die Elektrizitätspreise, die bezogen auf konstanten Geldwert, gesunken sind. Diese *Preissenkung* wäre noch grösser ausgefallen, wenn nicht ein Teil des durch erhöhte Produktivität erzielten Gewinnes für den Umweltschutz und für die Verkabelungen von Leitungen hätte aufgewendet werden müssen. Unsichtbar sind von aussen auch die betriebsinternen menschlichen Beziehungen, die sich besser als früher im Rahmen kleiner, dem Individuum angepassten Zellen entwickeln können. Das Individuum fühlt sich in diesen neuen Verhältnissen auch weniger bedrückt, weil es keine Arbeit mehr leisten muss, die nur körperliche Kraft und/oder geistige Routine erfordert.

Eine andere unsichtbare, weil nicht wahrgenommene Erscheinung ist die Senkung der Abgabetarife, eine Folge der Senkung der Gesteungskosten. Zwar hat der zahlenmässige Rechnungsbetrag nicht abgenommen. Im Gegenteil: die Rechnungsbeträge sind gestiegen, und zwar infolge der Verdreifachung der bezogenen Energiemengen und infolge der durch die Inflation bedingten Anpassung der Tarifsätze, wobei diese Erhöhung wesentlich langsamer erfolgte als bei anderen Konsumgütern. Aber die Einnahmen der Elektrizitätswerke haben noch viel stärker zugenommen. Der grössere Teil der Abonnenten überlässt es einer beauftragten Bank, die Elektrizitätsrechnung zu begleichen. Obwohl die Elektrizität überall und immer anwesend ist, verschwindet sie immer mehr aus dem täglichen Gesichtskreis. Ist dies nicht das sicherste Zeichen für einen Erfolg in einem Zeitpunkt, in dem «Die Elektrizität»

als öffentlicher Dienst das gesamte tägliche Leben im privaten, im industriellen, im kaufmännischen, im administrativen und im kulturellen Bereich mitbestimmt?

In den achtziger Jahren wird man in der Elektrizitätswirtschaft erkennen, dass die erfolgreiche Entwicklung vor allem der seit 1970 eingetretenen Revolution der *Datenverarbeitung* und der *Programmierung* zu verdanken ist. Das gesamte tägliche Leben der Elektrizitätswirtschaft wird bestimmt und erleichtert durch die Computer, angefangen von der Aufstellung von Ausbauprogrammen für Kraftwerke und Netze bis zur Rechnungsstellung an die Abonnenten, nicht zu vergessen die Betriebsprogramme, die Leitung von Kraftwerken, der Betrieb der Netze und die Verwaltung der Lagervorräte, die Sammlung von Informationen aller Art und deren Auswertung für die Vorbereitung und das Fassen von Entscheidungen. Die Verwendung von Computern ermöglicht es, die Beschlussfassung auf allen Ebenen und für alle Termine stark zu rationalisieren. Die Wirksamkeit der Geschäftsführung wird dadurch stark verbessert.

Die Bedeutung dieser Veränderungen kann verglichen werden mit den Verbesserungen, welche die thermische Elektrizitätserzeugung in der Zeit von 1950 bis 1965 durch die Einführung der grossen Maschinengruppen und die Automatisierung erreicht hatte. Ab 1970 werden sich diese durch den Computer ermöglichten Verbesserungen auf allen Gebieten der Elektrizitätswirtschaft auswirken einschliesslich Verteilung und allgemeine Dienste. Die Arbeitsbedingungen werden sich bis 1980 auch wesentlich verändert haben. Das mittlere technische Ausbildungsniveau der Mitarbeiter hat sich stark gehoben, und gleichzeitig ist jeder Einzelne, von automatischen Aufgaben entlastet, zu einem verantwortlichen Mitarbeiter geworden, der Entscheide zu fällen hat.

Die *internationale Zusammenarbeit* zwischen Erzeugern und Verteilern von elektrischer Energie wird sich besonders auf europäischer Ebene bis 1980/85 stark verbreitert und vertieft haben. Es wird sich eine wirkliche Zusammenarbeit eingestellt haben nicht nur auf dem Gebiete der Forschung und der allgemeinen Organisations- und Ausführungsmethoden, sondern auch für die Wahl neuer Kraftwerkstandorte, für neue Kraftwerkserüstungen, für ihre stark normalisierten Kennzahlen und auch für den gemeinsamen und optimalisierten Betrieb der Erzeugungs- und Übertragungsanlagen. Diese internationale Koordination hat auch einen massgebenden Einfluss auf die Fortschritte bei der Belieferung der Abnehmer, und zwar sowohl in der Kontinuität der Lieferung als auch in einer Senkung der Gesteungskosten, bezogen auf konstanten Geldwert, eine Tarifsenkung erlaubt. So ist diese scheinbar stets gleiche Welt bis ans Ende unserer Prognoseperiode von 15 bis 20 Jahren wesentlich anders geworden. Aber im Grunde wird die Elektrizitätswirtschaft immer noch das gleiche tun wie bisher, nämlich dem Publikum einen Dienst zu leisten, dessen Bedeutung ständig zunimmt. Da aber nichts vollkommen ist, werden sich auch in Zukunft forschende Geister damit beschäftigen, die Verhältnisse zu verbessern und sich Gedanken über die weitere Entwicklung machen.

Die wesentlichen Ergebnisse der Diskussion folgen in der nächsten Nummer.

Redaktion der «Seiten des VSE»: Sekretariat des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke, Bahnhofplatz 3, Zürich 1; Postadresse: Postfach 8023 Zürich; Telephon (051) 27 51 91; Postcheckkonto 80-4355; Telegrammadresse: Electrunion Zürich.

Redaktor: Dr. E. Bucher

Sonderabdrucke dieser Seiten können beim Sekretariat des VSE einzeln und im Abonnement bezogen werden.