Die Eingliederung neuer Energiequellen in die schweizerische Elektrizitätswirtschaft

Autor(en): **Winiger, A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **55 (1964)**

Heft 5

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-916692

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

es ein Arbeitskomitee, dem Fachspezialisten aller Zweige der schweizerischen Energiewirtschaft angehören [1]).

Nachdem sich diese in mehrfacher Beziehung einem Wendepunkt nähert, mehren sich die Stimmen aus verschiedenen Kreisen nach einer Abklärung der für die weitere Entwicklung grundlegenden Probleme.

Unser Einzelmitglied, Herr Dr. h. c. *A. Winiger,* Präsident der eidgenössischen Wasser- und Energiewirtschaftskommission, hielt vor dem Ausschuss des schweizerischen Energiekonsumenten-Verband einen umfassenden Vortrag über das obige Thema. Dank seiner besonderen Autorität hat er die unsere Elektrizitätswirtschaft betreffenden Probleme klar dargelegt. Deshalb möchten wir nicht verfehlen, die Leser der «Seiten des VSE» hierüber in Kenntnis zu setzen; vor allem ist auf die vom Autor vorgebrachte Andeutung hinzuweisen, wonach die schweizerische Elektrizitätswirtschaft, sofern weitere Schwierigkeiten seitens der Öffentlichkeit für den Ausbau der Erzeugungsanlagen entstehen, in eine Zwangslage geraten wird, aus der sie sich nur mit finanziellen Opfern befreien kann. Die gegen den Ausbau noch vorhandener bedeutender Projekte der Alpenwasserkräfte geführten Widerstände haben bereits in der Bereitstellung zusätzlicher Erzeugungsanlagen erhebliche Verzögerungen verursacht. Wenn nun auch der Erstellung von Wärmekraftwerken herkömmlicher Art Schwierigkeiten in den Weg gelegt werden, so ist mit schwerwiegenden Folgen zu rechnen, namentlich bei stark unterdurchschnittlicher Wasserführung unserer Flüsse im Winter.

Schweizerisches Nationalkomitee
der Weltkraftkonferenz
E. H. Etienne

[1]) Siehe Bull. SEV, Seiten des VSE (1962)20, S. 965.

Die Eingliederung neuer Energiequellen in die schweizerische Elektrizitätswirtschaft

von *A. Winiger,* Cologny

Referat, gehalten am 19. November 1963 in Luzern, vor dem Ausschuss des Schweizerischen Energiekonsumentenverbandes

Der gesamte Rohenergiebedarf der Schweiz wird, auf das Jahr 1962 bezogen, zu rund

52 % durch aus Erdöl gewonnene flüssige Treib- und Brennstoffe
20 % durch Kohle und Gas
4 % durch Holz
24 % durch Wasserkraft

gedeckt. Es ist wichtig, sich vor Augen zu halten, dass die aus Wasserkraft erzeugte elektrische Energie nur 24 % des Gesamtaufkommens an Rohenergie beansprucht. Sie ist, zusammen mit dem Holz, der vorläufig einzige einheimische Energieträger, während wir für den überwiegenden Teil unseres Energiebedarfes vom Ausland abhängig sind. Dasselbe gilt bis auf weiteres auch für den Kernbrennstoff.

Die schweizerische Elektriziätswirtschaft steht heute an einem Wendepunkt. Der Ausbau der Wasserkräfte geht seinem Ende entgegen, und die zukünftigen Energiebedürfnisse müssen in zunehmendem Masse von thermischen Werken gedeckt werden. Unsere drei grossen Nachbarn im Norden, Westen und Süden decken ihren Bedarf an Elektrizität schon seit Jahrzehnten aus fossilen Brennstoffen und aus Wasserkraft; der Weg, den wir nun auf diesem Gebiet zu beschreiten haben, ist infolgedessen weder neu noch unerforscht. Die Erfahrungen mit klassischen thermischen Kraftwerken des Auslandes können ohne weiteres auch auf die Schweiz übertragen werden. Erschwerend tritt für uns nur der wirtschaftlich wichtige Umstand in Erscheinung, dass sowohl Öl wie Kohle mit hohen Transportkosten belastet sind und dass es sich um Rohstoffe handelt, die je länger je mehr als Basisstoffe für die Grosschemie Verwendung finden. Es kann nicht genug darauf hingewiesen werden, dass wir zurzeit insbesondere mit Naturgas und Öl einen Raubbau treiben, der voraussichtlich schon in einigen Jahrzehnten zu ernstlichen Schwierigkeiten führen wird. Es ist deshalb fast als ein Wunder zu bezeichnen, dass im richtigen Moment eine neue Energiequelle — die Kernenergie — entdeckt werden konnte, deren Erschliessung in voller Entwicklung begriffen ist. Die Kernenergie hat für uns den grossen Vorteil, auf den ich schon im Jahre 1947 hingewiesen habe [1]), dass die Lagerung und der Transport des Brennstoffes, auf die Energieeinheit bezogen, praktisch kaum ins Gewicht fällt. Über die ungeheure Energiekonzentration des atomaren Brennstoffes kann man sich ein Bild machen, wenn man weiss, dass allein im Kriegsarsenal der USA Spaltstoffe gelagert sind, deren Energieinhalt auf das 500 000fache des jährlichen Elektrizitätsverbrauchs unseres Landes von 20 Milliarden kWh geschätzt werden kann. Abgesehen vom Problem der gefahrlosen Beseitigung der radioaktiven Abfallstoffe, für das noch keine endgültige Lösung gefunden wurde, ist der Kernbrennstoff das ideale Ausgangsmaterial unserer zukünftigen Energieversorgung.

Wir stehen deshalb grundsätzlich vor folgendem

Problem:

Zurzeit stammt die von uns benötigte elektrische Energie praktisch aus unseren Wasserkräften. Die Bedarfszunahme der kommenden Jahre wird in steigendem Masse durch thermische Energie gedeckt werden müssen, die im Endzustand aus atomarem Brennstoff erzeugt werden soll. Auf Grund der heute zu übersehenden Verhältnisse darf mit einiger Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass zwischen 1975 und 1980 der Übergang zur definitiven Energieerzeugung aus Kernbrennstoffen vollzogen werden kann. Um die für die Übergangsphase möglichen Lösungen näher untersuchen zu können, soll die auf den heutigen Tatsachen beruhende

[1]) s. Bull. SEV (1947)21, S. 647.

Ausgangslage

kurz skizziert werden:

Der Landesverbrauch an elektrischer Energie — Lieferungen an Elektrokessel und Pumpenenergie inbegriffen — stellte sich für das hydrographische Jahr 1961/62 (1. Oktober bis 30. September) auf rund *19,6 Milliarden kWh;* auf das Winterhalbjahr entfielen *9,7 Milliarden kWh;* sie wurden gedeckt durch:

die Erzeugung der Wasserkraftwerke mit	9,3 Milliarden kWh
die Erzeugung aus thermischen Anlagen	0,1 Milliarden kWh
den Einfuhrüberschuss von . .	0,3 Milliarden kWh

Die mittlere mögliche Erzeugung der Wasserkraftwerke hätte 9,7 Milliarden kWh betragen, also 0,4 Milliarden mehr, als effektiv produziert wurde.

Auf das Sommerhalbjahr entfielen *9,9 Milliarden kWh;* erzeugt wurden 11,8 Milliarden; 1,9 Milliarden konnten exportiert werden. Die mittlere mögliche Erzeugung hätte 12,8 Milliarden betragen, also 1 Milliarde mehr als produziert wurde.

Aus diesen Zahlen geht hervor, dass sich der Landesverbrauch ziemlich gleichmässig auf das Winter- und das Sommerhalbjahr verteilt und dass er durch den Anfall an hydraulischer Energie noch voll gedeckt werden konnte.

Für die letzten 27 Jahre lässt sich eine mittlere Verbrauchszunahme von 5,8 % errechnen. Legt man diese Ziffer auch den kommenden Jahren zugrunde, so ergibt sich, dass unsere Wasserkraftwerke im Winter des Jahres 1966/67, unter Berücksichtigung der im Bau befindlichen Anlagen, den Bedarf bei mittlerer Wasserführung noch knapp zu dekken vermöchten, dagegen in einem trockenen Jahr (nicht extrem trocken wie 1962/63) bereits mit einem Ausfall von rund 1,5 Milliarden kWh zu rechnen wäre.

Im Sommer 1967 überstiege die Erzeugungsmöglichkeit bei mittlerer Wasserführung den Bedarf noch um rund 2 Milliarden kWh; in einem trockenen Jahr wäre jedoch auch im Sommer mit einem Produktionsdefizit von 1,8 Milliarden kWh zu rechnen.

Auf Grund dieser Annahmen, die auf Untersuchungen des Amtes für Energiewirtschaft beruhen, lässt sich schliessen, dass bei mittlerer Wasserführung 1966/67 die Produktion der Wasserkraftwerke kaum genügt, um den Landesbedarf im Winter zu decken, während die Sommerproduktion noch eine bedeutende Marge aufweist. Auch sie würde wahrscheinlich gegen Ende der sechziger Jahre aufgezehrt sein.

Spektakulär sind die Erzeugungsschwankungen zwischen normalen und trockenen Sommern, die, auf das Jahr 1967 bezogen, in der Grössenordnung von 4 Milliarden kWh liegen könnten. 1965...1967 scheinen deshalb die kritischen Jahre für den Einsatz eigener thermischer Energie zu sein.

Bis zu diesem Zeitpunkt kann der Ausgleich zwischen Jahren günstiger und ungünstiger Hydraulizität über den Weg des Energieaustausches mit unseren Nachbarländern und den Bezug thermischer Energie aus dem Ausland gefunden werden. Für den Bezug von Kohle und Öl sind wir ja vorläufig vollständig auf den Import angewiesen; warum sollte nicht auch während einiger Jahre der Energieimport über unsere Hochspannungsleitungen verstärkt werden können?

Was für thermische Werke sollen nun in der

Übergangszeit

von der rein hydraulischen Erzeugung zur definitiven Einführung der Kernenergie eingesetzt werden? Die Übergangsphase ist charakterisiert durch den Umstand, dass in erster Linie thermische Winterenergie zu beschaffen ist und zwischen normalen und trockenen Jahren ein Ausgleich durch den Einsatz von Wärmekraftwerken gesucht werden muss. Es handelt sich somit um Anlagen, die nur mit einer Benützungsdauer der installierten Leistung von 3000...4000 Stunden betrieben werden können. Die ersten Einheiten sollten wenn möglich zwischen 1965 und 1967 den Betrieb aufnehmen, so dass mit der Erstellung des ersten Werkes spätestens 1964 zu beginnen wäre, bei einer Bauzeit, die drei bis vier Jahre nicht übersteigen darf. Diese Voraussetzung trifft zu für das Kraftwerk Porte-du-Scex im Wallis, das im Endausbau 300 MW und bei 4000stündiger Ausnützung 1,2 Milliarden kWh zur Verfügung stellen kann. Gleichzeitig mit der Errichtung einiger Wärmekraftwerke klassischer Bauart hätte der Weiterausbau unserer restlichen Wasserkräfte zu erfolgen, soweit er sich wirtschaftlich und mit Rücksicht auf die Forderungen des Heimat- und Naturschutzes noch verwirklichen lässt. Nach den letzten Schätzungen betrüge das ausbauwürdige Potential unserer Wasserkräfte 37 Milliarden kWh, wovon 17 Milliarden kWh im Winter und 20 Milliarden kWh im Sommer anfallen würden. Davon wären bei Fertigstellung der im Bau befindlichen Anlagen 1966/67 bereits rund 28 Milliarden genutzt, und zwar 12,7 Milliarden im Winter- und 15,2 Milliarden im Sommerhalbjahr. Es ist anzunehmen, dass bei den bestehenden Verhältnissen und der zunehmenden Teuerung auf dem Bausektor der restliche Ausbau der hydraulischen Werke auf wachsende Schwierigkeiten stossen und so viel Zeit in Anspruch nehmen wird, dass ihr Beitrag an die gesamte Energieversorgung kaum mehr stark ins Gewicht fällt.

Der Schwerpunkt der zukünftigen Energieversorgung verlagert sich also immer stärker nach der thermischen Seite, die zwischen 1975 und 1980 den Energiezuwachs praktisch allein zu decken haben wird.

Das ist der Zeitpunkt, in dem mit der definitiven Einführung der Kernenergie in die schweizerische Energiewirtschaft gerechnet werden darf. Selbstverständlich ist schon früher mit dem Bau von ein bis zwei Kernkraftwerken zu beginnen, um unserer Industrie und den Elektrizitätswerken Gelegenheit zu geben, die notwendigen Erfahrungen zu sammeln und Betriebspersonal auszubilden.

Die Übergangsphase liesse sich also vom technisch-betrieblichen Standpunkt aus gesehen am vorteilhaftesten folgendermassen kennzeichnen:

1. Ausbau der restlichen Wasserkräfte, soweit er aus wirtschaftlichen und Heimatschutzgründen verantwortet werden kann;
2. Bau einiger Wärmekraftwerke klassischer Bauart als Übergangslösung;
3. Bau von Kernkraftwerken.

Warum klassische Wärmekraftwerke?

Sie werden nun fragen, warum man als Zwischenlösung den Bau klassischer Wärmekraftwerke in Aussicht nehmen

sollte, die unsere Abhängigkeit vom Öl-, Kohle- und eventuell Naturgasmarkt verstärken müssten.

Der Energiegestehungspreis einer thermischen Anlage setzt sich im wesentlichen aus zwei Komponenten zusammen:

— einem festen Anteil, der die Verzinsung und Amortisation des investierten Kapitals sicherstellen muss und deshalb von der Betriebsdauer unabhängig ist,

— und einem variablen Teil, der die Betriebskosten umfasst, die zum überwiegenden Teil den Aufwand für den Brennstoff zu decken haben.

Je länger das Kraftwerk im Laufe eines Jahres in vollem Betrieb gehalten werden kann, um so geringer ist der auf die Produktionseinheit — die kWh — entfallende Anteil der festen Kosten.

Während der Übergangsphase ist aus den bereits erwähnten Gründen nur mit einer verhältnismässig schlechten Ausnützung der thermischen Anlagen zu rechnen, wenn man die hydraulische Energieerzeugung in vollem Umfang aufrecht erhalten, das heisst Verluste von Betriebswasser vermeiden will. Da ausserdem schon in 4...5 Jahren thermische Ergänzungsenergie zur Verfügung stehen sollte, sind an die Wärmekraftwerke der Übergangsphase folgende Bedingungen zu stellen:

1. Sie dürfen keine technischen Risiken aufweisen, welche die Inbetriebnahme verzögern könnten und häufige Betriebsstörungen zur Folge hätten.
2. Sie sollten auch bei einer Ausnützungsziffer von 3000... 4000 Stunden pro Jahr noch Energiegestehungspreise ergeben, die im Rahmen der heutigen Wasserkrafterzeugung liegen.

Diese Bedingungen sind nach meiner Auffassung nur durch ein klassisches Wärmekraftwerk zu erfüllen, insbesondere wenn die Kosten des Brennstoffes verhältnismässig tief gehalten werden können, wie das für Öl bei der Zusammenarbeit mit einer Ölraffinerie möglich ist, die gleichzeitig auch erlaubt, die Kosten der Vorratshaltung herabzusetzen.

Die klassische thermische Anlage bietet technisch keine Schwierigkeiten; sie ist betriebssicher, und die Erstellungskosten pro Leistungseinheit liegen weit unter denjenigen einer hydraulischen Anlage oder eines Kernkraftwerkes.

Wenn man die Investitionskosten pro kW installierter Leistung für eine Anlage mit Öl- oder Naturgasfeuerung mit eins bezeichnet, so müsste als ganz grobe Schätzung im Mittel bei einer Kernanlage mit dem doppelten und bei Wasserkraftwerken mit dem dreifachen Wert gerechnet werden. Dieses Verhältnis ist in Zeiten zunehmender Spannungen auf dem Kapitalmarkt und steigender Zinssätze nicht ohne Bedeutung. Die technisch einfachste und baukostenmässig billigste Lösung wäre wahrscheinlich der Anschluss an ein Naturgasnetz, das aber voraussichtlich noch zu lange auf sich warten lassen wird. Ein weiterer Vorteil der klassichen Bauart besteht darin, dass man schon mit Einheiten in der Grössenordnung von 150 000 kW eine verhältnismässig günstige Wärmeökonomie erzielen kann.

Lassen Sie mich nun übergehen zum Problem der Kernkraftwerke, die aller Voraussicht nach gegen Ende der siebziger Jahre die wichtigste Energiequelle unserer Elektrizitätsversorgung darstellen werden. Auch hier möchte ich vorerst einige Tatsachen anführen:

Die heute im Betrieb stehenden Kernkraftwerke, die nach den verfügbaren Unterlagen Energie zu Preisen erzeugen, die sich mit denjenigen eines klassischen Wärmekraftwerkes vergleichen lassen, sind mit Reaktoren folgender Bauarten ausgerüstet:

1. mit graphit-moderierten, gasgekühlten Reaktoren englischer Konstruktion, die mit Natururan betrieben werden und dem Ende der Entwicklungsreihe des Calder-Hall-Typs entsprechen;
2. Siedewasser-Reaktoren amerikanischer Bauart, Typ General Electric, die mit angereichertem Uran arbeiten;
3. Druckwasser-Reaktoren amerikanischer Konstruktion, Typ Westinghouse, die ebenfalls Brennelemente mit angereichertem Spaltstoff verwenden.

Technisch und wirtschaftlich einigermassen befriedigende Ergebnisse können bei diesen Kernkraftwerken nur bei grossen Leistungen von 300...500 MW und mehr und bei Ausnützungsdauern von 7000...8000 Stunden im Jahr erzielt werden. Sie sind in den USA auch heute noch nicht konkurrenzfähig mit den auf dem Gebiet der Kohlenzechen liegenden grossen Wärmekraftwerken, die ähnlich wie die deutschen Braunkohlenzentralen im Ruhrgebiet, elektrische Energie bei Basislast zu einem Preis in der Grössenordnung von 2 Rp./kWh erzeugen können.

Der Bau eines Kernkraftwerkes englischer Konzeption, des sogenannten «Magnox Typs», kommt für die Schweiz schon wegen seines Platzbedarfs nicht in Frage, abgesehen davon, dass die Baukosten in der Höhe von 1300...1900 Fr./kW liegen, das heisst über denjenigen eines grossen Wasserkraftwerkes mit Jahresspeicher, wie beispielsweise Mauvoisin. Im übrigen sind die Engländer bereits im Begriff, auf andere Reaktorkonzeptionen überzugehen, da sie die Entwicklung des «Magnox Typs» als abgeschlossen betrachten. Er hat immerhin den Vorteil, Natururan als Brennstoff zu verwenden, das viel leichter zu beschaffen ist als der von den amerikanischen Druckwasser- und Siedereaktoren benötigte angereicherte Brennstoff, dessen Herstellung leistungsfähige Isotopentrennanlagen voraussetzt. Diese sind im grossen Maßstab nur in den USA und wahrscheinlich Russland vorhanden, während England lediglich über eine kleinere, auf militärische Bedürfnisse zugeschnittene Anlage verfügt. In Frankreich ist ein Isotopentrennwerk im Bau, das wohl auch in erster Linie den französischen Bedürfnissen angepasst wird.

Für die Schweiz drängt sich vorläufig eine Lösung auf, die die Verwendung von Natururan, gegebenenfalls mit leichter Anreicherung, gestattet. Sie hat sich deshalb nach kanadischem Beispiel auf die sogenannte «*Schwerwasserlinie*» festgelegt und als erstes den im Eidg. Institut für Reaktorforschung in Würenlingen in Betrieb stehenden Versuchsreaktor Diorit gebaut. Eine Versuchszentrale mit einer Leistung von 6000...7000 kW ist, wie Sie wissen, in Lucens im Bau, im Auftrag der Nationalen Gesellschaft zur Förderung der industriellen Atomtechnik (NGA), nach Plänen und Konstruktionen der Therm-Atom. Unsere Industrie hat ein lebenswichtiges Interesse, sich in die Entwicklung der Kerntechnik einzuschalten, die im Begriff ist, auf sämtliche Gebiete industrieller Tätigkeit überzugreifen. Eine thermonukleare Anlage darf als eine Art Kristallisationskern auf-

gefasst werden mit dem Zweck, allmählich unseren Produktionsapparat mit den Anwendungsmöglichkeiten der Kernspaltung vertraut zu machen. Es besteht die Absicht, die Forschung so stark voranzutreiben, dass in 3...4 Jahren die Projektierung und der Bau eines Prototyp-Kraftwerkes in Angriff genommen und zu Beginn der siebziger Jahre dem Betrieb übergeben werden könnte. Damit stellt sich nun die Frage, ob die Leistung eines grossen Kernkraftwerkes bei einer Betriebsdauer von rund 7000 Stunden pro Jahr in unserem Belastungsdiagramm unterzubringen ist:

Die Periode zwischen der rein hydraulischen und der nuklear-hydraulischen Elektrizitätserzeugung ist aus den bereits erwähnten Gründen in erster Linie durch klassische Wärmekraftwerke zu überbrücken.

Mit Rücksicht auf die Bedürfnisse unserer Industrie stellt sich aber die Frage, ob nicht ein bis zwei Kernkraftwerke schon in der Übergangszeit eingeschaltet werden könnten, um die notwendigen Erfahrungen für die Weiterentwicklung von Grossreaktoren schweizerischer Bauart zu sammeln. Diese Studie ist in sehr verdienstvoller Weise durch eine Gruppe von 10 grossen Elektrizitätswerken [2]) durchgeführt worden, die über 70 % des schweizerischen Energieumsatzes bestreiten. Das Resultat dieser Studie, die als Synthese der bei den einzelnen Werken vorgenommenen Untersuchungen über den zukünftigen Energieabsatz und den Leistungsbedarf aufgebaut ist, kann als repräsentativ für die schweizerische Elektrizitätswirtschaft gelten.

Ausgehend von den Verhältnissen des hydrographischen Jahres 1961/62 wurde von der Arbeitsgruppe der zehn Unternehmungen für die hydrographischen Jahre 1971/72 und 1976/77 ein Nettobedarf errechnet, der einer mittleren jährlichen Zuwachsrate von 4,3 % entspricht (gegenüber 5,8 % im Mittel der vergangenen 27 Jahre). Die Gegenüberstellung des zu erwartenden Nettobedarfs und der voraussichtlichen Energiedisponibilitäten aus den bestehenden und im Bau befindlichen hydraulischen Anlagen, den wahrscheinlich noch realisierbaren Wasserkraftprojekten und aus dem Energieverkehr mit dem Ausland zeigt, dass in den Jahren 1971/72 bei guter Wasserführung mit einem Energieüberschuss, auf das ganze Jahr gerechnet, von 700 Millionen kWh und bei niedriger Wasserführung mit einem Manko von 1760 Millionen kWh zu rechnen wäre. In den Jahren 1976/77 ergäbe sich bei guter Wasserführung ein Manko von 2670 Millionen kWh und bei niedriger Wasserführung ein solches von 6340 Millionen kWh. Da in diesem Zeitpunkt der Ergänzungsbedarf im Winter und im Sommer ziemlich ausgeglichen erscheint, ist die Einschaltung eines mit konstanter Last zu betreibenden Kernkraftwerkes durchaus möglich. Es liesse sich auch verantworten, schon 1971/72 ein Prototyp-Kernkraftwerk zur Energielieferung in das schweizerische Netz heranzuziehen, wobei das Risiko eines geringeren Ausnützungsgrades in Kauf genommen werden müsste. Im übrigen kommt die Studie ebenfalls zum Schluss, dass der Ausgleich der hydraulischen Produktion zwischen nassen und trockenen Jahren und die Lieferung von Winter-Ergänzungsenergie in der Übergangsphase durch Wärmekraftwerke klassischer Art zu übernehmen wäre, mit einer Gesamtleistung von etwa 1200 MW.

[2]) s. Bull. SEV, Seiten des VSE (1963)24, S. 1037.

Ergebnisse der Studie der Produzentenwerke

Die Ergebnisse der Studie werden in folgende Programmpunkte zusammengefasst:

1. Der Ausbau unserer Wasserkräfte ist fortzusetzen.
2. Um einen Teil des Ausfalles der Erzeugung der Wasserkraftwerke bei Niederwasser auszugleichen, sollen in den nächsten Jahren einige konventionelle thermische Kraftwerke erstellt werden.
3. Bei normaler Entwicklung des Verbrauchs sollte bereits in den Jahren 1971/72 ein erstes wirtschaftliches Kernkraftwerk mit einer Leistung von 200...300 MW verfügbar sein. Ein zweites Atomkraftwerk von ungefähr gleicher Leistung sollte bereits 3...5 Jahre später in Betrieb kommen.

Die Schlussfolgerungen stimmen grundsätzlich überein mit den Ihnen vorgetragenen Überlegungen und dürfen als Richtlinien für die in den nächsten Jahren zu befolgende Energiewirtschaftspolitik dienen. Wie weit sie verwirklicht werden können, hängt von einer ganzen Reihe von Faktoren ab, auf die ich nachstehend eingehen möchte, da sie zu Programmänderungen führen müssten:

In erster Linie ist es praktisch unmöglich, eine einigermassen verlässliche Prognose für die Entwicklung des Konsums an elektrischer Energie auf Jahrzehnte hinaus zu stellen. Die von der Studiengruppe der 10 Elektrizitätswerke gemachten Annahmen scheinen mir vorsichtig zu sein; je nach dem Konjunkturverlauf, der seinerseits wieder durch politische Vorgänge beeinflusst wird, kann der zukünftige Bedarf an elektrischer Energie stark schwanken. Es ist deshalb unerlässlich, die Entwicklung des Energiemarktes laufend zu verfolgen und den Bau neuer Werke auf ihn abzustimmen.

In zweiter Linie ist dem Umstand Rechnung zu tragen, dass der Bau neuer Wasserkraftwerke zusehends auf erhöhte Schwierigkeiten stossen wird:

— Die wirtschaftlich günstigsten Stufen sind bereits ausgebaut oder im Bau begriffen.
— Das Lohnniveau bei den Bauunternehmungen ist besonders in den letzten Jahren so stark gehoben worden, dass mit beträchtlich erhöhten Baukosten zu rechnen ist, die nur zum kleinsten Teil durch weitere Mechanisierung wettgemacht werden können. Dazu kommt, dass für hochgelegene Baustellen keine Arbeitskräfte mehr zu finden sind, da sie — um nur ein Beispiel zu nennen — im Nationalstrassenbau besser bezahlte und angenehmere Arbeitsplätze finden.
— Hydraulische Kraftwerke sind sehr kapitalintensiv. Der Kapitalmarkt zeigt aber in letzter Zeit Zeichen der Anspannung, und es ist zumindest wieder mit steigenden Zinssätzen zu rechnen.
— Die Konzessionsbehörden stellen ihrerseits immer höhere Ansprüche an die Konzessionsbewerber, ebenso der Natur- und Heimatschutz, dessen Forderungen, soweit sie den Bau neuer Werke nicht überhaupt verunmöglichen, nur mit zusätzlichen Aufwendungen befriedigt werden können.
— Schliesslich bilden die Stauhaltungen der Flusskraftwerke Absetzbecken für all den Schmutz, der aus grossen und kleinen Siedlungen ungereinigt unsern Gewässern zugeführt wird.

In dritter Linie ist auch der *Bau klassischer thermischer Kraftwerke* sehr umstritten. Soweit sie mit Öl gefeuert sind, fürchtet man die zunehmende Abhängigkeit von den aussereuropäischen, ständig politischen Wirren unterworfenen Ländern des Nahen Ostens, den Hauptlieferanten Europas. Es darf wohl darauf hingewiesen werden, dass diese Abhängigkeit heute für Heiz- und motorische Zwecke schon so stark ausgeprägt ist, dass einige wenige Wärmekraftwerke, die mit flüssigen Brennstoffen betrieben würden, die Lage nicht grundlegend ändern, um so weniger, als es sich nur um Überbrückungsmassnahmen handelt.

Schwerwiegender sind die Schwierigkeiten, die dem Bau von Öl- und teilweise Kohlekraftwerken aus der Verunreinigung der Luft durch Schwefeldioxyd und Flugasche und der eventuellen Gefährdung des Grundwassers durch die Tankanlagen erwachsen. Diese Widerstände haben sich insbesondere im Kanton Aargau so stark verdichtet, dass die rasche Inangriffnahme des Baues klassischer Dampfzentralen in Frage gestellt ist.

Wie schon früher angedeutet, wäre schwefelfreies Naturgas der ideale Brennstoff, sowohl was die Verunreinigung der Luft, wie die Erstellungskosten des Kraftwerkes betrifft, die, auf die Leistungseinheit bezogen, nur ungefähr einen Drittel derjenigen eines hydraulischen Kraftwerkes betragen würden, mit entsprechender Reduktion des Kapitalaufwandes und der Kapitalkosten. Die Bereitstellung verhältnismässig hoher Leistungen scheint vorläufig die Anwendung von Gasturbinen auszuschliessen; Ausnahmen von der Regel dürften sich aber in einzelnen Fällen vertreten lassen.

In vierter Linie sollen nun einige *Betrachtungen über Kernkraftwerke* folgen. Dabei ist vor allem darauf hinzuweisen, dass sich der Reaktorbau in voller Entwicklung befindet. Es wird besonders danach getrachtet, höhere Temperaturen des Kühlmediums zu erzielen, um den thermischen Wirkungsgrad der Anlage zu verbessern. Im weitern drängt sich die Umwandlung des mit 99,3 % im metallischen Uran enthaltenen, nicht spaltbaren Isotops 238 in den künstlichen Spaltstoff Plutonium auf, der als zukünftiger Kernbrennstoff verwendet werden soll. Thorium lässt sich in das spaltbare Uranisotop U 233 überführen, das ebenfalls als Kernbrennstoff in Frage kommen kann. Es fehlt also nicht an Entwicklungsproblemen, die darauf hinauslaufen, den Preis der Kernenergie möglichst tief zu halten. Eine grundlegende Senkung des Brennstoffpreises wird aber erst möglich sein bei Brutreaktoren, die mindestens soviel neuen Brennstoff erzeugen, wie sie im Betrieb verbrauchen. Ihre Entwicklung wird noch geraume Zeit in Anspruch nehmen. Mit den bestehenden Konstruktionen von Grossreaktoren in England und Amerika lassen sich aber bei grossen Einheitsleistungen zwischen 300 und 1000 MW und Benützungsdauern von 7000...8000 Stunden bereits Energiepreise erzielen, die mit denjenigen klassischer thermischer Werke, sofern sie nicht auf der Kohlenzeche liegen, konkurrenzfähig sind.

Die Schweiz hat sich, wie bereits erwähnt, im Reaktorbau auf die sogenannte Schwerwasserlinie festgelegt, die vom grössten Teil unserer Fachleute als aussichtsreich beurteilt wird. Trotz des im Bau befindlichen Kraftwerkes Lucens und der parallel dazu mit beträchtlichem Aufwand vorzunehmenden Forschungsarbeiten wird es nicht möglich sein, vor 1971/72 ein Prototyp-Kraftwerk grösserer Leistung zu erstellen, das den Beweis zu erbringen hätte, dass die Weiterentwicklung des Reaktors zu einer Lösung führt, die im internationalen Wettbewerb bestehen kann. Es ist wohl selbstverständlich, dass weder die schweizerische Industrie noch unsere Elektrizitätswerke ein Interesse an Reaktorkonstruktionen haben, die in bezug auf Wirtschaftlichkeit ausländischen Bauarten unterlegen sind. 1975/76 wäre es bei Gelingen des Grossversuchs von 1971/72 möglich, ein wirtschaftlich arbeitendes Grosskraftwerk in Betrieb zu nehmen, als Eröffnungsakt für die definitive Einführung der Kernenergie in die schweizerische Elektrizitätswirtschaft.

Der Übergang zur Atomenergie hat zur Folge, dass die Beschaffung des Kernbrennstoffes über eine zentrale Stelle des Bundes geleitet werden muss, der deshalb die Möglichkeit hat, im Rahmen der bestehenden oder noch zu erlassenden Vorschriften und Verträge eine gewisse Vormundschaft über die Erzeugung von Kernenergie auszuüben. Es ist zu hoffen, dass die eidgenössische Steuerverwaltung der Versuchung widersteht, die Vermittlung des Kernbrennstoffes auch fiskalischen Zwecken dienstbar zu machen.

Die Elektrizitätsgesellschaften würden es jedenfalls begrüssen, wenn mit zunehmender Verbreitung der Kernenergie auch ein einigermassen freier Markt für Kernbrennstoff geschaffen würde, auf dem sie sich direkt eindecken könnten.

Dass die Kontrolle der Kernbrennstoffe durch den Bund zu einer Verstärkung der Nationalisierungsbestrebungen nach dem Beispiel unseres südlichen Nachbarn führen könnte, ist kaum zu befürchten, da sich ja bereits über 70 % der schweizerischen Elektrizitätswirtschaft in öffentlicher Hand befinden und der Rest schon aus rein geschäftlichen Überlegungen alles daran setzen wird, um im Dienst am Kunden nicht hinter den öffentlichen Werken zurückzustehen.

Was die Gefahr der radioaktiven Verseuchungen von Luft und Wasser betrifft, so hat der unfallfreie Betrieb des Diorit in Würenlingen beruhigend gewirkt, und man hat den Eindruck, dass zurzeit der Bau eines Kernkraftwerkes, zumindest in der deutschen Schweiz, auf geringere Schwierigkeiten stossen würde als eine ölgefeuerte Anlage. Dabei ist aber die Frage der Verwertung bzw. der Unschädlichmachung des sogenannten «Atommülls» noch keineswegs zu voller Zufriedenheit gelöst. Sie hat zu pessimistischen Äusserungen des früheren Vorsitzenden der amerikanischen Atomenergiekommission, *Lilienthal,* geführt, der das Kind gleich mit dem Bad ausschüttet und dadurch die ganze Zukunft der Kernenergie in Frage stellt. In unserem dichtbevölkerten Land ist es ausserdem nicht leicht, in der Nähe der Konsumzentren geeignete Aufstellungsorte für grosse Kernkraftwerke zu finden. Mit Rücksicht auf den Schutz der Bevölkerung vor den Einwirkungen radioaktiver Strahlungen bei Betriebsunfällen hat man bis jetzt dem Grundsatz nachgelebt, Reaktoranlagen nach Möglichkeit in wenig oder unbewohnten Gegenden aufzustellen. Neuerdings liegt in New York ein Projekt für den Bau eines Kernkraftwerkes von 1000 MW vor, das im Stadtinnern untergebracht werden soll. Die Verwirklichung dieses Projektes würde jedenfalls dazu beitragen, die «Atomfurcht» weiter abzubauen, so dass man es in absehbarer Zeit auch in der Schweiz wagen dürfte, Städtewerke in Vorschlag zu bringen, die mit Fernheizanlagen gekoppelt werden könnten, um die Kernenergie auch

zur Erzeugung von Nutzwärme heranzuziehen. Es sei hier nur an das Projekt eines unterirdischen ETH-Reaktors in Zürich erinnert, das man dem Stimmbürger nicht vorzulegen wagte. Eines ist sicher, dass die Lösung all dieser Fragen noch viel Zeit in Anspruch nehmen wird. Das skizzierte «Idealprogramm» für die Übergangsphase der rein hydraulischen zur zusätzlichen thermischen, nur aus Kernbrennstoffen erzeugten Energie dürfte um so eher wirklichkeitsnahe sein.

Was soll nun geschehen, wenn die von den schweizerischen Elektrizitätswerken aufgestellten Richtlinien nicht eingehalten werden können, weil sich ihrer Verwirklichung zu viele Hindernisse in den Weg stellen? Folgende

Auswege

sind denkbar:

1. Der Energiebezug aus dem Ausland kann vorübergehend verstärkt werden, sei es durch den Abschluss von Stromlieferungsverträgen oder durch die Beteiligung an Wärme- eventuell hydraulischen Kraftwerken des Auslandes. Lösungen, wie sie seinerzeit beim Bau der Resia-Kraftwerke im Südtirol inauguriert wurden, das heisst die Gewährung von Baukrediten gegen Rückzahlung in Form von elektrischer Energie, sind durchaus denkbar.
2. Sollte der Bau klassischer Wärmekraftwerke auf zu grosse Schwierigkeiten stossen, die schweizerische Industrie aber noch nicht in der Lage sein, ein wirtschaftlich vertretbares Kernkraftwerk anzubieten, so wäre der Bau eines Kernkraftwerkes mit einem bewährten Reaktor ausländischer Konstruktion als Übergangslösung zu prüfen.

Die vordringlichste Aufgabe unserer Elektrizitätsgesellschaften wird deshalb darin bestehen, mit den zuständigen Behörden so rasch als möglich abzuklären, ob der Bau konventioneller Wärmekraftwerke im vorgesehenen Umfang von zusammen etwa 1200 MW möglich ist. Wenn diese Abklärung zu viel Zeit in Anspruch nimmt, riskieren wir, in eine Zwangslage zu geraten, aus der man sich nur mit finanziellen Opfern befreien kann. Damit komme ich zum Schluss noch auf die Frage der

Energiepreise

zu sprechen, an deren Entwicklung die Konsumenten ein ganz besonderes Interesse haben.

Zur Einleitung einige wenige Zahlen: Die Jahresproduktionsmöglichkeit der in Betrieb befindlichen Anlagen der Werke der allgemeinen Versorgung hat von 1938 bis 1961 um rund 170 % zugenommen; die Anlagekosten stiegen in der gleichen Zeitperiode aber um rund 300 %. Die durchschnittlichen Einnahmen der Elektrizitätswerke pro kWh Normalabgabe an den Verbraucher, ohne Elektrokesselenergie, sind von 7,2 Rp./kWh im Jahre 1940/41 auf 6,8 Rp./kWh im Jahre 1960/61 gesunken. Diese Zahlen, die dem Jahresbericht des Vorstandes des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke über das Geschäftsjahr 1962 entnommen sind, sprechen für sich. Es ist den schweizerischen Elektrizitätswerken gelungen, trotz der sich besonders in den letzten Jahren akzentuierenden Teuerungswelle, die Energiepreise stabil zu halten. In den kommenden Jahren wird es nicht mehr möglich sein, ohne Preisanpassungen auszukommen, wenn man nicht den finanziellen Status der Unternehmungen gefährden will. Die grossen Städtewerke mit ihrem konzentrierten Absatzgebiet sind noch etwas besser gebettet als die Überlandwerke mit ihren weitverzweigten Energieverteilungssystemen. Die Unternehmungen, die ihre Energie aus stark abgeschriebenen Anlagen beziehen können, befinden sich in einer günstigeren Position als die Gesellschaften, die ihren Bedarf bei neuerstellten, mit hohen Baukosten belasteten Kraftwerken eindecken müssen. Es ist also damit zu rechnen, dass der Preis hydraulischer Energie steigende Tendenz aufweisen wird, bis sich in einiger Zeit die Abschreibungen im Energiepreis auszuwirken beginnen, sofern dieser Effekt nicht durch andere Belastungen fiskalischer Natur kompensiert wird.

Was die Preise der in thermischen Anlagen erzeugten Energie betrifft, so werden sie von der weiteren Entwicklung der Baukosten, den Brennstoffpreisen und dem Auslastungsgrad der Anlagen abhängen. Auch die Entwicklung des Kapitalmarktes wird nicht ohne Einfluss sein auf den Gestehungspreis der Energie zukünftiger Kraftwerke. Die Brennstoffpreise, sei es für Öl, Kohle oder Naturgas, dürften auf lange Sicht gesehen ebenfalls steigende Tendenz aufweisen. Sie können vielleicht sporadisch durch politische Einflüsse Fluktuationen unterworfen sein, beispielsweise durch die Konkurrenz des russischen Erdöls oder bei Stockungen im allgemeinen Wirtschaftsablauf. Zusammenfassend darf aber mit einiger Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass der Gestehungspreis elektrischer Energie in der Schweiz während der Übergangsphase zur thermischen Erzeugung, das heisst bis gegen Ende der siebziger Jahre, sich langsam erhöhen wird. Dabei dürfte das Preisniveau der thermisch erzeugten Energie bei einem Ausnützungsgrad der Zentralen von rund 4000 Stunden nicht wesentlich von demjenigen der hydraulischen gleicher Qualität abweichen. Was die Kernenergie anbelangt, so wird sie dieses Bild vor Ende der siebziger Jahre nicht verbessern. Über diesen Zeitpunkt hinaus besteht eine Wahrscheinlichkeit, dass die Kernenergie fallende Tendenz aufweist, die hydraulische Erzeugung infolge der bis dann eingetretenen teilweisen Amortisation der Anlagen ebenfalls billiger geworden ist und die von den Preisen des Brennstoffmarktes abhängige Energie aus klassischen Wärmekraftwerken wegen allmählichen Ausscheidens der Anlagen das allgemeine Preisniveau nicht mehr beeinflusst. Es lässt sich somit denken, dass zu Beginn der achtziger Jahre die Energiepreise sich wieder stabilisieren und vielleicht sogar vorübergehend leicht fallende Tendenz aufweisen könnten.

Adresse des Autors:
Dr. h. c. *Arthur Winiger,* Cologny (GE).