

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 56 (1965)
Heft: 21

Artikel: Grundsätzliches zum Bau von Atomkraftwerken
Autor: Ailleret, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916418>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 03.04.2026

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

Energie-Erzeugung und -Verteilung

Die Seiten des VSE

Grundsätzliches zum Bau von Atomkraftwerken

von P. Ailleret, Paris

Wir sind glücklich, nachstehend einen Vortrag abzudrucken, den Herr P. Ailleret im Auftrag der Vereinigung exportierender Elektrizitätsunternehmen gehalten hat; dies um so mehr, als der Verfasser massgeblich an den Ausbauplänen seines Landes beteiligt ist. Wir danken der Vereinigung exportierender Elektrizitätsunternehmen für die Überlassung des Aufsatzes.

Die Redaktion

Nous sommes heureux de pouvoir publier le texte d'une Conférence que Mr. P. Ailleret a tenue à l'instar de l'Union des exportateurs d'énergie électrique; ceci d'autant plus que l'auteur est intimement mêlé à l'élaboration des plans d'équipement en France. Nous remercions l'Union des exportateurs d'énergie électrique de nous avoir remis le manuscrit.

La rédaction

Sehr geehrter Herr Präsident, sehr geehrte Herren,

Es freut mich sehr, mich wieder einmal inmitten der schweizerischen Elektrizitätsproduzenten zu befinden, denn dies erinnert mich an die Vorkriegsjahre, während denen ich als Direktor eines französischen Energieproduktions- und -transportunternehmens mit meinen schweizerischen Berufskollegen in Kontakt war. Während dieser Zeit war es mir möglich, eine Übersicht über ihre Energiewirtschaft zu erhalten, und ich denke gerne an diese Jahre zurück.

Das Ende der Ausbaumöglichkeiten der Wasserkraft schien damals in weiter Ferne zu liegen, und man war übrigens der Auffassung, dass es durch die Fortschritte im Bauingenieurwesen noch während langer Zeit immer wieder hinausgeschoben werden könnte.

Als einzige Unsicherheitsfaktoren in der elektrischen Energieproduktion der Zukunft erschienen während längerer Zeit lediglich die Niederschlagsmengen und Temperaturen. Die statistischen Untersuchungen, welche damals gerade in Mode gekommen waren, beschränkten sich deshalb auf diese hydrologischen Unsicherheitsfaktoren. Diese Unsicherheitsfaktoren kann man leicht anhand der in der Schweiz geführten langjährigen Statistiken über die Wasserführung der Flüsse beherrschen.

Dagegen sind in den künftigen Energieproduktionsarten Unsicherheitsfaktoren enthalten, die man weder bestimmen noch ihnen einen bestimmten Wahrscheinlichkeitsgrad bemessen kann.

Ein Vergleich mit verschiedenen anderen Branchen zeigt, dass die hydrologischen Unsicherheitsfaktoren ähnlich wie in der Versicherungsbranche auf statistisch bekannte Risiken gestützt sind. Im Gegensatz dazu werden die Unsicherheitsfaktoren der Kosten der verschiedenen nuklearen Energieproduktionsverfahren überschlägig berechnet, ähnlich den Schätzungen des Finanzmannes über die Entwicklung der industriellen Börsenkurse.

Dies bedeutet für die Elektroindustrie eine Änderung der wesentlichsten Unsicherheitsfaktoren, und sie muss sich des-

sen bewusst sein, um die Zukunft richtig beurteilen zu können. Dies ist meiner Ansicht nach noch viel entscheidender als die Schnelligkeit des zukünftigen Überganges von der Wasser- zur Atomkraft.

Bevor ich einen Überblick über die mir am wichtigsten erscheinenden Unsicherheitsfaktoren des Atomzeitalters gebe, möchte ich die nur scheinbaren Unsicherheitsfaktoren ausscheiden, welche in der künftigen Entwicklung kaum mitspielen, jedoch die öffentliche Meinung beschäftigten und auch mitberücksichtigt werden müssen:

Die Atomindustrie erwies sich bis heute für ihr Personal als weniger gefährlich als die meisten andern Industrien, und es sind bis heute noch keine Opfer im Publikum zu beklagen. Zwanzig Jahre Erfahrung und beinahe 2000 in Betrieb stehende Reaktoren beweisen, dass die Sicherheit eines Reaktors erwiesen ist, selbstverständlich nicht absolut, sondern der Sicherheit grosser Staudämme vergleichbar.

Heute, wo sich die Lagerungstechnik der radioaktiven Abfallstoffe als sicher erwiesen hat, stellt diese keine echten Probleme mehr.

Es scheint, als ob die Personal- und Unterhaltskosten der Atomkraftwerke geringer seien als jene der klassischen thermischen Kraftwerke.

Ebenso verhält es sich mit dem Risiko der Nichtverfügbarkeit, falls nicht Prototypen, sondern bereits bewährte Einheiten gleicher Grössenordnung und ohne wesentliche Umstellungen eingesetzt werden.

Vor einigen Jahren bestand noch das Risiko einer ungenügenden Konkurrenzfähigkeit gegenüber den stets verbesserten klassischen thermischen Kraftwerken, obwohl voreilige Erklärungen, allerdings nicht aus Kreisen der Stromproduzenten, nichts davon wissen wollten; dagegen ist es heute eindeutig so, dass die Atomkraftwerke grosser Einheitsleistung und bei langer Gebrauchsdauer zu den thermischen Werken in Konkurrenz treten können, falls diese nicht in unmittelbarer Nähe von billigen Kohlenminen liegen, was sehr geringe Brennstoffpreise mit sich brächte.

Welche Unsicherheitsfaktoren bleiben also bestehen?

* *
*

Hier denkt man in erster Linie an die künftige Kostenentwicklung und an die Sicherstellung der Brennstoffbeschaffung.

Die Rohstoffversorgung ist eine der grössten Sorgen einer Industrie. Die hydroelektrischen Wasserkraft- und die Verteilwerke gehören zu den wenigen Industriezweigen, die nicht mit dieser Sorge belastet sind, aber durch das Ende des Ausbaus der Wasserkraftwerke wieder dem gleichen Schicksal unterworfen werden. Es käme einer Demission der Industrieunternehmungen gleich, wenn diese — unabhängig vom politischen Staatsgefüge — annehmen würden, dass die Sicherstellung der Bedarfsdeckung einzig Sache des Staates sei.

Dieses Problem wird mit dem ständig sinkenden Kohleanteil an der Gesamtenergieproduktion immer akuter, weil bei jeder Störung der Erdölversorgung die Kohlenvorräte sofort aufgebraucht sein würden.

Auf dem Natururanmarkt ist das Überangebot im Verhältnis zum Bedarf schon seit einigen Jahren derart gross, dass viele Gruben nur stark reduziert arbeiten oder zeitweilig geschlossen sind, und dass sich die Suche nach neuen Vorkommen nicht mehr im bisherigen Ausmass weiter entwickeln konnte.

Der Vergleich der bekannten Uranvorkommen mit dem geschätzten Bedarf der Atomenergie für friedliche Zwecke lässt zweifelsohne befürchten, dass die Vorräte in einigen Jahrzehnten aufgebraucht sein werden. Aber hat man nicht schon über das Erdöl falsche Prognosen angestellt, dessen Vorkommen um 1925 auf etwa das Fünfzehnfache des damaligen Jahresverbrauches geschätzt wurde? Der Verbrauch hat sich seither vervielfacht und steigert sich noch immer mehr, aber die neuen Erdölfunde kamen noch ein wenig schneller, ohne dass ein Ende abzusehen ist, so dass der Bedarf für immer längere Zeiträume sichergestellt ist.

Dieser Tatbestand berechtigt zur Annahme, dass sich der Uranmarkt ähnlich entwickeln wird. Früher wurde nur dort Erdöl gesucht, wo gewisse Anzeichen für dessen Vorhandensein sich an der Erdoberfläche bemerkbar machten. Heute sucht man das Uran hauptsächlich mittels Zählrohren, welche nur auf Vorkommen, die weniger als einen Meter unter der Oberfläche liegen, ansprechen. Ähnlich wie die seismischen und elektrischen Methoden entwickelt wurden, werden die Prospektion vom Flugzeug aus, die Suche nach Radon oder von chemischen Anomalien der Bodenbeschaffenheit und zweifelsohne noch andere Verfahren einer intensiven Entwicklung unterworfen werden, wenn die Suche durch die Marktlage gerechtfertigt erscheint.

Natürlich werden, auf lange Sicht betrachtet, die Pessimisten recht behalten: die Erdölfunde werden dem gesteigerten Bedarf nicht mehr gerecht, vielleicht morgen oder in ferner Zukunft wird der Erdölmarkt sich zurückbilden, stark beschleunigt durch die psychologischen Wirkungen, die in solchen Fällen auftreten können. Beim Uran liegen die Verhältnisse ähnlich wie beim Erdöl, nur werden bis dahin noch eine ganze Reihe von Jahrzehnten vergehen.

Diese Perspektive genügt zur Rechtfertigung der Anstrengungen, welche zur Entwicklung des Brutreaktors unternom-

men werden. Wenn der Preis pro kW der installierten Leistung der Brutreaktoren sich als günstig erweisen sollte, werden diese unabhängig vom Uranmarkt eine schnelle Entwicklung durchlaufen. Sollte das Kilowatt jedoch teuer sein, dann wird die Brutreaktortechnik als Reserve zurückgestellt werden müssen, vielleicht während einer längeren Periode, bis der Brutreaktor durch das Steigen des Preises für Natururan konkurrenzfähig wird. Die Dauer dieser Periode ist noch sehr unbestimmt; es werden jedoch mindestens etwa 15 Jahre vergehen, bis der Brutreaktor ins industrielle Stadium kommt, worauf er dann, wenn er wirtschaftlich ist, in einem schnellen Rhythmus weiterentwickelt wird. Es ist nämlich noch ganz ungewiss, ob das Brutmaterial bis zu diesem Zeitpunkt auf dem Uranmarkt einspringen muss.

Dass ein Verfahren, welches einen geringeren Uranverbrauch als die heute erprobten aufweist, als Zwischenlösung sehr wahrscheinlich auf Interesse stiesse, ist heute wohl möglich, aber noch ungewiss.

* *
*

Beim angereicherten Uran spielen zusätzlich zu den Unsicherheitsfaktoren des Rohstoffpreises (Natururan) noch die Umwandlungskosten, welche wiederum unsicher sind, eine wichtige Rolle.

Heute wird das angereicherte Uran in vielen Fällen nicht aus Natururan gewonnen, sondern durch Aufbereiten von sehr leicht abgereicherten Uranvorräten, die aus der Herstellung von spaltbarem Material für militärische Zwecke herrühren. Diese Bezugsmöglichkeit wird jedoch nicht immer bestehen.

Andererseits ist auch der Gesteigungspreis der Isotopenaufbereitungsanlagen noch ungewiss. Der Preis einer solchen Anlage hängt im besondern von ihrem Volumen ab. Um eine wirtschaftliche Basis zu gewährleisten, muss sie gewaltige Ausmasse erreichen. Bis jetzt wurden solche Anlagen nur zu militärischen Zwecken gebaut und die Abschreibungskosten, welche dem unwesentlichen zivilen Verbrauch auferlegt wurden, decken unter normalen Bedingungen die Investitionskosten nicht.

Allein vom Standpunkt des Gesteigungspreises aus besteht also auf längere Zeit beim angereicherten Uran eine grosse Unsicherheit. Dazu kommt noch die Ungewissheit der Bedarfssicherstellung, weil es sich um einen Energieträger handelt, der mit dem militärischen Bereich zusammenhängt.

Die Abhängigkeit vom Ausland bei der Deckung des Energiebedarfs ist an sich nichts Aussergewöhnliches; es ist hauptsächlich eine Frage des Anteils im Verhältnis zum gesamten Bedarf der Elektrizitätswerke.

Aus diesen Überlegungen geht hervor, dass das angereicherte Uran seines militärischen Charakters der Fabrikationsschwierigkeiten und der wenigen Produktionsländer wegen viel grössere Unsicherheitsfaktoren in sich birgt als Natururan. Selbstverständlich wächst die Sicherheit bei Energieerzeugung mittels weiterer Brennstoffe nach dem Vergleich: «Besser zwei Eisen im Feuer als nur eines».

* *
*

Schliesslich muss man mit den Lagerungsmöglichkeiten rechnen. Bei den Erdölprodukten sind die Lagerkosten sehr bedeutend. Im Gegensatz dazu sind für Kohle, angereichertes

oder Natururan diese Kosten unwesentlich, und die einzigen Lagerkosten entstehen durch die Verzinsung des zur Brennstoffanschaffung notwendigen Kapitals. Diese Kosten sind nicht unerheblich: Durch ein einziges Lagerungsjahr wird der kWh-Preis um das Betreffnis eines Jahreszinses erhöht.

Diese Kosten pro gelagerte kWh sind jedoch für das angereicherte Uran weniger bedeutend als für Kohle, weil der spezifische Preis geringer ist; für das Natururan fallen sie noch weniger ins Gewicht, denn der Energiepreis des Natururanreaktors besteht aus einem höheren Anteil der Anlagekosten und einem niedrigeren spezifischen Brennstoffpreis.

Zu bemerken bleibt noch, dass die Herstellung von Brennstoffen aus Natururan keine besonders hohen technischen Anforderungen stellt und dass sie nicht im grossen Maßstab betrieben werden muss. Statt die umhüllten Brennstäbe zu lagern, kann man ebenso gut das Uranmetall oder sogar die Erzkonzentrate lagern, womit die Lagerungskosten wesentlich reduziert werden können.

Unter diesem Gesichtspunkt sind die Verfahren mit Natururan als Brennstoff wesentlich günstiger als die Verfahren, die angereichertes Uran verwenden.

* *
*

Doch nun wollen wir uns dem Gesteigungspreis der erzeugten elektrischen Energie zuwenden, in der Annahme, dass der Brennstoffbedarf wirklich sichergestellt sei.

So einfach es auch ist, Angaben über den Energiepreis der klassischen thermischen Zentralen zu machen, so ist es andererseits schwieriger bei den ausgeführten oder geplanten Reaktoren im Hinblick auf die beträchtliche Typenzahl.

So besteht die wichtigste Klassierung der Reaktortypen in einer Unterteilung in jene, die noch nicht in grossem Massstab ausgeführt wurden und jene, die lediglich eine Nachkonstruktion darstellen, unter Berücksichtigung des neuesten Standes der Technik, aber ohne neue Unsicherheitsfaktoren.

* *
*

Die noch nicht in grossem Maßstab erprobten Verfahren sind sehr zahlreich; selbst vom Schwerwasserreaktor gibt es sehr unterschiedliche Ausführungen. Neben den durch Kohlensäure gekühlten Druckrohrreaktoren, die in der Schweiz in Lucens und in Frankreich in Brennilis im Werk EL 4 erprobt werden, gibt es den kanadischen Schwerwasser-Druckreaktor, den neueren kanadischen Siedewasser-Reaktor und die Möglichkeit der Wärmeabfuhr durch organische Kühlmittel, also eine ganze Anzahl Systeme, die in der Ausführung wiederum erheblich voneinander abweichen.

Solange ein Modell nicht in grossem Maßstab ausgeführt wurde, ist der endgültige Gesteigungspreis der Energie so unsicher wie beispielsweise der Gesteigungspreis eines Alpentunnels. Dies gilt natürlich nicht nur für die Schwerwasserreaktoren. Die Variante AGR der graphitmoderierten Reaktoren ist mindestens den gleichen Unsicherheiten unterworfen, da doch das Leistungsverhältnis der Versuchseinheit der UKEA in Winscale und jeder der beiden von der CEGB für die Zentrale Dungeness B bestellten Einheiten 1 zu 20 beträgt.

Ein Verfahren bis an die oberste Leistungsgrenze zu forcieren, entspricht etwa dem Prinzip einer Lotterie mit vielen

Losen, aber nur zwei grossen Treffern, oder gar keinem.

Der Treffer kann zweifellos ein Haupttreffer sein, denn es lohnt sich sicher, das optimale Verfahren zu entwickeln, welches allgemeine Verbreitung finden könnte.

Die Kosten dafür sind aber ausserordentlich hoch: Als Entwicklungskosten bis zur endgültigen industriellen Reife eines Verfahrens nannte man Zahlen in der Grössenordnung von einer Milliarde Schweizerfranken. Diese Summe ergibt sich allerdings erst nach Abzug des Gebrauchswertes der errichteten Zentralen, wobei man diesen nach dem Wert der ersetzten klassischen Produktionsmittel errechnet.

Solange man nicht in der Lage war, Energie auf andern Wege zu erzeugen als über Atomwerke, um eines Tages in der Lage zu sein, dem Erdölmangel vorzubeugen, hatten solche Investitionen für die Energiewirtschaft selbstverständlich keinen Spekulations-, sondern lediglich Sicherheitscharakter.

Heute aber geht es nur mehr darum, zu versuchen, bessere Verfahren als die bereits erprobten zu entwickeln, welche eines Tages vom Brutreaktor abgelöst werden könnten, bevor es zum Erdöl- und Uranmangel kommt. Man kann das Zögern aller Beteiligten verstehen, die Entwicklung eines noch nicht angewandten Verfahrens im grossen Maßstab zu fördern, ohne Aussicht auf sichern wirtschaftlichen Erfolg.

* *
*

Ich möchte nun zu den zwei einzigen, bis heute in grossem Maßstab erprobten Verfahren übergehen. Es handelt sich um das Leichtwasser- und das Graphit-Gas-Verfahren.

Bei beiden Verfahren wäre z. B. eine Einheit in der Grössenordnung von 500 MW nichts anderes als eine weitere Leistungsverdoppelung einiger zur Zeit im Bau befindlicher Einheiten, die bereits aus den Erfahrungen mit nur um die Hälfte kleineren Einheiten hervorgegangen sind.

Die heutigen Lieferfristen solcher Anlagen sind ungefähr gleich wie bei den klassischen Kraftwerken, denn die Konstruktion der grossen Turbogeneratoren ist für die Lieferfristen ausschlaggebend.

Was die heutigen Kosten anbelangt, sind diese — wie wir später noch sehen werden — verschieden aufgebaut, in ihrer Gesamtheit sind sie etwa gleich hoch; wenn man die Unsicherheiten berücksichtigt, denen sie künftig unterliegen, so wird der Unterschied unwesentlich.

Im übrigen werden die beiden Verfahren noch ständig weiter entwickelt. Auf dem Gebiet der Graphit-Gas-Reaktoren sind zu nennen: Anwendung von vorgespanntem Beton beim Werk EDF 3 (Grössenordnung von 500 MW, die Vorläufer waren G2 und G3) und in Oldbury, die Aufstellung von Reaktor und Wärmeübertragern im gleichen Gebäude für EDF 4 und in Wylfa, die ringförmige Brennstoffanordnung in der Zentrale von Bugey (EDF 5) und die Entwicklung der Konstruktionsart in St. Laurent-des-Eaux II (EDF 6). Zusätzlich werden die Leichtwasser-Siedereaktoren wahrscheinlich bald für die Erzeugung von überhitztem Dampf weiter entwickelt werden.

So wird ein Wettlauf um den Fortschritt ausgetragen, dessen Auswirkungen sich nicht so einfach in Zahlen fassen lassen.

Bei den beiden Verfahren besteht nicht nur ein Unterschied hinsichtlich der bereits erwähnten Brennstoffkosten, sondern auch die dem Reaktor entnommenen heissen Mate-

rialien sind wesentlich verschieden. Beim Leichtwasserreaktor enthält der Abbrand noch eine grosse Menge Uran 235 und Plutonium. Aus diesem Grunde ist eine chemische Aufbereitung der Spaltstoffe selbstverständliche Voraussetzung, sonst wäre dieses Verfahren nicht mehr konkurrenzfähig. Als Brennstoffpreis wird deshalb die Differenz zwischen den Anschaffungskosten und dem Wert des zurückbleibenden Abbrandes eingesetzt. Somit kommen noch sämtliche Unsicherheitsfaktoren hinsichtlich des Wertes des zurückgewonnenen Spaltstoffes zu den Kosten der Isotopentrennung, aus welchem der neue Brennstoff hervorgegangen war, hinzu.

Im Gegensatz hierzu ist das Natururanverfahren mit der klassischen Energiegewinnung auch dann noch konkurrenzfähig, wenn man das gebrauchte Spaltmaterial abschreibt, welches übrigens auch ohne chemische Behandlung lagerfähig ist.

Es ist ohne weiteres möglich, dass dieses Material eines Tages einen beträchtlichen Wert erreichen wird. Dies ist vor allem durch die Fortschritte in der chemischen Verfahrenstechnik möglich und in den USA wird die Privatisierung solcher Anlagen eine bessere Festlegung der Kosten ermöglichen. Weiter wird der Plutoniummarkt sich ausweiten und der Bedarf der Brutreaktoren an solchen Materialien wird deren Preisbasis sichern.

Die gleichzeitige Produktion von Plutonium und Energie wird also möglicherweise zusätzliche Einnahmen erbringen. Darüber herrscht aber noch Ungewissheit und es ist noch nicht üblich, sie in der Bilanz der Natururanreaktoren aufzuführen. Die gleiche Unsicherheit liegt auch in den Wiederabnahmebedingungen von heissen Spaltstoffen amerikanischer Reaktoren, sie kann sich jedoch von Fall zu Fall günstig oder ungünstig auswirken.

Es dürfte Sie noch der Hinweis interessieren, dass das in den Natururanreaktoren entstehende Plutonium noch einen andern Anwendungsbereich als die Brutreaktoren gefunden hat. So wird versucht, das verbrauchte U235 der Natururanreaktoren durch Plutonium zu ersetzen und es scheint, dass damit keine nennenswerten Schwierigkeiten verbunden seien. Der Ersatz eines Gramms U235 durch ein Gramm Plutonium erscheint möglich. Diese Lösung würde ein autarkes Zusammenarbeiten der mit Natururan und der mit angereichertem Uran betriebenen Reaktoren erlauben, wobei die ersten den Bedarf an angereichertem Material der zweiten decken würden.

* *
* *

Nun wollen wir die Auswirkungen der unterschiedlichen Kostenstruktur der beiden erprobten Verfahren untersuchen. Die mit angereichertem Uran betriebene Anlage verlangt etwas weniger hohe Investitionen, und die Gesamterstellungskosten sowie der Preis der ersten Brennstofffüllung liegen etwas tiefer, wogegen das Natururanverfahren einen geringeren Zusatzaufwand pro erzeugte kWh ergibt.

Nehmen wir an, dass bei einer hohen Gebrauchsdauer von beispielsweise 7000 Stunden pro Jahr die Kosten gleich sind.

Für Ihr Land, das über grosse hydroelektrische Energieüberschüsse verfügt und wo der kritische Energiebedarf zur Deckung des steigenden Konsums ziemlich genau mit dem alleinigen Wintersemester zusammenfällt, könnte man bei

einer ersten Betrachtung darauf schliessen, dass das Natururanverfahren in diesem Falle weniger günstig wäre. Man darf aber dabei nicht vergessen, dass bei einem niedrigeren kWh-Zusatzpreise die Ausfuhrmöglichkeiten viel grösser werden.

Es lässt sich hier die folgende einfache und präzise Theorie aufstellen: Sind zwei Verfahren bei einer hohen Gebrauchsdauer, z. B. 7000 h pro Jahr, konkurrenzfähig, so bleibt ihre wirtschaftliche Gleichwertigkeit in einem Land mit einer kleineren Gebrauchsdauer auch erhalten, wenn alle Energie, die es selbst nicht verwerten kann, zum Zusatzpreis des teuersten Verfahrens, d. h. des mit angereichertem Uran betriebenen Reaktors, exportiert werden kann.

Der Gewinn, den man in einem solchen Fall dank dem niedrigeren Zusatzpreis des Natururanverfahrens durch Export erwirtschaftet, kompensiert die mangelhafte Rentabilität infolge einer niedrigeren Gebrauchsdauer.

Diese Theorie zeigt eindeutig die Bedingungen auf, die zur Kompensation einer zu niedrigen Gebrauchsdauer erfüllt sein müsste. Diese Bedingung ist leicht einzuhalten, da die zusätzlichen Energiekosten der amerikanischen Reaktoren noch wesentlich unter denen der klassischen thermischen Kraftwerke der Nachbarländer liegen und somit auch unter den üblichen Exportpreisen.

Dies will besagen, dass Sie beim Bau von Natururanreaktoren eine vermehrte Tendenz zum Export haben werden als dies beim Bau von klassischen thermischen Kraftwerken oder von Reaktoren mit angereichertem Uran der Fall wäre.

Der Export wird aber nicht die gleiche Höhe erreichen wie bei einem eventuellen weiteren Ausbau der Wasserkraft. Wird nämlich die Winterproduktion um eine kWh erweitert, was zur Deckung des steigenden Strombedarfs ausschlaggebend ist, so erhöht sich durch die hydrologische Beschaffenheit der schweizerischen Vorkommen somit die Sommerproduktion automatisch um 1,4 kWh.

Zusammenfassend bedeutet dies für die Schweiz, dass durch die Errichtung von mit Natururan arbeitenden Reaktoren die notwendigen Investitionskosten um etliches gesenkt werden, andererseits aber die Exporte in den Sommermonaten geringer werden, und dass selbstverständlich die Schwankungen zwischen den trockenen und den nassen Jahren etwas zurückgehen werden.

* *
* *

Es bleibt noch das Problem der Grösse der Maschineneinheiten zu behandeln.

Eine mit Natururan betriebene Anlage, bei der sämtliche der Turbine vorgeschaltete Anlageteile in einem aus vorgepanntem Beton zusammengefassten Gebäude untergebracht sind, eignet sich besonders gut die Erhöhung der Einheitsleistungen.

In den Offertunterlagen der GECO kann man in Funktion der Leistung ein merkliches Abnehmen der Preise feststellen. Zwischen 500 und 1000 MW verlaufen diese ziemlich genau nach einer Exponentialfunktion mit dem Exponenten 0,7. Dies bedeutet, dass bei einer erhöhten Leistung der Preis des Zuwachses nur etwa 70 % der ursprünglichen Leistungskosten beträgt. Diese Preisdifferenz ist so gross, dass sich die Elektrizitätsunternehmer selbstverständlich für die grössten Einheiten interessieren. Diese Tendenz wird dadurch noch

weiter erhöht, dass die Kosten der verkauften Energie immer mehr durch die Produktionskosten beeinflusst werden, die Verteilkosten aber mit der Verbrauchsdichte rasch fallen. Das in einem Netz investierte Kapital wächst nur mit der Quadratwurzel der an die Abnehmer verkauften Leistung.

Es ist zweifelsohne vernünftiger, ein gewisses Experimentierstadium zu durchlaufen, wenn man sich an eine neue Technik heranwagt, als untätig die Zeit verstreichen zu lassen; die Tendenz aber, immer grössere Gruppen zu bauen, ist heute schon deutlich sichtbar. Für die Unternehmen und Länder, deren jährlicher Energiezuwachs unter der Produktionskapazität solcher Einheiten liegt, ergeben sich daraus neue Probleme.

Diese Probleme sind jedoch durch Zusammenarbeit zwischen den Unternehmungen lösbar. Die Art und Weise dieser Zusammenarbeit ist sehr vielfältig: als Beispiele seien die gegenseitigen Aushilfslieferungen bei Produktionsausfällen und die Partnerwerke genannt.

Dank der Weitsichtigkeit der Finanzleute und Unternehmens-Direktoren sollten Verträge ausgearbeitet werden, welche einen optimalen Aufbau nach den vorhandenen physikalischen Gegebenheiten vorsehen, wozu als wichtigste die Verbrauchsdichte zählt.

Die Verbrauchsdichte erreicht jetzt in der Schweiz und den angrenzenden Gebieten bereits eine Höhe, welche den Ausbau eines vermaschten Netzes mit einer Spannung von 400 kV verlangt. In einem solchen Netz sinken die gegenseitigen Beeinflussungen nach einer von der Entfernung abhängigen Konstante, welche etwa 300 km beträgt. Stark schematisiert gleichen die Probleme in einem unendlichen Netz durch das Sinken der gegenseitigen Beeinflussungen denjenigen in einem geschlossenen Ringnetz mit einem Radius gleich dem $\sqrt{2}$ -fachen Wert der Entfernungskonstanten, worin alle Zentralen sich ohne Abschwächung durch die Entfernung aushelfen.

Daraus geht hervor, dass die Produktionsoptima für diesen Teil Europas aus dem Leistungsbedarf eines Gebietes mit einem Radius von etwas mehr als 400 km ermittelt werden

kann. Dieser beträgt zur Zeit für ein solches Gebiet etwas über 20 Millionen kW, und die jährliche Zuwachsrate ist schon bedeutend grösser als eine Million kW.

* *
*

Durch diesen Vergleich soll gezeigt werden, dass es der Schweiz durch die eigene Energielage und die der anliegenden Länder möglich ist, von den sehr beträchtlichen Vorteilen grosser Atomkraftwerke zu profitieren. An diese Zukunftsmöglichkeit sollte ohne Verzug gedacht werden.

Man sollte umsomehr dran denken, weil es in der Schweiz und in Frankreich ja noch ausbauwürdige Wasserkräfte gibt und weil dieser Ausbau durch die Entwicklung der Atomenergie beeinflusst wird. Von diesem Standpunkt aus ist es wichtig, die Atomenergie so rasch wie möglich voranzutreiben, damit die Grenzen des optimalen Ausbaus der noch verbleibenden Wasserkräfte eindeutig ersichtlich werden.

Wie bereits erwähnt wurde, enthält die Zukunft der Atomenergie aber noch eine grössere Zahl von Unsicherheitsfaktoren in Bezug auf die Rohstoffkosten, auf den Wert des produzierten Plutoniums, auf die Fortschritte der erprobten Verfahren, ohne von den unsicheren Entwicklungsergebnissen von neuen Reaktoren zu reden.

Die Wasserkraftwerke und die Energieverteiler können deshalb auf diesem Gebiete nicht so disponieren, wie sie es innerhalb ihres normalen Tätigkeitsbereiches gewohnt sind und wo sie ihre Entwicklungspläne anhand statistischer Berechnungen festlegen können.

Es handelt sich hier vielmehr um eine Spekulationsstrategie, zu der man gezwungen ist, um den künftigen Entwicklungen des Marktes und den technischen Möglichkeiten gerecht zu werden. Eine gesunde Entwicklung der Industrie ist also abhängig von der raschen Entscheidungsfähigkeit der Verantwortlichen für eine Zukunft, die sich nur nach und nach entschleiert.

Adresse des Autors:
P. Ailleret, Directeur général adjoint de l'Electricité de France, Place des Etats Unis, Paris 16ème

Gaszwang in Bern

Bekanntlich hat die Stadt Bern eine Verordnung über die Sicherstellung einer wirtschaftlichen Gasversorgung erlassen. Wir geben anschliessend den Wortlaut dieser Verordnung unsern Lesern bekannt und lassen einen ersten Kommentar aus der Feder von Herrn Dr. F. Wanner, Direktor der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, folgen. Die Redaktion

On sait que la Ville de Berne vient d'édicter une ordonnance concernant la garantie de l'approvisionnement économique en gaz. Nous reproduisons ci-dessous une traduction du texte de l'ordonnance et un premier commentaire de la plume de D^r F. Wanner, Directeur du Service électrique du Canton de Zurich. La rédaction

Verordnung über die Sicherstellung einer wirtschaftlichen Gasversorgung in der Stadt Bern

Der Gemeinderat von Bern erlässt, gestützt auf Art. 28, Abs. 2, Ziffer 9, lit. r der Gemeindeordnung, folgende Vorschriften:

Art. 1. Grundsatz

1. Zur Sicherstellung einer im Gesamtinteresse liegenden wirtschaftlichen Gasversorgung kann die Stadt Bern die Lieferung elektrischer Energie als Wärmeträger für die Zwecke des Kochens, Waschens und der Warmwasserbereitung im Rahmen der nachfolgenden Richtlinien ablehnen und statt

dessen Gas zu den reglementarischen Bedingungen zur Verfügung stellen.

2. Dies gilt jedoch nicht für Haushaltapparate bis höchstens 3,8 kW Anschlusswert, die über Steckkontakte an das elektrische Verteilnetz angeschlossen werden, und für Kleinboiler bis zu 50 Litern.

Art. 2. Richtlinien

Für die Versorgung der Liegenschaften mit Gas oder mit elektrischer Energie sind, vorbehalten Art. 1, Abs. 2, die nachstehenden Richtlinien massgebend: