

Schulz-Arenstorff, Oswald

Article — Digitized Version

Bestimmungsfaktoren für die Nutzung der Kernenergie

Wirtschaftsdienst

Suggested Citation: Schulz-Arenstorff, Oswald (1958) : Bestimmungsfaktoren für die Nutzung der Kernenergie, Wirtschaftsdienst, ISSN 0043-6275, Verlag Weltarchiv, Hamburg, Vol. 38, Iss. 9, pp. 497-504

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/132689>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Bestimmungsfaktoren für die Nutzung der Kernenergie

Dr. Oswald Schulz-Arenstorff, Hamburg

Die Frage nach der Erschöpfung der natürlichen Rohstoffquellen ist häufig unnötig dramatisiert worden. Es hat sich bisher stets gezeigt, daß entweder die Neuentdeckung von Bodenschätzen den Abbau kompensiert hat oder daß die Schaffung von Substitutionsgütern und der Wandel im Verbrauch die Nachfrage nach knappen Rohstoffen vermindert haben. Auf dem Gebiet der Energierohstoffe bahnt sich in der Nutzung von Kernenergie ein möglicher Wandel an. Aber noch ist der Einsatz von Atomenergie für die Deckung des Energiebedarfs nicht zwingend. Gegenüber den traditionellen Energierohstoffen ist die Wirtschaftlichkeit der Atomenergie noch nicht erwiesen. Im Vordergrund der Kalkulation stehen heute noch wesentlich politische Faktoren. Die Notwendigkeit weiterer Forschung auf dem Gebiet der wirtschaftlichen Nutzung von Kernenergie ist einleuchtend, aber es wird noch lange Zeit erfordern, bis die Gewinnung von Kernenergie unabhängig von ihren politischen Faktoren den Wettbewerb mit den traditionellen Energieträgern wird aufnehmen können, die — wie der Verfasser meint — auch für die längere Zukunft die entscheidende Rolle in der Energieversorgung spielen werden.

Die Kernenergieverwertung ist ein sehr komplexes Gebiet; sie gehört sowohl in den Bereich der Technik, der Medizin und Wirtschaft als auch zur militärischen Strategie und Politik; sie berührt fast jedes Lebensgebiet des Menschen.

Bei der Beurteilung der hier zu behandelnden wirtschaftlichen Fragen der Kernenergienutzung ist die Tatsache von Bedeutung, daß die Atomenergie heute in erster Linie kein ökonomischer, sondern ein militärisch-strategischer Faktor ist. Zunächst einmal dienen die Kernenergieinvestitionen der Atomgroßmächte, die etwa zu 80 % aus dem Verteidigungsetat finanziert werden, ganz überwiegend der militärischen Zweckforschung. Die Gewinnung von Plutonium für militärische Zwecke steht selbst bei den ersten „kommerziellen“ Atomkraftwerken, Calder Hall in Großbritannien und Shippingport in den USA, im Vordergrund. Darüber hinaus aber dient die Kernenergie politischen Bestrebungen, wie dies z. B. bei der europäischen Atompolitik zu erkennen ist. Sie wird aus diesem Grunde von den Regierungen und überstaatlichen Organisationen ideell und materiell nachdrücklich gefördert. So ist z. B. der Euratomvertrag bekanntermaßen als Mittel der politischen Integration gedacht.

Aus diesen Gründen ist das bisherige oder geplante Investitionsvolumen auf dem Kernenergiesektor kein geeigneter Maßstab für die Beurteilung der rein wirtschaftlichen Bedeutung der neuen Energiequelle, die heute allgemein überschätzt wird. Es ist anzunehmen, daß Kernenergieinvestitionen auch getätigt werden, wenn ihre Wirtschaftlichkeit noch nicht gegeben ist.

In bezug auf die Wirtschaftlichkeit von Atomkraftwerken gibt es heute optimistische und pessimistische Auffassungen. Beim Studium des Schrifttums über diesen Gegenstand zeigt sich, daß hier sehr stark die Interessen von Politikern, Verbänden und konkurrierenden Branchen im Spiel sind. So ist man einerseits z. B. vor dem Investitionsrisiko eines hochdynamischen technischen Fortschritts zurückhaltend, fördert jedoch auf der anderen Seite diesen Fortschritt aus geschäftlichen oder politischen Bestrebungen.

Die Wirtschaftlichkeit der Anlage ist nun nicht das einzige Kriterium, das über den Bau eines Kraftwerkes entscheidet. Zu den primären Faktoren, die den Einsatz von Leistungsreaktoren zur Stromerzeugung in einem gegebenen Land bestimmen, gehören ferner: die Finanzierungsmöglichkeiten für Atomkraftwerke, die Entwicklung der Energieversorgung, die Verfügbarkeit von Spaltstoffen, die Verfügbarkeit von Fachkräften und die nationale Atompolitik.

Einer systematischen Untersuchung dieser einzelnen Bestimmungsfaktoren für das Ausmaß der Kernenergienutzung sei eine Übersicht über die gegenwärtig bestehenden Bauprojekte vorangestellt.

ÜBERSICHT ÜBER BAUPROJEKTE

Die Zahl der Kernreaktoren, die Anfang 1958 in der westlichen Welt in Betrieb waren, betrug rund 300 bis 350, davon allein etwa 250 in den USA. Eine etwa gleich große Zahl von Anlagen befindet sich gegenwärtig im Bau. Es handelt sich jedoch in fast allen Fällen um kleinere Forschungsreaktoren, die als Versuchsanlagen gebaut wurden, um Erfahrungen zu sammeln; nur eine sehr geringe Zahl davon können als Leistungsreaktoren angesprochen werden, die Plutonium für militärische Zwecke erzeugen, wobei die dabei anfallende Wärme teilweise zur Erzeugung von Strom als Nebenprodukt verwertet wird.

Zur Zeit sind nur zwei Kernenergieanlagen in Betrieb, die auf Grund ihrer Größe als „Kraftwerke“ bezeichnet werden können:

1. Calder Hall / Großbritannien, zwei gasgekühlte, graphitmoderierte Reaktoren mit natürlichem Uran, 90 000 kW elektrische Leistung, gebaut von der UK-AEG, in Betrieb seit Ende 1956, geschätzte Stromgestehungskosten etwa 7 Mills¹⁾ pro kWh.
2. Shippingport/USA, ein Druckwasserreaktor mit angereichertem Uran, 60 000 kW elektrische Leistung, gebaut von der US-AEC, in Betrieb seit Ende 1957, geschätzte Stromerzeugungskosten 50 bis 60 Mills pro kWh.

¹⁾ 1 Mill = $\frac{1}{1000}$ US-Dollar = 0,42 Dpf.

Daneben befindet sich in der Sowjetunion seit 1954 ein sehr kleiner Reaktor von 5000 kW in der Nähe von Moskau in Betrieb, der Strom für etwa 50 Mills je kWh erzeugt, und seit Anfang 1956 in Marcoule in Frankreich ebenfalls ein Reaktor mit 5000 kW Leistung, der jedoch seiner Funktion nach als reine Plutoniumfabrik anzusprechen ist. Das amerikanische Unterseeboot „Nautilus“, das Mitte 1955 in Dienst gestellt wurde, kann als militärische Anlage wohl von technischem Interesse sein, nicht aber nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten beurteilt werden.

Obleich auch künftig noch in erster Linie Versuchsanlagen gebaut werden, bestehen doch auch Pläne für den Bau von Leistungsreaktoren. In Großbritannien wird ein auffallend großzügiges Kernenergieprogramm geplant. Man hofft, innerhalb der nächsten zehn Jahre 19 Großkraftwerke auf Kernenergiebasis mit einer installierten Leistung von 5 bis 6 Mill. kW in den Dienst der öffentlichen Energieversorgung stellen zu können und rechnet mit Stromkosten, die nur geringfügig über den Kosten klassischer Elektroenergie liegen sollen, zu einem späteren Zeitpunkt vielleicht sogar darunter liegen werden. Nach neuesten Meldungen soll dieses zivile Kernenergieprogramm jedoch weitgehend auf die Produktion von Plutonium umgestellt werden, so daß Strom nur noch als Nebenprodukt erzeugt wird.

In anderen Ländern ist man weniger optimistisch, zumal in Fachkreisen heute noch erhebliche Unsicherheiten bezüglich der Erwartungen über das Investitionsvolumen, die Kosten und die Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung aus Kernenergie bestehen. Der Optimismus vergangener Jahre ist den harten Realitäten in Bau und Entwicklung von Kernenergieanlagen gewichen. In der Bundesrepublik Deutschland wird der Einsatz von Kernreaktoren zur Ergänzung des Kraftbedarfes in Anbetracht der sehr großen Reserven an Steinkohlen ausschließlich von wirtschaftlichen Überlegungen und von den technischen Fortschritten dieser neuen Stromerzeugungsmethode abhängen. Die Kernenergie soll nur in dem Ausmaß zur Deckung des Bedarfs herangezogen werden, wie ihre Nutzung wirtschaftlich zweckmäßig und gerechtfertigt ist. Zunächst sollen in der Bundesrepublik bis 1965 vier oder fünf Versuchskraftwerke mit zusammen etwa 500 000 kW errichtet werden, wobei diese Anlagen mit klassischen Energieerzeugungsanlagen noch keinesfalls wettbewerbsfähig sein werden.

DIE WIRTSCHAFTLICHKEIT DER ERZEUGUNG

Eine Wirtschaftlichkeitsrechnung ist ihrem Wesen nach eine Vergleichsrechnung, bei der die Gesteungskosten von verschiedenen Verfahren bzw. Anlagen zur Erzeugung von elektrischem Strom einander gegenübergestellt werden und diejenige Anlage die wirtschaftlichste ist, die mit den geringsten Gesteungskosten arbeitet.

Zur Stromerzeugung kommen drei Möglichkeiten in Betracht: Dampfkraftwerke auf Basis von Kohle und Öl, Wasserkraftwerke und künftig Atomkraftwerke.

Greift man aus der Vielzahl der heute aufgestellten Berechnungen über die Kosten von Kraftwerken einige Kalkulationen heraus, so kommt man zu dem Ergebnis, daß die Wirtschaftlichkeit von Atomkraftwerken, gemessen an den relativen Gesteungskosten, heute noch keinesfalls gegeben ist. Auch bezüglich der Erwartungen über die künftige Kostenentwicklung bestehen noch sehr große Unsicherheiten. Die beiden folgenden Tabellen über Stromgestehungskosten einmal von Dampfkraftwerken, zum anderen von Atomkraftwerken seien dazu als Beispiele angeführt.

Stromerzeugungskosten großer Dampfkraftwerke

Kostenelemente	Bundesrep. Deutschland	Großbritannien	USA
Baukosten in DM je kW	430—480	620—670	600—900
Kohlekosten in DM je t	52—85	32—40	18—33
Kapitaldienst 16 %	72	104	120
Stromerzeugungskosten			
7 000 Std. je Jahr			
Kohlekosten in Dpf je kWh (%)	2,70 (72)	1,55 (51)	1,16 (40)
Kapitaldienst in Dpf je kWh (%)	1,03 (28)	1,49 (49)	1,72 (60)
Gesamterzeugungskosten			
in Dpf je kWh	3,73	3,04	2,88

Quelle: F. Münzinger: „Bemerkungen zur Wirtschaftlichkeit von Atomkraftwerken“, in: Gesamtbericht der Weltkraftkonferenz, Wien 1957, Band 14, S. 4926.

Stromgestehungskosten verschiedener Kernreaktoren

Eigentümer	Ort	Inbetriebnahme	elektrische Leistung in 1000 kW	Gestehungskosten in Mills/kWh
UK-AEA	Calder Hall	1956	32,5	21,3
UK-AEA	Chapel Cross	1961/62	150	12,8
UK-AEA	Chapel Cross	.	200	11,3
UK-AEA	.	.	170	14,5
US-AEC	Shippingport	1957	52	44—65
US-Com.
Edison	Indian Point	1960	219	9,4
US-AEC	Idaho	1955	3,5	34,6
US-AEC	Lemont	1956	9	21,8
US-CPPD	Nebraska	1959	71	12,5
US-Cons.
Edison	Chicago	1960	180	8,3

Quelle: „Die Anwendung der Kernenergie zur Kraft- und Stromerzeugung und ihr Einfluß auf den Kohlenbergbau“, hrsgg. v. Studienausschuß des westeuropäischen Kohlenbergbaues, Essen 1956, S. 74.

Bei der Ermittlung der Gesteungskosten der Stromerzeugung aus Kernkraftwerken bestehen freilich noch große Ungewissheiten, da es sich fast nur um Schätzungen handelt, die auf hypothetischen Werten aufbauen. Die im Schrifttum genannten Werte werden häufig innerhalb gewisser Variationsbreiten angegeben. Trotzdem weichen sie unter sonst gleichen Bedingungen beträchtlich voneinander ab. Das rührt hauptsächlich daher, daß es im allgemeinen vermieden wird, diese Kalkulationen auf einen bestimmten Zeitpunkt zu beziehen, so daß völlig falsche Vorstellungen über die Zeitspanne der Einschaltung der Kernenergie entstehen. Das Ergebnis der Verwechslung gegenwärtiger und zukünftiger Kosten ist dann, daß z. B. die Angaben in der britischen, der amerikanischen und der deutschen Literatur grobenteils den Eindruck erwecken, als seien Kernkraftwerke heute bereits konkurrenzfähig. In Wirklichkeit würde jedoch das britische Atomkraftwerk Calder Hall heute unter

„marktwirtschaftlichen“ Bedingungen den Strom etwa zum dreifachen Preis liefern. Das erste große amerikanische Atomkraftwerk in Shippingport produziert Strom etwa zum zehnfachen Preis, und auch die Kosten des Stromes aus dem ersten sowjetischen Kernkraftwerk liegen um ein „Vielfaches“ über denjenigen klassischer Anlagen.

Bei der Untersuchung der Kostenstruktur von Atomkraftwerken konnte ferner festgestellt werden, daß die geschätzten Gesteungskosten der Kernenergie und damit ihre Wirtschaftlichkeit von einer Reihe nicht technisch bedingter Faktoren stärker abhängen als von spezifischen Faktoren der Reaktortechnologie. Diese Faktoren sollen in diesem Zusammenhang kurz analysiert werden.

Wahl der Betriebsgröße

Während die Gesamtkosten von Kernkraftanlagen durch die Wahl des Reaktortyps z. B. nur unwesentlich beeinflußt werden, hat die Wahl der Betriebsgröße der Anlage wegen des Vorherrschens fester Kosten sehr entscheidende Bedeutung. Die Größe des Kernkraftwerkes scheint tatsächlich der wesentlichste Faktor zu sein, der die Gesteungskosten der Kernelektrizität beeinflußt. Um die Kostendegression bei steigender Kapazität auszunutzen, wurde z. B. das ursprüngliche Kernenergieprogramm Großbritanniens nachträglich auf den Bau sehr großer Kernkraftwerke umgestellt. So plant man den Bau von Einheiten mit 500 000 oder sogar 1 Mill. kW Kapazität; große Kohlekraftwerke haben vergleichsweise 150 000 kW elektrische Leistung. Diese Tendenz zum Bau maximal möglicher Betriebsgrößen wird jedoch vom Markt her eingeschränkt, da nur an ganz wenigen Plätzen die Konsumdichte so groß wäre, daß die mögliche Kostendegression ausgenutzt werden kann. Großkraftwerke entsprechen nicht der normalen Bedarfsstruktur; ein großer Teil der Nachfrage nach Strom ist auf Anlagen mit einer Kapazität von unter 100 000 kW gerichtet.

Auslastung der Kapazität

Innerhalb eines Verbundsystems müssen zum Ausgleich der Bedarfsspitzen erhebliche Kapazitätsreserven gehalten werden. Infolgedessen sind die Stromerzeugungsanlagen z. B. in den USA und der Bundesrepublik durchschnittlich nur zu etwa 50 % ausgelastet, wobei die Grundlast regelmäßig von anlageintensiven Wasserkraftwerken getragen wird, die Mittel- und Spitzenlast hingegen von vergleichsweise günstigeren thermischen Kraftwerken. In einem solchen Verbundsystem produziert nun ein Kraftwerk mit hohem Kapazitätsfaktor (Grundlastwerk) elektrischen Strom zu niedrigeren Kosten als bei geringerer Kapazitätsauslastung.

Wegen des Vorherrschens fester Kosten müssen nun die besonders anlageintensiven Kernkraftwerke zweckmäßigerweise sehr hoch ausgelastet werden, um Strom zu niedrigen Kosten zu erzeugen. So produziert ein Kernkraftwerk bei 40 % Auslastung Strom um den Faktor 3 teurer als bei einem Kapazitätsfaktor von 80 %.

Atomkraftwerke können folglich innerhalb eines Verbundsystems nur als Grundlastwerke für eine wirtschaftliche Stromerzeugung eingesetzt werden, wobei sie während 24 Stunden täglich in Betrieb sind. Da Grundlastwerke meistens nur einen Anteil von 30—40 % an der Gesamtkapazität haben, kann der künftige Anteil der Kernenergie an der Gesamtkapazität aus ökonomischen Gründen auch nur maximal 40 % betragen, weil Atomstrom zur Deckung der Mittel- und Spitzenlast zu teuer werden würde. Dieses Ergebnis ist nebenher gesamtwirtschaftlich bedeutsam, denn es zeigt, daß die klassischen Kraftwerke mindestens die Hälfte des gesamten Strombedarfs auch weiterhin befriedigen müßten und daß Kohle und Wasserkraft ihre Bedeutung als Hauptenergieträger in der Stromversorgung auch in Zukunft nicht verlieren werden.

Einfluß des Zinssatzes

Die anlageintensiven Kernkraftwerke produzieren Strom mit einem besonders hohen Anteil fester Kapitalkosten, zu denen neben der Abschreibung die Kosten für das überlassene Geldkapital gehören. Der Zinssatz für das investierte Kapital hat einen wesentlichen Einfluß auf die Stromgestehungskosten eines Kernkraftwerkes. Er schwankt von Land zu Land und hängt von der Art der Finanzierung ab.

Die Bedeutung von Zinsunterschieden soll an einem Beispiel verdeutlicht werden: In den USA erfordert die normale Art privater Finanzierung etwa 14 % jährlichen Kapitaldienst, während der Staat die Mittel aus dem öffentlichen Haushalt für etwa 5 1/2 % vergibt. Ein Steinkohlenkraftwerk mit Anlagekosten von 200 \$ je kW würde entsprechend bei privater Finanzierung den Strom für 4,0 Mills je kWh liefern, bei Finanzierung aus öffentlichen Mitteln hingegen für 1,5 Mills. Kernenergiekraftwerke reagieren nun aber wegen ihrer höheren Kapitalintensität noch stärker auf Zinsfußänderungen als Kohlekraftwerke. Da sehr viele Elektrizitätswerke auch in westlichen Ländern als Versorgungsunternehmen von der öffentlichen Hand betrieben werden, ist ein Vergleich ihrer Stromgestehungskosten mit denjenigen Kraftwerken, die marktwirtschaftlich finanziert wurden, wegen der unterschiedlichen Finanzierungsbasis schwierig. In Großbritannien liefert z. B. das Calder Hall-Kraftwerk den Strom deshalb heute schon sehr billig, weil der Staat dafür öffentliche Mittel zu einem vergleichsweise außerordentlich niedrigen Zinssatz zur Verfügung gestellt hat.

Die Bedeutung der Spaltstoffkosten

Die Spaltstoffkosten sind bei der Erzeugung von Atomstrom gegenwärtig noch ein kaum bestimmbares Kostenelement. Sie umfassen die Gewinnungskosten des natürlichen Urans, die Kosten der eventuellen Anreicherung des Kernbrennstoffs mit dem spaltbaren Isotop U 235, die Herstellung der Brennstoffelemente und die Wiederaufbereitung der verbrauchten Kernbrennstoffe. Da die Urangewinnung in erster Linie nicht aus wirtschaftlichen, sondern aus militärischen

Interessen von den Regierungen der einzelnen Länder betrieben wird und für den Staat primär die geförderten Mengen und nicht die damit verbundenen Kosten eine Rolle spielen, stellt die staatliche Preisbildung für Uran nur ein Hilfsmittel dar, das einen Kompromiß zwischen Politik und Kosten widerspiegelt. Bis heute gibt es noch keinen Marktpreis für Uran oder andere spaltbare Stoffe; die echten Kosten sind eine bloße Vermutung. Es ist auch nicht anzunehmen, daß die Spaltstoffkosten künftig einmal auf eine kaum mehr ins Gewicht fallende Größe absinken werden. Sie werden künftig vielleicht etwa die Hälfte der Brennstoffkosten für ein Kohlekraftwerk ausmachen, während sie heute in Calder Hall die gleiche Größenordnung, im Kernkraftwerk Shippingport sogar rund das Sechsfache der Kohlekosten eines normalen Dampfkraftwerkes betragen.

Die Problematik der Plutoniumgutschrift

In den sogenannten Brutreaktoren wird aus dem natürlichen Uran U 238, das zu 0,7% das spaltbare Isotop U 235 enthält, durch Neutronenbestrahlung ein neuer Spaltstoff, Plutonium 239, erzeugt. Falls der Brut- oder Konversionsfaktor dabei größer als 1 ist, entsteht bei diesem Prozeß sogar mehr spaltbares Material, als ursprünglich eingesetzt wurde. Dieses Plutonium läßt sich durch chemische Abtrennung vom Uran gewinnen und wird meistens als Erlös in die Stromkostenkalkulation eingesetzt. Die Gewinnung des Plutoniums ist sehr kostspielig und erfolgt heute noch ausschließlich zur Herstellung von Atombomben. Als solches hat es einen hohen politischen Wert, aber keinen Marktwert, zumal es sich wegen ungünstiger metallurgischer Eigenschaften zur Zeit noch nicht als Spaltstoff für Kernkraftanlagen eignet.

Die Bewertung des Plutoniums hängt damit von politisch-strategischen Überlegungen ab; eine Gutschrift dafür wäre z. B. in der Bundesrepublik Deutschland nicht möglich.

In bezug auf die Festsetzung der Uranpreise und Bewertung der Plutoniumerlöse ist daher in manchen Ländern die Möglichkeit einer versteckten Subvention gegeben, die eine Wirtschaftlichkeitsrechnung undurchsichtig macht. Welche Bedeutung der Bewertung des Plutoniums beizumessen ist, geht daraus hervor, daß der für dieses Nebenprodukt angesetzte Wert in manchen Kalkulationen die Kosten des eingesetzten Urans deckt, so daß durch die Plutoniumgutschrift die Brennstoffkosten entfallen.

Das Ergebnis der aufgezeigten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist also, daß — wie aus den bisherigen Schätzungen ersichtlich ist — Kernkraftwerke vorläufig noch nicht wettbewerbsfähig sind, da die Gestehungskosten der Kernenergie unter marktwirtschaftlichen Bedingungen heute noch um ein Mehrfaches über den Kosten für klassische Energie liegen. Die Entwicklung der Atomkraft wird in jedem Falle relativ langsam voranschreiten, da die Baukosten von Atomkraftwerken heute etwa das Vierfache von den-

jenigen für Kohlekraftwerke betragen und ferner die Schätzungen der Gestehungskosten durch die Experten der Genfer Atomkonferenz 1955 um 50 bis 200% zu niedrig lagen und inzwischen erheblich revidiert werden mußten. Dennoch bestehen begründete Hoffnungen, daß langfristig mit stärkeren Kostensenkungen bei Kernkraftwerken zu rechnen ist. In dieser Hinsicht ist die Betriebsgröße wahrscheinlich der wesentlichste Faktor, der die Wirtschaftlichkeit von Atomkraftwerken beeinflussen wird.

FINANZIERUNGSMÖGLICHKEITEN FÜR KERNKRAFTWERKE

Aus neueren amerikanischen Schätzungen geht eindeutig hervor, daß die Baukosten mittlerer Kernkraftwerke durchschnittlich etwa das Drei- bis Sechsfache derjenigen von Kohlekraftwerken gleicher Größe betragen, in extremen Fällen sogar um den Faktor 10 höher liegen. Die Entwicklung der letzten Jahre hat ferner gezeigt, daß alle bisherigen Schätzungen beträchtlich nach oben revidiert werden mußten. Die Folgerung daraus ist die, daß bei der Erstellung eines mittleren Kernkraftwerkes wahrscheinlich etwa das Vierfache des Kapitals investiert werden muß, das zur Errichtung eines gleichgroßen Dampfkraftwerkes benötigt wird, was gesamtwirtschaftlich betrachtet wiederum bedeutet, daß mit einer bestimmten Kapitalsumme etwa die vierfache Kapazität elektrischer Leistung erstellt werden kann, wenn man Dampfkraftwerke statt Kernkraftwerke baut. Dieser hohe Investitionsbedarf für Kernkraftwerke stellt den Kapitalmarkt oder den Staatshaushalt des jeweiligen Landes vor große Probleme. Abgesehen davon, daß Kernkraftwerke heute und in nächster Zukunft noch nicht wettbewerbsfähig sein werden, würde die Kapitalaufbringung zur Finanzierung eines großen Kernenergieprogramms die Leistungsfähigkeit kleinerer Länder, insbesondere auch von Entwicklungsländern, überschreiten, so daß die industrielle Nutzung der Kernenergie im wesentlichen den größeren Industriestaaten vorbehalten bleibt. Selbst in diesen Ländern wird die Entwicklung der Atomkraft wegen Finanzierungsschwierigkeiten wahrscheinlich langsamer voranschreiten, als es in einigen ehrgeizigen politischen Programmen vorgesehen ist. Mit einiger Sicherheit kann daher gesagt werden, daß kleine und unterentwickelte Länder nicht nur in der Hoffnung getäuscht werden, daß durch die Kernenergie ihr Lebensstandard gehoben werden kann, sondern im Gegenteil feststellen müssen, daß sich ihre technische und wirtschaftliche Position gegenüber den Industrieländern wegen solcher Finanzierungsschwierigkeiten eher relativ verschlechtern wird.

Das britische Atomprogramm sieht bis 1965 die Erstellung von 5—6 Mill. kW Kernenergiekapazität vor, was größenordnungsmäßig etwa 1 Mrd. £ kosten würde. In der Bundesrepublik Deutschland sollen bis 1965 minimal 500 000 kW, maximal 1,5 Mill. kW Kernenergiekapazität erstellt werden, was einen Finanzbedarf von 0,9 bis 2,5 Mrd. DM erfordert. Demgegenüber hätten klassische Kraftwerke immer den bedeu-

tenden Vorzug wesentlich niedrigerer Investitionskosten, so daß man der Wirtschaft weniger Kapital zu entziehen braucht.

In der Bundesrepublik wird von der Regierung und der Wirtschaft die Auffassung vertreten, daß die Energiewirtschaft genau wie jeder andere Wirtschaftszweig den Investitionsbedingungen des freien Kapitalmarktes unterworfen bleiben muß. Es wäre auf die Dauer nicht gerechtfertigt, die Atomenergie durch Begünstigungen aus dem freien Markt auszuklammern. Lediglich am Anfang sollen für die Laufzeit des jetzigen Atomprogrammes öffentliche Mittel als Starthilfe gegeben werden, um in absehbarer Zeit den Anschluß an den Entwicklungsstand des Auslandes zu finden. Neben einer Direktbeteiligung der öffentlichen Hand bis zu etwa zwei Dritteln an den Gesamtkosten der ersten Anlagen sind Steuerbegünstigungen und Abschreibungserleichterungen vorgesehen, dagegen keine Subventionen.

Während sich z. B. die deutschen Elektrizitätswerke zu etwa 80 % als Kommunalunternehmen in öffentlicher Hand befinden, jedoch im Rahmen der Marktwirtschaft in privater Rechtsform nach kaufmännischen Grundsätzen geführt werden, ist die Elektrizitätswirtschaft beispielsweise in Großbritannien und Frankreich verstaatlicht worden und unterliegt damit auch staatswirtschaftlichen Finanzierungsgrundsätzen. Dies ist bei der Kapitalintensität von Kernkraftwerken einmal in bezug auf die Beschaffung des Kapitals von Bedeutung, da öffentliche Mittel meistens leichter aufgebracht werden können, zum anderen im Hinblick auf die Gesteungskosten des Atomstroms, da staatliches Kapital regelmäßig zu niedrigeren Zinssätzen bereitgestellt werden kann. Die unterschiedliche Art der Finanzierung in den einzelnen Ländern spielt natürlich bei einem Vergleich der Gesteungskosten eine sehr entscheidende Rolle.

Im Endergebnis sind die Fragen der Finanzierung von Atomkraftwerken wegen der etwa um den Faktor 4 höheren Baukosten bei der Errichtung von Kraftwerken auf Kernenergie- statt auf Kohlebasis jedenfalls noch ziemlich ungelöst. Eben die Aufbringung eines so erheblichen Mehrbedarfes an Investitionskapital, das den übrigen Wirtschaftszweigen dann entzogen werden muß und deren Produktivität beeinträchtigen wird, stellt eine wesentliche Schwierigkeit eines Energieversorgungsprogrammes auf Basis von Atomkraftwerken dar.

DIE ENTWICKLUNG DER ENERGIEVERSORGUNG

Über die Entwicklung der Energieversorgung in den wichtigsten Ländern der Welt liegen zahlreiche neuere Untersuchungen von verschiedenen Stellen vor. Im europäischen Raum beschäftigt sich die OEEC sehr intensiv mit energiewirtschaftlichen Forschungsarbeiten.

Das Ergebnis dieser regionalen und globalen Untersuchungen ist die Feststellung, daß — abgesehen von einer ganz geringen Zahl von Ländern — fast in allen

Gebieten nachweisbar große Reserven an klassischen Energieträgern vorhanden sind, die für weit mehr als hundert Jahre ausreichen können. Legt man einen Planungszeitraum von hundert Jahren zugrunde, kann jedenfalls von einer generellen Energielücke keine Rede sein, so daß von der Energieversorgungsseite her gesehen keine zwingende Notwendigkeit zur baldigen Einschaltung der Kernenergie besteht. Sicher sind Kohle, Erdöl und Wasserkräfte in allen Ländern knapp, aber vor allen Dingen wegen der Knappheit an Kapital zum Aufschließen der Reserven und teilweise wegen ungenügender Investitionsplanung.

Die Bundesrepublik z. B. verfügt über etwa drei Viertel der Kohlereserven der Montanunion und steht mithin verhältnismäßig günstig da. Zeitweilige Verknappungen waren auf Förderengpässe zurückzuführen, deren Ursachen unzureichende Erweiterungsinvestitionen und mangelnde Kapitalbildung waren.

Wesentlich ungünstiger ist die Lage z. B. in Großbritannien, das zwar ebenfalls über recht beachtliche Kohlenreserven verfügt, wo aber nur noch in sehr beschränktem Ausmaß Bergleute für die Untertagearbeit zu gewinnen sind. Aus diesem Grunde sind die Anstrengungen zur beschleunigten Nutzbarmachung der Atomenergie hier verständlich, zumal die Abhängigkeit von Energieeinfuhren sehr groß geworden ist und ständig weiter zunimmt, was zu erster Besorgnis Anlaß gibt. Um die Stromversorgung auf jeden Fall zu gewährleisten, werden daher künftig Atomkraftwerke in das Versorgungsnetz mit einbezogen und höhere Energiekosten in Kauf genommen.

In den USA und in der Sowjetunion bestehen außerordentlich beachtliche Reserven an klassischen Energieträgern. In diesen Gebieten wird die Energieversorgung innerhalb der nächsten fünfzig Jahre kein Mangel-, sondern ein Überschußproblem werden; der Einsatz von Kernkraftwerken dürfte aus Versorgungsgründen innerhalb dieses Zeitraumes überflüssig sein. Freilich sind sehr große Investitionen zur Erschließung der klassischen Energieträger nötig.

Zu den Ländern mit geringen klassischen Energie-reserven, in denen die Nutzung der Kernenergie aus Versorgungsgründen in absehbarer Zeit nötig werden könnte, gehören Japan, Italien, Belgien, die Niederlande und Dänemark.

Da sich der Platz eines Energieträgers in erster Linie nach seinen relativen Gesteungskosten richtet, wird man künftig zuerst das noch verfügbare Wasserkraftpotential ausbauen, denn Hydroenergie ist in fast allen Ländern verhältnismäßig billig. Danach werden zunächst Braunkohle, Erdöl, Erdgas und Steinkohle zur Stromerzeugung eingesetzt werden, und der Atomenergie wird erst zu einem sehr viel späteren Zeitpunkt ein bescheidener Anteil an der Versorgung zukommen.

Fraglos werden Kernkraftwerke in den nächsten fünfzig Jahren an wirtschaftlicher Bedeutung gewinnen, doch entspricht eine angebliche generelle Gefährdung

der Energieversorgung nicht der Wirklichkeit, und die angebliche Energielücke ist sicher der unbedeutendste Faktor, der den Einsatz von Kernkraftwerken innerhalb der nächsten zwanzig Jahre erforderlich machen wird.

DIE VERFUGBARKEIT VON SPALTSTOFFEN

Als Kernbrennstoff eignet sich heute nur das im natürlichen Uran 238 zu 0,7 % enthaltene spaltbare Isotop U 235. Man kann nun in einem Kernreaktor entweder größere Mengen natürlichen Urans oder kleinere Mengen des nach einem sehr kostspieligen Verfahren angereicherten Kernbrennstoffs verwenden.

Durch Neutronenbestrahlung läßt sich in einem sogenannten Brutreaktor ferner aus Thorium TH 232 das spaltbare Isotop U 233 und aus Uran 238 das künstliche Element Plutonium 239 gewinnen. Beides sind Spaltmaterialien oder Kernbrennstoffe, die jedoch aus metallurgischen Gründen bei der Kernenergiegewinnung noch nicht genutzt werden können.

Uran und Thorium sind keineswegs seltene Metalle. Sie kommen fast überall auf der Erdoberfläche sogar in großen Mengen vor, leider jedoch in hochgradiger Dispersion und entsprechend geringer Konzentration, so daß eine Gewinnung und Aufbereitung dieser Mineralien an den meisten Plätzen unwirtschaftlich wäre. Die guten und abbauwürdigen Lagerstätten sind sehr ungleichmäßig verteilt. Deshalb hängt die Verfügbarkeit von Spaltmaterial heute stark von politischen Faktoren ab.

Nach übereinstimmenden Schätzungen sollen die Weltvorräte an Kernbrennstoffen kalorienmäßig sehr viel größer sein als diejenigen fossiler Brennstoffe; sie sollen für mehrere tausend Jahre reichen, so daß aus ökonomischen Gründen keine Mangellage in der Kernbrennstoffversorgung zu erwarten wäre.

Uran kommt in konzentrierter Form hauptsächlich als Pechblende vor, daneben auch in Lagerstätten von Carnotit, Pegmatit, Zirkonsilikat, im Monazitsand, in Golderzen und Ölschiefern. Die fünf größten Gebiete der Welt, in denen heute Uran gewonnen wird, sind:

1. die Pechblende führenden Erzgänge des Erzgebirges in der deutschen Sowjetzone,
2. die Pechblendelagerstätten des Großen Bärenssees und des Athabaskasees in Kanada,
3. die reichen Pechblendevorkommen von Shinkolobwe in Belgisch-Kongo,
4. die Carnotitvorkommen des Coloradoplateaus in den USA,
5. die goldführenden Konglomerate des Witwaterandes in Südafrika.

Neben diesen fünf größten Uranproduzenten stehen als nächstbedeutendste Staaten Australien, Frankreich und Portugal. Die größten Thoriumproduzenten sind zur Zeit Indien, Brasilien und Frankreich.

Obgleich Uranproduktionsziffern weitgehend geheim gehalten werden, sind einzelne Schätzungen angestellt worden, von denen eine in der nachfolgenden

Tabelle dargestellt ist. Die Zahlen geben ein abschlußreiches Bild über die ländermäßige Struktur und Entwicklung der Uranförderung, sind aber als Schätzwerte mit Zurückhaltung zu betrachten.

Schätzungen der Uranreserven und der Uranoxydproduktion in einigen Ländern

Land	Nachgewiesene Reserven		Jahresproduktion von Uranoxyd in t	
	Uranerz in 1000 t	Uranoxydgehalt in t	1957	1958
Kanada	225 000	237 000	3 300	12 500
UdSSR				10 000
USA	60 000	150 000	6—8 000	7 000
Südafrikan. Union	1 100 000	375 000	3—5 000	4 000
Belg.-Kongo			2—3 000	
Frankreich	100		300	500
Australien				2 000

Quelle: „Economic Application of Atomic Energy“, hrsgg. v. d. UN, New York 1957, S. 105, mit einigen Ergänzungen des Verfassers.

Die Produktionszahlen betragen ein Mehrfaches des zu erwartenden Bedarfs, so daß mit großen Lagerhaltungen und eventuell mit Preissenkungen für Kernbrennstoffe zu rechnen ist. Im Raum der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft könnten allein die französischen Reserven die Bedarfsdeckung auf Jahrzehnte hinaus sichern. Da aber fast jedes Land selbst Uran produzieren kann — wenngleich mit vielleicht sehr hohen Kosten —, ist mit Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß die bis heute bestehenden Monopole einzelner uranreicher Länder künftig an Bedeutung verlieren und wirtschaftliche Faktoren Angebot, Nachfrage und Preise bestimmen werden. Jedes Land muß daher früher oder später vom politischen und wirtschaftlichen Standpunkt eine Untersuchung darüber anstellen, ob es vorteilhafter ist, Kernbrennstoffe im eigenen Land zu gewinnen oder vom Ausland zu importieren, wobei der Standpunkt, durch mehrfach höhere Kosten eine auslandsunabhängige eigene Kernbrennstoffproduktion zu erkaufen, politisch eventuell realistisch, aber wirtschaftlich auf die Dauer nicht vertretbar sein dürfte.

DIE VERFUGBARKEIT VON FACHKRÄFTEN

Die Grundlagen der Kernspaltung sind in den letzten fünfzehn Jahren eingehend erforscht und auch veröffentlicht worden; bei den heutigen Entwicklungsarbeiten stehen die Schwierigkeiten der technischen Konstruktion von Kernspaltungsanlagen im Vordergrund. Die Entwicklung von Atomreaktoren wird heute nicht mehr in erster Linie von Theoretikern, sondern von Experimentalphysikern, Ingenieuren, Chemikern und Technikern getragen. Eine möglichst große Zahl solcher Fachleute und eine möglichst wirkungsvolle Zusammenarbeit dieser sind die Voraussetzung dafür, daß schnelle Fortschritte erzielt werden können. In den meisten Ländern besteht heute aber ein recht fühlbarer Mangel an Fachkräften, die eine grundlegende Ausbildung in der Reaktorphysik und -technik haben. Da die öffentlichen Ausbildungsstätten der westlichen Staaten, mit Ausnahme der Atomgroßmächte, das Gebiet der Kernforschung fast unbeachtet lassen, ist die Industrie im wesentlichen auf Selbsthilfe angewiesen.

So haben sich z. B. namhafte Unternehmen durch Schulung ihrer Ingenieure im Ausland eigene Stäbe von Kernenergiefachleuten herangebildet. In der Sowjetunion wird eine planmäßige staatliche Ausbildung von Reaktorspezialisten betrieben; die Zahl von Hoch- und Fachschulabsolventen hat hier einen sehr hohen Stand erreicht.

Da die Forschung und Ausbildung von Fachkräften sehr viel Geld kostet und ihrerseits Universitäten, Technische Hochschulen und Lehrkräfte voraussetzt, sind auch hier die materiell hochentwickelten Länder im Vorteil gegenüber der Mehrzahl der weniger entwickelten Länder. Dadurch wird das technische „know how“ zu einem die Kernenergieentwicklung entscheidend bestimmenden Faktor.

DIE NATIONALE ATOMPOLITIK

Der letzte hier untersuchte Faktor, der den Einsatz von Leistungsreaktoren zur Stromerzeugung wesentlich mitbestimmt, ist die Atompolitik der Regierung des jeweiligen Staates. Wie bereits festgestellt wurde, erfolgte die Nutzung der Kernenergie bisher in erster Linie aus militärischen und politischen Gründen und erst sekundär aus wirtschaftlichen Motiven. Es gibt leider wenig begründete Hoffnungen, daß sich dies in allernächster Zukunft ändern wird. Die Gewinnung des strategisch wichtigen Plutoniums ist bei den Atomgroßmächten der wesentliche Motor der Kernenergieinvestitionen. Die USA, Großbritannien und Frankreich haben bisher etwa 80 % ihrer Kernenergieinvestitionen aus dem Verteidigungsetat finanziert. Bei dieser militärischen Zweckforschung fallen die Ergebnisse für die zivilen Nutzungsmöglichkeiten nebenher ab.

Für die Bundesrepublik Deutschland ergibt sich in dieser Hinsicht eine besondere Lage. Da in den Pariser Verträgen 1955 auf jegliche militärische Anwendung der Atomenergie verzichtet wurde, entfallen strategische Atominvestitionen in Westdeutschland völlig, wohingegen dem Ausland aus der mit groß-

zügigen Mitteln geförderten militärischen Kernforschung zugleich im Hinblick auf die zivile Atomenergienutzung große Vorteile erwachsen. Da Kernkraftwerke mehrfach höhere Baukosten haben und ihre Wirtschaftlichkeit bis heute noch von keiner Seite garantiert werden konnte, wird der Bau von Leistungsreaktoren zur Stromerzeugung in Deutschland voraussichtlich sehr langsam voranschreiten. Der von der Deutschen Atomkommission empfohlene Ausbau von 500 000 kW Kernenergiekapazität bis 1965 entspräche ohnehin nur etwa einem Zehntel des Investitionsvolumens, das die Euratomexperten als anteiliges Ziel für Deutschland vor einem Jahr aufgestellt haben. Gegenwärtig ist in der Bundesrepublik zunächst nur der Bau von Forschungsreaktoren interessant.

Welch unterschiedliche Bedeutung die einzelnen Regierungen der militärischen und wirtschaftlichen Atomenergienutzung beimessen, geht aus der folgenden Tabelle hervor.

Ausgaben für die Atomforschung
in verschiedenen Ländern 1955

Land	Gesamt- ausgaben in £	Anteil am Volks- einkommen in %	Anteil am Staatshaushalt in %
Australien	2 000	0,64	3,1
Belgien	280	0,12	0,5
Kanada	11 700	1,77	7,6
Frankreich	22 700	1,80	6,6
Italien	970	0,18	0,7
Japan	260	0,04	0,2
Niederlande	44	0,02	0,1
Norwegen	83	0,09	0,4
Spanien	1 400	0,52	4,4
Schweden	145	0,06	0,2
Großbritannien	53 700	3,50	11,0
USA	690 000	6,50	31,0

Quelle: Gueron, Lane u. a.: „Progress in Nuclear Energy“, in: The Economics of Nuclear Energy, London 1956, Vol. VIII, S. 5.

Wenngleich es schwierig ist, ein abschließendes Urteil zu finden, so scheinen heute doch militärische Interessen, Autarkiebestrebungen und Prestigeinvestitionen in der nationalen Atompolitik eine nicht unbedeutende Rolle zu spielen.

Summary: Factors Determining the Scope of Utilization of Nuclear Energy. The author investigates the problems of the economic utilization of atomic energy. As energy production in nuclear power stations is as yet not remunerative at present, atomic energy is not so much an economic factor as a political and military one. Therefore today the construction of research reactors is uppermost which serve for the acquirement of the necessary experience. Up to now there exist only two big plants which might be called power stations, although primarily they produce plutonium: Calder Hall in Great Britain and Shipping Port in U.S.A. Construction cost of atomic power stations amount to many times the cost

Résumé: Exploitation future de l'énergie atomique industrielle — facteurs déterminants. — L'auteur analyse les problèmes de l'énergie atomique industrielle. Eu égard au fait que la rentabilité de la production de l'énergie atomique n'est pas encore assurée, cette ressource énergétique représente, à l'heure actuelle, seulement un facteur politico-militaire, et pas encore un facteur économique. Ceci explique la concentration des efforts sur la construction de réacteurs d'essai: Il faut réunir la documentation et les expériences nécessaires susceptibles d'assurer l'exploitation future pour des buts industriels. Jusqu'à présent il n'y a que deux entreprises complexes qualifiées de centrales atomiques, bien que la priorité soit donnée à la production de plutonium. Les frais de construction pour les centrales atomi-

Resumen: Factores decisivos para la dimensión del uso de la energía nuclear. — El autor examina los problemas del aprovechamiento económico de la fuerza atómica. Dado a que todavía no es utilizada la energía nuclear en las instalaciones de fuerza nuclear para la generación de energía eléctrica, representa la energía atómica mas bien un factor politico-militar que un factor económico. Por esto se encuentra en primer plano la construcción de reactores que sirven como instalaciones experimentales y posibilitan la adquisición de las experiencias necesarias. Actualmente existen únicamente dos grandes instalaciones que pueden ser denominadas como instalaciones centrales de fuerza motriz, aunque producen principalmente plutonio: Calder Hall en Inglaterra y Shipping Port en los Estados Unidos de Norteamérica. Los costos de construcción para las instalaciones de energía nuclear son

necessary for the erection of traditional power plants. Also operating costs are higher than those of steam- and hydraulic- power stations in spite of the plutonium prices conditioned by politics. The author is of the opinion that the development of atomic energy will progress but slowly as the view of a general shortage of sources of energy does not correspond to reality. Thus the construction of nuclear power stations does not seem to be necessary for the next twenty years in order to fill a gap in energy supply. As atomic power stations require a considerable amount of capital assets and therefore could only be used in an electricity grid system if their capacity is always completely utilized, their maximum share in the total capacity of energy supply for economic reasons will probably amount to 40 %. Coal also in future will remain the principal source of energy in most countries.

ques remontent à un multiple des frais encourus pour les centrales classiques, et les frais d'exploitation dépassent le niveau traditionnel, même abstraction faite des prix de plutonium, déterminés par des raisons politiques. Selon l'auteur le progrès de l'énergie atomique industrielle prendra beaucoup de temps, étant donné que l'argument assez répandu de la pénurie augmentante des ressources énergétiques classiques est erroné. Pendant les deux prochaines décades il ne serait pas nécessaire de procéder à la construction de centrales atomiques pour combler le déficit en énergie électrique. Vu que les centrales atomiques en raison de leurs besoins en capital importants ne formeront qu'un élément de base dans une concentration verticale, leur contribution maximum à l'approvisionnement total en énergie électrique ne dépassera pas 40 %. Pour la plupart des pays le charbon continuera donc à représenter la ressource énergétique fondamentale.

mucho más altos que los necesarios para la construcción de las tradicionales instalaciones de energía motriz. También los gastos de producción, son mayores que en las instalaciones de fuerza motriz para vapor y agua, a pesar de que los precios del plutonio están estipulados por medio de la política. En opinión del autor va a avanzar el desarrollo de la energía nuclear muy lentamente, ya que el concepto de una escasez general de materias primas de energía no se ajusta a la realidad, y por eso no será considerada como necesaria la construcción de instalaciones de energía nuclear como complemento a la falta de energía en los próximos veinte años. Dado a que las instalaciones de energía nuclear pueden ser estructuradas únicamente como instalaciones básicas en un sistema compound, debido a su intensidad de capital, será su participación máxima dentro de la capacidad total de abastecimiento aproximadamente por causas económicas. El carbón seguiría siendo en la mayoría de los países la fuente más importante de energía.