

Energieaufwand für Bau und Betrieb von Kernkraftwerken

Von M. Bald, Erlangen, H. Harig, Essen, und A. Voss, Jülich

In der öffentlichen Diskussion um den wirtschaftlichen Nutzen der Kernenergie wird u. a. behauptet, daß durch die Errichtung und den Betrieb von Kernkraftwerken mehr Energie verbraucht, als von diesen erzeugt werde. Der geplante Ausbau der Kernenergie würde also nicht zu einer Verringerung unserer Abhängigkeit von den fossilen Primärenergieträgern beitragen können, sondern im Gegenteil ihren Bedarf noch erhöhen.

Dieser Frage sind die Verfasser nachgegangen. Dabei wurde von einem Leichtwasserreaktor mit 1300 MWe Leistung und dem Ausbau der KKW-Kapazität entsprechend der 1. Fortschreibung des Energieprogramms der Bundesregierung ausgegangen, um zu einem heute für die BRD typischen Bild zu gelangen. Außerdem wurde zum Vergleich ein Steinkohlekraftwerk heutiger Bauart herangezogen.

Untersuchungsmethoden

Zunächst sei einmal festgehalten, daß ebenso, wie jede Herstellung von Produkten mit Energieaufwand verbunden ist, auch die Bereitstellung von Energie selbst wieder einen Energieaufwand erfordert. Zur Ermittlung des gesamten Energieaufwandes eines Kraftwerkes müssen alle energetischen Vorleistungen, die zur Herstellung der Anlage und zur Bereitstellung des Brennstoffes notwendig waren, zurückverfolgt und aufsummiert werden. Ein Weg des methodischen Vorgehens besteht darin, die direkt und indirekt aufgewandten Energien in den einzelnen vorgelegten Produktionsschritten zurückzuverfolgen (Prozeßkettenanalyse). Ein zweiter Weg benutzt die Systematik der Input-Output-Rechnung und bedient sich hier der Daten der sektoralen wirtschaftlichen Verflechtungsmatrix sowie der Energiebilanz.

Beide Wege wurden verfolgt. Für die Ergebnisse der Untersuchung wurden jeweils die Zahlen verwendet, die zu höheren Energievorleistungen führen. Die Ergebnisse liegen somit auf der sicheren Seite des Toleranzbandes.

Für den Bau von Kraftwerken und deren Brennstoffversorgung werden Energieträger verschiedener Art benötigt. Um einen sinnvollen Vergleich mit der Elektrizitätserzeugung der Kraftwerke zu ermöglichen, wurden die verschiedenen Energieträger so bewertet, als seien sie zur Stromerzeugung in thermischen Kraftwerken eingesetzt worden. Dieses Vorgehen erlaubt eine unmittelbare Zuordnung von Energieaufwand und -erzeugung.

Energiebilanz eines Kernkraftwerks

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Ergebnisse unserer Untersuchung zusammengefaßt. Der ersten Zeile ist zu ent-

Vor kurzem wurde die Behauptung aufgestellt, für Errichtung und Betrieb von Kernkraftwerken werde insgesamt mehr Energie benötigt, als die Werke erzeugen. Da diese Behauptung starke öffentliche Resonanz fand, untersuchten die Verfasser diese Energiebilanz und verglichen sie mit einem Kohlekraftwerk. Dabei zeigte sich, daß diese Behauptung nicht zutrifft. Die Energiebilanz der Kernkraftwerke ist mit der der Kohlekraftwerke vergleichbar. Beide Kraftwerksarten tilgen den Energieaufwand für den Bau bereits in einer Betriebszeit von etwa einem Vollastmonat.

nehmen, daß zwischen den Energieinvestitionen pro Leistungseinheit von konventionellen Wärmekraftwerken, hier am Beispiel eines Steinkohlekraftwerkes gezeigt, und den spezifischen Energieinvestitionen eines Kernkraftwerkes kein großer Unterschied besteht.

Beim Energieaufwand für die Brennstoffversorgung und -entsorgung (2. Zeile) ist für die Kernenergie die Art der Anreicherung von entscheidender Bedeutung. Die heute praktizierte Anreicherung nach dem Diffusionsverfahren ist sehr energieintensiv und führt in diesem Vergleich dazu, daß der spezifische Energieaufwand für Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren über den entsprechenden Werten eines Steinkohlekraftwerkes liegt. Erfolgt die Anreicherung jedoch mit einer Zentrifugenanlage, womit in Zukunft ja bekanntlich in zunehmendem Maße zu rechnen ist, dann liegt der spezifische Energieaufwand für die Brennstoffversorgung von Kernkraftwerken erheblich unter dem Energieaufwand für die Brennstoffversorgung eines Kohlekraftwerkes.

Setzt man den Energieaufwand beim Bau eines Kraftwerkes ins Verhältnis zu der während seiner Lebensdauer erzeugten, jedoch um den Energieaufwand für die Brennstoffversorgung bereinigten Produktion, so ergeben

Tabelle 1: Energieaufwand bei Bau und Betrieb von Kraftwerken

	Steinkohlekraftwerk	Kernkraftwerk mit LWR Anreicherung durch	
		Diffusion	Zentrifuge
Spezifischer direkter und indirekter Energieaufwand für den Bau des Kraftwerkes (MWh_{el}/MWe_{el}) ¹⁾	672	745	745
Spezifischer direkter und indirekter Energieaufwand des Brennstoffs (MWh_{el}/MWe_{el} bei 8.760 Vollaststunden) ²⁾	233	570 (Erstkern) 347 (Nachladg.)	102 (Erstkern) 63 (Nachladg.)
Anteil der in den Bau des Kraftwerks investierten Energie an der gesamten Stromerzeugung in % ³⁾	0,42%	0,47%	0,46%
Soviel Tage muß ein Kraftwerk unter Vollast betrieben werden, um den Energieaufwand für den Bau zu „tilgen“ ⁴⁾	29	32	31

¹⁾ Bei LWR: o. Erstkern des Kernbrennstoffs.

²⁾ Nicht Energiegehalt des Brennstoffs, sondern Energieaufwand für die Brennstoffbereitstellung einschl. Entsorgung.

³⁾ Bei dem Kernbrennstoff wurde eine durchschnittliche Urankonzentration im Erz von 0,2% angenommen.

⁴⁾ Bezogen auf eine Lebensdauer von 25 Jahren und eine Auslastung von 6.500 Vollaststunden pro Jahr (ca. 75%).

⁵⁾ Der Energieaufwand für den Brennstoff wurde hier anteilmäßig bei der Erzeugung berücksichtigt.

Anschrift der Verfasser:
Dipl.-Volksw. M. Bald, Kraftwerk Union AG., 8520 Erlangen, Postfach 3220;
Dr.-Ing. H.-D. Harig, Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG., 4300 Essen, Postfach 27;
Dr.-Ing. A. Voss, Kernforschungsanlage Jülich, 5170 Jülich, Postfach 1913.

Ein Teil der hier genannten Zahlen entstammt einer bisher unveröffentlichten Studie von G. Kolb, F. Niehaus, St. Rath-Nagel, R. Turowski, A. Voss, alle KFA Jülich.

sich fast gleich große Anteilswerte im Promillebereich. Ein Kernkraftwerk mit Leichtwasserreaktor beispielsweise benötigt knapp 0,5% seiner über 25 Jahre bei jährlich 6500 Vollastbenutzungsstunden erzeugten Energie, um die in der Anlage (ohne Kernbrennstofferausstattung) investierte Energie zu decken.

Der gleiche Sachverhalt läßt sich auch durch die Frage nach der Zeit beantworten, in der bei Vollastbetrieb die Energievorleistungen „getilgt“ sind. Das Ergebnis, jeweils etwa ein Monat, ist der letzten Zeile der Tabelle zu entnehmen.

Energiebilanz von Kraftwerkssystemen

Neben der energetischen Analyse einzelner Kraftwerke kann man auch den Ausbau des Kraftwerkssystems einer derartigen Betrachtung unterziehen. Hierbei geht es um die Frage, wie lange in ein Energieumwandlungssystem Energie investiert werden muß, bevor es Energie produzieren kann. Da die Energiebilanz einer Kraftwerksausbaustategie am Anfang immer negativ ist, gibt es prinzipiell immer eine Zuwachsrate, bei welcher der Energiebedarf für den Bau der Anlagen ständig größer ist als die Energieerzeugung der bestehenden Kraftwerke. Chapman glaubt, daß Großbritannien sich für längere Zeit in einer solchen Phase befindet. Nach unserer Auffassung rührt sein Ergebnis von der Art der dort vorgenommenen Energiebewertung her¹⁾.

Untersucht man den bereits erfolgten und den geplanten Ausbau der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland — mit einer installierten Leistung von 50 GWe im Jahre 1985 und 170 GWe im Jahre 2000 —, so stellt man fest, daß die Bilanz von Energieaufwand zu Energieerzeugung der Kernkraftwerke bereits im Jahre 1968 positiv war und danach trotz starken Zubaus immer positiv bleibt, so daß die mit dem Bau des ersten Versuchsreaktors (VAK Kahl) 1956 beginnende Anfangsperiode, in der die Kernenergie mehr Energie verbrauchte, als sie gleichzeitig erzeugte, bereits damals beendet war.

In Abb. 1 ist das Verhältnis des für den Bau der Kernkraftwerke notwendigen Energieaufwandes zur Energieerzeugung der jeweils in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke bis zum Jahre 2000 dargestellt. Infolge der relativ kleinen Verdoppelungszeit des Kapazitätzubaus in den 70er Jahren erreicht es im Jahre 1972 seinen Maximalwert von 40% und fällt auf 1,2% im Jahre 2000 ab.

Einsparung an fossiler Primärenergie

Eine andere Frage ist die nach der erzielbaren Einsparung an fossiler Primärenergie. Geht man dabei von der pessimistischen Annahme aus, daß die zum Bau der Kernkraftwerke und zur Bereitstellung des Kernbrennstoffs aufzuwendende Energie mittels fossiler Energieträger erzeugt wird, so errechnet sich dieser untere Grenzwert der fossilen Energieeinsparung allein bei der Stromerzeugung zu $3,5 \cdot 10^9$ t SKE bis zum Jahre 2000. Das ist etwa das Zehnfache des gesamten Primärenergieverbrauchs der BRD im Jahre 1974 oder knapp die Hälfte des heutigen Welt-Primärenergieverbrauchs.

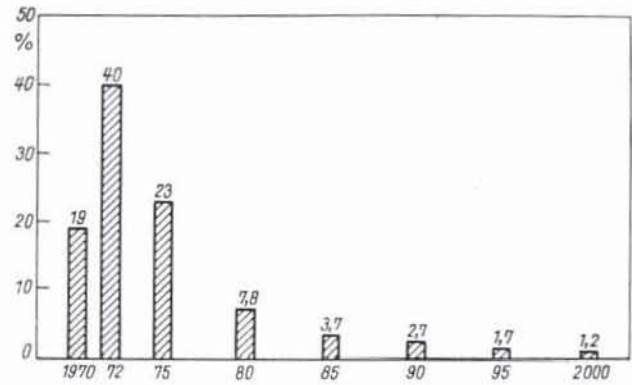


Abb. 1: Anteil des jährlichen Energieaufwandes für den Bau von Kernkraftwerken (einschl. Erstcoste), bezogen auf die nukleare Energieerzeugung des jeweiligen Jahres.

Ökonomische Bewertung des energiewirtschaftlichen Nutzens

Der hier vorgeführte energetische Vergleich über den Wärmewert von Anwendungen und Erzeugung bei einer angenommenen, einheitlichen Umwandlungsstufe ist eine Möglichkeit unter mehreren, um zu Aussagen über den energiewirtschaftlichen Nutzen von Energiesystemen zu gelangen. Ein anderer Weg ist die ökonomische Bewertung, in der, im Gegensatz zum reinen Wärmewertvergleich, auch solche Faktoren wie Verfügbarkeit, Veredelungsstufe und anwendungs- und erzeugungstechnische Besonderheiten erfaßbar sind, da diese Faktoren den Preis mitbestimmen. Eine solche ökonomische Bewertung der energetischen Vorleistungen und der zukünftigen Erzeugung geschieht jedoch implizit schon bei jeder Wirtschaftlichkeitsrechnung, da die Energiepreise in den Güterpreisen mit enthalten sind.

Analog zum Wärmewertvergleich läßt sich errechnen, daß jedes Megawatt Kernkraftwerksleistung ca. 46 000,— DM Energiekosten beinhaltet, wenn man Energievorleistungen zu Marktpreisen bewertet. Die „Tilgung“ des Wertes der Energievorleistungen durch den durchschnittlichen Marktwert der erzeugten Elektrizität dauert nur 19 Tage. Die Rechnung ergab noch ein interessantes Nebenergebnis: Der Anteil der Energiekosten an den Investitionskosten eines Kernkraftwerkes liegt erheblich unter dem Anteil der Energiekosten für die gesamten Industrieproduktionen.

Zusammenfassung

Es zeigt sich somit, daß sich der Energieaufwand für den Bau und Betrieb von Kernkraftwerken in einer recht undramatischen Größenordnung bewegt und mit dem fossilen Wärmekraftwerke vergleichbar ist. Behauptungen, die ein gegenteiliges Bild zeigen, werden von der energiewirtschaftlichen Wirklichkeit nicht gestützt. Auch die Einbeziehung von anderen Nukleartechnologien wie Hochtemperaturreaktoren oder Schnelle Brüter verändern das Bild nur unwesentlich.

¹⁾ Vgl. P. Chapman: The ins and outs of nuclear power, in: New Scientist, 19. Dez. 1974, S. 866 ff.