Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 51 (1960)

Heft: 13

Artikel: Kostenvergleich von nuklearer und konventioneller Energieerzeugung [Fortsetzung]

Autor: Guck, R.W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-917042

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: 03.10.2025

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

Kostenvergleich von nuklearer und konventioneller Energieerzeugung

Von *R. W. Guck*, Zürich

(Fortsetzung aus Nr. 12, S. 154)

657.478.8 : 621.311.25 + 621.311.22/.23

4. Vergleich von Atomstrom mit Netzstrom

Im Gegensatz zum vorher behandelten Fall wird nunmehr die nuklear erzeugte Energie den Kosten jener Energie gegenübergestellt, die in einem Netzverband erzeugt werden kann. Die Höhe dieser Netzstromkosten hängt natürlich vom betreffenden Netz ab, dann aber auch von den jeweiligen Erzeugungs- und Belastungsverhältnissen, und sie ändert sich — besonders bei relativ kleinen Netzen mit deutlich ausgeprägten Belastungsspitzen und ohne nennenswerte Möglichkeiten für Ausgleich — im Verlauf des Tages, der Woche und auch mit der Jahreszeit. Ferner kann, wie schon erwähnt, die Betriebsweise des Kernkraftwerkes auf sie zurückwirken.

Werden vereinfacht für den Netzstrom unabhängig von der Benutzungsdauer der Vergleichsleistung konstante Erzeugungskosten angenommen, so zeigt Fig. 8 die Leistungen, für welche bei Netzstromkosten zwischen 8 und 18 mills/kWh Kostengleichheit erreicht werden kann. (Der Verlauf der Kurven der jährlichen Differenzkosten in Abhängigkeit von der Leistung ist ähnlich wie in Fig. 6 dargestellt.) Die Wirtschaftlichkeit eines bestimmten Kernkraftwerkes hängt demnach sehr stark von den Netzstromkosten und wieder von der Ausnutzung der Anlage ab. Je besser die Ausnutzung und je teurer der Vergleichsstrom, also hier der Netzstrom mit konstanten Kosten, um so eher, d. h. bei kleineren Kraftwerkleistungen, wird die Wirtschaftlichkeit erreicht. Natürlich liegt auch hier zwischen «teurem» und «billigem» Atomstrom ein weiter Spielraum.

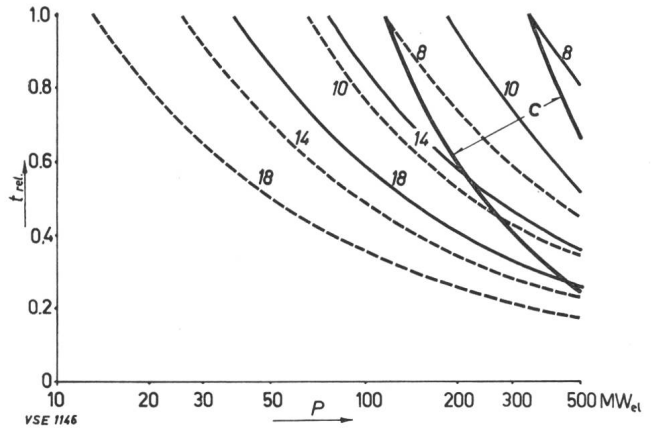

Fig. 8

Anlagengrössen, bei denen Kostengleichheit besteht zwischen nuklearer Energieerzeugung und Netzstrombezug zu konstanten Kosten resp. zu in Abhängigkeit von der Benutzungsdauer variablen Netzstromkosten gemäss Fig. 9

$t_{rel.}$ relative Benutzungsdauer
P Nettoleistung
c bei variablen Netzstromkosten
—— Atomstrom (max.) = Netzstrom
– – – Atomstrom (min.) = Netzstrom

Der Parameter (Netzstromkosten in mills/kWh) ist neben jeder Kurve angegeben

Nun variieren aber bei der zeitlichen Änderung des Verhältnisses von Netzlast zu der im Netz verfügbaren Leistung, also letztlich deren Benutzungsdauer, auch die Erzeugungskosten im Netz nach bestimmten Gesetzen. Da diese Vergleiche nur für die Erzeugungskosten in einem bestimmten Raume gelten, also die Kosten der elektrischen Übertragung bewusst ausgeschlossen wurden, kann die Betrachtung auch verallgemeinert werden auf eine beliebige Leistung, hier also die Vergleichsleistung, als Teil der im Netz verfügbaren Leistung. Die Kurve in Fig. 9 stellt für einen bestimmten Fall eine solche überschlägig ermittelte Abhängigkeit dar und ordnet jeder Benutzungsdauer bestimmte Netzstromkosten zu, die im ganzen Leistungsbereich zwischen 10 und 500 MW für jede Vergleichsleistung gelten sollen.

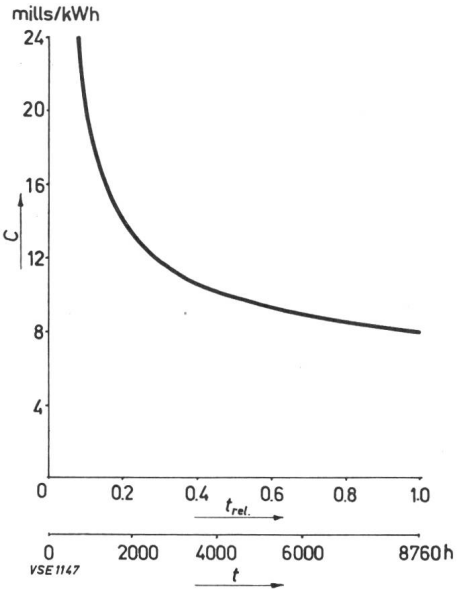

Fig. 9

Netzstromkosten bei gemischter konventioneller Energieerzeugung in Abhängigkeit von der Benutzungsdauer einer bestimmten Leistung (Beispiel für südwestdeutsche Verhältnisse)

C Netzstromkosten
t jährliche Benutzungsdauer
$t_{rel.}$ relative Benutzungsdauer

Solange die Netzkapazität gross ist gegenüber der Vergleichsleistung (etwa 8 : 1 und darüber), ist die Annahme derselben variablen Netzstromkosten für den ganzen Leistungsbereich zutreffend. Die Erweiterung eines bestehenden Netzes um eine kleine Vergleichsleistung ändert nichts an dessen bisheriger Kostenstruktur. Erst wenn die Bereitstellung der Vergleichsleistung umfangreiche konventionelle Neubauten im Netz erforderlich machen sollte — und dies könnte nur bei den grossen Leistungen eintreten — müsste für diesen Fall die Kurve der variablen Netzstromkosten korrigiert werden. Da jedoch solch grosse Netzerweiterungen (es handelt sich hierbei um Zuwachsleistungen von mindestens 20 %

der Netzkapazität und mehr) kaum vorkommen, verliert dieser Fall an Bedeutung, und es genügt für den vorzunehmenden Vergleich die eine Kurve der variablen Netzkosten, die natürlich für jeden Netzverband noch verschieden sein kann.

Werden diese «variablen Netzkosten» für den Vergleich mit den Kosten des Atomstromes verwendet, so lässt sich der mögliche wirtschaftliche Arbeitsbereich der Kernkraftwerke etwas enger umreissen, als dies mit den bisherigen allgemeinen Betrachtungen möglich war.

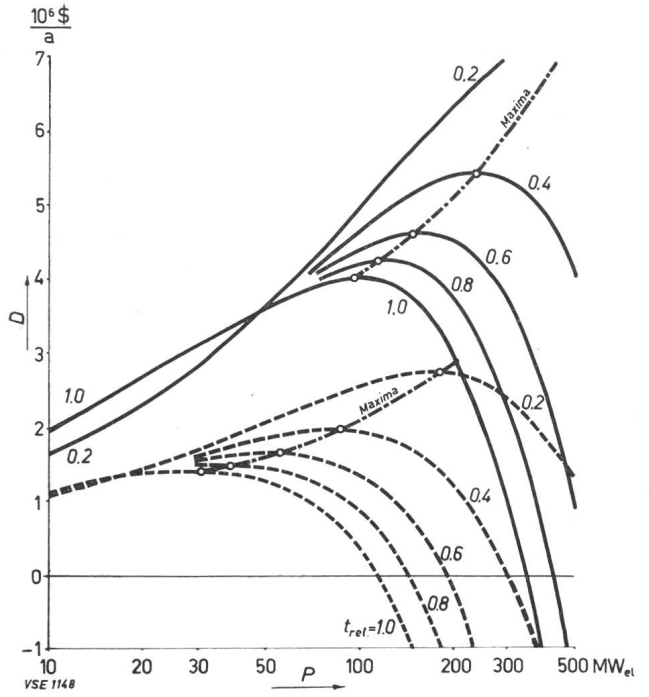

Fig. 10

Jährliche Differenzkosten zwischen nuklearer Stromerzeugung und Netzstrombezug. Die Kosten der Netzstromerzeugung sind abhängig von der Benutzungsdauer der entsprechenden Leistung gemäss Fig. 9

D	jährliche Differenzkosten
P	Nettoleistung
$t_{rel.}$	relative Benutzungsdauer
——	Atomstrom (max.) — Netzstrom variabel
- - -	Atomstrom (min.) — Netzstrom variabel

Ähnlich wie Fig. 6 stellt die Fig. 10 in Abhängigkeit von der Vergleichsleistung die jährlichen Differenzkosten zwischen Atomstrom und Netzstrom mit variablen Kosten dar. Die Charakteristik der Kurven ist die gleiche geblieben, lediglich der Streubereich ist nunmehr kleiner geworden. Die Nachtragung des hier gefundenen Resultates in Fig. 8 gibt ein gutes Bild über heute wirtschaftliche Kraftwerkgrössen: 150 MW können demnach eine untere Grenze für wirtschaftliche Atomstromerzeugung sein unter den Voraussetzungen, dass das Kernkraftwerk billig und günstig errichtet wird, dass die Brennstoffkosten niedrig sind und dass ein Grundlastbetrieb der Anlage möglich ist (relative Benutzungsdauer $\geqq 0{,}8$). Ab 400 MW wird auch die teure Anlage wirtschaftlich. So geben die beiden stark ausgezogenen Kurven die Grenzen an, zwischen denen sich Kostengleichheit und damit Wirtschaftlichkeit erreichen lässt. Die starke Abhängigkeit von der Benutzungsdauer ist evident.

Für die kleinen Anlagen zwischen 10 und 50 MW gilt wiederum das schon vorher Gesagte.

5. Vergleich der Betriebskosten

Die bisherigen Ausführungen basieren auf den Methoden der «klassischen» Stromkostenberechnung. Die Stromerzeugungskosten als Summe von Kapitalbelastung, Brennstoffkosten und Aufwendungen für Bedienung und Unterhalt stellen eine Einheit dar, und sie dienen als Bewertungsgrundlage im Projektierungs- und Planungsstadium, wie dies auch schon zu Anfang ausgeführt wurde. Ist aber die Anlage — gleich zu welchen Kosten — einmal erstellt und in Betrieb genommen, so wird dieser Betrieb nach anderen Grundsätzen geführt: Die festen Kosten des Kraftwerkes, also vornehmlich die Kapitalbelastung, bilden zusammen mit den anderen betriebsunabhängigen Kosten des ganzen Netzes eine konstante Grösse und müssen aufgebracht werden unabhängig davon, ob und wie Energie erzeugt wird. Der Betrieb selbst — also die Energieerzeugung des Netzes — kann somit ihren eigenen Gesetzmässigkeiten folgen. Das Ziel ist die Bereitstellung der Energie zu niedrigsten Kosten im ganzen Netzverband. Schliesst man aus Gründen der Vereinfachung die Übertragungsverluste aus, so konzentriert sich das Problem auf die Erzeugung allein: Die wirtschaftlichste Energieerzeugung bedingt, dass alle Einheiten im Netz im Punkte gleicher Zuwachskosten arbeiten. Daher wird bei Zunahme der Netzbelastung zuerst das kW Kraftwerkleistung eingesetzt, welches die niedrigsten Betriebskosten (hauptsächlich Brennstoffkosten) aufweist und damit auch die niedrigsten Zuwachskosten verursacht. [4])

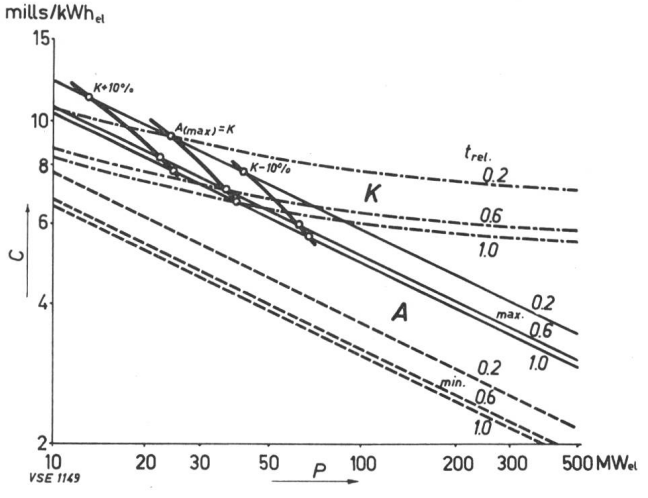

Fig. 11

Kostengleichheit der Betriebskosten (Brennstoffkosten) für Atomstrom- und Kohlenstromerzeugung mit Auswirkung von Änderungen des Kohlenpreises

C	Brennstoffkosten	A	Atomstrom
P	Nettoleistung	K	Kohlenstrom

So erhält auch das Kernkraftwerk seine Chance und stellt sich als *betriebsbereites* Kraftwerk günstiger dar, als dies bis jetzt der Fall war. Die Fig. 11

[4]) Siehe auch: Macklin, L.: Economy Loading of Nuclear Power Plants in Steam Electric Systems. Geneva Conference 1958, 15/P/466.

und 12 zeigen seine Betriebskosten im Vergleich mit denen des konventionellen Steinkohlenkraftwerkes. Selbst bei teuren Brennstoffkosten wird die nukleare Energieerzeugung schon ab ca. 40 MW billiger als die konventionelle.

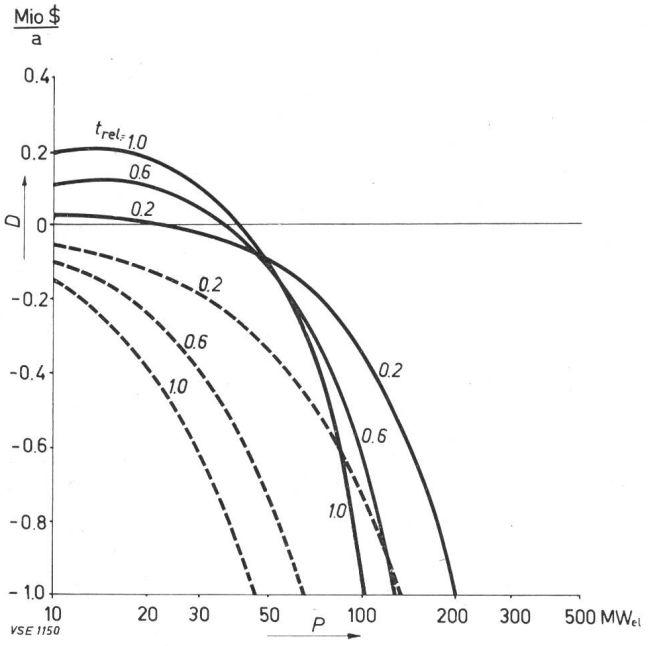

Fig. 12

Jährliche Differenz der Betriebskosten (Brennstoffkosten) zwischen Atomstrom und Kohlenstrom

D jährliche Differenzkosten
P Nettoleistung
——— Atomstrom (max.) — Kohlenstrom
– – – Atomstrom (min.) — Kohlenstrom

6. Zusammenfassung

Bevor eine Schlussfolgerung gezogen wird, sei nochmals hervorgehoben, dass die benutzten Unterlagen Unsicherheiten aufweisen; dies trifft insbesondere für die Kernkraftwerke zu. Der grosse Streubereich zwischen minimalen und maximalen Atomstromkosten (ca. 1 : 2) trägt diesem Umstande Rechnung, und man wird sich, zumindest für die nächste Zeit, nach den maximalen Atomstromkosten hin orientieren müssen.

Ein Kernkraftwerk gelangt so ab ca. 400 MW in den Bereich der Wirtschaftlichkeit, allerdings nur unter der Voraussetzung eines *Grundlastbetriebes.* Kann dieser nicht eingehalten werden, so steigen mit abnehmendem Belastungsfaktor die jährlichen Differenzkosten gegenüber einem gleich grossen Kohlenkraftwerk oder auch gegenüber dem Netzstrombezug sehr stark an und stellen die Wirtschaftlichkeit in Frage. Mit einer jeden solchen «Grenzleistungsanlage» ist somit ein beträchtliches wirtschaftliches Risiko verbunden, das erst mit noch grösseren Kraftwerkleistungen zurückgeht.

Ein Kernkraftwerk kleinerer Leistung, etwa 10 bis 50 MW, wird heute noch nicht die Wirtschaftlichkeit erreichen können. Doch lässt sich bei diesen kleinen Leistungen das finanzielle Risiko leichter überblicken, denn unabhängig von der Ausnutzung der kleinen Anlage ergeben sich etwa gleiche jährliche Differenzkosten verglichen mit Kohlenstrom, und auch beim Vergleich mit variablen Netzstromkosten nur geringe Unterschiede. Die kleine Anlage bietet somit im Gegensatz zur grossen eine bemerkenswerte Freizügigkeit hinsichtlich der Betriebsführung. Natürlich weist ein Kernkraftwerk von 10 MW ein geringeres jährliches Defizit auf als ein solches von 50 MW.

Zwischen den kleinen Anlagen mit gut abschätzbarem Betriebsdefizit und den grossen Anlagen mit einer möglichen Wirtschaftlichkeit liegen diejenigen, bei denen je nach Grösse und Benutzungsdauer im Vergleich mit Kohlenstrom oder Netzstrom ein Maximum der Jahreskostendifferenz durchlaufen wird. Aus wirtschaftlichen Gründen kann der Bau solcher Anlagen nicht vertreten werden.

Lässt sich aber die Finanzierung des Baues eines Kernkraftwerkes irgendwie ermöglichen und ist die Deckung der festen Jahreskosten von vornherein gewährleistet, so kann auch das Atomkraftwerk schon heute seinen Platz in der Energieerzeugung einnehmen, auf Grund seiner relativ niedrigen Betriebskosten. Selbst Anlagen kleiner Leistung brauchen unter diesen Voraussetzungen keine Belastung der übrigen Stromerzeugung zu sein; ja auch sie können unter gewissen Umständen sogar noch ein günstiges Betriebsergebnis erzielen.

Die angestellten Betrachtungen erheben aus mehrfach dargelegten Gründen keinen Anspruch auf Gültigkeit im einzelnen, sondern charakterisieren lediglich eine allgemeine Situation. Erst bei Vorliegen von konkreten Unterlagen lässt sich für den einzelnen Fall eine bessere Aussage über die Wirtschaftlichkeit treffen.

Literatur

Atomic Industrial Forum Inc., New York: Nuclear Power Plants Capital Costs. Forum Memo Bd. 6(1959), Nr. 9, S. 20.

Advanced Reactor Studies (AEC). Nucleonics Bd. 17(1959), Nr. 8, S. 59...62.

AEC - Office of Operations Analysis and Forcasting: Costs of Nuclear Power. TID - 8506. Oak Ridge, Tennessee: Juli 1959.

Verschiedene Autoren: 4th Annual Nuclear Power Report. Electr. Wld. Bd. 151(1959), Nr. 25, S. 63...82.

Cohen, K. und *E. L. Zebroski:* Hacia una programmación de la energia nuclear económica, Cenusa (Madrid): Bd. -(1959), Nr. 8, S. 27...41.

Hearings before the Joint Committee on Atomic Energy. Congress of the United States (Eighty-Sixth Congress, First Session) on Development, Growth, and State of the Atomic Energy Industry. United States Government Printing Office Washington: 1959.

The American Society of Mechanical Engineers: Nuclear Reactor Plant Data, Bd. 1: Power Reactors. New York: 1958.

Adresse des Autors:

Dr. Ing. *R. W. Guck*, c/o Suisatom AG, Zürich.