

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 65 (1947)  
**Heft:** 30

**Artikel:** Zur Frage des Kriteriums für die Ausbauwürdigkeit von Wasserkraftnutzungen  
**Autor:** Oehler, R.J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-55914>

### **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:** 15.01.2026

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

## Zur Frage des Kriteriums für die Ausbauwürdigkeit von Wasserkraftnutzungen

Von Dipl. Ing. R. J. OEHLER, Zürich

Vorbemerkung der Redaktion

Wer je als Ingenieur im Verkauf technischer Erzeugnisse tätig war, kennt das tägliche Ringen um ein möglichst zutreffendes Erfassen aller Faktoren, deren Produkt die Gesteuerungskosten und den Marktwert ergeben. In diesem Ringen entscheidet sich nicht nur die Marktfähigkeit des einzelnen Erzeugnisses, sondern auch die Richtung der weiteren Entwicklung.

Elektrische Energie ist auch ein technisches Erzeugnis, für das die selben Wirtschaftsgesetze gelten. Das Bedürfnis nach einer sachgemässen Bewertung ist umso grösser, je mehr es darauf ankommt, die Energieangebote verschiedener Kraftwerkgruppen miteinander zu vergleichen, um so die Bauwürdigkeit der betreffenden Projekte beurteilen zu können. Mit Rücksicht auf die grossen Entscheidungen, die in nächster Zeit auf diesem Gebiete zu treffen sein werden, erscheint eine grundsätzliche Abklärung der hierbei massgebenden Frage der Wirtschaftlichkeit von Kraftwerkprojekten dringend notwendig.

Bekanntlich haben sich Prof. Dr. B. Bauer und seine Mitarbeiter auf dem Gebiet der Energiewirtschaft seit längerer Zeit mit diesem Problem beschäftigt; einige Ergebnisse dieser Untersuchungen hat Prof. Bauer im letzten Winter in zwei Vorträgen im Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein und im Schweiz. Energiekonsumenten-Verband bereits bekanntgegeben.

Wir veröffentlichen nachstehend einen ersten Bericht von Dipl. Ing. R. J. Oehler, einem engen Mitarbeiter von Prof. Bauer, über weitere Ergebnisse dieser am Lehrstuhl für Energiewirtschaft an der E. T. H. durchgeführten Studien, die zu einigen grundsätzlichen Fragen Stellung beziehen, und die deshalb auch weitere Kreise interessieren dürften.

Die Diskussion um den Bau neuer Wasserkraftwerke, die in letzter Zeit mit steigender Heftigkeit geführt wird, hat nicht zuletzt aus dem Grunde keine nützliche Abklärung gebracht, weil dabei sehr oft Projekte einander gegenübergestellt werden, deren Wirtschaftlichkeit nach ganz verschiedenen Gesichtspunkten berechnet wurde. Die nachfolgenden Ausführungen haben den Zweck, die Frage, nach welchen Gesichtspunkten die Ausbauwürdigkeit einer Wasserkraft zu beurteilen sei, grundsätzlich abzuklären und damit einen Beitrag zu den Grundlagen der wirtschaftlichen Bewertung der Wasserkraft zu leisten.

A. O.

### I. Das herrschende Kriterium

Die Frage, nach welchen Gesichtspunkten ein Bauvorhaben in der Wasserkraftnutzung in wirtschaftlicher Hinsicht beurteilt werden soll, ist unseres Wissens im Schrifttum nie vollständig abgeklärt worden. Dieser Mangel war indessen so lange nicht von Bedeutung, als der Ausbau der einzelnen Wasserkraftwerke nicht auf Grund vorbestimmter Ausbaupläne erfolgte, als es sich noch nicht darum handelte, zwischen verschiedenen, einander teilweise überschneidenden Projekten die günstigste Wahl zu treffen, und es daher dem Bewerber überlassen blieb, von Fall zu Fall diejenige Nutzungsmöglichkeit auszusuchen, die seiner privatwirtschaftlichen Beurteilung der Ausbauwürdigkeit am besten entsprach. Er begnügte sich hierbei in der Regel mit der Ermittlung der spezifischen Produktionskosten der erzeugbaren Energie, die er mit den entsprechenden statistischen Werten bestehender, ähnlicher Kraftwerksbetriebe verglich.

Dieses Verfahren ist, allerdings verfeinert, auch heute noch allgemein üblich. Die Verfeinerung besteht darin, dass man nur nach den spezifischen Produktionskosten der Winterenergie als der meistbegehrten fragt und diese ermittelt, indem man von den berechneten Jahreskosten des Betriebes den kommerziellen Wert der anfallenden Sommerenergie in Abzug bringt und den Differenzbetrag durch die erzeugbare Winterenergie teilt. Diesem Kriterium haften bei gegebenen Energiemengen und Baukosten drei Willkürlichkeiten an:

1. Die Wahl der Ansätze für die Ermittlung der jährlichen Produktionskosten;
2. die Wahl des Produktionsanteils, den man als Winterenergie bezeichnen will;
3. der kommerzielle Wert, den man der noch verbleibenden Sommerenergie beimisst.

Jeder Projektverfasser kann hier in guten Treuen, mangels einheitlicher Normen, seine eigene Anschauung zur Geltung bringen, so dass sich für ein und dasselbe Projekt verschiedene Werte der spezifischen Winterenergiekosten berechnen lassen. Die in den Tabellen 1 und 2 des Berichtes Nr. 36 des Eidg. Wasserwirtschaftsamtes zusammengestellten Berechnungsgrundlagen verschiedener aktueller Kraftwerkprojekte sind in dieser Hinsicht besonders interessant. Die Unsicherheit in der skizzierten Ermittlung des wahren Wertes der Winterenergie-Selbstkosten ist indessen insofern mehr akademischer Natur, als der Bewerber einer gegebenen Wasserkraftnutzung im allgemeinen in der Lage ist, an Stelle der drei Willkürlichkeiten konkrete, aus seinen besonderen Verhältnissen abgeleitete Werte zu setzen, womit er eben zu seiner privatwirtschaftlichen Beurteilung der Ausbauwürdigkeit gelangt.

Der Nachteil des genannten Kriteriums wirkt sich jedoch weit folgenswerter aus, wenn es nun dazu verwendet werden soll, die Ausbauwürdigkeit eines Wasserkraftprojektes an der eines Vergleichsprojektes zu messen, d. h. wenn auf Grund der so ermittelten Verhältniszahlen der spezifischen Selbstkostenbeträge der Winterenergie eine Rangordnung der Ausbauwürdigkeit aufgestellt wird. A. Ostertag hat schon früher an dieser Stelle<sup>1)</sup> an Hand einer sehr eingehend fundierten Untersuchung gezeigt, wie insbesondere durch geeignete Ansätze für Punkt 2 die scheinbaren Gesteuerungskosten der Winterenergie in beinahe beliebiger Weise manipuliert werden können.

Selbstverständlich könnte die geschilderte Unsicherheit dadurch aus der Welt geschafft werden, dass an Stelle der bisherigen Willkürlichkeiten allgemein anerkannte Annahmen treten, d. h. dadurch, dass von einer massgebenden Instanz verbindliche Ansätze hierfür festgelegt würden.

Die Wahl der Ansätze für die Ermittlung der jährlichen Produktionskosten müssen wir Elektroingenieure und Energiewirtschaftler dabei vertrauensvoll den Bauingenieuren überlassen, während zu Punkt 2 und 3 die am Energiemarkt interessierten Kreise das entscheidende Wort zu sprechen hätten.

Die Eidg. Expertenkommission 1946 hat bei ihren Untersuchungen über die Hinterrheinwerke und die verschiedenen dafür vorgeschlagenen Ersatzprojekte bereits wertvolle Vorarbeit im Sinne einer solchen Vereinheitlichung geleistet. Wir behaupten jedoch, dass selbst beim Vorliegen allgemein anerkannter Berechnungsgrundlagen an Stelle der drei bisherigen Willkürlichkeiten das heute übliche Verfahren keinen eindeutigen Vergleich der Wirtschaftlichkeit zweier Kraftwerkprojekte gestattet, d. h. dass es nicht zulässig ist, auf Grund eines solchen Vergleichs eine Rangordnung der Ausbauwürdigkeit verschiedener Projekte aufzustellen.

Zum Beweis betrachten wir die Formel, die dem bisherigen Bewertungsverfahren zugrundeliegt. Bezeichnet man mit  $k_W$  die Gesteuerungskosten der Winterenergie in Rp./kWh;  $K$  die Baukosten der betreffenden Anlage in Fr.;  $p$  die Jahreskosten in % der Baukosten;  $A_W$  den Anteil der gesamten Energieproduktion, den man als Winterenergie betrachtet, in kWh;  $A_S$  die nach Abzug von  $A_W$  noch verbleibende Sommerenergie in kWh;  $c_S$  den mittleren kommerziellen Wert, den man der Sommerenergie beimisst, in Rp./kWh; so berechnen sich die Gesteuerungskosten der Winterenergie zu

$$(1) \quad k_W = \frac{pK - c_S A_S}{A_W}$$

Es sei nun angenommen, ein Projektverfasser habe zwei verschiedene Projektvarianten A und B entworfen und die entsprechenden Winterenergiekosten nach einheitlichen Ansätzen für die Ermittlung der Bau- und Betriebskosten, des Winterenergieanteils und des kommerziellen Wertes der Sommerenergie berechnet. Er wird dann erhalten

$$(2) \quad k_{WA} = \frac{p_A K_A - c_{SA} A_{SA}}{A_{WA}} \quad \text{und} \quad k_{WB} = \frac{p_B K_B - c_{SB} A_{SB}}{A_{WB}}$$

Dabei brauchen  $p_A$  und  $p_B$ , sowie  $c_{SA}$  und  $c_{SB}$  nicht notwendigerweise gleich zu sein, sie werden vielmehr je nach

<sup>1)</sup> SBZ Bd. 128, S. 263\* (Nov. 1946).

dem Anteil der verschiedenen Anlageteile mit verschiedener Amortisationsdauer an den gesamten Baukosten  $K_A$  und  $K_B$ , bzw. je nach der qualitativen Zusammensetzung der Sommerenergie  $A_{SA}$  und  $A_{SB}$ , verschieden ausfallen. Bildet man nun das Verhältnis

$$(3) \quad z = \frac{k_{WA}}{k_{WB}}$$

so wird man geneigt sein, dem Projekt A die höhere Ausbauwürdigkeit zuzusprechen, wenn  $z < 1$  ist, und dem Projekt B, wenn  $z > 1$  ist.

Wenn jedoch auf Grund eines solchen Kriteriums so schwerwiegende Entscheide gefällt werden, wie sie u. U. die Wahl eines bestimmten unter mehreren einander ausschliessenden Kraftwerkprojekten darstellen kann, dann muss dieses Prüfungsverfahren standfest sein, d. h. es darf nicht bei veränderten Voraussetzungen zu anderen Ergebnissen führen. So sollte man z. B. die Gewissheit haben, dass der Wert von  $z$  auf jeden Fall  $< 1$  bzw.  $> 1$  bleibt, wenn man von der Baukostenlage 1939 auf die heutige, höhere übergeht, oder wenn sich im Laufe der Jahre der kommerzielle Wert der elektrischen Energie auf dem Markt erhöhen oder erniedrigen sollte. Derartige Änderungen von  $K$  bzw.  $c_S$  sind in Gleichung (1) zunächst nicht berücksichtigt. Tatsächlich beruhen bei den verschiedenen in der Öffentlichkeit diskutierten Kraftwerkprojekten die Angaben über die Kosten der Winterenergie fast ausnahmslos auf Erstellungskosten entsprechend Preisbasis 1939 und auf einem kommerziellen Wert der Sommerenergie, der ungefähr der heutigen Marktlage entspricht. Dabei hat sich jedoch das Niveau der Baukosten heute gegenüber 1939 um etwa 80 % erhöht, während die Energiepreise infolge behördlicher Vorschriften gegenüber der Vorkriegszeit noch unverändert sind — ein Zustand, der sich im Laufe der Zeit auch noch im einen oder andern Sinne ändern könnte.

Um diese Veränderlichkeit von  $K$  und  $c_S$  infolge konjunktureller Einflüsse zu berücksichtigen, führen wir einen Teuerungskoeffizienten der Baukosten  $\tau$  und einen Marktwertfaktor  $\sigma$  ein, der die Veränderungen des kommerziellen Wertes der Sommerenergie berücksichtigt, und schreiben

$$(4) \quad k_W = \frac{pK\tau - c_SA_S\sigma}{A_W}$$

Für  $\tau = 1$  und  $\sigma = 1$  geht Gleichung (4) in Gleichung (1) über. Wir wollen diesen Wert von  $z$  mit  $z_1$  bezeichnen. Der heutigen Lage entspräche dagegen etwa  $\tau = 1,8$  und  $\sigma = 1$ . Setzt man nun in Gleichung (3) die Ausdrücke für  $k_W$  nach Gleichung (4) ein, so erhält man

$$(5) \quad z = \frac{A_{WB}}{A_{WA}} \frac{p_A K_A \tau - \sigma c_{SA} A_{SA}}{p_B K_B \tau - \sigma c_{SB} A_{SB}}$$

Der Aufbau der Gleichung (5) lässt erkennen, dass  $z$  sowohl von  $\tau$  als auch von  $\sigma$  abhängig ist, und zwar kann  $z$  bei wachsendem  $\tau$  bzw. wachsendem  $\sigma$  je nach den Grössenverhältnissen der übrigen Koeffizienten sowohl zu- als auch abnehmen. Dabei ist zu beachten, dass  $\tau$  im Moment der Erstellung der schliesslich gewählten Anlage endgültig festgelegt wird, während  $\sigma$  im Laufe der späteren Betriebsdauer Änderungen unterliegen kann.

Setzt man im Extremfall  $\sigma = 0$ , d. h. misst man der Sommerenergie überhaupt keinen kommerziellen Wert bei, so wird

$$(6) \quad z = z_0 = \frac{A_{WB}}{A_{WA}} \frac{p_A K_A}{p_B K_B}$$

Dieser Wert ist unabhängig von  $\tau$ .

Die Standfestigkeit des üblichen Kriteriums der Ausbauwürdigkeit im Sinne der Forderung, dass  $z$  dauernd  $< 1$  bzw.  $> 1$  bleiben soll, kann man nun leicht prüfen, indem man die Werte von  $z_1$  und  $z_0$  berechnet.

Betrachtet man in Gleichung (5)  $\tau$  als Parameter und bildet man den Differentialquotienten  $\frac{dz}{d\sigma}$ , so wird nach einigen Umformungen

$$(7) \quad \frac{dz}{d\sigma} = z_0 \frac{\left( \frac{c_{SB} A_{SB}}{p_B K_B} - \frac{c_{SA} A_{SA}}{p_A K_A} \right) \tau}{\left( \tau - \frac{c_{SB} A_{SB}}{p_B K_B} \sigma \right)^2}$$

Für  $\tau \rightarrow \infty$  wird  $\frac{dz}{d\sigma} = 0$ ; d. h. das geometrische Bild der

Funktion  $z = f(\sigma)$  ist eine Schar von Hyperbeln in allgemeiner Lage, die sich im Punkt  $z_0$  schneiden und im Extremfall  $\tau = \infty$  in horizontale Geraden durch  $z_0$  übergehen (Bild 1).

Da der Nenner der rechten Seite von Gleichung (7) auf alle Fälle positiv ist, muss die Kurve für  $z = f(\sigma)$  mit wachsendem  $\sigma$ , vom Werte  $z_0$  ausgehend, dauernd steigen, wenn

$$(8a) \quad \frac{c_{SB} A_{SB}}{p_B K_B} > \frac{c_{SA} A_{SA}}{p_A K_A}$$

und fallen, wenn

$$(8b) \quad \frac{c_{SB} A_{SB}}{p_B K_B} < \frac{c_{SA} A_{SA}}{p_A K_A}$$

$z$  wird also für alle praktisch in Frage kommenden Werte von  $\tau$  bzw.  $\sigma$  dauernd  $< 1$  bzw.  $> 1$  bleiben, wenn

$$(9a) \quad z_1 < z_0 < 1, \text{ oder wenn}$$

$$(9b) \quad z_1 > z_0 > 1$$

In Wirklichkeit wird diese Bedingung nur in den seltensten Fällen erfüllt sein. Ist z. B.  $z_1 < 1$ ; d. h. ergibt das Projekt A die kleineren Winterenergiekosten, so muss für

$$z_1 < z_0 \text{ gemäss Gleichungen (8b) und (6)}$$

$$\frac{c_{SB} A_{SB}}{p_B K_B} < \frac{c_{SA} A_{SA}}{p_A K_A} \text{ oder}$$

$$(10) \quad \frac{A_{SA}}{A_{WA}} > \frac{A_{SB}}{A_{WB}} z_0 \frac{c_{SB}}{c_{SA}}$$

sein. Meistens wird aber das Verhältnis der Sommer- zur Winterproduktion beim günstigeren Projekt A kleiner sein als beim ungünstigeren Projekt B, so dass die Bedingung nach Gleichung (10) nur in Ausnahmefällen erfüllt sein wird. Das bisher als massgebend betrachtete Kriterium für die Rangordnung der Ausbauwürdigkeit, das auf dem Vergleich von  $z$  mit 1 beruht, weist also nicht die oben geforderte Standfestigkeit gegenüber Änderungen der Werte von  $\tau$  und  $\sigma$  auf. Dabei wurde noch vernachlässigt, dass  $\tau$  und  $\sigma$  streng genommen für die beiden Projekte A und B nicht den genau gleichen Wert aufzuweisen brauchen. Je nach den Anteilen des baulichen, des mechanischen und des elektrischen Teils

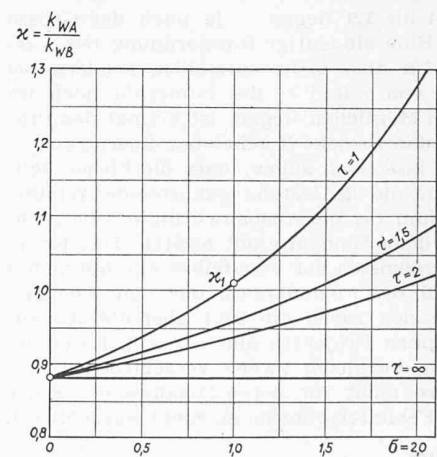


Bild 1. Verhältnis  $z$  der Winterenergiekosten in Funktion des Marktwertfaktors  $\sigma$

an den Gesamtbaukosten, und je nach der qualitativen Zusammensetzung der Sommerenergie, können die massgebenden Werte von  $\tau$  und  $\sigma$  bei beiden Projekten geringfügige Unterschiede aufweisen. Ebenso kann  $p$  im Verlauf der konjunkturellen Schwankungen gewisse Änderungen durchlaufen. Wegen ihrer Geringfügigkeit sollen diese Abweichungen jedoch unberücksichtigt

bleiben, d. h. es sollen  $p$  als konstant und  $\tau$  bzw.  $\sigma$  als jeweils für beide Projekte gleich gross betrachtet werden.

Die vorstehend dargelegten Zusammenhänge sollen an Hand eines Beispiels veranschaulicht werden. Wir wählen hierfür zwei fiktive Kraftwerkprojekte «A» und «B», deren charakteristische Werte in Tabelle 1 aufgeführt sind.

Diese Werte wurden absichtlich vollkommen willkürlich gewählt, dagegen sind beide Varianten sowohl bezüglich der Kosten als auch der Produktion von ähnlicher Grössenordnung wie etwa das Dreistufenprojekt Hinterrhein und die verschiedenen noch zur Diskussion stehenden Ersatzprojekte dafür.

Bewertet man nach dem Vorgang der bundesrätlichen Experten die konstante Sommerenergie zu 1 Rp./kWh, die inkonstante zu 0,5 Rp./kWh, so ergibt sich mit  $\tau = 1$  und  $\sigma = 1$ .



Tabelle 1.  
Charakteristische Werte der Kraftwerkprojekte „A“ und „B“

	Werk A	Werk B
Anlagekosten $K$ . . . . . Mio Fr.	272	258
$p$ . . . . . %	8	8
Jahreskosten $\frac{pK}{100}$ . . . . . Mio Fr.	21,8	20,6
Installierte Leistung . . . . . kW	300 000	250 000
Winterarbeit $A_W$ . . . . . Mio kWh	600	500
Davon:		
Aus Speicher: . . . . .	380	235
Aus natürlichen Zuflüssen, konstant: .	190	225
inkonstant: .	30	40
Sommerarbeit $A_S$ . . . . . Mio kWh	420	610
Davon: konstant . . . . .	300	500
inkonstant . . . . .	120	110
Jahresarbeit $A_j$ . . . . . Mio kWh	1020	1110

$$k_{WA} = \frac{21,8 - (3,0 + 0,6)}{600} \cdot 100 = 3,04 \text{ Rp./kWh}$$

$$k_{WB} = \frac{20,6 - (5,0 + 0,55)}{500} \cdot 100 = 3,01 \text{ Rp./kWh}$$

$$z_1 = \frac{3,04}{3,01} = 1,01$$

Man wird also zunächst geneigt sein, dem Projekt B die höhere Ausbauwürdigkeit zuzusprechen, da es, wenn auch nur um einen geringfügigen Betrag, niedrigere spezifische Gestehtungskosten der Winterenergie verspricht.

Dagegen wird für  $\sigma = 0$ :  $z_0 = 0,881 < 1 < z_1$ , d. h. die Bedingung für die Standfestigkeit unseres Kriteriums gemäss Gleichung (9b) ist nicht erfüllt.

Bild 1 zeigt  $z$  in Funktion von  $\sigma$  mit verschiedenen Werten von  $\tau$  als Parameter. Man sieht, dass für  $\sigma = 1$  und Werte von  $\tau$ , die nur wenig grösser als 1 sind, bereits  $z < 1$  wird. Für die heute massgebenden Werte von  $\tau$ , die etwa zwischen 1,5 und 2 liegen dürften, wird  $z \approx 0,95$ , d. h. jetzt ist das Projekt A dem Projekt B überlegen. Mit steigendem  $\sigma$  kehrt sich diese Rangordnung wieder um, denn für Werte von  $\sigma$  die etwa oberhalb 1,4 bis 1,9 liegen — je nach der Grösse von  $\tau$  — wird  $z > 1$ . Eine eindeutige Rangordnung der Ausbauwürdigkeit lässt sich also nicht aufstellen, sondern bei verschiedenen Werten von  $\tau$  und  $\sigma$ , die immerhin noch im Rahmen des praktisch Möglichen liegen, ist einmal das Projekt A, ein andermal das Projekt B scheinbar überlegen.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass die bisher übliche Bewertungsmethode, die die Gestehtungskosten der Winterenergie als ein Kriterium für die Ausbauwürdigkeit betrachtet, nicht die erforderliche Eindeutigkeit besitzt. Das Kriterium der Winterenergiekosten ist zweifellos ein nützliches Werkzeug in der Hand des Fachmannes, der den Energiemarkt kennt, und der sich rasch ein Bild über die Ausbauwürdigkeit eines einzelnen Projektes machen will. Es eignet sich jedoch nicht zum Vergleich zweier verschiedener Projekte und insbesondere nicht für deren Diskussion vor der Öffentlichkeit, da es Fehlinterpretationen nicht ausschliesst.

## II. Ein neues Kriterium

Ein auf weite Sicht geplantes Ausbauprogramm der Wasserkraft muss den Begriff der Ausbauwürdigkeit anders erfassen. Es ist hierfür ein standfestes Kriterium aufzustellen, das Gewähr dafür bietet, dass nicht die heutigen Ergebnisse seiner Anwendung durch die veränderten Verhältnisse der Zukunft umgeworfen werden. Das neue Kriterium, das wir deshalb hier an Stelle des bisher gebräuchlichen zur Diskussion stellen, ist an sich nichts Neues. Es ist nichts anderes als das Kriterium der Wirtschaftlichkeit, die, richtig formuliert, als ein neues Mass der Ausbauwürdigkeit eines Wasserkraftvorkommens gelten soll.

Die Wirtschaftlichkeit der Produktion messen wir am Verhältnis des Wertes des erzeugten Gutes zum Produktionsaufwand. Um den Wert des Gutes zu bestimmen, muss eine Nachfrage, ein Markt vorhanden sein, also auch ein fremdes Angebot. Auf dem Energiemarkt wird ein solches Angebot vom Brennstoff übernommen, möglicherweise tritt später auch die Atomenergie wettbewerbend auf dem Markt in Erscheinung.

Die Festsetzung eines Marktwertes der Energieproduktion setzt eine eingehende Marktanalyse voraus. Ansätze in dieser Richtung sind schon bei der bisherigen Bewertungsmethode vorhanden, indem diese einerseits stillschweigend die Winterenergie als höherwertig betrachtet als die Sommerenergie, und andererseits bei dieser schon eine Aufteilung in verschiedene Qualitätsklassen, etwa konstante und unkonstante Energie, vornimmt.

Unterteilt man nicht nur die Sommerenergie, sondern die ganze mittlere Jahresproduktion  $A_j$  eines Werkes auf Grund einer solchen Marktanalyse in Teilbeträge  $A_1, A_2, A_3, \dots$  bestimmter Qualitäten, bzw. bestimmter Wertschätzungspreise  $c_1, c_2, c_3, \dots$ , dann bestimmt sich der Marktwert der Gesamtproduktion in Franken zu

$$(11) \quad \frac{c_m A_j}{100} = \frac{c_1 A_1}{100} + \frac{c_2 A_2}{100} + \frac{c_3 A_3}{100} + \dots$$

wobei  $c_m$  den gewogenen Mittelwert des Wertschätzungspreises in Rp./kWh darstellt.  $c_m$  misst die Durchschnittsqualität der erzeugbaren Energie. Man kann nun wiederum den Marktwertfaktor  $\sigma$  einführen, der den konjunkturellen Fluktuationen des Marktpreises Rechnung trägt. Da dieser Preis in fast allen Energieverbrauchskategorien vom Brennstoffpreis abhängig ist, wollen wir die vielleicht nur annähernd richtige Annahme machen, dass die grossen, sich langsam entwickelnden Marktpreisveränderungen alle Energiekategorien gleichmässig erfassen. Unter dieser Voraussetzung kann wieder, wie schon oben,  $\sigma$  für zwei verschiedene Projekte als gleich gross betrachtet werden. Ferner sollen für  $\tau$  und  $p$  die gleichen Voraussetzungen gelten wie oben.

Man kann nun einen Faktor  $f$  der Wirtschaftlichkeit aufstellen, der durch die Gleichung definiert ist:

$$(12) \quad f = \frac{c_m A_j \sigma}{p K \tau}$$

Von zwei Projekten A und B ist dann dasjenige ausbauwürdiger, dessen Wirtschaftlichkeit  $f$  grösser ist.

Bei rein kommerzieller Betrachtungsweise wird man ausserdem die Forderung aufstellen, dass der Faktor  $f$  der einmal gewählten Variante  $> 1$  sein müsse. An dieser Forderung lässt sich unter heutigen Umständen ( $\tau \approx 1,8$ ;  $\sigma = 1$ ) jedoch nicht mehr festhalten. Selbst bei dem allen anderen Projekten weit überlegenen Dreistufenprojekt Hinterrhein mit Stausee Splügen dürften heute die Gestehtungskosten der Energie kaum mehr durch deren Marktwert gedeckt werden.

Gemeinwirtschaftlich betrachtet, kann auch die Ausführung eines Projektes, für das  $f < 1$  ausfällt, notwendig werden, wenn ein ungedeckter Energiebedarf vorliegt. Es erhebt sich dann jedoch die Frage, ob der Produktionskostenüberschuss auf die Dauer von der Produktionswirtschaft getragen werden kann. Ist dies nicht der Fall, so wird sie ihn früher oder später auf den Energiekonsumenten abwälzen müssen. Aber selbst wenn dies zunächst nicht erforderlich sein sollte, muss man sich bewusst sein, dass das Ansteigen der Produktionskosten durch den Bau neuer Kraftwerke die Krisenfestigkeit der Energieproduktion herabsetzt. Angesichts des immerhin beträchtlichen Anteils der Elektrizitätswirtschaft an unserem Nationalvermögen sind dies Perspektiven, die auch weiteren Kreisen nicht gleichgültig sein können. Die Frage, wer letzten Endes «die Zeche zu zahlen» hat, — der Aktionär der Kraftwerkunternehmen, der Energiekonsument oder der Steuerzahler — kann höchstens von der technischen oder rein wirtschaftlichen auf die politische Ebene verschoben werden — wegdiskutieren lässt sie sich nicht.

Unter diesen Umständen muss die Forderung mit Nachdruck vertreten werden, dass von zwei zur Wahl stehenden Projekten dasjenige ausgewählt wird, dessen Wirtschaftlichkeit grösser, bzw. dessen «Unwirtschaftlichkeit» kleiner ist, m. a. W. dasjenige, für das  $f$  grösser ausfällt. Bildet man den Quotienten

$$(13) \quad \varphi = \frac{f_A}{f_B} = \frac{p_B K_B}{p_A K_A} \cdot \frac{c_{MA} A_{jA}}{c_{MB} A_{jB}}$$

dann wird man dem Projekt A den Vorzug geben, wenn  $\varphi > 1$  ausfällt, und umgekehrt.

Ein Vergleich von Gleichung (13) mit Gleichung (5) zeigt nun zunächst, dass in Gleichung (13)  $\tau$  und  $\sigma$  nicht mehr auftreten. Der Quotient  $\varphi$ , der die Rangordnung der Ausbauwürdigkeiten nach unserem neuen Kriterium festlegt, bleibt also bei jeder beliebigen Konjunkturlage konstant. Er eignet sich

deshalb besser zur Aufstellung einer solchen Rangordnung, als die bisher gebräuchliche Bewertungsmethode auf Grund der Winterenergiekosten.

Von den verschiedenen in Gleichung (13) auftretenden Faktoren sind wiederum, wie schon bisher,  $K$  und  $A_j$  vom projektierenden Ingenieur nach einheitlichen Grundsätzen zu ermitteln.  $p$  kann auf Grund der statistischen Erfahrungswerte bestimmt werden.  $c_m$  muss auf Grund einer eingehenden Marktanalyse festgelegt werden, d. h. es wäre unter Mitwirkung aller interessierten Kreise eine Bewertungstabelle für die verschiedenen Energiequalitäten aufzustellen. Hierdurch würde gleichzeitig die bisherige Willkürlichkeit in der Definition der Winterenergie ausgeschaltet.

Eine solche Tabelle wird z. Zt. von der «Bewertungskommission des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes», die dieser unter Heranziehung massgebender Fachleute aus weiteren Kreisen gebildet hat, ausgearbeitet. Ueber ihren voraussichtlichen Aufbau ist in der Öffentlichkeit nichts bekannt geworden. Für das nachfolgende Beispiel haben wir deshalb eine eigene, etwas summarische Bewertungsskala aufgestellt, die auf einem Zweigliedertarif beruht und für jede der in der Tabelle 1 angeführten Energiequalitäten einen bestimmten Marktwert annimmt.

Um die Arbeiten der Bewertungskommission in keiner Weise zu präjudizieren, verzichten wir bewusst auf eine Wiedergabe der von uns verwendeten Wertskala. Lediglich das Endresultat  $c_m A_j$ , das sich aus deren gleichmässigen Anwendung auf die beiden Projekte A und B ergibt, ist in Tabelle 2 angeführt. Auf eine Wiedergabe der Bewertungsskala kann umso leichter verzichtet werden, als dieselbe doch in dem Augenblick überholt wäre, in dem die Arbeiten der Bewertungskommission der Öffentlichkeit unterbreitet werden. Ausserdem hätte die Verwendung einer anderen Bewertungsskala höchstens eine Verschiebung der Werte von  $c_m A_j$  zur Folge; am Kernpunkt der Sache, nämlich der Konstanz von  $\varphi$  bei veränderlichem  $\tau$  und  $\sigma$ , würde sie selbstverständlich nichts ändern.

Mit den Werten der Tabelle 2 ist dann

$$\varphi = \frac{1,35}{1,30} = 1,04 = \text{konst.}$$

d. h. das Projekt A ist nach unserem neuen Kriterium dem Projekt B eindeutig überlegen.

Eine Darstellung von  $\varphi$ , etwa in Funktion von  $\sigma$  analog Bild 1, böte nichts Interessantes, da  $\varphi$  ja konstant ist. Dagegen zeigt Bild 2 die Werte von  $f_A$  und  $f_B$  in Funktion von  $\tau$  für  $\sigma = 1$ , also unter den heutigen Marktverhältnissen.  $f$  verläuft in Funktion von  $\tau$  als gleichseitige Hyperbel; die einzelnen Kurven schneiden sich nicht, sondern die Verhältnisse der Ordinaten bleiben konstant. Bei einer Aenderung von  $\sigma$  würden die einzelnen Kurven proportional zu  $\sigma$  nach oben bzw. nach unten verschoben, ohne dass sich an ihrer gegenseitigen Lage etwas ändern würde. Für  $\tau > 1,3$  wird  $f_B < 1$ , während bei Projekt A die Produktionskosten erst bei  $\tau > 1,35$  überwiegen. Aber auch im «unwirtschaftlichen» Gebiet lässt der Verlauf der Kurven die dauernde Überlegenheit von Projekt A gegenüber Projekt B erkennen.

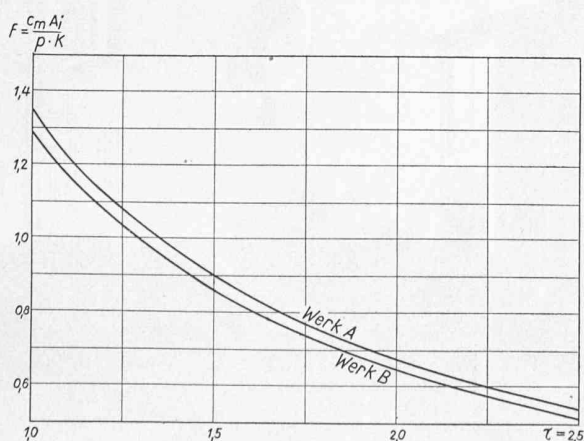


Bild 2. Wirtschaftlichkeitskoeffizient  $f$  in Funktion des Teuerungsfaktors  $\tau$

Tabelle 2. Wirtschaftlichkeitsfaktoren der Projekte A und B

	Werk A	Werk B
Jahresarbeit $A_j$ . . . . . Mio kWh	1020	1110
Marktwert $\frac{c_m A_j}{100}$ . . . . . Mio Fr.	29,4	26,8
$c_m$ . . . . . Rp./kWh	2,88	2,41
Jahreskosten $\frac{p K}{100}$ . . . . . Mio Fr.	21,8	20,6
$f = \frac{c_m A_j}{p K}$ für $\tau = 1, \sigma = 1$ .	1,35	1,30

### III. Zusammenfassung

Das bisher gebräuchliche Kriterium für die Ausbaumöglichkeit einer Wasserkraft, das auf der Berechnung der Gestehungskosten der Winterenergie beruht, wurde näher untersucht. Es zeigte sich beim Vergleich zweier verschiedener Kraftwerkprojekte, dass diese Gestehungskosten je nach dem Niveau der Baukosten und der Energiepreise einmal für das eine Projekt, ein andermal für das andere Projekt niedriger ausfallen können. Eine eindeutige Rangordnung der Ausbaumöglichkeit verschiedener Projekte kann also auf Grund dieses Kriteriums nicht aufgestellt werden.

Anschliessend wurde als neues Kriterium die Wirtschaftlichkeit einer Wasserkraftnutzung, definiert als Verhältnis des Marktwertes der gesamten erzeugten Energie zu den Produktionskosten, vorgeschlagen. Obwohl der so berechnete Wirtschaftlichkeitsfaktor  $f$  einer einzelnen Anlage infolge der konjunkturellen Entwicklung in seiner Grösse veränderlich ist, bleibt der Quotient  $\varphi = f_A/f_B$  zweier zu vergleichender Projekte von den Konjunkturschwankungen unberührt. Er eignet sich deshalb besser für die Aufstellung einer Rangordnung als die bisher übliche Bewertungsmethode.

$\tau$  ist heute gegenüber der Preisbasis von 1939 um etwa 80 % überhöht.  $\sigma$  würde beim Wegfall der heutigen Preisvorschriften in irgend einer Form von der Entwicklung der Brennstoffpreise beeinflusst werden, deren Durchschnitt ein Mehrfaches des Vorkriegstandes erreicht hat. Auf welchem Niveau sich später einmal Baukosten und Brennstoffpreise stabilisieren werden, ist heute noch in keiner Weise abzusehen. Unter diesen Umständen lohnt es sich, die Frage zu prüfen, ob nicht die bisherige Bewertungsmethode, die je nach den eingesetzten Werten von  $\tau$  und  $\sigma$  zu ganz verschiedenen Schlussfolgerungen führen kann, durch die hier vorgeschlagene zu ersetzen wäre, die diesen Nachteil nicht aufweist.

Mit der vorliegenden Betrachtung ist indessen die Frage der Ausbaumöglichkeit einer Wasserkraft noch nicht eindeutig beantwortet. Es verbleibt noch zu untersuchen, wie sich der Einsatz eines gegebenen neuen Werks in ein bestehendes Produktionssystem auf dessen Wirtschaftlichkeit auswirkt. Die dahin zielenden Studien unseres Lehrstuhles sollen Gegenstand eines zweiten Berichtes sein.

### Jahrhundertfeier der A. I. Lg. in Lüttich

DK 061.2(493)

Die 1847 gegründete Association des Ingénieurs sortis de l'Ecole de Liège (A. I. Lg.) begeht diese Feier in doppelter Weise: durch die Schaffung einer Ausstellung und die Durchführung eines Kongresses.

Die Ausstellung findet statt in den Räumen der Faculté des Sciences appliquées der Universität Lüttich, im Val-Benoît am Süden der Stadt, am linken Ufer der Maas. Diese umfangreichen Bauten, erst in den Dreissigerjahren durchwegs neu erbaut und 1937 eingeweiht, sind durch Fliegerbomben der Befreier und durch deutsche Raketenbeschüsse arg mitgenommen worden, aber schon weitgehend wieder hergestellt. Sie bieten 12000 m<sup>2</sup> Ausstellungsfläche. Die genaue Bezeichnung der Ausstellung lautet *Exposition du Contrôle industriel*; die Untergruppen sind folgenden Themen gewidmet: Kontrolle der Metalle, physikal. Metallurgie, Aufbereitung der Erze, Radioaktivität und Kernphysik, chemische und physikalische Untersuchungsmethoden (Wasser, Gase, Luft, optische, magnetische, thermodynamische Methoden), Materialprüfung des Bauingenieurs, Spannungsoptik, Thermodynamik, Messtechnik, Feinmechanik, Maschinenelemente, Giesserei, Modellversuchstechnik, Bergbau, Geologie, Transportwesen, Elektrotechnik, Akustik, Textilindustrie, medi-