Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 88 (1997)

Heft: 10

Rubrik: Rentable Kleinwasserkraftwerke

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: 10.12.2025

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

Energienutzungsbeschluss (ENB) und -verordnung (ENV) sowie das Programm «Energie 2000» haben die Weichen für Modernisation und Neubau von rentablen Kleinwasserkraftwerken gestellt. Seitdem das Bundesgerichtsurteil 2A.305/1995 die Vergütung der Stromlieferung gemäss EVED-Richtlinien mit 16 Rp./kWh als Mittelwert bestätigt hat, ist für die Betreiber die Wirtschaftlichkeit – bei geeigneter Ausführung – auch bei neuen Anlagen erreichbar.

Rentable Kleinwasserkraftwerke

■ Edmund Pucher

Das heute nutzbare Potential

Frühere Untersuchungen im Auftrag des Bundesamtes für Wasserwirtschaft aus den Jahren 1984 [1] und 1985 [2] zeigten, dass das verfügbare und noch ungenutzte Potential für **neue** Kleinwasserkraftwerke in der Schweiz im Vergleich zu den statistisch 1985 bereits erfassten 440 Anlagen mit total 32 386 GWh Produktion pro Jahr beachtlich ist [3]. Eigene Untersuchungen des Verfassers auf Basis von 107 Werken deuten ebenfalls auf eine erhebliche Reserve (Bild 1 [4]). Trotz dieses beachtlichen Potentials wurden in den letzten Jahren nur relativ wenig neue Anlagen gebaut. Die Selbstkosten der Energie liegen jedoch in diesen Werken meistens deutlich über 16 Rp./kWh, welche als Mittelwert für die Vergütung im Rahmen des ENB und der ENV festgelegt wurde.

Ziel dieses Beitrages ist es zu zeigen, dass es heute möglich ist, unter entsprechenden Voraussetzungen, die Selbstkosten unter 16 Rp./kWh zu senken, die Amortisationszeit zu reduzieren und so eine gute Rendite zu erreichen.

Der Weg zur Rentabilität

Electroplan hat seit 1974 in 27 Zentralen total 34 Turbinengruppen umgebaut oder neu erstellt. Die gesamte Jahresproduktion stieg dabei von vorher 30 GWh auf 50,5 GWh oder um 40% (Bild 2). Dies konnte erst aufgrund einer konsequenten Weiterentwicklung erreicht werden [5].

Noch 1983 wurde die neue Zentrale der Kalkfabrik Netstal AG in der klassischen Bauart aus Beton mit offenem Kanal erstellt. Dennoch waren für die Jahresproduktion von 4,12 GWh und 803 kW Spitzenleistung nur rund 5,0 Mio. Fr. Investition nötig. Davon mussten jedoch etwa 72% für Bautechnik und Stahlwasserbau aufgewendet werden [6].

Im Vergleich zu anderen neueren vergleichbaren Werken (Münchenstein,

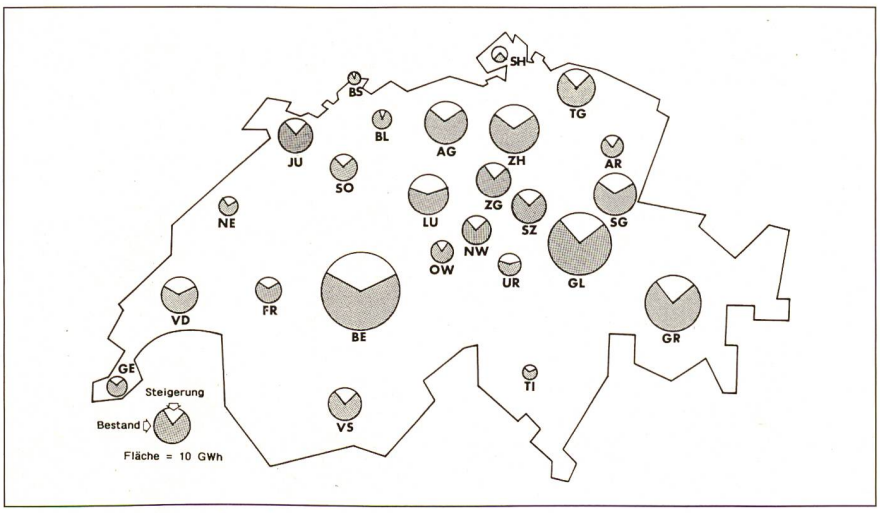

Bild 1 Untersuchungen zeigten bereits 1991 erhebliche ungenutzte Reserven für Kleinwasserkraftwerke bis 300 kW Leistung auf [4].

Adresse des Autors
Dipl.-Ing. *Edmund Pucher*
Beratender Ingenieur, Electroplan
Steinentorstrasse 26, 4051 Basel

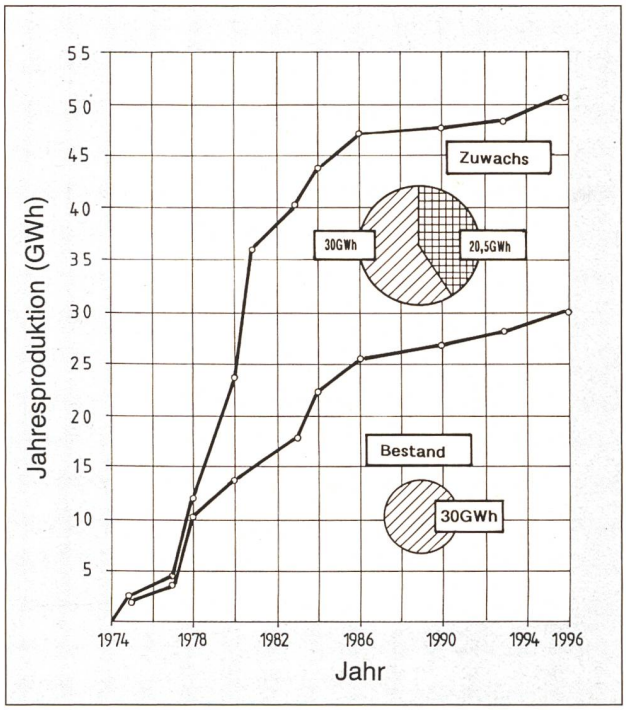

Bild 2 Jahresarbeit der seit 1974 durch Electroplan modernisierten oder neu erstellten Anlagen.

Dornachbrugg, Brügg, Juramill usw.) mit 1.75–2.90 Fr./kWh waren dennoch die rund 1.21 Fr./kWh spezifische Investitionskosten schon damals günstig.

Unterirdische Kompakt-Zentralen

Mit Senkung der Baukosten und Optimierung der Energieproduktion sollte deshalb die Rentabilität gesteigert werden. In Bürglen (1986) und Sempach (1987) wurden so zum ersten Mal betonarme unterirdische Zentralen erstellt. (Bild 3). Die Baukosten konnten durch diese neue Methode gegenüber früher um 45–50% gesenkt werden. Die totale Bauzeit wurde damit um etwa 50–60% reduziert. Der Vergleich mit dem Auto am Dach der Zentrale Bürglen zeigt, wie stark das Bauvolumen und damit auch die totalen Baukosten reduziert werden konnten.

Generatorwahl, Leistungsfaktor-Optimierung

Bei beiden Zentralen wurden, statt der bei Kleinwasserkraftwerken sonst stark verbreiteten Asynchrongeneratoren, optimiert ausgelegte Synchrongeneratoren mit Leistungsfaktorregelung verwendet. Die speziell für Kleinwasserkraftwerke entwickelte Regelelektronik mit integrierter Anfahr- und Abstellautomatik sowie Wasserniveauregelung erfordert nur etwa 5–8% zusätzliche Kosten (automatische, optimale Erregung auf cosφ = 0,95–1,0).

Die erreichbare Mehrproduktion gegenüber einem Asynchrongenerator beträgt jedoch 18–20%. Der notwendige Mehraufwand für eine der Wasserführung angepasste Optimierung der Verluste kostet heute bei spezialisierten Firmen nur noch rund 8–10% des Generatorpreises [7, 8].

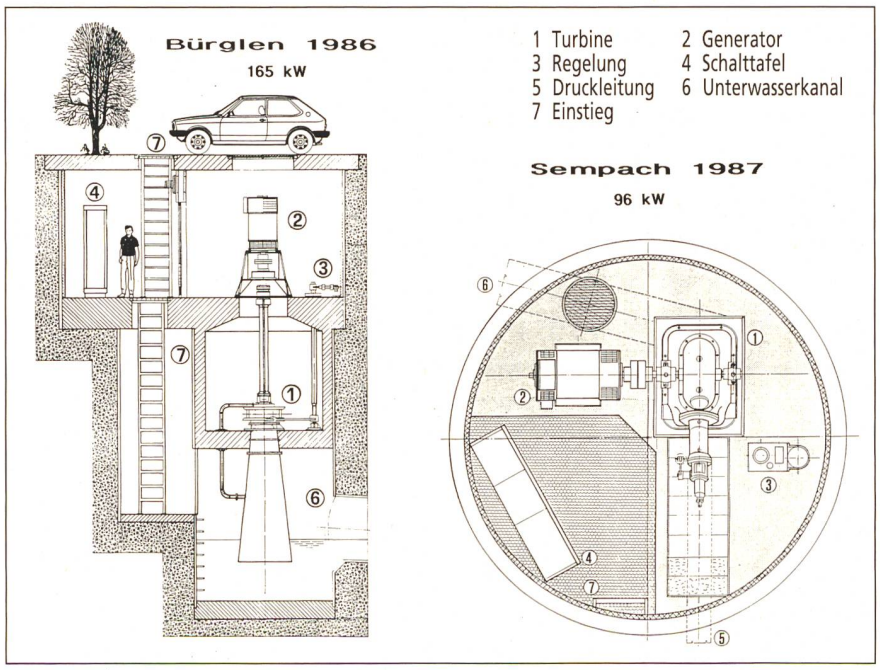

Bild 3 Unterirdische Kompaktzentralen in betonarmer Bauart.

Die Wahl der Turbinen

Als ein typisches Beispiel für die in den umgebauten Werken meistens erreichbare bedeutende Mehrproduktion zeigt Bild 4. In dem 1904 erstellten Werk einer Textilfabrik wurde bisher mit der bestehenden Francis-Spiralturbine und einem Asynchrongenerator jährlich 275 000 kWh bei 85 kW Spitzenleistung produziert. Die alte Francisturbine (Schnelläufer) musste bisher in der Regel bereits bei etwa 35% der Ausbau-Wassermenge abgestellt werden.

Die Nachteile von alten Francisturbinen (Schnelläufer) werden durch die Anwendung von Asynchrongeneratoren bei Wassermengen von 15 bis 35% besonders gross [7, 8].

Bei den geplanten Neubauten mit optimierten Synchrongeneratoren wird es möglich, eine Mehrproduktion von 260 000 kWh zu erreichen. Das Werk wird knapp 80% Jahreswirkungsgrad haben. Dies bedeutet, dass der Bruttoenergieinhalt der jährlich total zufliessenden Wassermenge im Jahresmittel zu 80% genutzt wird. Diese Aufgabe erfordert den Einsatz von Turbinen, welche bei Durchflüssen von rund 18 bis 20% noch mindestens 75% Wirkungsgrad haben.

Die Bánki-Cink-Turbine

In der Schweiz ist es allgemein wenig bekannt, dass die erste der heute als «Durchströmturbine» bekannte Konstruktion von Prof. Bánki (Budapest) schon 1916 entwickelt und berechnet wurde.

Bereits 1928 wurden in 18 Ländern 853 Bánki-Turbinen eingesetzt. Unter den 19 Patenten aus 18 Ländern war auch

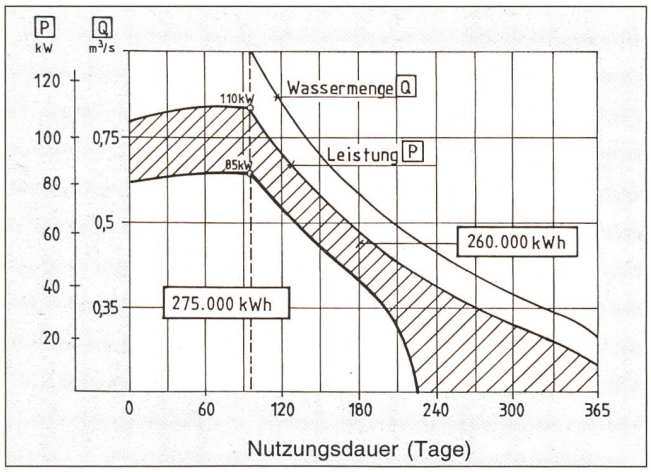

Bild 4 Beispiel für die durch Modernisation und Umbau erreichbare oft erhebliche Mehrproduktion.

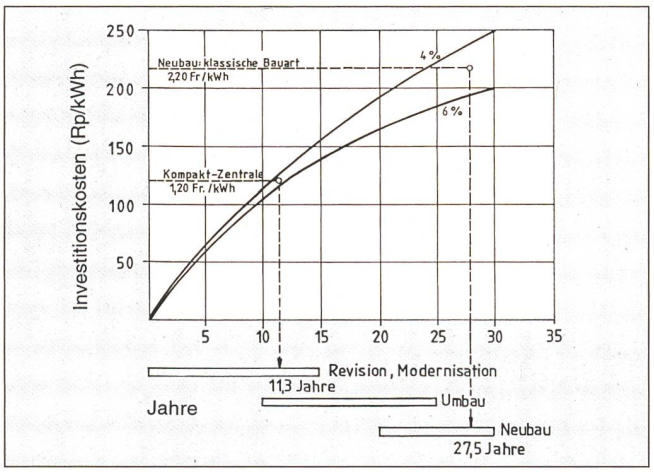

Bild 5 Die finanziell zulässigen spezifischen Investitionskosten bestimmen grundlegend die Rentabilität von Kleinwasserkraftwerken.

das Schweizer Patent Nr. 88.328 dabei. Die Konstruktion und das Patent der Ossberger-Turbine wurden jedoch erst 1939 angemeldet. Die Vorteile der Bánki-Turbinen gegenüber den heute allgemein bekannten «Durchströmturbinen» hat die Firma Cink veranlasst, diese Turbine systematisch weiter zu entwikkeln und zu verbessern.

Die wesentlichsten Vorteile der patentierten Bánki-Cink-Turbine sind:

- Wegfall der Regulierklappe und Ersatz mit einem Reguliersegment (wesentliche Reduktion der Verluste im Einlaufbereich).
- Optimale Anströmungswinkel des Rades bei jeder Wassermenge von 0 bis 100% Turbinenöffnung.
- Totale Schliessung der Turbine auch ohne zusätzliche externe Absperrklappe.
- Optimierte Laufradform aus rostfreiem Material.
- Hydraulisch wirksames Saugrohr für den ganzen Arbeitsbereich (stets vollständige Nutzung der verfügbaren Fallhöhe).
- Die Nachteile der Teilung der Turbine auf zwei Zellen entfällt, womit das Saugrohr immer optimal arbeitet, wie bei allen modernen Francis- oder Kaplanturbinen.
- Ein gemeinsames Saugrohr kann bekanntlich mit zwei Zellen entweder nur bei der kleinen oder bei der grossen Zelle voll wirksam werden (Querschnitt, Vakuum, Wirbel usw.).
- Die Bánki-Cink-Turbine ist heute unter Fallhöhen von 1,6 bis 80 m (im Sonderfall bis 120 m) bei Wassermengen von 20 l/s bis 5 m³/s anwendbar.
- Damit kann ein Bereich von 5 bis 500 kW abgedeckt werden [9].

Die Rentabilitätskriterien von Kleinwasserkraftwerken

Die für die Rentabilität eines Kleinwasserkraftwerkes massgebenden Faktoren sind:

- die Vergütung für die produzierte Energie gemäss EVED-Richtlinie
- die jährlichen Kapitalkosten (Annuität) und
- der Aufwand für Betrieb, Unterhalt und Revision.

Es ist zu hoffen, dass die heute noch stark ins Gewicht fallenden Wasserzinsen bald entfallen.

Dank dem erwähnten Bundesgerichtsurteil dürfte die Vergütung nach EVED-Richtlinien kaum mehr ein grösseres Problem sein. Geringfügige Abweichungen werden bei geeigneter Projektauslegung die Rentabilität nicht wesentlich beeinflussen.

Aus Bild 5 sind die finanziell heute total zulässigen spezifischen Investitionskosten für Revision, Umbau und Neubau ablesbar. Das investierte Kapital sollte demnach noch innerhalb der Restlebensdauer der Anlage voll verzinst und amortisiert werden können. Für Modernisation stehen so in der Regel 8–10 Jahre, für Umbauten bis maximal 25 Jahre zur Verfügung. Da neue Werke mindestens etwa 35–40 Jahre Lebensdauer haben, dürfte die Amortisationszeit theoretisch bis zu 35 Jahre erreichen [10, 11, 12, 13].

Bei den heutigen Zinssätzen von etwa durchschnittlich 5% darf also für Modernisation etwa 1.20 – 1.40 Fr./kWh und bei neuen Anlagen bis zu Fr. 2.20/kWh investiert werden. Hierbei wird vereinfacht angenommen, dass etwa 90% der Bruttoeinnahmen (14.5 Rp./kWh) für Zinsen und Amortisation nutzbar sind.

Die zulässige Investition

Die total zulässige Investition ist somit allein auf Basis der voraussichtlichen Jahresproduktion global berechenbar. Als Beispiel: bei 200 000.– kWh Produktion (rund 50 kW installierte Leistung, als Richtwert) darf eine Modernisierung also bis Fr. 250 000.– kosten. Für ein neues Werk in dieser Grösse kann maximal Fr. 500 000.– aufgewendet werden. Selbstverständlich darf bei Modernisation oder Umbau nur der Wert der Mehrproduktion beachtet werden. Die eventuell noch nicht amortisierten Kosten von Umbauten, Ergänzungen müssen also von den Einnahmen noch abgezogen werden [10, 11, 12].

Es wird heute nur sehr selten für private Investoren, Fabriken, Mühlen oder Sägereien möglich sein, einen Aufwand zu betreiben, der sich erst in 25–30 Jahren amortisiert. Ebensowenig können Gemeindewerke, Genossenschaften oder andere kleine Wasserkraftwerke Kapital für solch lange Laufzeiten bekommen.

Mittlere bis grössere Elektrizitätswerke können dagegen die notwendigen Investitionen innerhalb der Konzessionsdauer abschreiben. Dies ist der Grund, warum Werke mit 1.75–2.90 Fr./kWh spezifischer Aufwand dennoch gebaut werden.

Der Kauf von übergeordneten kantonalen Werken oder anderen Stromlieferanten ist zudem in der Regel bedeutend günstiger als die eigene Produktion mit über 16 Rp./kWh Selbstkosten.

Die Rentabilität

Das Kriterium der Rentabilität ist somit für Werke, welche die ganze Produktion weiter verkaufen, klar:

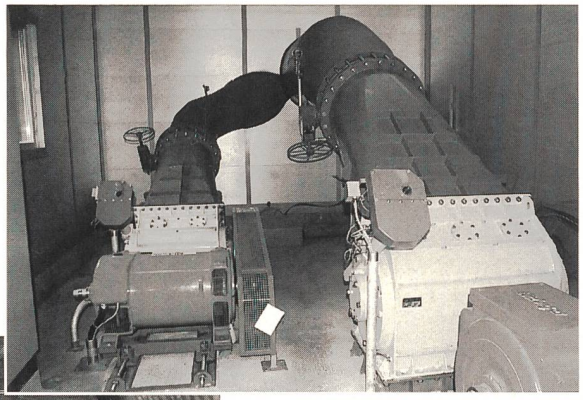

Bild 6 Die Zentrale Erstfeld mit zwei Bánki-Cink-Turbinen.

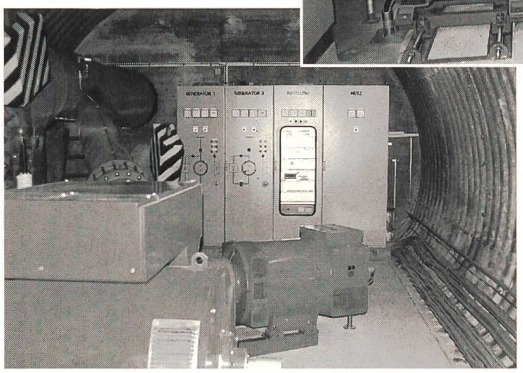

Bild 7 Das Kleinwasserkraftwerk Aesch erreicht bei 508 kW Spitzenleistung 2 GWh Jahresproduktion.

Ein Kleinwasserkraftwerk ist erst dann rentabel, wenn die Nettoeinnahmen je kWh den EVED-Richtlinien entsprechen und das investierte Kapital nicht wesentlich länger gebunden bleibt als in anderen industriellen Anlagen. Dies dürfte heute kaum über 8–10 Jahren liegen. Selbst für Gemeinden und kleinere Werke sind Amortisationszeiten in dieser Grösse viel besser verantwortbar.

Betragen die notwendigen spezifischen Investitionskosten bei neuen Werken nur etwa 0.95–1.20 Fr./kWh statt 1.75 bis 2.90 Fr./kWh, so kann das Kapital meist innerhalb 8–10 Jahren voll amortisiert werden (Bild 5). Dies bedeutet gleichzeitig, dass während der ganzen Lebensdauer der neuen Anlagen zusätzlich (35–40 Jahre) ein Reingewinn von 8 bis 10 Rp./kWh erzielt werden kann.

Zwei Beispiele

In der neuen Zentrale Erstfeld (Bild 6) nutzt eine Sägerei bei knapp 9 m Fallhöhe mit zwei Turbinen Wassermengen von 120 l/s bis 1,5 m^3/s. Die Spitzenleistung erreicht 108 kW. Obwohl über 230 m neue Druckleitung und eine teure Wasserfassung nötig waren, betragen in der seit vier Jahren in Betrieb stehenden Zentrale die spezifischen Investitionskosten nur 1,20 Fr/kWh [14].

Seit Mitte 1996 ist die Zentrale Aesch (UR) mit 508 kW Spitzenleistung und rund 2,1 GWh Jahresproduktion in Betrieb (Bild 7). Die beiden Turbinen verarbeiten Wassermengen von 54 l/s bis 1,0 m^3/s bei 64 m Netto-Fallhöhe. Die spezifischen Investitionskosten von knapp 1 Fr./kWh sichern eine gute Rendite.

Zur Anwendung kamen in beiden Werken Bánki-Cink-Turbinen. Der Jahreswirkungsgrad beträgt etwa 80%. Dies könnte durch Aufteilung der Wassermenge auf 1/3 und 2/3 mit zwei Turbinen sowie mit optimierten Synchrongeneratoren erreicht werden. Sie arbeiten so auch im unteren Leistungsbereich mit minimalen Eisenverlusten.

Zusammenfassung, Ausblick

Aufgrund der neuen, relativ günstigen Rahmenbedingungen (ENV, ENB, «Energie 2000», EVED-Richtlinien) ist es bei spezieller Bauart der Zentralen (unterirdischer Kompaktbau) und Einsatz von Bánki-Cink-Turbinen und Synchrongeneratoren möglich, sogar bei neuen Werken eine entsprechend gute Rentabilität zu erreichen. Selbst stillgelegte Werke haben in der Regel so gute Chancen, reaktiviert zu werden, weil besonders bei den ältesten Werken die hydraulischen Bedingungen in der Regel sehr gut waren (Fallhöhe, Wassermenge, Standort). In den Jahren 1900–1935 wurden bekanntlich die Fabriken (Textilindustrie), Mühlen und Sägereien stets dort erstellt, wo Wasserkraftwerke günstig erbaut werden konnten.

Literatur

[1] BWW: Kleinwasserkraftwerke in der Schweiz, Teil IIa, Oberes Toggenburg 1984.

[2] BWW: Kleinwasserkraftwerke in der Schweiz, Teil IIb, Glarner Hinterland und Sernftal 1985.

[3] BWW: Kleinwasserkraftwerke in der Schweiz, Teil III 1987.

[4] *Pucher, E:* Kleinwasserkraftwerke im europäischen Stromnetz. Technische Rundschau Nr. 13/1992.

[5] *Pucher, E.:* Kleinwasserkraftwerke in der öffentlichen Energieversorgung: Bedeutung, Technik, Kosten, Nutzung. Elektrizitätswirtschaft 83 (1984) Heft 5.

[6] *Pucher, E.:* Das Wasserkraftwerk der Kalkfabrik Netstal AG. Wasser, Energie, Luft 76 (1984) Heft 5/6.

[7] *Pucher, E.:* Die Bedeutung der Gesamtplanung bei Wasserkraftwerken. Das Wassertriebwerk Nr. 1/1984.

[8] *Pucher, E.:* Die elektrischen Anlagen moderner Kleinwasserkraftwerke. Das Wassertriebwerk Nr. 4 + 5/1985.

[9] *Pucher, E.:* Entwicklung und Einsatzbereich der Bánki-Turbine 1916–1996. Wasserwirtschaft 86 (1996) H. 12.

[10] Pacer: Kleinstwasserkraftwerke Nr. 724.144d (Bern, 1994).

[11] BEW, Diane 10: Nutzen statt aufgeben (Bern 1994) EDMZ Nr. 805.173d.

[12] *Behnke, R., Frackmann, H.* und *Lueck, M.:* Leitfaden zur Rekonstruktion von Kleinwasserkraftanlagen, Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Brandenburg, 1992.

[13] *Pucher, E.:* Praktische Kosten-Nutzen-Analyse für Kleinwasserkraftwerke. Das Wassertriebwerk Nr. 2/1991.

[14] *Pucher, E.:* Neue Wege zur Rentabilität. Handelszeitung Nr. 2/1995.

Petites centrales hydrauliques rentables

L'arrêté sur l'énergie (AE) et l'ordonnance correspondante (OEn) ainsi que le programme fédéral Energie 2000 ont défini la modernisation et la construction de petites centrales hydrauliques rentables. Depuis que le Tribunal fédéral a confirmé dans son jugement n° 2A.305/1995 qu'il fallait payer un prix annuel moyen de 16 cts par kWh pour la fourniture d'électricité conformément aux directives du Département fédéral des transports, des communications et de l'énergie (DFTCE), les nouvelles installations peuvent aussi être rentables pour leurs propriétaires, si elles sont construites de manière adéquate.