

# Wasserkraft in der Schweiz: Ausbau, Möglichkeiten und Schranken

Autor(en): **Allet, Bruno / Schleiss, Anton**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **108 (1990)**

Heft 29

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77473>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Wasserkraft in der Schweiz

Ausbau, Möglichkeiten und Schranken

**Aufgrund verschiedener Ausbauprognosen könnte die Wasserkraft bis zum Jahre 2025 einen zusätzlichen jährlichen Beitrag von 3300 bis 5100 GWh an die schweizerische Elektrizitätsversorgung leisten, was rund 11 bis 16% der heutigen Produktionsmöglichkeiten der Wasserkraftanlagen entspräche. Insbesondere liesse sich die Winterproduktion mit einem massvollen Ausbau um 2800 bis 4300 GWh, das heisst um rund 20 bis 30% gegenüber heute, steigern. Bei Erfüllung extremer, zurzeit diskutierter Gewässerschutzforderungen, würden Neubauten in Zukunft vollständig und Umbauten grösstenteils verunmöglicht. Die vorgesehene Restwasserregelung würde ausserdem die Energieproduktion der bestehenden Wasserkraftanlagen bis nach Ablauf aller bestehenden Konzessionen im Jahre 2070 gegenüber heute um 2600 GWh bis 5000 GWh schmälern.**

*Der Kampf der weissen Kohle! - Die weisse Kohle wirft dunkle Schatten! - Schutz der letzten natürlichen Gewässer!*

VON BRUNO ALLET UND  
ANTON SCHLEISS,  
ZÜRICH

*- Wettlauf um Endausbau der Wasserkraft? - Bewilligungsstopp für Wasserkraftwerke?*

Dies sind Schlagzeilen, die zum Thema Ausbau der Wasserkraft in der Schweiz in den letzten Jahren aus der Tagespresse zu entnehmen waren. Im folgenden wird versucht, die Ausbaumöglichkeiten der Wasserkraft nicht mit Schlagworten, sondern mit den Resultaten neuerer energiewirtschaftlicher Studien darzulegen. Vorerst werden Ausbaustand und technisches Potential der Wasserkraft weltweit, in Europa und in der Schweiz kurz miteinander verglichen. Danach folgt eine Vorstellung der Funktionen, welche Wasserkraftanlagen in einem Stromversorgungsnetz zu erfüllen haben. Getrennt nach den verschiedenen Wasserkraftwerkstypen werden daraufhin die realistischen Ausbaumöglichkeiten in der Schweiz bis zum Jahre 2025 aufgrund der zurzeit geltenden Gesetzesgrundlagen bewertet. Demgegenüber wird die Auswirkung der Volksinitiative «Zur Rettung unserer Gewässer» bzw. eines verschärften Gewässerschutzgesetzes auf die Realisierungschancen dieser Ausbaumöglichkeiten aufgezeigt, ferner die erwartete Verminderung der Energieproduktion bei den bestehenden Wasserkraftanlagen infolge der geplanten Restwasserregelung beziffert. Zum Schluss werden verschiedene Prognosen für den zukünftigen Produktionsbeitrag der Wasserkraft in der Schweiz veranschaulicht.

## Ausbaustand und technisches Potential

Weltweit gesehen werden heute etwa 20% des *technisch nutzbaren* Wasserkraftpotentials genutzt. Der gegenwärtige Ausbaugrad der technisch nutzbaren Wasserkraft variiert je nach Kontinent und erreicht zum Beispiel in Westeuropa bereits 70 bis 90%, in Lateinamerika und Asien hingegen, wo das grösste Potential vorhanden ist, lediglich 10% [1].

Für die Schweiz wird das pro Jahr technisch nutzbare Potential mit 41 000 GWh angegeben [1]. Zurzeit werden davon 32 600 GWh bzw. 80% genutzt. Zu beachten ist, dass das *theoretische Potential* mit 144 000 GWh rund 3,5 mal grösser als das technisch nutzbare ist. Das theoretische Potential entspricht der potentiellen Energie des jährlich auf die Schweiz fallenden Niederschlages. Als Bezugshorizont für ein bestimmtes Einzugsgebiet gilt dabei die Höhenlage seines Fliessgewässers an der Landesgrenze (z.B. Rhein bei Basel).

Der prozentuale Anteil der Wasserkraft an der gesamten Stromproduktion in der Schweiz hat in den letzten drei Jahrzehnten mit der Inbetriebnahme der Kernkraftwerke deutlich abgenommen. Im Jahre 1965 trug die Wasserkraft 98% zur Stromversorgung bei, heute nur noch 62% [2].

## Funktion der Wasserkraftwerke im Stromversorgungsnetz

Die Hauptfunktion der Wasserkraftwerke ist gewiss die eigentliche Erzeugung von Strom. Daneben haben sie noch andere, ebenfalls wichtige Aufga-

ben innerhalb eines Stromversorgungsnetzes zu erfüllen, welche nachfolgend kurz beschrieben werden.

## Abdeckung des Spitzenverbrauchs

Strom kann bekanntlich nicht auf Vorrat erzeugt werden, da die Elektrizität nicht direkt speicherbar ist. Um die zur Abdeckung von Bedarfsspitzen erforderliche Reserve zu schaffen, muss die Speicherung deshalb in einer anderen Energieform erfolgen. Diesbezüglich unübertroffen sind bis heute immer noch die Speicherkraftwerke, bei welchen das zufließende sowie allenfalls gepumpte Wasser in einem Stausee gelagert und somit als Energievorrat bereitgestellt wird. Andere Möglichkeiten zur Energiespeicherung wie Batterien und Druckluftspeicher stellen keine gleichwertigen Alternativen dar. Dank der Wassermulagerung vom Sommer in den Winter erlauben die Speicherkraftwerke insbesondere die Nachfrage im Winterhalbjahr abzudecken. Ohne die Speicherwirkung der Stauseen würde der Winteranteil an der jährlichen Produktion der Wasserkraftanlagen - statt der heutigen 40% - nur 25% betragen [2].

## Energieveredelung

Die durch die Stauseen bewirkte Wassermulagerung vom Sommer in den Winter ist auch eine Form der Energieveredelung, da die Winterenergie entsprechend der Nachfrage höher bewertet wird als die Sommerenergie. Von einer eigentlichen Energieveredelung spricht man aber meistens im Zusammenhang mit Pumpspeicherkraftwerken. Mit überschüssigem und billigem Strom wird in Schwachlastzeiten - wie sie beispielsweise in der Nacht oder am Wochenende auftreten - Wasser vom Unterbecken in das höhergelegene Oberbecken gepumpt. Dieses Wasser kann dann zur Abdeckung von Verbrauchsspitzen wieder turbinieren werden.

## Frequenz-, Leistungs- und Spannungsregelung

In jedem Zeitpunkt muss in einem Stromversorgungsnetz Gleichgewicht zwischen Produktion und Verbrauch herrschen, sonst entstehen Frequenz- und Lastflussschwankungen. Bei Überschreiten der zulässigen Toleranzgrenzen führen solche Schwankungen zu einer Beeinträchtigung bzw. zu einer unerwünschten Abschaltung der am Netz angeschlossenen Verbraucher. Die schweizerischen Speicherkraftwer-

ke übernehmen im Rahmen des europäischen Verbundbetriebes eine wichtige Rolle in der Ausregelung der Frequenzschwankungen und in der Einhaltung der vereinbarten Lastflüsse. Konstante Frequenz und konstante Spannung beim Endabnehmer sind neben der Sicherheit der Versorgung die Qualitätsmerkmale der elektrischen Energieversorgung.

### Reservehaltung

Die Reservehaltung im Winterhalbjahr wird heute in der Schweiz durch eine Kombination von Speicherkraftwerken und Kernkraftwerken gewährleistet. Die Versorgung muss auch dann garantiert sein, wenn ein Kernkraftwerk im Winter ausfällt. Gemäss dem *Zehn-Werke-Bericht* [3] ist zur Abdeckung eines solchen Engpasses eine Reserve von 13% der mittleren Erzeugungsmöglichkeit notwendig, um eine Versorgungssicherheit von 95% zu erreichen. Vorhersehbare Engpässe können grundsätzlich durch Stromimporte ausgeglichen werden. Kurzfristige Versorgungslücken werden normalerweise durch die eigenen Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke überbrückt. Letztere sind besonders geeignet, sogenannte Minutenreserven bereitzustellen. Ihre Notwendigkeit ist nicht zuletzt beliebten Fernsehsendungen, insbesondere Sportübertragungen, zuzuschreiben.

## Ausbaumöglichkeiten der Wasserkraft bis 2025

### Grundlagen

Die folgenden Ausführungen beruhen auf den Resultaten einer Studie, welche die Elektrowatt Ingenieurunternehmung zuhanden des Bundesamtes für Energiewirtschaft ausgearbeitet hat [4]. Als Zeithorizont wurde das Jahr 2025 ins Auge gefasst. Die erwähnte Studie beschränkte sich auf die *realistischen* Ausbaumöglichkeiten von Wasserkraftanlagen. Realistisch heisst, dass sie technisch und zeitlich bis zum Planungshorizont 2025 realisierbar sind. Die Realisierungschancen der einzelnen Projekte hängen heute sehr stark von der Umweltverträglichkeitsprüfung ab. Aufgrund weiterer Vergleichskriterien wie Wirtschaftlichkeit, Strombedarf, Restwassergesetzgebung, Genehmigungsverfahren usw., das heisst basierend auf den *heute geltenden* Gesetzesgrundlagen, wurden die Projekte in die folgenden vier Klassen eingeteilt:

Realisierungs-klasse	Wahrscheinlich-keit der Realisierung
1 wahrscheinlich	75–100%
2 möglich	50– 75%
3 denkbar	25– 50%
4 unwahrscheinlich	0– 25%

Die Projekte aller vier Klassen zusammen ergeben die *realistischen* Möglichkeiten. Bei der Erarbeitung der Ausbauprognosen wurden die einzelnen Klassen mit der angegebenen Wahrscheinlichkeit der Realisierung gewichtet. Grundsätzlich wurde zwischen Umbauten und Neubauten sowie zwischen den verschiedenen Kraftwerkstypen unterschieden.

### Erneuerung und Ausbau der bestehenden Niederdruckanlagen

Als Niederdruckanlagen werden Kraftwerke mit Fallhöhen unter 30 m bezeichnet. Für die Abschätzung der Ausbaumöglichkeiten wurden alle Niederdruckanlagen mit einer Leistung von mehr als 10 MW untersucht, deren Konzession bis zum Jahr 2025 abläuft, oder für welche bereits heute ein Umbauprojekt besteht. Zur Diskussion stehen total 18 Niederdruckanlagen bzw. Laufkraftwerke, die sich an den Flüssen Rhein, Rhone, Aare und Limmat befinden. Für 12 davon sind bereits Umbauprojekte bekannt. Für die anderen Anlagen wurden Mehrproduktion und Leistungssteigerung unter folgenden Annahmen berechnet:

- Die Ausbaugrösse wird auf eine Abflussmenge erhöht, die an 55 bis 80 Tagen im Jahr vorhanden ist.

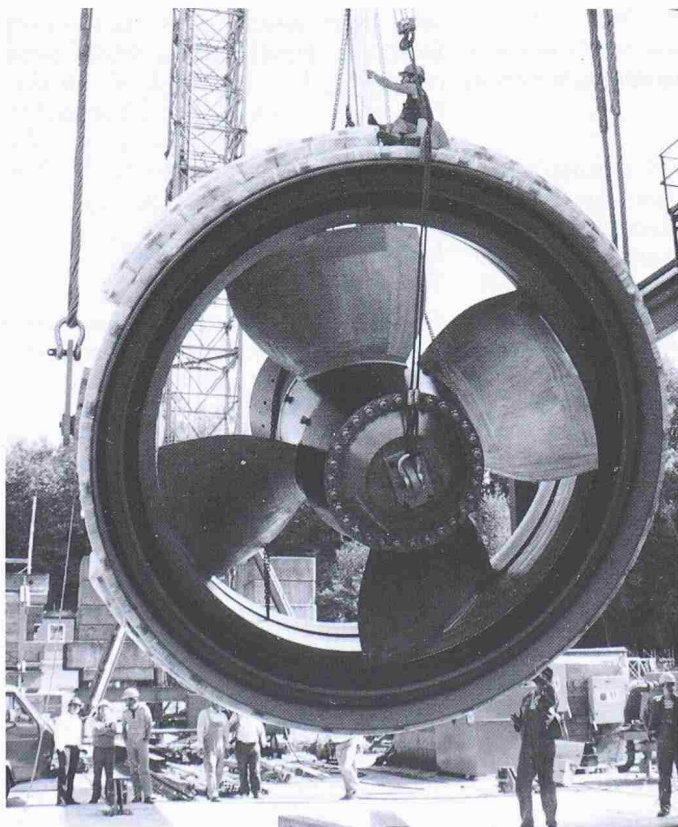


Bild 1. Umbauarbeiten beim Kraftwerk Laufenburg. Die alten Francisturbinen werden durch moderne Straflo-Turbinen ersetzt. Die mittlere Jahresproduktion erhöht sich nach dem Umbau um 29% auf 630 GWh, die installierte Leistung um 11% auf 110 MW (Photo Bauleitung EWI).

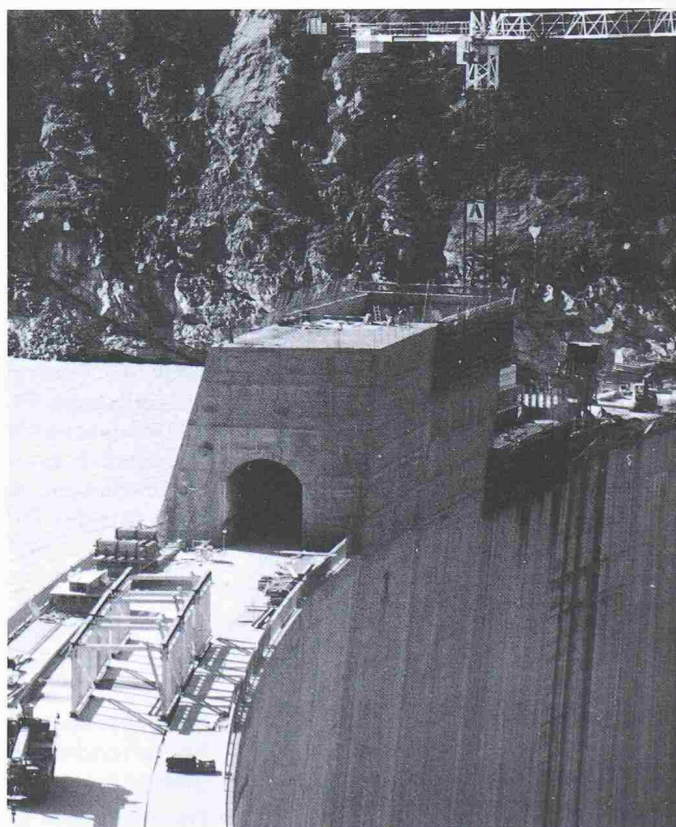


Bild 2. Erhöhungsarbeiten bei der Staumauer Mauvoisin im Kanton Wallis. Mit der Erhöhung von 13,5m vergrössert sich das Speichervolumen um 30 Mio m<sup>3</sup>, was eine Steigerung der Winterproduktion um 100 GWh (16%) erlaubt (Photo Bauleitung EWI).

Realisierungsklasse	Zusätzliche Produktionserwartung			Mehrleistung (MW)
	Winter (GWh)	Sommer (GWh)	Jahr (GWh)	
wahrscheinlich	180	330	510	145
möglich	65	145	210	60
denkbar	30	45	75	10
unwahrscheinlich	15	20	35	5
Total	290	540	830	220

Tabelle 1. Umbaumöglichkeiten der bestehenden Niederdruckanlagen bis 2025

Realisierungsklasse	Zusätzliche Produktionserwartung			Mehrleistung (MW)
	Winter (GWh)	Sommer (GWh)	Jahr (GWh)	
wahrscheinlich	305	-155	150	10
möglich	20	50	70	30
denkbar	630	-400	230	190
unwahrscheinlich	-	5	5	-
Total	955	-500	455	230

Tabelle 2. Umbaumöglichkeiten der bestehenden Hochdruckanlagen bis 2025

Realisierungsklasse	Zusätzliche Produktionserwartung im Winter (GWh)	Vergrosserung des Speichervolumens (Mio m <sup>3</sup> )
wahrscheinlich	1360	410
möglich	110	50
denkbar	290	80
unwahrscheinlich	380	170
Total	2140	710

Tabelle 3. Möglichkeiten der Vergrösserung des Speichervolumens der bestehenden Stauseen bis 2025

- Der Gesamtwirkungsgrad des Kraftwerkes verbessert sich bei Ersatz der alten Francisturbinen um 10% bzw. bei Ersatz der alten Kaplansturbinen um 7,5%.
- Stauerhöhungen im Oberwasser und Ausbaggerungen im Unterwasser werden nicht berücksichtigt.

Die obigen Annahmen decken sich mit den Erfahrungen bei neueren Projekten und bereits abgeschlossenen Umbauten am Rhein. Zurzeit laufen die Ausbauarbeiten des Kraftwerkes Laufenburg (Bild 1). Die realistischen Umbaumöglichkeiten sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Durchschnittlich könnte die Jahresproduktion der untersuchten Niederdruckanlagen um 27%, die Leistung um 26% erhöht werden.

### Erneuerung und Ausbau der bestehenden Hochdruckanlagen

Die zusätzlichen Produktionserwartungen durch die Erneuerung von den 32 Hochdruckanlagen (Fallhöhen über 100 m), bei denen die Konzessionen bis zum Jahre 2025 ablaufen, sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Bei 11 Kraftwer-

ken davon sind bereits Umbauprojekte bekannt, welche die jeweilige Winterproduktion durch zusätzliche Fassungen und geringe Speichererweiterungen erheblich erhöhen. Für die übrigen 21 Hochdruckanlagen wurde angenommen, dass mit einer «sanften» Erneuerung die Energieproduktion durchschnittlich um 5% erhöht werden könnte. Der dabei in Betracht gezogene Umbau beschränkt sich auf die Erneuerung der Fassungen, der Triebwasserleitungen sowie der Turbinen und deren Regulierung. Speichervergrösserungen und Leistungserhöhungen bei den neueren grossen Hochdruckanlagen werden in den folgenden Abschnitten getrennt untersucht.

### Vergrösserung der bestehenden Speicherseen (Talsperrenerhöhungen)

Die Umlagerung von überschüssiger Sommerenergie in den Winter wird in Zukunft vermehrt an Bedeutung gewinnen. Obwohl die Nachfrage im Winter grösser ist als im Sommer, können nämlich mit den bestehenden Wasser-

kraftanlagen nur etwa 40% der Jahresenergie im Winter erzeugt werden. Um eine grössere Winterproduktion zu erreichen, wären zusätzliche Speicher nötig. Standorte für neue Stauseen sind in der Schweiz aber nur noch vereinzelt vorhanden. Hingegen lassen sich einige der bestehenden Talsperren in beschränktem Masse erhöhen, falls die folgenden Voraussetzungen gegeben sind:

- Das Verhalten der Talsperre und der Sperrstelle weist in den letzten Jahrzehnten keine Anomalien auf.
- Der Höheraufstau tangiert keine Siedlungs- und Nutzungsgebiete.
- Die Gefahr von Hangrutschungen im Staugebiet wird durch die Spiegelhöhung nicht verstärkt.
- Das zusätzliche Speichervolumen kann durch die natürlichen Zuflüsse oder mittels der heute vorhandenen Pumpen gefüllt werden.

Aufgrund dieser Kriterien eignen sich in der Schweiz 21 Talsperren, wobei mit Rücksicht auf die bestehenden Abschlussorgane und Triebwasserleitungen die Erhöhung auf etwa 10% der jeweiligen Sperrhöhe beschränkt ist. Betonsperren lassen sich in der Regel nicht mehr als um den Wert der Stau-mauerbreite an der Krone erhöhen. Gemäss Tabelle 3 könnte der Inhalt aller in Frage kommenden Speicherseen zusammen bestenfalls um 710 Mio m<sup>3</sup> vergrössert werden, was etwa einem Drittel des heutigen Speichervolumens entspricht. Für verschiedene Talsperren liegen konkrete Erhöhungspläne vor. Bereits in Ausführung befindet sich die Erhöhung der Staumauer Mauvoisin im Kanton Wallis (Bild 2).

### Leistungserhöhungen bei Speicherkraftwerken

Die Speicherkraftwerke in den Alpen werden vermutlich längerfristig zunehmend zur Leistungsdeckung im europäischen Verbundnetz herangezogen. Länder, welche ihre Versorgung vorwiegend auf einen thermischen Anlagepark abstützen, könnten in Zukunft daran interessiert sein, Bandenergie gegen Spitzenenergie mit hoher Leistung auszutauschen. Besonders im Falle eines Kernenergiemoratoriums oder einer Stilllegung der Kernkraftwerke müssten die Speicherkraftwerke in der Schweiz konsequenterweise auf Leistung ausgerichtet werden, um eine einseitige Auslandabhängigkeit zu verhindern, falls die fehlende Winterenergie nicht durch Sparen und alternative Erzeugungsmöglichkeiten kompensiert werden kann.

Bei Leistungserhöhungen kann keine zusätzliche Energie erzeugt werden. Die Leistung einer Hochdruckanlage

Realisierungsklasse	Leistungserhöhung (MW)
wahrscheinlich	1930
möglich	920
denkbar	1130
unwahrscheinlich	-
Total	3980

Tabelle 4. Möglichkeiten der Leistungserhöhung bei den zehn grössten Speicherkraftwerken bis 2025

lässt sich beispielsweise verdoppeln, indem das verfügbare Wasser aus einem Stausee in der Hälfte der Zeit abturbiniert wird. Dafür muss ein neues, zum bestehenden paralleles Stollensystem gebaut und die Zentrale erweitert werden. Das Ergebnis der an den zehn grössten Speicherkraftwerken der Schweiz durchgeführten Untersuchungen geht aus Tabelle 4 hervor. Dabei wurde angenommen, dass die Nutzungsdauer gegenüber heute um etwa die Hälfte gesenkt wird. Insgesamt würden Möglichkeiten zur Erhöhung der Leistung um rund 4000 MW bestehen, das heisst um rund 35% der heute installierten Leistung aller Wasserkraftanlagen (rund 11 500 MW).

**Neubaumöglichkeiten von Wasserkraftanlagen (Leistung grösser als 10 MW)**

Neuanlagen nutzen, im Gegensatz zu erneuerten Kraftwerken, bis anhin unverbaute Gewässerstrecken. Die Ausbaudaten der in Tabelle 5 berücksichtigten Neubauprojekte wurden aus Fachzeitschriften sowie einer Zusammenstellung der zwölf grössten Elektrizitätsgesellschaften entnommen. Ernsthaft im Gespräch und rein zeitlich bis zum Jahre 2025 realisierbar sind 32 Vorhaben.

Die Realisierungschancen dieser Projekte hängen heute im wesentlichen vom Resultat der Umweltverträglichkeitsprüfung ab. Alle realistischen Neubaumöglichkeiten zusammen ergeben rund 3700 GWh Jahresenergie, oder etwas mehr als 10% der heutigen hydraulischen Erzeugung. Davon entfallen 73% auf Laufenergie und nur 27% oder etwa 1000 GWh auf Speicherenergie.

**Um- und Neubaumöglichkeiten von Kleinkraftwerken (Leistung kleiner als 10 MW)**

Die bisherigen Betrachtungen bezogen sich auf Kraftwerke mit einer Leistung von mehr als 10 MW. Die bei Kleinkraftwerken (Leistung kleiner als 10 MW) durch Um- und Neubauten erzielbare Mehrproduktion ist in Tabelle 6 zusammengefasst [4, 5].

Realisierungsklasse	Zusätzliche Produktionserwartung			Mehrleistung (MW)
	Winter (GWh)	Sommer (GWh)	Jahr (GWh)	
wahrscheinlich	480	420	900	440
möglich	520	1120	1640	400
denkbar	610	130	740	240
unwahrscheinlich	190	240	430	100
Total	1800	1910	3710	1180

Tabelle 5. Neubaumöglichkeiten von Wasserkraftanlagen bis 2025 (>10 MW Leistung)

Realisierungsklasse (Stromgestehungskosten)	Zusätzliche Produktionserwartung			Mehrleistung (MW)
	Winter (GWh)	Sommer (GWh)	Jahr (GWh)	
wahrsch. (<10 Rp/kWh)	320	830	1150	520
möglich (10-12 Rp/kWh)	120	180	300	100
denkbar (12-14 Rp/kWh)	180	320	500	130
unwahrsch. (14-16 Rp/kWh)	180	320	500	170
Total	800	1650	2450	920

Tabelle 6. Um- und Neubaumöglichkeiten der Kleinkraftwerke (<10 MW Leistung)

Die Verwirklichung sämtlicher realistischer Möglichkeiten würde demnach die derzeitige Produktionserwartung der Kleinkraftwerke um 2450 GWh, das heisst um 80% erhöhen und somit zur Nutzung eines beachtlichen, noch brach liegenden Potentials führen. Bezüglich Umweltverträglichkeitsprüfung und Restwassermenge werden allerdings die Kleinkraftwerke zurzeit den gleichen Regelungen wie die grösseren Anlagen unterzogen.

**Zusammenfassung der Um- und Neubaumöglichkeiten aller Wasserkraftanlagen**

Fasst man die Beiträge sämtlicher realistischer Um- und Neubaumöglichkeiten zusammen, so verläuft der zeitliche

Zuwachs der mittleren Jahreserzeugung wie in Bild 3 dargestellt. Dabei wurde angenommen, dass mit den Umbauten frühestens nach Ablauf der alten Konzessionen begonnen wird. Durch Ausschöpfung sämtlicher realistischen Möglichkeiten könnte bis zum Jahre 2025 die heutige Produktion der Wasserkraftwerke um etwa 7500 GWh, beziehungsweise um 23% gesteigert werden.

Ein verhältnismässig grösserer Zuwachs, nämlich rund 6000 GWh, wäre im Winterhalbjahr möglich (Bild 4). Dies entspricht 42% der heutigen Winterproduktion der Wasserkraftwerke. Der Winteranteil könnte damit von 40% auf über 50% erhöht werden. Es ist allerdings kaum zu erwarten, dass alle

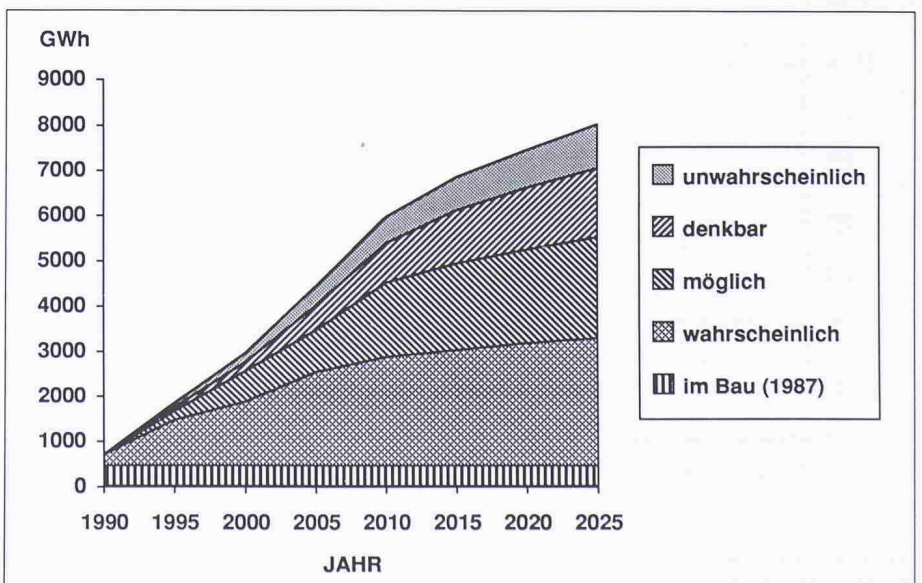


Bild 3. Zusammenfassung sämtlicher Um- und Neubaumöglichkeiten von Wasserkraftanlagen: Mittlere Jahreserzeugung.

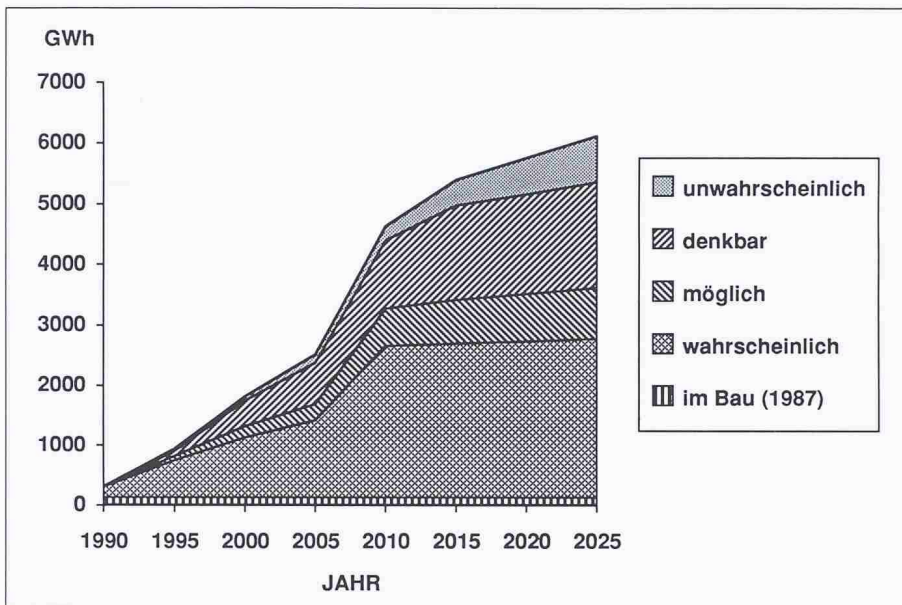


Bild 4. Zusammenfassung sämtlicher Um- und Neubaumöglichkeiten von Wasserkraftanlagen: Mittlere Wintererzeugung.

bisher aufgezeigten realistischen Um- und Neubauten bis zum Jahre 2025 zur Ausführung gelangen. Basierend auf den heute geltenden Gesetzesgrundlagen würde die tatsächliche Realisierungsquote irgendwo im Bereich der wahrscheinlichen und möglichen Projekte liegen (vergl. Prognosen).

Ob in Zukunft die Stromerzeugung aus der Wasserkraft in der Schweiz tatsächlich noch einen Zuwachs erfahren wird, ist heute jedoch völlig ungewiss. Die Volksinitiative «Zur Rettung unserer

Gewässer», welche im Jahre 1984 eingereicht wurde, sieht einen umfassenden Schutz der natürlichen Gewässer vor. Im Frühling 1987 überreichte der Bundesrat den eidgenössischen Räten eine Botschaft zu dieser Initiative. Der in der Botschaft enthaltene Revisionsentwurf des Bundesgesetzes über den Schutz der Gewässer stellt einen indirekten Gegenvorschlag zur Volksinitiative dar. Im Juni 1989, bei der Beratung dieses Gesetzesentwurfes, fügte der Nationalrat ein neues Kapitel ein (Kap. 1a, Art. 28a und 28b), welches die zentra-

len Elemente der Gewässerschutzinitiative aufnimmt. Demnach werden natürliche Gewässerabschnitte samt ihren Uferbereichen umfassend geschützt und die Eingriffe in noch naturnahe Gewässer stark eingeschränkt, was Neubauten von Wasserkraftanlagen vollständig und Umbauten grösstenteils verunmöglicht. In der Session vom Dezember 1989 lehnte der Ständerat mit der Zustimmung des Bundesrates das neue Kapitel ab. Gleichzeitig hielt er an seinen im ursprünglichen Entwurf des Bundesrates eingefügten Ausnahmeregelungen fest. Wie die Gesetzesvorlage nach Abschluss der Differenzbereinigung in den beiden Räten schliesslich aussehen wird, ist heute ungewiss.

### Verminderung der Energieproduktion der bestehenden Wasserkraftanlagen

Aufgrund des Gesetzesentwurfes (Botschaft vom 29. April 1987) ist zu erwarten, dass die Energieproduktion der bestehenden Wasserkraftanlagen durch die darin vorgesehene Restwasserregelung vermindert wird. Artikel 31 Absatz 1 des Gesetzesentwurfes schreibt die Mindestrestwassermengen vor. Wie aus Bild 5 ersichtlich wird die Mindestmenge von einer Abflussmenge abhängig gemacht, welche an mindestens 347 Tagen im Jahr im Gewässer vorhanden ist. Ferner wird zwischen kleinen, mittelgrossen und grossen Gewässern unterschieden. Die Mindestmenge für kleine Gewässer beträgt 50 l/s, für grosse 10'000 l/s; dazwischen ist sie der empirischen Formel von Matthey angeglichen. Ist beispielsweise in einem Gewässer an 347 Tagen im Jahr eine Abflussmenge von 500 l/s vorhanden, so müssen 280 l/s als Restwasser belassen werden.

In einer Studie zuhanden des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes hat die Elektrowatt Ingenieurunternehmung aufgrund dieses Gesetzesentwurfes die Energieeinbussen der Wasserkraftanlagen berechnet [6, 7]. Die zusätzlichen Einbussen gegenüber den heute schon abgegebenen Restwassermengen wurden für insgesamt 78 Zentralen ermittelt, welche zusammen 45% der jährlichen Produktionserwartung aufweisen. Ausgehend von diesen Referenzwerken konnten die Energieeinbussen für die anderen Kraftwerke mittels Korrelationsfunktionen hochgerechnet werden (Bild 6).

Die Mindestanforderungen führen demnach zu jährlichen Energieeinbussen von 1900 GWh. Für deren zeitliches Eintreten wurde angenommen, dass die neue Restwasserregelung erst

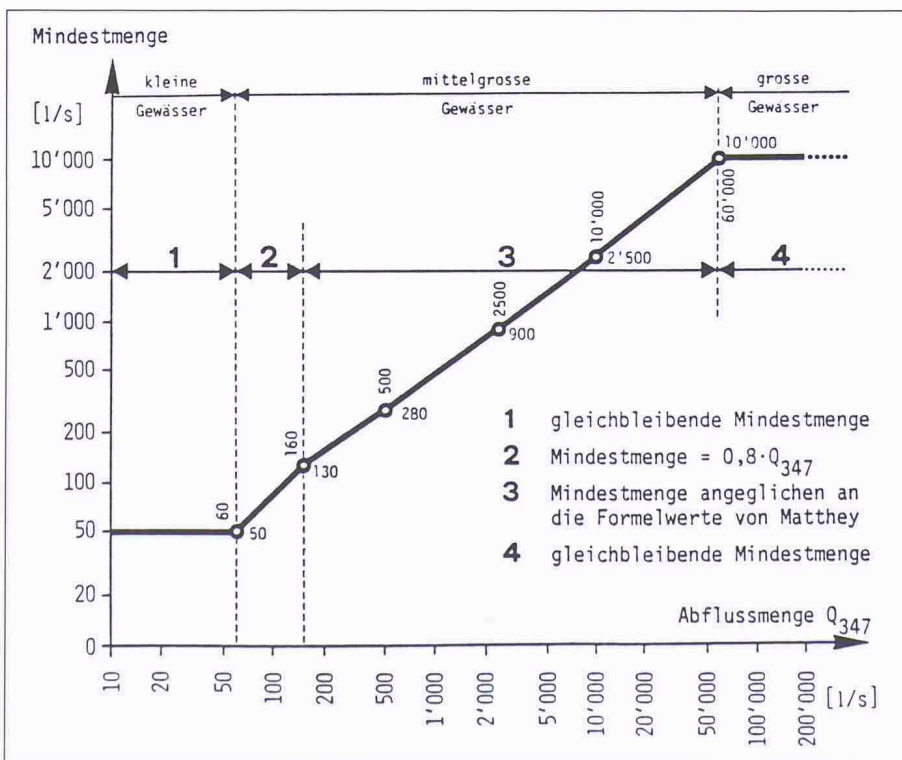


Bild 5. Mindestrestwassermenge nach Artikel 31 Absatz 1 (logarithmische Darstellung) gemäss der Botschaft zur Volksinitiative «Zur Rettung unserer Gewässer» und zur Revision des Bundesgesetzes über den Schutz der Gewässer vom 29. April 1987 (S. 71).

nach Ablauf der Konzessionen (woherworbene Rechte) angewandt werden kann (andernfalls müssten die Einbussen voll entschädigt werden). Die Einbussen – insbesondere bei der wertvollen Winterenergie – nehmen vor allem nach dem Jahre 2030 stark zu, wenn die Konzessionen der grossen Speicherkraftwerke erneuert werden müssen. Am härtesten betroffen sind damit die Gebirgskantone. So wären beispielsweise 28% bzw. 525 GWh der gesamtschweizerischen Einbussen alleine im Kanton Wallis zu verzeichnen.

Die tatsächlichen Einbussen werden aber höher sein, da nach Artikel 33 die Vollzugsbehörden, also die Kantone, verpflichtet sind, die Mindestmenge so weit zu erhöhen, als dies aufgrund einer Abwägung der Interessen für und gegen das Ausmass der vorgesehenen Wasserentnahme angemessen erscheint. In den letzten Jahren wurden bei einigen Wasserkraftwerken Restwassermengen anhand von Fischereigutachten bestimmt, welche sich bereits am Gesetzesentwurf orientierten. Die Kantone verlangten dabei stets höhere Werte als die im Gesetzesentwurf vorgeschriebene Mindestmenge. Ohne Berücksichtigung der Extremfälle schwanken die registrierten Vergrösserungsfaktoren zwischen 1.39 und 2.66. Die Höhe der effektiven Restwassermengen kann deshalb stark unterschiedlich sein und hängt davon ab, ob die Vollzugsbehörden eher zugunsten der Wasserkraftnutzung oder zugunsten anderer Interessen entscheiden werden.

Die jährlich zu erwartenden Energieeinbussen nach Erhöhung der Mindestmenge durch die Kantone werden, nach Ablauf aller Konzessionen, im Minimum 2600 GWh und im Maximum 5000 GWh betragen (Bild 7). Dies entspricht 8% bis 16% der heutigen Jahresproduktion. Die minimale Einbusse erreicht damit den Wert der Jahreserzeugung des Kernkraftwerkes Beznau II und die maximale gar denjenigen von Beznau I und II zusammen. Besonders betroffen durch die im Revisionsentwurf enthaltene Restwasserregelung ist die Energieproduktion im für die Versorgung kritischen Winterhalbjahr. Bis zum Jahre 2070 dürfte sie im Minimum um 10% und im Maximum um 18% geschränkt werden.

**Prognosen für den zukünftigen Beitrag der Wasserkraft**

Bis Anfang der siebziger Jahre war eine relativ starke Zunahme der mittleren Jahreserzeugung der Wasserkraftwerke zu verzeichnen (Bild 8). Der Bau von neuen Wasserkraftanlagen kam zu Beginn der achtziger Jahre praktisch zum

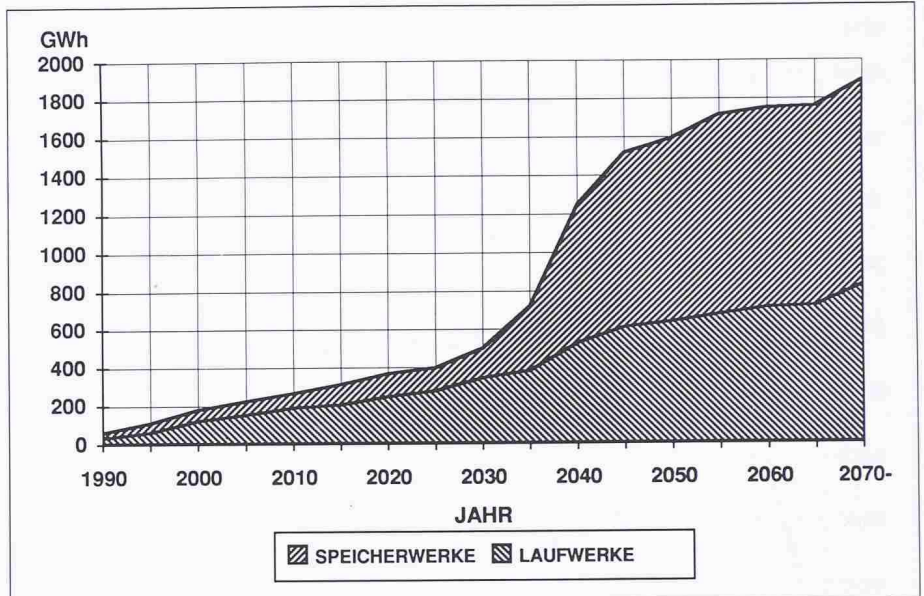


Bild 6. Jährliche Energieeinbussen gemäss Mindestanforderung des Revisionsentwurfes des Gewässerschutzgesetzes (Art.31 Abs.1 und Art.32 der Botschaft vom 29. April 1987).

Erliegen. Die weitere Aktivität beschränkte sich dann vor allem auf den Umbau und die Erneuerung von bestehenden Anlagen [8]. Ausgehend von dieser Entwicklung, sind in Bild 8 die Prognosen zwei verschiedener Studien aufgezeichnet worden, welche sich mit dem Wasserkraftausbau bis zum Jahre 2025 befassten. Die Prognose des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes [9] liegt bis zum Jahre 2010 etwas über, nachher leicht unter der maximalen Prognose der EWI [4]. Der 7. Zehn-Werke-Bericht stützt sich in seiner Vorschau auf die Elektrizitätsversorgung

der Schweiz bis zum Jahre 2005 auf die Ausbauprognosen des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes ab [10]. Bei diesen Ausbauprognosen sind die Energieeinbussen infolge der geplanten Restwassergesetzgebung und insbesondere die Auswirkung der Volksinitiative «Zur Rettung unserer Gewässer» bzw. eines verschärften Gewässerschutzgesetzes (Beschluss des Nationalrates vom 21. Juni 1989) noch nicht berücksichtigt worden. Wenn der ursprüngliche Revisionsvorschlag für das Gewässerschutzgesetz (Botschaft vom 29. April 1987) in Kraft treten würde,

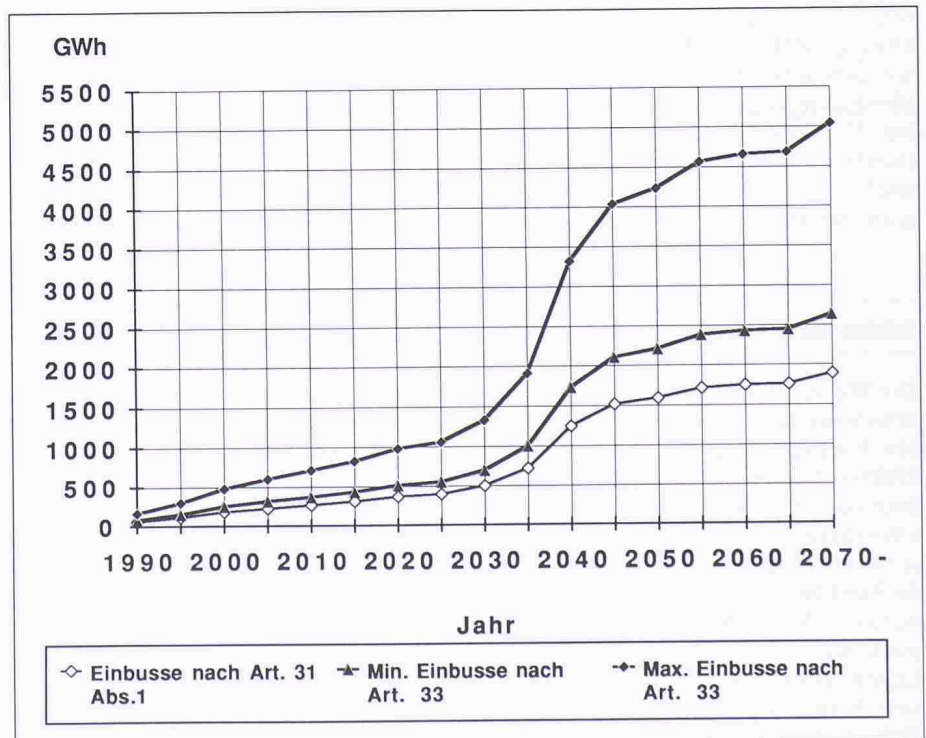


Bild 7. Jährlich zu erwartende Energieeinbussen der Wasserkraftanlagen aufgrund des Revisionsentwurfes des Gewässerschutzgesetzes (Botschaft vom 29. April 1987).

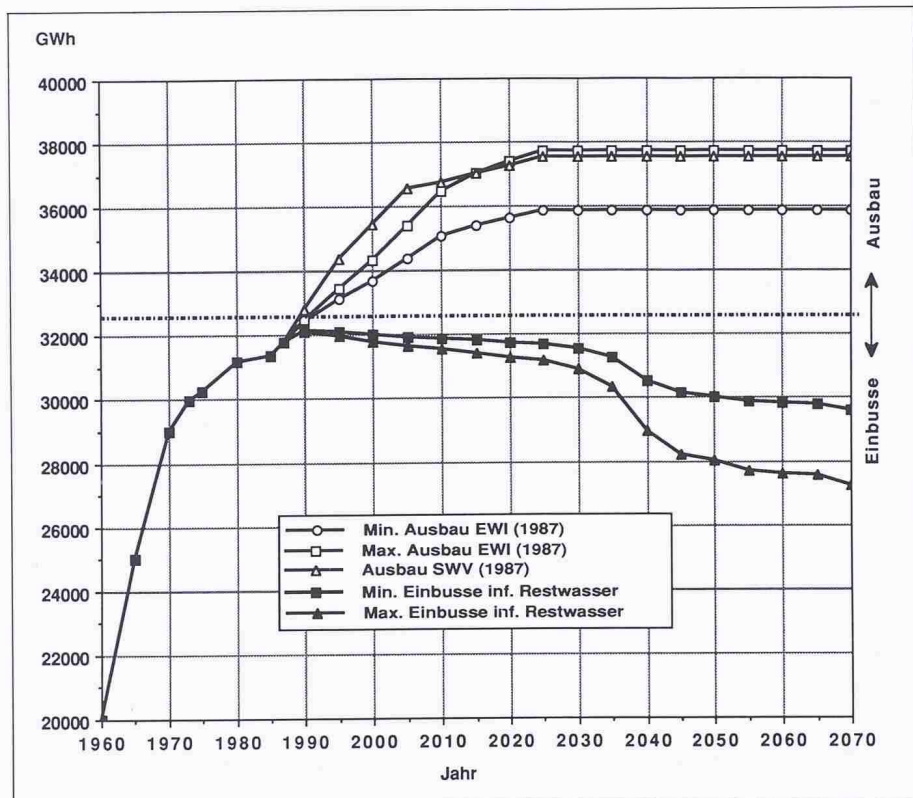


Bild 8. Entwicklung und Prognosen der mittleren Jahreserzeugung der Wasserkraftanlagen.

müssten die Kurven für die Ausbaumöglichkeiten mit denjenigen für die Einbussen, welche in der Figur getrennt angegeben sind, kombiniert werden. Wenn aber der Volksinitiative «zur Rettung unserer Gewässer» oder dem im Sinne des Nationalrates, verschärften Gewässerschutzgesetz zugestimmt würde, dürfte kaum mehr mit einem Ausbau der Wasserkraft gerechnet werden. Die mit der geplanten Restwasserregelung verbundenen Energieeinbussen könnten durch keinen Zuwachs mehr wettgemacht werden, so dass die jährliche Erzeugungsmöglichkeit auf 29 600 bis 27 200 GWh zurückgehen würde (heute rund 32 600 bzw. 31 800 GWh nach Abzug der Pumpenergie für Saisonspeicherung).

### Schlussbemerkungen

Die Wasserkraft ist mit einem Produktionsanteil von über 60% heute noch der Hauptpfeiler der schweizerischen Elektrizitätsversorgung. Sie ist zudem eine regenerierbare, einheimische und umweltfreundliche, insbesondere emissionsfreie Energieform. Die regulierende Funktion, welche die Wasserkraftwerke neben der reinen Stromerzeugung im schweizerischen und europäischen Versorgungsnetz zu gewährleisten haben, wird in Zukunft noch an Bedeutung gewinnen. Ihre Eignung zur Bereitstellung von Energie- und Leistungsreserven, um Verbrauchsspitzen

abzudecken, fällt dabei besonders ins Gewicht. Die Wasserkraft muss deshalb unbedingt erhalten und – soweit als möglich – optimal ausgebaut werden. Nebst der Leistungssteigerung könnte bei einem solchen Ausbau – insbesondere durch die Vergrößerung der bestehenden Speicher – die Winterproduktion um 20 bis 30% erhöht und damit die Versorgungssicherheit erheblich verbessert werden.

In allen energiepolitischen Szenarien der letzten Jahre wird trotz Berücksichtigung von erheblichen Sparpotentialen sowie einem massiven Ausbau der Alternativenenergien und Wärmekraftkopplungsanlagen eine Mehrerzeugung der Wasserkraftwerke von 11 bis 16% bis zum Jahre 2025 vorausgesetzt. Ohne Weiterausbau und vor allem ohne Erneuerung und Bewahrung der heimischen Wasserkraft ist also eine sichere Stromversorgung kaum möglich, auch wenn die Option Kernenergie offengehalten wird. Dies scheint im gegenwärtigen politischen Umfeld völlig vergessen gegangen zu sein. Falls das Gewässerschutzgesetz im Sinne des kürzlichen Beschlusses des Nationalrates verabschiedet wird oder die Volksinitiative zum Tragen kommt, werden in Zukunft – wie bereits erwähnt – nicht nur Neubauten vollständig und Umbauten weitgehend verunmöglicht, sondern auch das Produktionsvermögen der bestehenden Wasserkraftanlagen nach und nach – infolge neuer Restwasserregelungen bei Konzessionserneuerungen – empfindlich reduziert.

### Literatur

- [1] Water Power & Dam Construction: The world's hydro resources. Handbook 1989.
- [2] Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW): Schweizerische Elektrizitätsstatistik 1988. Bulletin SEV/VSE, Nr. 8, 1989.
- [3] Verband Schweiz. Elektrizitätswerke (VSE): Zusatzbericht zum 6. Zehn-Werke-Bericht «Die Reservehaltung in der schweiz. Elektrizitätswirtschaft», 1980.
- [4] Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG (EWI): Ausbau der Wasserkraft. Studie zuhanden des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Juni 1987. (EDMZ: Schriftenreihe Nr. 1 und Arbeitsdokument Nr. 2 des EGES-Berichtes).
- [5] Desserich & Funk: Energiepotential aus Kleinkraftwerken. Studie zuhanden des Bundesamtes für Energiewirtschaft, April 1987. (EDMZ: Schriftenreihe Nr. 1 und Arbeitsdokument Nr. 3 des EGES-Berichtes).
- [6] Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG (EWI): Studie über die Energieeinbussen bei den Wasserkraftanlagen aufgrund Kapitel 2 «Sicherung angemessener Restwassermengen» des Revisionsentwurfes des Gewässerschutzgesetzes (Botschaft vom 29. April 1987). Studie zuhanden des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes, Oktober 1987.
- [7] Schleiss A.: Energieeinbussen bei den Wasserkraftanlagen. Bulletin SEV/VSE, Nr. 24, 1987.
- [8] Vischer D.: Die schweizerische Wasserkraftnutzung – Von der Intensivierung zur Extensivierung? Wasser, Energie, Luft, 80. Jg., Heft 10, 1988.
- [9] Schweiz. Wasserwirtschaftsverband: Der mögliche Beitrag der Wasserkraft an die Elektrizitätsversorgung der Schweiz. Studie zuhanden des Bundesamtes für Energiewirtschaft; Wasser, Energie, Luft, 79. Jhg., Heft 9, 1987.
- [10] Verband Schweiz. Elektrizitätswerke (VSE): 7. Zehn-Werke-Bericht «Vorschau auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz bis 2005», 1987.

Adressen der Verfasser: Bruno Allet, Dipl. Bauing. ETH, und Dr. Anton Schleiss, Dipl. Bauing. ETH, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Bellerivest. 36, 8034 Zürich.

Erweiterte Fassung eines Vortrages gehalten an der SVA-Informationstagung über kohlendioxidfreie Energiesysteme am 20. Oktober 1989 in Zürich.