

# Talsperrenerhöhungen in der Schweiz: energiewirtschaftliche Bedeutung und Randbedingungen

Anton Schleiss

## Zusammenfassung

Die Schweiz kann bereits seit mehreren Jahren ihren eigenen Stromverbrauch im Winter nicht mehr abdecken und ist auf erhebliche Stromimporte angewiesen. Diese Unterversorgung im Winter wird sich insbesondere mit dem Ausstieg aus der Kernenergie zukünftig noch verschärfen. Eine Erhöhung der Winterproduktion durch Umlagerung von Sommerenergie mittels erhöhter Speicherkapazität ist also auch in Zukunft für die Sicherheit der schweizerischen Stromversorgung von grösster Bedeutung.

Neue Speicher sind in der Schweiz nur noch an wenigen Standorten realisierbar. Mit geringfügigen Erhöhungen der bestehenden Talsperren, das heisst um weniger als 10% der ursprünglichen Höhe, könnte bei rund 20 Projekten ein zusätzliches Speichervolumen von etwa 700 Mio. m<sup>3</sup> geschaffen werden. Damit könnte die Winterproduktion um 2 TWh und somit um 10% gegenüber heute erhöht werden. Berücksichtigt man dass einige Talsperren stärker erhöht werden könnten, dürfte gar eine Steigerung der Winterproduktion gegenüber heute von etwa 15% möglich sein.

Die Umlagerung durch Erhöhung von Talsperren ist für eine zukünftig sichere und eigenständige Stromversorgung der Schweiz, und für ihre vorrangige Stellung im europäischen Strommarkt als Lieferant von Spitzenenergie von ausserordentlicher Bedeutung.

## Résumé

Depuis plusieurs années en hiver, la Suisse n'est plus capable de couvrir la demande en électricité par sa propre production. Dès lors, le manque d'énergie doit être importé de l'étranger. Cet approvisionnement déficitaire hivernal s'aggravera encore avec la décision d'abandonner l'énergie nucléaire. Une augmentation de la production en hiver par transfert de l'énergie d'été grâce à un agrandissement de la capacité de stockage dans les retenues est très importante pour l'approvisionnement fiable et sûr d'électricité en Suisse.

La réalisation de nouvelles retenues est très limitée en Suisse. Néanmoins par une faible surélévation des barrages existants, c'est-à-dire de moins de 10% de la hauteur initiale, avec environ une vingtaine de projets imaginables, il serait possible d'augmenter la capacité des retenues de 700 Mio. m<sup>3</sup>. La production en hiver pourrait ainsi être augmentée de plus de 2 TWh, ce qui correspond à une croissance de 10% par rapport à la production actuelle. En tenant compte que certains de ces barrages ne pourraient qu'être surélevés de seulement 10%, une croissance de 15% de la production serait réalisable en hiver. Ceci est d'une importance primordiale pour la sécurité et l'indépendance de l'approvisionnement en électricité en Suisse, d'une part, et la position de la Suisse comme fournisseur de l'énergie de pointe dans le marché européen, d'autre part.

## 1. Einleitung – Bedeutung der Speicherenergie für die Schweiz und Europa

Mehr als die Hälfte der Wasserkraftproduktion in der Schweiz stammt aus Speicherkraftwerken, welche jederzeit verfügbar ist und damit die Spitzen des Konsums abdecken kann. Die Schweiz mit ihren zahlreichen Stauseen verfügt über die grösste Speicherkapazität aller Alpenländer und hat deshalb bereits heute eine massgebende Stellung im europäischen Strommarkt als Lieferant von Spitzenenergie (Bild 1).

Nach dem geplanten Ausstieg aus der Kernenergie soll die jährliche Stromlücke teilweise durch Wasserkraft, aber insbesondere durch Solar- und Windenergie abgedeckt werden. Die neuen erneuerbaren Energien wie Sonne und Wind sind jedoch stark von meteorologi-

schen Bedingungen abhängig und somit grossen Schwankungen unterworfen. Um die Stabilität der Stromnetze und somit die Stromversorgungssicherheit zu gewähr-

leisten, sind bedeutende Leistungs- und Speicherkapazitäten in den Wasserkraftwerken erforderlich. Deshalb steht neben einem bedeutenden Zubau von neuen






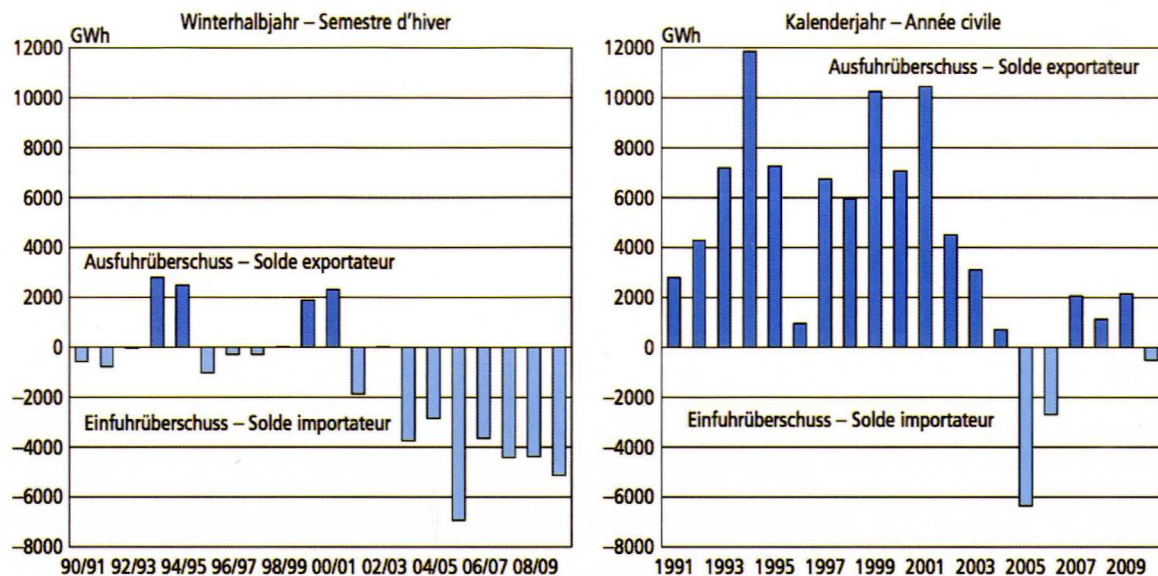
	Alpenland	Produktion GWh/a	% der Wasserkraftproduktion
	Deutschland	ca. 800	5%
	Österreich	11 622	30%
	Frankreich	ca. 12 000	17%
	Italien	16 871	36%
	Slowenien	-	-
	Schweiz	18 462	53%

Bild 1. Speicherkapazitäten in den Alpenländern für die jährliche Elektrizitätsproduktion und deren Anteil an der gesamten Wasserkraftproduktion (gemäss World Atlas Hydropower & Dams, 2011).

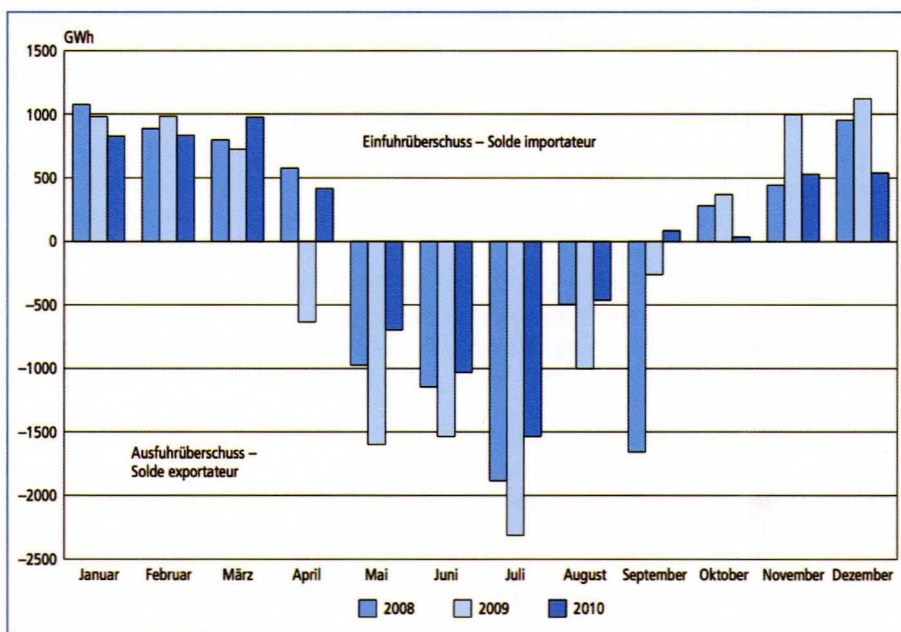


**Bild 2. Ausfuhr- und Einfuhrüberschuss über das gesamte Kalenderjahr (rechts) sowie im Winterhalbjahr (links) gemäss Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2010 (BFE, 2011).**

Pumpspeicherwerken auch die Erhöhung der Speicherkapazität im Vordergrund. Die Schweiz kann damit nicht nur die Sicherheit ihrer eigenen Versorgung gewährleisten, sondern auch vermehrt die Batteriefunktion im europäischen Verbundnetz übernehmen.

Zu beachten ist, dass die Schweiz bereits heute in kalten Wintern ihren eigenen Stromverbrauch nicht abdecken kann [1]: in den letzten 10 Jahren mussten im Winterhalbjahr systematisch beträchtliche Strommengen importiert werden (Bild 2). Betrachtet man die Jahre 2008 bis 2010 (Bild 3) so ist ersichtlich, dass sich dieser Einfuhrüberschuss auf die Monate Oktober bis April erstreckt. Diese Unterversorgung im Winter wird sich zukünftig noch verschärfen, insbesondere mit dem Ausstieg aus der Kernenergie. Eine Erhöhung der Winterproduktion durch Umlagerung von Sommerenergie mittels erhöhter Speicherkapazität ist also in Zukunft für die Sicherheit der schweizerischen Stromversorgung und deren Konkurrenzfähigkeit gegenüber dem Ausland von grösster Bedeutung.

Der Bau von neuen Speichern ist in der Schweiz nur noch beschränkt möglich. Deshalb muss das erforderliche Speichervolumen in naher Zukunft durch die Erhöhung bestehender Talsperren erzielt werden. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über die Möglichkeiten und Randbedingungen von Talsperrenenergieerhöhungen in der Schweiz.



**Bild 3. Monatliche Ausfuhr- und Einfuhrüberschüsse in den Jahren 2008–2010 (BFE, 2011).**

## 2. Ausbaupotenzial der Wasserkraft – Bedeutung der Winterenergie

Unmittelbar nach der Erdbebenkatastrophe in Japan wurde im Mai 2011 im Rahmen der Energieziele des Bundesrates bis 2050 von einem Beitrag der Wasserkraft von 6.7 TWh ausgegangen, welcher sich aus 2.4 TWh aus Umbauten, 2.4 TWh aus Neubauten der Grosswasserkraft sowie 1.9 TWh aus Kleinwasserkraft zusammensetzte [2]. Wird dieser Zuwachs zur mittleren Produktionserwartung der bestehen-

den Kraftwerke (2011) addiert, erhält man 42.5 TWh. Dies ist mehr als das allgemein für die Schweiz angenommene technisch nutzbare Potenzial von 42 TWh. Es wurde also von der vollständigen Ausnutzung (100%) der Wasserkraft in der Schweiz ausgegangen, was sicher unrealistisch ist.

Im Juni 2012 wurden die Zahlen in der BFE-Studie «Wasserkraftpotenzial der Schweiz – Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050» deutlich nach unten korrigiert [3]. Unter Berücksichtigung

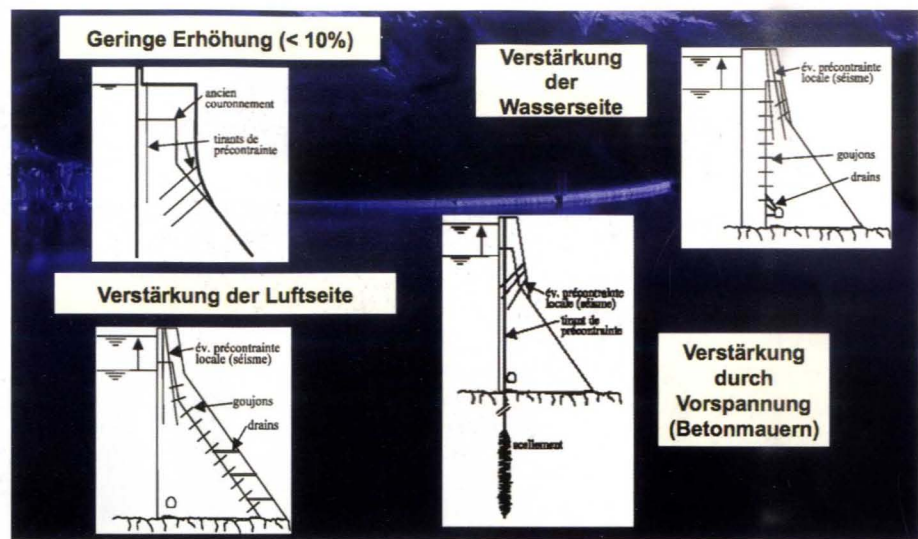
sichtigung der erhöhten Restwassermengen nach Erneuerung der Konzessionen gemäss Gewässerschutzgesetz wird bis 2050 noch von einem Jahresenergiezuwachs aus der Wasserkraft von 1.53 TWh unter den heutigen Nutzungsbedingungen und bis zu 3.16 TWh unter zukünftig optimierten Nutzungsbedingungen ausgegangen. Damit ist man wieder auf dem realistischen Prognoseniveau früherer Studien [4, 5, 6] sowie der Einschätzung des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes angelangt [7].

Leider wird in der erwähnten BFE-Studie die Bereitstellung der erforderlichen Winterenergie nicht erwähnt, obwohl bereits heute die Schweiz ihren Bedarf nur durch Stromimporte im Winter abdecken kann. Es wird nur eine Erhöhung der Jahresproduktion von 170 GWh infolge von Potenzial aus Staumauererhöhungen und der Erschliessung neuer Zuflüsse angegeben.

### 3. Gründe, Bedingungen und grundsätzliche Möglichkeiten für Talsperrenerhöhungen

Als die grossen Speicher in der Schweiz bemessen wurden, stützte man sich auf hydrologischen Daten von eher trockeneren beziehungsweise kälteren Jahren in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts. Inzwischen haben sich die Zuflüsse zu vielen Stauseen mit dem Abschmelzen der Gletscher deutlich verstärkt; ein Trend der noch bis 2050 anhalten wird. Viele der Stauseen sind heute deshalb nicht in der Lage, sämtliche Sommerzuflüsse durch Speicherung in den Winter umzulagern. Veränderte Nutzungsbedingungen, wie beispielsweise grössere Freiborde infolge Naturgefahren oder Stauraumveränderungen, bewirken zudem eine Verminderung des ursprünglichen Speichervolumens.

Eine verstärkte saisonale Umlagerung gewinnt mit der Klimaveränderung immer mehr an Bedeutung. Auch die Speicherung und Veredelung von Sonnen- und Windenergie, welche stark von meteorologischen Bedingungen abhängen, werden noch grössere saisonale und auch kurzzeitige Umlagerungen in den Stauseen verlangen, insbesondere in Kombination mit der Pumpspeicherung. Die Erhöhung der Zuflüsse zu den Stauseen, beispielsweise durch neue Fassungen und Zuleitungen aber auch durch den Betrieb von Pumpspeicherwerken, kann auch Anlass für eine Speichervergrösserung durch Talsperrenerhöhungen sein. Und schliesslich ist nicht zuletzt auch der Wunsch nach erhöhtem Rück-



**Bild 4. Grundsätzliche Möglichkeiten für die Erhöhung von Talsperren am Beispiel von Gewichtsmauern (schematisch).**

haltevolumen für den Hochwasserschutz ein möglicher Grund.

Zusammenfassend können also folgende Gründe Anlass für eine Talsperrenerhöhung sein:

- Speichervolumen ist unterdimensioniert
- Verminderung des Speichervolumens
- Verstärkte saisonale Umlagerung
- Erhöhung der Zuflüsse
- Rückhalteraum für Hochwasser

Damit die Erhöhung einer Talsperre überhaupt in Betracht gezogen werden kann, muss das Verhalten der Talsperre gut bekannt sein und darf keine Anomalie seit der Inbetriebnahme aufweisen. Dasselbe gilt insbesondere für die Fundation und die Auftriebsverhältnisse. Allenfalls sind zusätzliche Erkundungen erforderlich. Im Zuge der Erhöhung müssen Massnahmen wie Drainagen und Injektionen in Betracht gezogen werden um den Auftrieb zu beschränken. Die Qualität der Materialien der bestehenden Talsperre (Beton und Dammmaterial) muss ausreichend sein um die zusätzlichen Belastungen übernehmen zu können.

Falls die Talsperre eine genügende Tragreserve aufweist und die Erhöhung entsprechend klein ist, kann die bauliche Massnahme allenfalls auf eine Kronenverstärkung beschränkt werden (Bild 4). Dies dürfte in vielen Fällen zutreffen, vor allem falls die Erhöhung geringer als 10% der ursprünglichen Höhe ist. Eine solch geringfügige Erhöhung kann meistens auch ohne grössere Anpassungen bei den Triebwassersystemen bewerkstelligt werden. Sie kann zudem durch die hydraulischen Maschinen und Abschlussorgane mit noch ausreichender Sicherheit verkräftet werden.

Bei grösseren Erhöhungen muss die Talsperre auf der ganzen Höhe verstärkt werden. Eine Verstärkung auf der Luftseite hat den Vorteil, dass der Stausee nicht entleert werden muss. Die Verstärkung wird aber erst belastet, wenn der Wasserspiegel die Kote übersteigt bei welcher die Verstärkung realisiert wurde. Soll die Verstärkung bereits bei tiefen Stauspiegeln Last übernehmen, müsste der Stausee auch abgesenkt werden. Dies ist bei einer Verstärkung auf der Wasserseite auf jeden Fall notwendig. Eine wasserseitige Verstärkung hat den Vorteil, dass sie mit der ursprünglichen Talsperre für alle Stauspiegel monolithisch tragen kann. Dies muss natürlich im Falle von Betonsperren neben einem aufgerauten Kontakt allenfalls mit Verdübelungen zwischen neuem und altem Beton gewährleistet werden.

Bei unvermeidbaren Durchlässigkeitsunterschieden zwischen neuem und altem Beton müssen allenfalls Drainagen im Kontakt vorgesehen werden, damit sich nicht ein Auftriebsdruck zwischen altem und neuem Beton aufbauen kann. Neben der Verstärkung der Talsperre auf der ganzen Höhe kann bei Betongewichtsmauern die zusätzlich erforderliche Trag- und Stabilitätssicherheit mit einer Vorspannung erzielt werden [8].

### 4. Potenzial der Talsperrenerhöhungen in der Schweiz

Mehrere Talsperren wurden in der Schweiz bereits erhöht, wie zum Beispiel:

- Bogenmauer Mauvoisin um 13.5 m auf 250 m zwischen 1989 und 1991 (Vergrösserung des Stauseevolumens um 30 Mio. m<sup>3</sup>; zusätzliche Winterenergie 100 GWh)
- Bogenmauer Luzzzone um 17 m auf

225 m zwischen 1995 und 1999 (Vergrößerung des Stauseevolumen um 20 Mio. m<sup>3</sup>; zusätzliche Winterenergie 60 GWh) (Bild 5).

- Bogengewichtsmauer Muslen um 5 m auf 28 m im Jahre 1982.

Zurzeit im Bau ist die Vergrößerung des Muttsees um 15 Mio. m<sup>3</sup> durch eine neue, bis zu 35 m hohe Gewichtsmauer (Bild 6), sowie die Erhöhung der Bogengewichtsmauer Vieux Emosson um 21.5 m zur Vergrößerung des Stauvolumens um 15 Mio. m<sup>3</sup> (Bild 7). Im Weiteren ist die Erhöhung des Göschenalpdammes um 8 m (Realisierung sistiert) sowie der Staumauern Lago Bianco Nord und Süd um je 4 m geplant. Baureif ist nicht zuletzt die Erhöhung der Staumauern Grimsel um 23 m welche das Nutzvolumen des Stausees um 75 Mio. m<sup>3</sup> vergrößert und somit eine zusätzliche Winterproduktion von 200 GWh erlaubt. Dies ist für den Kraftwerkskomplex Oberhasli von grösster Bedeutung, da die Sommerzuflüsse heute nur teilweise in den Winter umgelagert werden können. Dadurch muss im Sommerhalbjahr erheblich turbinieren werden, selbst wenn die Preise der Spitzenenergie tief sind. Diese Situation wird sich mit der Zunahme von ins Netz eingespeisten Sonnenenergie noch verschärfen.

Das Potenzial der Staumauererhöhungen in der Schweiz wurde erstmals in einer Studie 1987 abgeschätzt [1]. Eine erneute Betrachtung wurde in der Elektrowatt-Studie im Jahre 2004 zuhanden des BFE gemacht [2]. Die Studie kam zu folgenden Schlüssen (Zitate):

«Eine Erhöhung der 20 wichtigsten Speicher bringt ein Energiespeicherpotenzial von 240 GWh pro m Stauzielerhöhung, welche vermutlich weitgehend durch Umlagerung erreicht würde. Nimmt man an, dass bei der Hälfte dieser Speicher das Stauziel im Schnitt um 2 m erhöht wird, ergibt sich ein Ausbaupotenzial von 2400 GWh (16% der Produktionserwartung im Winter 2011).»

«Nachdem nun meistens mehrere Jahrzehnte alte Überwachungen vorliegen, kann man sich natürlich überlegen – Normalverhalten vorausgesetzt –, ob der Stau nicht um 1 bis 3 m höher gesetzt werden soll, was in der Regel nur minimale Anpassungen zu geringen Kosten erfordern würde. Der Einfluss auf die Umwelt ist durch eine so geringe Erhöhung bei bereits bestehenden Speichern meistens sehr klein.»



**Bild 5. Bogenmauer Luzzone: Erhöhung um 17 m auf 225 m zwischen 1995 und 1999 mit Vergrößerung des Stauseevolumens um 20 Mio. m<sup>3</sup>, gleichbedeutend mit einer zusätzlichen Winterenergieproduktion von 60 GWh (Photo Maggia).**



**Bild 6. Vergrößerung des Muttsees um 15 Mio. m<sup>3</sup> durch eine neue, bis zu 35 m hohe Gewichtsmauer.**

«Durch Stauerhöhungen von meist rund 3 bis 15 m und vereinzelt mehr, können rund 30 ausgewählte Objekte 2300 GWh (15% der Proktionserwartung im Winter 2011) vom Sommer in den Winter umlagern. Die Zahl wird stark von Einzelobjekten dominiert, und gerade diese haben wenig Realisierungswahrscheinlichkeit. Eine realistischere Annahme ist etwa die Hälfte, also rund 1000 GWh (6.5% der Proktionserwartung im Winter 2011).»

«Die Kosten für dieses Umlagerungsvermögen von der Sommer- auf die Winterenergie liegen in der Grössenordnung von CHF 0.80 bis 3.00 pro kWh-Jahresproduktion.»

Diese Einschätzung dürfte heute noch gültig sein. Als denkbare Projekte für eine geringfügige Erhöhung könnten etwa folgende Talsperren in Betracht gezogen werden: Albigna, Cavagnoli, Curnera, Emosson, Gebidem, Gigerwald, Gries, Hongrin, Sihlsee (In den Schlägen), Limmern, Mattmark, Moiry, Nalps, Ritom (Piora), Klöntal (Rhodannenber), Sambuco, Santa Maria, Valle di Lei und Zervreila.

Mit geringfügigen Erhöhungen, das heisst weniger als 10% der ursprünglichen Höhe, könnte bei diesen 19 denkbaren Projekten ein zusätzliches Speichervolumen von rund 700 Mio. m<sup>3</sup> geschaffen werden. Damit könnte die Winterproduktion



**Bild 7. Erhöhung der Bogengewichtsmauer Vieux Emosson um 21.5 m zur Vergrößerung des Oberbeckens des Pumpspeicherwerkes Nant de Drance um 15 Mio. m<sup>3</sup> (Baubeginn Sommer 2012) (Photo Straub AG).**

um mehr als 2 TWh und somit um mehr als 10% gegenüber heute erhöht werden. Einige Talsperren könnten sicher noch stärker erhöht werden, so dass gar eine Steigerung der Winterproduktion gegenüber heute um etwa 15% möglich sein dürfte.

## 5. Schlussfolgerungen

Die Schweiz kann bereits heute im Winter ihren eigenen Stromverbrauch nicht mehr eigenständig abdecken. Diese Unterversorgung wird sich zukünftig noch verschärfen, insbesondere mit dem Ausstieg aus der Kernenergie. Eine Erhöhung der Winterproduktion durch Umlagerung von Sommerenergie mittels erhöhter Speicherkapazität ist also in Zukunft für die Sicherheit der schweizerischen Stromversorgung und ihre Konkurrenzfähigkeit gegenüber dem Ausland von grösster Bedeutung. Neben dem unabdingbaren Bau von mindestens einem bis zwei neuen grösseren Stauseen muss das erforderliche Speichervolumen durch die Erhöhung bestehender Talsperren erzielt werden. Die Vergrößerung des Speichervolumens ist auch im Zusammenhang mit neuen Pumpspeicherwerken sowie Leistungserhöhungen bei bestehenden Kraftwerken ein strategisch wichtiges Element. Dann kann die Schweiz nicht nur die Sicherheit der eigenen Versorgung verbessern, sondern auch vermehrt die Batteriefunktion im europäischen Verbundnetz

übernehmen. Mehr Speichermöglichkeiten erlaubt der Schweiz im Wettbewerb der Spitzenenergielieferanten zu bestehen und die zukünftig vermehrt fehlende Bandenergie zu importieren, insbesondere im Winter. Vergrösserte Speichervolumen erlauben nicht zuletzt mehr Stauseezuflüsse vom Sommer in den Winter zu verlagern. Dadurch kann verhindert werden, dass im Sommer turbinieren muss, wenn die Preise der Spitzenenergie wegen der stark subventionierten Sonnenenergie über die Mittagszeit sehr tief sind, wie dies in diesem Sommer bereits der Fall war.

Schweizer Ingenieure haben bereits langjährige Erfahrungen bei der Erhöhung und Verstärkung von Talsperren im In- und Ausland und sind somit auf diese Aufgabe gut vorbereitet. Solche Projekte sind oftmals anspruchsvoller als der Bau einer neuen Talsperre, was die hohe Kompetenz der schweizerischen Talsperrenbauingenieure unterstreicht.

Gekürzte Fassung eines Vortrages gehalten in Andermatt am 28. Juni 2012 anlässlich der Fachtagung des Schweizerischen Talsperrenkomitees zum Thema: «Erhöhung von Betonmauern und Schüttdämmen».

### Literatur

- [1] BFE (2011): Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2010.
- [2] BFE (2011): Energieperspektiven 2050 –

Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung unter neuen Rahmenbedingungen, April 2011.

- [3] BFE (2012): Wasserkraftpotenzial der Schweiz – Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050, Juni 2012.
- [4] Allet, B., Schleiss, A.: Wasserkraft in der Schweiz – Ausbau, Möglichkeit und Schranken. Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 29, 1990.
- [5] BFE: Ausbaupotenzial der Wasserkraft. Studie der Electrowatt-Ekono, 2004
- [6] Schleiss, A.: «L'hydraulique suisse: Un grand potentiel de croissance par l'augmentation de la puissance» Bulletin SEV/AES, 2/2007, pp. 24–29, 2007.
- [7] Pfammatter, R.: Wasserkraftpotenzial der Schweiz – eine Auslegeordnung. «Wasser Energie Luft» 104 (1), pp. 1–14, 2012.
- [8] Lafitte, R.: Utilisation des tirants de précontraintes dans les barrages. «Wasser Energie Luft» 77 (1/2), pp. 9–13, 1985.

### Anschrift des Verfassers

Anton Schleiss, Prof. Dr. Dipl. Bauing. ETHZ, Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH), Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, EPFL-ENAC-IIC, GC A3 514 (Bât. GC), Station 18, CH-1015 Lausanne  
anton.schleiss@epfl.ch