Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 106 (2014)

Heft: 3

Artikel: Flexibilisierung der Wasserkraft in der Schweiz für zukünfitge Aufgaben im inerntationalen Strommarkt

Autor: Schleiss, Anton / Oberrauch, Felix

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939745

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: 15.07.2025

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

Flexibilisierung der Wasserkraft in der Schweiz für zukünftige Aufgaben im internationalen Strommarkt

Anton Schleiss, Felix Oberrauch

Zusammenfassung

Die angespannte Wirtschaftslage in Europa sowie das Überangebot von hochsubventionierter Sonnen- und Windenergie im europäischen Strommarkt hat zu einer extrem ungünstigen Konkurrenzsituation für die Wasserkraft in der Schweiz geführt. Kurzfristig sind die Aussichten so düster, dass viele Gesellschaften es nicht mehr wagen, den mittelfristig dringend nötigen Ausbau der Wasserkraft in der Schweiz zügig in Angriff zu nehmen, um die energiepolitischen Ziele zu erreichen. Düstere Aussichten hat es für die Wasserkraft schon immer gegeben; sie ziehen mit einer Periodizität von fünf bis acht Jahren. Die gute Nachricht ist, dass sich in der Vergangenheit keine noch so düstere Aussicht bewahrheitet hat. Die Wasserkraft ist immer wieder gestärkt daraus hervorgegangen, was wohl an deren unbestrittenen Nachhaltigkeit liegt. Um in einer unsicheren Zukunft erfolgreich zu sein, muss der Ausbau der Wasserkraft in erster Linie auf eine Flexibilisierung der Produktion und Anlagen abzielen. Der vorliegende Beitrag zeigt die konstruktiven Möglichkeiten sowie die methodischen Ansätze bei der Planung auf, mit welchen die Unsicherheiten in der Zukunft erfolgreich bewältigt werden könnten.

Résumé: Flexibilisation de la force hydraulique en Suisse pour les tâches futures dans un marché international d'électricité

La situation économique tendue en Europe ainsi que la surabondance des énergies solaire et éolienne, fortement subventionnées, dans le marché de l'électricité européen ont créé une situation de concurrence très défavorable pour la force hydraulique en Suisse. A court terme, les perspectives sont tellement sombres que beaucoup de sociétés n'osent plus investir dans l'extension de l'hydraulique bien que ceci soit indispensable à moyen terme pour atteindre les objectifs de la politique énergétique. Dans le passé, de telles perceptives ont toujours existées pour le domaine de l'hydraulique et celles-ci revenaient avec une périodicité de 5 à 8 ans. La bonne nouvelle est que ces perceptives ne se sont jamais concrétisées. La force hydraulique les a toutes surmontées avec succès et ceci est certainement dû à son caractère incontestablement durable. Pour que l'extension de la force hydraulique soit un succès dans cet avenir incertain, elle doit viser, en premier lieu, la flexibilisation de la production et des aménagements. La contribution suivante présente les possibilités constructives ainsi que les approches méthodiques lors de la planification de projets qui permettent de maîtriser avec succès les incertitudes de l'avenir.

1. Der gewünschte Beitrag Wasserkraft in der Schweiz zur Energiewende

Der Wasserkraft wird im Rahmen der Energiestrategie 2050 eine bedeutende Rolle zugeordnet. Unter Berücksichtigung der erhöhten Restwassermengen nach Erneuerung der Konzessionen gemäss Gewässerschutzgesetz wird bis 2050 noch von einem Jahresenergiezuwachs aus der Wasserkraft unter den heutigen Nutzungsbedingungen von 1.53 TWh und von 3.16 TWh unter zukünftig optimierten Nutzungsbedingungen ausgegangen [1]. Allerdings kann das optimistisch abgeschätzte Ausbaupotenzial von etwas mehr als 3 GWh zusätzlicher Jahresproduktion unter den heutigen Bedingungen nicht ausgenutzt werden und die Rahmenbedingungen müssten sich in naher Zukunft einschneidend verbessern [2].

2. Problematik der Winterversorgung

Kritisch für die schweizerische Elektrizitätsversorgung ist aber das Winterhalbjahr, denn seit zehn Jahren müssen regelmässig bedeutende Strommengen von durchschnittlich rund 4 GWh/Jahr vom Ausland importiert werden [3]. Mit geringfügigen Erhöhungen von etwa 20 der bestehenden Talsperren, das heisst weniger als 10% der ursprünglichen Höhe, könnte die Winterproduktion um mehr als 2 TWh und somit um mehr als 10% gegenüber heute erhöht werden [3]. Die Vergrösserung des Speichervolumens ist für eine zukünftig sichere und eigenständige Stromversorgung der Schweiz und ihre Stärke für eine vorrangige Stellung im europäischen Strommarkt von ausserordentlicher Bedeutung. Dank ihren Speicherkraftwerken in den Alpen könnte die Schweiz eine massgebende Rolle als Lieferant von Spitzen- und Regulierenergie in Europa einnehmen. In diesem Sinne wird oftmals von einer Batteriefunktion gesprochen.

3. Düstere oder gute Aussichten für die Wasserkraft?

Im Sommer 2012 zogen nach einer längeren Renaissance der Wasserkraft in der Schweiz plötzlich wieder «dunkle Wolken» auf. Dunkle Wolken mit viel Niederschlag wären grundsätzlich für die Wasserkraft vorteilhaft. Im übertragenen Sinne wurden die dunklen Wolken für die Wasserkraft durch das sehr sonnenreiche Wetter in Europa verursacht. Die erzielten Preise für Spitzenenergie im europäischen Strommarkt schmolzen am Tage wie die Gletscher in den Alpen dahin. Dies ist neben der angespannten Wirtschaftslage in Europa insbesondere dem Überangebot von hoch subventionierter Sonnen- und Windenergie im europäischen Strommarkt zuzuschreiben. Inzwischen sind die Strompreise auf dem Spotmarkt zu Spitzenstunden des Verbrauchs infolge der erwähnten Subventionen auf ein so tiefes Niveau gesunken, dass nicht nur

Bild 1. Erhöhung der Staumauer Vieux Emosson (Foto Schleiss, Mai 2014).

der Ausbau der Speicherkapazität in der Schweiz durch Speichervergrösserungen und Pumpspeicherwerke, sondern auch die Wirtschaftlichkeit der bestehenden Anlagen gefährdet ist. Werden sich diese zurzeit düsteren Aussichten auch in Zukunft bewahrheiten? Diese Frage ist zurzeit nicht sehr einfach zu beantworten, da sie von politischen Entscheiden zur Energiepolitik vor allem im Ausland abhängt.

Blickt man zurück in die Vergangenheit, so stellt man fest, dass es düstere Aussichten für die Wasserkraft in der Schweiz schon mehrmals gab, aber sie haben sich nie bewahrheitet. Man stellt auch fest, dass der Zyklus von düsteren zu guten Aussichten eine Periode von etwa fünf bis acht Jahren aufweist.

Erste düstere Aussichten nach der Blütezeit der Wasserkraft in der Schweiz gab es erstmals 1970 mit dem Beginn des Baus der Kernkraftwerke, welche sich mit dem Zitat des damaligen Delegierten des Bundesrates für Fragen der Atomenergie niederschlagen [4]: «Der Moment mag kommen, wo der Mensch den Genuss der reinen Natur höher schätzt als den Genuss der billigsten Energie und wo er, sei es auch nur um des Fremdenverkehrs willen, zu einem materiellen Opfer bereit ist. Er wird dann einige Atomkraftwerke mehr bauen als unbedingt nötig und die abgefangenen und erdrosselten Bäche zum Teil wieder frei springen lassen.» Trotzdem wurde noch erheblich in die Wasserkraft investiert, bis Mitte der 80er-Jahre des letzten Jahrhunderts mit der Einführung der Umweltverträglichkeitsprüfung und mit dem Einspracherecht der Umweltschutzorganisationen sowie den verschärften Restwasserregelungen im Gewässerschutzgesetz wieder dunkle Wolken für die Wasserkraft in der Schweiz aufzogen. Aussagen wie «...faktisch ein Moratorium für grössere Wasserkraftwerke...» [4], «Elektrizität kann in thermischen Anlagen wesentlich billiger erzeugt werden als in neuen Wasserkraftanlagen (Vollkosten)...» [5], «Wasserkraft, die verschmähte Perle» [6] konnten aus der Fachpresse entnommen werden. Es folgten trotzdem wieder gute Aussichten für die Wasserkraft mit dem Ausbau und der Erneuerung von vielen Kraftwerken. Düstere Aussichten gab es erst wieder ab Mitte der 90er-Jahre mit Beginn der Öffnung und Liberalisierung des Strommarktes in Europa. Man sprach erstmals von «gestrandeten, nicht amortisierbaren Investitionen» und fragte sich, ob man «vergoldete Staumauern» entschädigen soll; man sprach von bis zu 8 Mrd., von solchen nicht amortisierbaren Investitionen (NAI) (NZZ Nr. 224/1997). Es gab aber auch ermunternde Aussagen wie «der Markt hat begonnen – aber vorerst die gute Nachricht... . Die Betriebskosten von Wasserkraftwerken liegen deutlich unter denen von Konkurrenzkraftwerken. Dies bedeutet, dass sie, selbst wenn sie in Konkurs gehen, nicht abgestellt werden... aber keine neuen Kraftwerke und erschwerte Erneuerung und Modernisierung» [7]. Keine dieser Aussagen bewahrheitete sich und die Wasserkraft erlebte seit 2005 in der Schweiz wieder eine erneute Blütezeit, nicht zuletzt mit dem Bau von Pumpspeicherwerken.

4. Leitmotiv in einer unsicheren Zukunft: Stärkung der Konkurrenzfähigkeit der schweizerischen Wasserkraft durch Flexibilisierung der Produktion

Die Zunahme von Alternativenergien wie Wind- und Sonnenenergie wird den Bedarf an Regulierenergie aus Wasserkraft mit hoher Verfügbarkeit mit Sicherheit erhöhen. Obwohl die hohe Subventionierung der Solar- und Windenergie in Europa sowie gewisse Überkapazitäten wegen der Finanzkrise die Strompreise am Spotmarkt auf ein tiefes Niveau gedrückt haben, bleibt die Wasserkraft in einem freien Strommarkt die wirtschaftlichste Erzeugungsart, welche auch zur Verwirklichung der Klimaziele beitragen kann. Nach dem Abbau der massiven Subventionen, welche sich eigentlich kein Staat auf lange Sicht leisten kann, sowie einer Verbesserung der Wirtschaftslage in Europa wird die Attraktivität von neuen Pumpspeicherkraftwerken und die Vergrösserung der bestehenden Stauseen sowie die Leistungserhöhungen an bestehenden Speicherkraftwerken in der Schweiz wieder zunehmen. Um die Konkurrenzfähigkeit der schweizerischen Wasserkraft auf dem europäischen Strommarkt zu erhalten und zu verstärken, ist die Flexibilisierung ihrer Produktion von grösster Bedeutung. Dies kann durch die Vergrösserung der bestehenden Stauseen, der Erhöhung der installierten Turbinen- und Pumpenleistung, sowie dem Bau von neuen Ausgleichbecken und neuen Triebwassersystemen, die parallel zu bestehenden sind, erfolgen. Das Potenzial von Leistungserhöhungen ist sehr gross; bei den bestehenden Speicherkraftwerken könnte eine zusätzliche Leistung von 1800 MW bis 3500 MW installiert werden [8]. Bei Pumpspeicherwerken gibt es bezüglich Leistung nahezu unbegrenzte Möglichkeiten zwischen bestehenden Stauseen. Allerding sollten zukünftig, unbesehen von firmenpolitischen Interessen, vorerst die besten Standorte im Sinne der altbewährten Partnerwerke ausgebaut werden, um möglichst konkurrenzfähige Anlagen zu erhalten.

Schlussendlich ergeben sich nach Rückzug der Gletscher und der Bildung von Gletscherseen ab etwa 2050 attraktive Möglichkeiten für den Bau von neuen Stauseen. Dabei ist die Sicherung dieser Gletscherseen durch Talsperren unab-

dingbar, um die Unterlieger vor unkontrollierten Ausbrüchen sowie gegen Flutwellen infolge von Hangrutschungen zu schützen. Diese Stauseen, welche auch als Speicherersatz der weggeschmolzenen Gletscher dienen müssen, können natürlich im Sinne von Mehrzweckprojekten auch für die Stromversorgung genutzt werden. Damit dürfte es möglich sein, nach 2050 die Produktionsverluste infolge Klimawandel zu kompensieren sowie die Flexibilität der Speicherkraftwerke in der Schweiz noch weiter zu erhöhen.

5. Berücksichtigung der Unsicherheiten in der Zukunft bei der Auslegung der Projekte

Für den Ausbau und Neubau von Wasserkraftanlagen stellt sich zunehmend die Frage, welche langfristigen Prognosen für die technische Auslegung berücksichtigt werden sollen. Ausgehend von einem breiten Fächer von Prognosen und Szenarien, müssen Auslegungsgrössen wie Ausbauwassermenge und nutzbares Speichervolumen gewählt werden. Dabei wird versucht, Zielgrössen wie Kapitalwert und Interner Zinssatz zu maximieren.

Die dafür massgebenden langfristigen Prognosen, insbesondere von Abfluss und Energiepreisen, sind mit signifikanten Unsicherheiten behaftet. Abflussprognosen sind trotz Verfügbarkeit von langjährigen historischen Messreihen durch einen möglichen Klimawandel beeinflusst. Je nach Einzugsgebiet ist eine Zunahme oder Abnahme der Produktion zu erwarten, d.h. eine Klimaänderung kann sich auch positiv auf die Profitabilität einer Anlage auswirken. Insbesondere in von Gletschern geprägten Einzugsgebieten kann der Jahresabfluss in den nächsten 20 bis 30 Jahren ansteigen um dann mit vollständigem Abschmelzen der Gletscher wieder abzunehmen. Das wiederum kann eine Erhöhung der Ausbauwassermenge rechtfertigen. Allerdings sind trotz intensiver Forschung im Bereich Klimaänderung und hydrologischer Modellierung, Abflussprognosen mit grossen Unsicherheiten behaftet (siehe auch [9]). Dadurch wird die Wahl optimaler Ausbaugrössen erschwert.

Noch deutlicher schlagen sich Unsicherheiten von Strompreisprognosen in der Auslegung von Wasserkraftanlagen nieder. Faktoren welche die Strompreisentwicklung beeinflussen, wie Subventionspolitik, Marktstrukturen, politische Präferenzen, technische Innovationen, oder Wechselkursschwankungen sind schwer prognostizierbar. So decken Szenarien häufig ein breites Spektrum an Strompreisen ab (siehe z.B. [10]). Strompreisprognosen über die technische Lebensdauer einer Wasserkraftanlage (mehr als 50 Jahre) gleichen daher einem Blick in die Kristallkugel.

Zurzeit wird bei der Planung von Wasserkraftanlagen meist von den wahrscheinlichsten Prognosen ausgegangen. Unsicherheiten werden durch Szenarien und Sensitivitätsanalysen abgeschätzt. Dabei wird häufig ausser Acht gelassen, dass Wasserkraftanlagen an zukünftige, sich ändernde Bedingungen angepasst werden können.

Durch eine Anpassung einer Anlage können Unsicherheiten abgefedert werden. Sollte sich nach Jahren der Produktion abzeichnen, dass der Abfluss zunimmt, kann z.B. durch eine Zusatzmaschine der zusätzliche Abfluss genutzt werden. Sollte sich der Spitzenstrompreis erhöhen, könnte der nutzbare Speicher durch eine Dammerhöhung oder einen Zusatzspeicher vergrössert werden. Des Weiteren kann der Ausbau von Speicherkraftwerken zu Pumpspeicherkraftwerken eine vielversprechende Option darstellen, sollte sich der Base-Peak-Spread wieder einpendeln oder vergrössern.

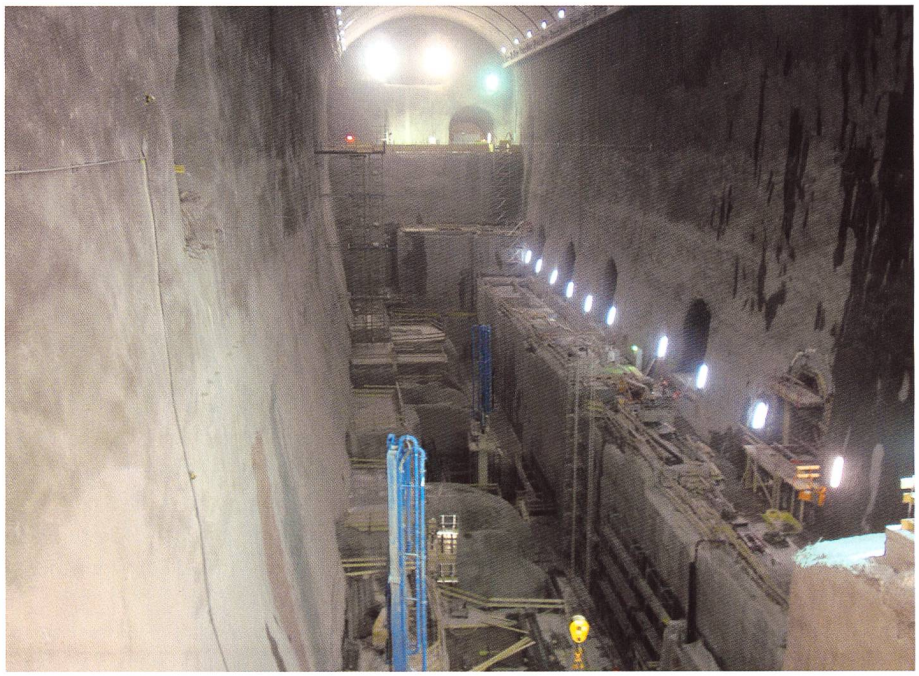

Bild 2. Ausbauarbeiten in der Maschinenkaverne des Pumpspeicherwerkes Nant de Drance (Foto Schleiss, Mai 2014).

Bild 3. Ein- und Auslaufbauwerk im Stausee Mutt des Pumpspeicherwerkes Limmern Linthal 2015 (Foto Schleiss, Juli 2013).

Zahlreiche bestehende Anlagen und Neubauprojekte bieten die Möglichkeit einer flexiblen Anpassung. Teilweise wurden solche Möglichkeiten bereits vertiefend untersucht oder umgesetzt (z.B. Göscheneralp Dammerhöhung, Zusatzmaschine KW Bürglen).

Allerdings werden solche Optionen derzeit bei einer Neuauslegung (z.B. im Zuge eines Vorprojektes) häufig ausser Acht gelassen und nicht explizit in ein Auslegungskonzept integriert. Zusätzlich werden Anlagen mit erhöhtem Kostendruck realisiert. So wird z.B. das Raumangebot bei Krafthäusern stark reduziert, um die Baukosten gering zu halten, wodurch ein späterer Ausbau erschwert wird. Eine Analyse, ob ein Ausbau mittel- oder langfristig sinnvoll sein könnte, wird dabei häufig nicht ausgeführt.

Methodisch können solche Anpassungen durch eine Real-Optionen-Analyse bewertet werden (siehe [11], [12], [13]). Für eine umfassende Risikoabschätzung sowie bei der technischen Auslegung sollte die Flexibilität einer Anlage berücksichtigt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass durch eine flexiblere Auslegung von Wasserkraftanlagen auf langfristige Unsicherheiten reagiert werden kann.

Derzeit wird am Wasserbaulabor (LCH) der EPFL das Forschungsprojekt «Hydropower under Uncertainties» erarbeitet, welches darauf abzielt, Methoden für die technische Auslegung von Wasserkraftanlagen zu entwickeln, welche eine erfolgreiche Bewältigung von Unsicherheiten erlauben.

Gekürzte und aktualisierte Fassung eines Vortrags, gehalten in Interlaken am 5. September 2013 anlässlich des AGAW-Symposiums, 102. Hauptversammlung SWV «Wasserkraft im Alpenraum – Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen».

Literatur

[1] *BFE* 2012: Wasserkraftpotenzial der Schweiz, Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050, Juni 2012.

[2] *Pfammatter, R.,* Wasserkraftpotenzial der Schweiz – eine Auslegeordnung. «Wasser Energie Luft» 104 (1), pp. 1–14, 2012.

[3] *Schleiss, A.,* Talsperrenerhöhungen in der Schweiz: energiewirtschaftliche Bedeutung und Randbedingungen. «Wasser Energie Luft» 104 (3), pp. 199–203, 2012.

[4] *Vischer, D.,* Wasserkraft im Widerstreit der Meinungen. Schweizer Ingenieur und Architekt SIA, Heft 23/1990, pp. 655–660.

[5] *Vischer, D.,* Alpine Wasserkraft im Wandel der Zeit. Geowissenschaften 12, Heft 5/6, 1994, pp. 154–158.

[6] *Biasutti, G.,* Wasserkraft – verschmähte Perle. Force hydraulique-une perle dédaignée. Bulletin VSE/ASE 2/2002, p.74.

[7] *Ursprung, U.,* Wasserkraftnutzung im Rahmen der Marktliberalisierung. «Wasser Energie Luft» (9), Heft 11/12, 1998, pp. 265–267.

[8] *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.

[9] *Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.),* Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1217: 76 S., 2012.

[10] *Bundesamt für Energie BFE (Hrsg.),* Perspektiven für die Grosswasserkraft in der Schweiz. Bundesamt für Energie, 2013.

[11] *De Neufville, R.,* Uncertainty Management for Engineering Systems Planning Design. Engineering Systems Monograph, MIT ESD, available online at http://esd.mit.edu/symposium/pdfs/monograph/uncertainty.pdf, 2004.

[12] *Wang, T.,* Real Options «in» Projects and Systems Design, Identification of Options and Solution for Path Dependency. Verlag Dr. Müller, 2008.

[13] *Bockman, T., Fleten, S.E, Juliussen, E., Langhammer, H.J. Revdal, I.,* Investment timing and optimal capacity choice for small hydropower projects. European Journal of Operational Research, 190(1), 255–267, 2008.

Anschrift der Verfasser

Anton Schleiss, Prof. Dr. Dipl. Bauing. ETHZ und *Felix Oberrauch*, Dipl. Ing.

Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH), Ecole polytechnique fédérale da Lausanne, EPFL-ENAC-IIC, GC A3 514 (Bât. GC), Station 18, CH-1015 Lausanne

anton.schleiss@epfl.ch

felix.oberrauch@epfl.ch