

Grosswasserkraft

Basiswissen-Dokument, Stand Januar 2018

1. Zusammenfassung

Die Wasserkraft ist mit einem Beitrag von 55 % der wichtigste Energieträger zur Stromproduktion in der Schweiz. Zusammen mit der Kernenergie bilden die 1'500 Wasserkraftwerke den Grundpfeiler für die Stromversorgung des Landes. Grosswasserkraft ist die wichtigste erneuerbare Technologie mit niedrigsten Treibhausgasemissionen.

Das Potenzial der Wasserkraft zur Stromproduktion ist stark von politischen Rahmenbedingungen geprägt und praktisch ausgereizt. Die besten Standorte werden bereits weitgehend genutzt. Das Ausbaupotenzial bis 2035 wird aktuell – je nach Quelle und Rahmenbedingungen – auf höchstens 5 % respektive 2 TWh geschätzt.

Speicherkraftwerke erlauben, einen Teil der Produktion über einen kürzeren oder längeren Zeitraum zu verschieben. Speicherkraftwerke können das Wasser aus Regenfällen und Schneeschmelze von Frühjahr und Sommer zurückhalten und die Produktion in den Winter verlagern. Neue Standorte oder Ausbaumöglichkeiten für Speicher sind allerdings kaum mehr vorhanden, bezüglich Leistung sind aber Steigerungen möglich.

Pumpspeicherkraftwerke und Umwälzwerke gewinnen an Bedeutung, um unregelmässig anfallende Energie aus Wind- und Photovoltaik-Anlagen optimal zu nutzen sowie um Bandenergie in Spitzenenergie umzuwandeln. Die entsprechende Umlagerung erfolgt vor allem im Stunden- bis Wochenbereich. Ein beschleunigter Ausbau im heutigen Marktumfeld mit tiefen Strompreisen ist sehr unwahrscheinlich, da die Wettbewerbsfähigkeit der Grosswasserkraft stark beeinträchtigt ist.

2. Heutige Situation in der Schweiz

In der Schweiz werden heute rund 1500 Wasserkraftwerke betrieben¹. Ca. 36 TWh werden in der Schweiz in Gross- und Kleinwasserkraftwerken produziert. Davon verbrauchen die Speicherpumpen etwa 3 TWh, sodass eine Nettostromproduktion von ca. 33 TWh resultiert². Etwa 10 % werden in Kleinwasserkraftwerken mit einer Leistung unter 10 MW erzeugt (vgl. Basiswissen-Dokument „Kleinwasserkraft“).

Zu den rund 55 % Produktionsanteil der Schweizer Wasserkraft werden rund 50 % von der Grosswasserkraft und etwas über 5 % von der Kleinwasserkraft beigetragen. Die Grosswasserkraft wird in drei Kategorien unterteilt:

- **Laufwasserkraft:** Sie setzt die Höhenunterschiede entlang von Fliessgewässern in elektrische Energie um. Die Produktion richtet sich nach der vorhandenen Wassermenge und ist dadurch wenig regulierbar.

¹ Quelle: BFE 2017

² Quelle: BFE 2017

- **Speicherwasserkraft:** In überwiegend hoch in den Alpen gelegenen Speicherseen kann Wasser zurückgehalten und bei erhöhtem Energiebedarf für die Stromproduktion entnommen werden. Allerdings ist nur ein Teil der Produktion von Speicherkraftwerken regulierbar, Zuflüsse unterhalb der Speicherseen haben mehr oder weniger Laufwassercharakter.
- **Pumpspeicherwerke:** Diese pumpen Wasser aus einem unteren Becken in einen höher gelegenen Speichersee und verwenden es wieder zur Stromproduktion. Sie erzeugen damit keine zusätzliche Energie, erhöhen jedoch die verfügbare Leistung. Sie sind meist in grössere Speicherkraftwerkkomplexe integriert.

Die Energiequelle Wasser steht immer zur Verfügung, allerdings gibt es deutliche **Schwankungen:**

- Während im Sommer meist viel Wasser vorhanden ist, reduzieren sich die Abflüsse im Winter stark, besonders in den Alpen. Nur dank der Speicherung von Wasser in Speicherseen bewegt sich das Verhältnis der Stromproduktion vom Sommer- zum Winterhalbjahr in der Grössenordnung von 60 % zu 40 %. Ohne die Umlagerung würde die Winterproduktion weniger als 30 % betragen. Die Speicherseen besitzen einen Energiegehalt von rund 7 TWh Elektrizität, was rund 10 % des schweizerischen Stromverbrauchs entspricht.
- Die Unterschiede zwischen trockenen und regenreichen Jahren sind erheblich; Abweichungen im Bereich von 10 % bis 15 % gegenüber dem Mittelwert kommen regelmässig vor.

Wasserkraftwerke – insbesondere Speicherwerke mit ihren Stauseen – leisten einen wichtigen Beitrag zum Hochwasserschutz. Da die Wahrscheinlichkeit von Hochwasser aufgrund der Klimaerwärmung tendenziell steigt, könnte diese Funktion noch an Bedeutung gewinnen und sogar aktiv ausgebaut werden.

3. Stand und weitere Entwicklung der Technik

Die heute eingesetzten Technologien zur Stromerzeugung aus Wasserkraft sind angesichts der Maschinen-Wirkungsgrade von weit über 90 % und der Wirkungsgrade der Gesamtanlage von 80 % sehr weit fortgeschritten³. Effizienz- und Produktionssteigerungen sind bei Anlagenerneuerungen realisierbar, indem ältere Werke umgebaut und modernisiert werden, um Effizienz und Wirkungsgrad zu steigern. Die Anstrengungen konzentrierten sich in letzter Zeit deshalb vor allem auf Massnahmen zur Effizienzsteigerung in bestehenden Anlagen und auf die Verbesserung der Rentabilität von Projekten in Planung bzw. Realisierung.

Aus der Bereitstellung von Spitzenstrom für das europäische Verbundnetz und den damit verbundenen häufigen Lastwechseln ergeben sich veränderte technische Anforderungen, auf welche die hydraulischen und elektromechanischen Komponenten der Kraftwerke ausgelegt werden müssen. Andernfalls nimmt die Lebensdauer einzelner Komponenten der Anlagen ab, etwa durch die höhere Belastung von Turbinen und Pumpen infolge häufigerer Ein- und Ausschaltungen. Hinzu kommen ökologische Probleme durch starke Abflussschwankungen (Sunk und Schwall), wenn kurzfristig viele Speicherwerke am Oberlauf eines Flusses gleichzeitig zum Einsatz kommen⁴. Diese Herausforderungen und mögliche Lösungen werden untersucht.

Für die Planung, die Bewilligungen und den Bau eines neuen Wasserkraftwerks ist der Zeitbedarf je nach Grösse, Bauumfang und lokalen Gegebenheiten sehr verschieden. Es ist mindestens mit 8 bis 10 Jahren zu rechnen, wobei beim Bewilligungsverfahren die obere Grenze durch mögliche Einsparungen offen ist.

³ Quelle: SWV 2012

⁴ Quelle: BFE 2011

4. Potenzial

Die Rahmenbedingungen sind für das weitere Potenzial der Wasserkraft entscheidend. Auflagen bezüglich Gewässer- und Landschaftsschutz führen zu Restwassermengen-, Schwallenk-Vorgaben usw., Förderbedingungen geben oder nehmen Investitionsanreize, auferlegte Nutzungsrechte bei Neu-/Rekonzessionierung können zu Einschränkungen führen. Die Veränderung der hydrologischen Verhältnisse und eine nachhaltige Bewirtschaftung kann künftig eine Reduktion der Speichermöglichkeit hervorrufen, weil zum Beispiel zunehmend Sedimente abgelagert werden. Dem schenkt auch das Forschungsprogramm Wasserkraft des BFE in den Programmschwerpunkten und Studien entsprechendes Gewicht.

Im Rahmen der vom Volk am 21. Mai 2017 verabschiedeten Energiestrategie 2050 des Bundes wurden unterschiedliche Unterstützungsmassnahmen zugunsten der Wasserkraft eingeführt. Neue grosse Wasserkraftanlagen (Leistung von mehr als 10 Megawatt) sowie erhebliche Erneuerungen oder Erweiterungen von Wasserkraftanlagen sollen Investitionsbeiträge erhalten. Zudem kann für denjenigen Strom aus Schweizer Grosswasserkraft, der am Markt unter den Gestehungskosten verkauft werden muss, eine Marktprämie beansprucht werden.

4.1 Geplante oder in Bau befindliche Anlagen

Zur Beschreibung des Potenzials gehören die in Planung oder Bau befindlichen Anlagen, sowie darüber hinaus die gemäss unterschiedlichen Studien erschliessbaren Potenziale. Während noch Mitte der 90er-Jahre der Ausbau von Kraftwerkskapazitäten mit Blick auf Überkapazitäten im europäischen Energiemarkt als unattraktiv gewertet wurde, sind in den letzten Jahren eine Reihe von Umbau- und Erweiterungsprojekten entstanden und in die Realisierung überführt worden. Die Energiewirtschaft hat sich selbst bereits ehrgeizige Ziele gesetzt. Ende 2016 befanden sich immer noch einige Wasserkraftwerke im Bau oder Umbau. Der Leistungszuwachs dank diesen Aktivitäten beläuft sich auf 1'377 MW, inklusive dem grössten Projekt Nant de Drance (VS).

2017 wurde das neue Pumpspeicherwerk der Kraftwerke Linth-Limmern mit einer Pumpleistung und einer Turbinenleistung von je 1'000 Megawatt (MW) inbetriebgenommen. Nachdem im Jahr 2015 die erste Maschinengruppe mit dem Netz synchronisiert werden konnte und im Sommer 2016 die neue Muttsee-Staumauer mit dem offiziellen Stauprogramm getestet wurde, erfolgte die Abnahme der vierten und damit letzten Maschinengruppe Ende 2017.

In Veytaux (VD) wurde im Mai 2017 im Projekt Forces Motrices Hongrin-Léman die Pumpspeicheranlage mit der zweitgrössten Leistung der Schweiz offiziell eingeweiht. Mit einer Leistung von 480 Megawatt (MW), davon 60 MW als Reserve, leistet dieses Pumpspeicherkraftwerk einen bedeutenden Beitrag zur Stromversorgungssicherheit der Schweiz und passt hervorragend zur Energiestrategie 2050.

Weiterhin existieren noch nicht bewilligte Projekte:

- Massongex-Bex Rhône, ca. 95 GWh, 20 MW
- Rhone Oberwald 39 GWh, 12.4 MW
- Rhône-Grande Dixence, 2'000 MW
- Pumpspeicherkraftwerk nuovo Ritom, ca. 150 GWh, 120 MW (Konzession erteilt)

Ob, und wenn ja wann, dieses Potenzial gänzlich realisiert werden wird und welche energiewirtschaftliche Relevanz daraus abzuleiten ist (Zeitdauer der Verfügbarkeit von Arbeit und Leistung), muss in der Folge und in Zusammenhang mit der Wirtschaftlichkeit der Investitionen im aktuellen Marktumfeld untersucht werden (siehe dazu Kapitel 7).

4.2 Weiteres Ausbaupotenzial

Das theoretische Gesamtpotenzial der Grosswasserkraft in der Schweiz ist mit über 100 bis 150 TWh hoch. Es beschreibt das Potenzial, das die Nutzung praktisch jedes Wassertropfens aus sämtlichen Flüssen umfasst. Es handelt sich hierbei also um ein theoretisches Potenzial, das ohne starke und umfassende Paradigmenwechsel und ohne neue Technologien nicht ansatzweise erschliessbar ist⁵. Das technische Wasserkraftpotenzial hingegen bezeichnet die Energiemenge, die unter Berücksichtigung von technischen Belangen tatsächlich nutzbar ist. In der Schweiz wird dieses auf ca. 40 TWh geschätzt⁶, ist aber bereits zu 90 % realisiert.

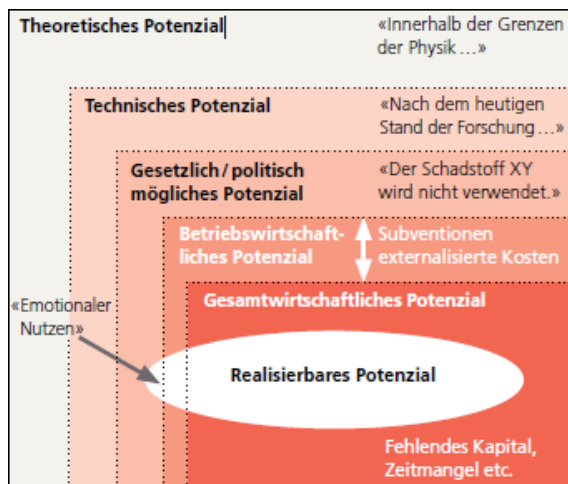


Abbildung 1 Potenzialbegriffe. Quelle: VSE 2009.

Relevant für die weiteren Betrachtungen ist das realisierbare Ausbaupotenzial, das realistisch, also unter Berücksichtigung von limitierenden Faktoren wie Landschafts- oder Gewässerschutz, gesamtwirtschaftlich erschliessbar ist. Der bestehende Wasserkraftpark nutzt schon heute fast alle energetisch nutzbaren Wasserressourcen⁵. Eine Potenzialstudie des Bundes aus dem Jahr 2012 beziffert die mögliche Mehrproduktion

⁵ Quelle: BFE 2004

⁶ Quelle: VSE 2006

aller Wasserkraftanlagen (inkl. Kleinkraftwerke) je nach Lockerung der Schutzauflagen auf zwischen 1.5 und 3 TWh⁷.

Der Bund will mit der Energiestrategie 2050 die durchschnittliche Jahresproduktion von Elektrizität aus Wasserkraft bis im Jahr 2050 auf 38'600 Gigawattstunden (GWh) steigern (bis 2035 auf 37'400 GWh)⁸.

Der Schweizerische Wasserwirtschaftsverband schätzt die zusätzliche Nettoproduktion aus Gross- und Kleinwasserkraft, abzüglich Minderproduktion aus Restwasserbestimmungen, auf 0 bis 5 TWh bis im Jahr 2050⁹. Aus Sicht der Wasserwirtschaft ist bei der Realisierung dieses Potenzials davon auszugehen, dass vorbehaltlos Kompromisse beim Klima-, Gewässer- und Landschaftsschutz erforderlich sein werden. Das zukünftige Ausbaupotenzial der Wasserkraftanlagen liegt gemäss Beurteilung der Branche vor allem im Bereich der Erweiterungen bestehender Anlagen und dem Bau ausgewählter Neuanlagen. Zudem können durch die moderate Auslegung der Restwasserbestimmungen kommende Verluste vermieden werden¹⁰.

Der Schweizerische Wasserwirtschaftsverband erachtet das genannte Ziel als ausserordentlich ehrgeizig und geht von folgenden Potenzialbetrachtungen aus. Diese werden in Abhängigkeit von für den Ausbau von Wasserkraft (Klein- und Grosswasserkraft) mehr oder weniger fördernden Rahmenbedingungen abgeleitet:

Deutliche Veränderung Rahmenbedingungen	ja	nein
Effizienzsteigerungen bestehender Anlagen	+1 TWh	+0,5 TWh
Erweiterung / Umbau bestehender Anlagen	+1 bis +2 TWh	+0,5 bis +1,5 TWh
Bau neuer Wasserkraftwerke gross und klein	+3 bis +4 TWh	+1 TWh
Brutto - Potenzial	+ 5 bis +7 TWh	(+2 bis +3 TWh)
Restwasserwasserverluste	-1 bis -2 TWh	(-2 bis -4 TWh)
Verluste aus Klimaveränderungen	0 TWh	(0 TWh)
Veränderung Nettoproduktion	+4 bis +5 TWh	(0 bis -1 TWh)

Weitere Unsicherheiten bestehen beim Betrieb von Wasserkraftwerken. Die Nutzungsrechte der Wasserläufe werden im Betrachtungszeitraum in grosser Zahl an die Kantone zurückfallen. Für die Betreiber der Wasserkraftwerke besteht im Allgemeinen keine Sicherheit über eine erneute Erteilung einer Konzession sowie deren Ausgestaltung, zum Beispiel bezüglich der Restwassermengen. Das Auslaufen der Wasserrechtskonzessionen kann deshalb im Einzelfall nicht nur zu rechtlichen und kostenmässigen Veränderungen, sondern auch zu einer tendenziell eingeschränkten Wasserkraftproduktion führen¹¹.

Soll der Beitrag der einheimischen und erneuerbaren Wasserkraft zur Schweizer Stromversorgung erhalten oder gar erhöht werden, braucht es eine weitsichtige Politik, die sowohl zur bestehenden Produktion Sorge trägt, als auch geeignete Rahmenbedingungen für die Erneuerung sowie den wirtschaftlichen und umweltverträglichen Ausbau setzt. Dabei stehen folgende Stossrichtungen im Vordergrund:

⁷ Quelle: BFE 2012

⁸ Quelle: BFE 2017a

⁹ Quelle: Pfammatter 2012

¹⁰ Quelle: SWV 2012

¹¹ Quelle: VSE 2006

- Abkehr von der milliardenschweren internationalen Subventionswirtschaft, welche die Grosswasserkraft diskriminiert.
- Einführung grundlegend neuer Marktmechanismen, welche die Vorzüge der einheimischen Wasserkraft honorieren.
- Sicherstellung der Erträge der bestehenden Wasserkraftproduktion durch Entlastung von ständig steigenden Anforderungen und Abgaben.
- Verzicht auf weitere entschädigungslose Begehrlichkeiten an die Wasserkraft, wie beispielsweise Netznutzungsentgelte für Pumpspeicherwerke.
- Minimierung der Produktionsverluste aus Sanierungen nach Gewässerschutzgesetz und vollständige Entschädigung der anfallenden Kosten.
- Zulassen von schutzzielkonformen Anlagen mit grosser energiepolitischer Bedeutung aber geringen Umweltauswirkungen in BLN-Gebieten

Für die Ausgestaltung verbesserter Rahmenbedingungen sind die wichtigsten Stellschrauben für die Wirtschaftlichkeit der Wasserkraft zu berücksichtigen. Neben den Produktionsmengen, die direkt auf die spezifischen Kosten einer Anlage wirken, sind dies die Abgaben an die öffentliche Hand, die bei bestehenden Anlagen bereits die grössten Kostentreiber sind. Mit Anpassung der Bedingungen zu Gunsten der Nutzung ist eine Steigerung der Produktion aus einheimischer Wasserkraft um ca. 2 bis 3 TWh denkbar. Ohne Korrekturen ist dagegen längerfristig mit einem Rückgang der Produktionserwartung zu rechnen.

5. Einschätzung zu Leistungsverfügbarkeit und der Energiequalität

Die Grosswasserkraft ist mit ihrem grossen Leistungsvermögen (rund 16'500 MW installierte Leistung) und ihrer flexiblen Einsatzmöglichkeit das Rückgrat der Schweizer Stromversorgung. Laufwasserkraftwerke liefern Grundlast, während Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke für Spitzenlast und die saisonale Umlagerung eingesetzt werden. Bei der Wasserkraft handelt es sich deshalb um eine sehr hochwertige Leistungs- und Energieressource.

In den Jahren 2005/2006 führte das BFE gemeinsam mit dem VSE eine empirische Erhebung zur Engpassleistung der Wasserkraftwerke >300 kWh durch. Gemessen wurde dabei das Verhältnis der Engpassleistung zur installierten Leistung während einer Kältewelle von 72 Stunden im Januar:

- Laufwasserkraftwerke: ca. 25 %
- Speicherkraftwerke: ca. 65 %
- Pumpspeicherkraftwerke: ca. 81 %

Daraus ergab sich u.a., dass bei einer solchen Kältewelle der Leistungsbedarf der Schweiz nur noch knapp gedeckt werden kann.

Die Wasserkraft ist auch die unentbehrliche Ergänzung zu der hoch stochastischen erneuerbaren Energie wie Photovoltaik oder Windenergie, um im Bereich von Minuten bis Wochen die Stromproduktion der Nachfrage anzupassen. Dies betrifft nicht nur klassische (Gross-)Pumpspeicherkraftwerke. Bei als Speicheranlagen erstellten Werken sind entsprechende Änderungen im Betrieb und eventuell auch Investitionen verschiedenster Art absehbar.

Aufgrund einer Untersuchung des BFE zur Einsatzcharakteristik wurde nachfolgende Leistungsverfügbarkeit zusammengestellt¹². Es handelt sich dabei um eine andere Betrachtungsweise als bei der oben erwähnten Kältewelle.

Verhältnis zwischen verfügbarer Leistung und installierter Leistung im Winterhalbjahr	Heute und bis 2050
Grundlast	25 % Laufwasserkraftwerke
Spitzenlast	81 % Speicherwasserkraftwerke 61 % Pumpspeicherwasserkraftwerke

Tabelle 1: Leistungsverfügbarkeit der Technologie im Winterhalbjahr bis 2050. Quelle: BFE 2007.

6. Gesteungskosten

Ein Wasserkraftwerk ist wegen des grossen Einflusses der natürlichen Gegebenheiten für jeden Standort "massgeschneidert" - mit entsprechenden Auswirkungen auf die Investitions- und Energiegestehungskosten. Dies macht es unmöglich, die «Standard-Kosten» eines Wasserkraftwerks zu definieren. Zahlen zu diesem Thema geben deshalb in der Regel einen Durchschnitt aus verschiedenen bestehenden Anlagen wieder.

Kostenblock	Bandbreite
Investitionsbedingte Kosten (Kapitalkosten, Abschreibungen)	40 %
Öffentliche Abgaben (Wasserzinsen, Steuern, ...)	35 %
Betriebskosten (Personal, Material, Fremdleistungen, ...)	25 %

Tabelle 2: Kostenblöcke der Stromgestehungskosten

Die Wasserkraft gehört zu den kostengünstigsten Stromquellen überhaupt. Je nach Standort, Ausführung und Zustand der Anlagen sowie abhängig vom jährlichen Wasserdargebot variieren die Gesteungskosten zwischen 3 und 10 Rappen pro Kilowattstunde. Die durchschnittlichen Kosten werden in aktuellen Studien je nach Anrechnung von Kapitalrendite, Kraftwerkeinsatzplanung und Vertrieb auf 4.5 bis 6.4 Rappen pro Kilowattstunde für Laufkraftwerke und auf 5.9 bis 8.2 Rappen pro Kilowattstunde für Speicherkraftwerke beziffert.¹³

Viele Faktoren können die Betreiber dabei nicht selbst beeinflussen. Beispiele dafür sind:

- Regulatorische Auflagen wie das Gewässerschutzgesetz, das eine geringere Produktion zur Folge hat, oder die Talsperrenverordnung, die höhere Versicherungskosten verursacht.
- Wasserzinsen: Die Entwicklung seit deren Einführung 1918 zeigt erhebliche und kontinuierliche Steigerungen. Ein neues Modell ab 2020 ist in Diskussion(siehe 10).
- Durch die Neu- bzw. Rekonzessionierung werden Entschädigungszahlungen des Betreibers an die Konzessionsgeber ausgelöst.

¹² Quelle: BFE 2007

¹³ Quelle: SWV 2017

- Verkürzte neue Konzessionszeiten reduzieren die Nutzungsdauer aus Investitionssicht und damit die Abschreibungsdauer.
- Nach der Katastrophe in Fukushima werden möglicherweise neue Erdbebensicherheits-Kriterien auch für (Speicher-)Wasserkraftwerke beschlossen.
- Die Rentabilität wird durch weitere, teure Umweltauflagen (Restwasser, Fischpasssanierung) unter Druck geraten.
- Die Betriebskosten werden durch kürzere Pump- und Turbinierzyklen bei Pumpspeicherkraftwerken steigen.

Die Schätzungen des VSE für die Gesteungskosten aus Neu- und Umbauten sind in Tabelle 3 aufgeführt. Für die Investitionskosten wurde ein anteiliger Mix aus Neu- und Umbauten angenommen. Die Stromgestehungskosten wurden mit einem Zinssatz von 5 % und 10 % und einer Lebensdauer von 40 Jahren berechnet, was zur dargestellten Bandbreite führt. Für Laufwasserkraftwerke wurde von 4'400 Betriebsvolllaststunden ausgegangen, für Pump- und Speicherkraftwerke von 2'200.

Kosten Neu- und Umbauten	2015	2035	2050
Speicherwasserkraft			
Investitionskosten (CHF/kW)	4'750		
Betrieb und Unterhalt, fix	Jährlich 0,5 % der Investitionskosten		
Wasserzins (Rp./kWh)	1,1		
Gesteungskosten (Rp./kWh)	17-32		
Laufwasserkraft			
Investitionskosten (CHF/kW)	5'300		
Betrieb und Unterhalt, fix	Jährlich 1 % der Investitionskosten		
Wasserzins (Rp./kWh)	1,1		
Gesteungskosten (Rp./kWh)	10-19		

Tabelle 3: Kosten von Neu- und Umbauten bis 2050 gemäss Schätzungen des VSE.

7. Wettbewerbsfähigkeit und Chancen für den Aus- und Neubau der Grosswasserkraft im aktuellen Marktumfeld

Tiefe CO₂-, Gas- und Kohlepreise in Europa und in den USA, Überkapazitäten auf dem Markt und verzerrende Subventionen führen derzeit dazu, dass billiger Strom angeboten wird. In den letzten Jahren sind die Strompreise an den europäischen Märkten von über 70 €/MWh auf fast 20 €/MWh während 2016 gesunken und sind während 2017 auf rund 30 €/MWh wieder gestiegen. Die Terminpreise an den europäischen Strombörsen zeigen bis 2019 eine sehr moderate Preiserholung. Nach einer Studie des BFE über die Rentabilität von 25 geplanten Grosswasserkraftprojekten sind die Gesteungskosten für Neubauten derzeit mit durchschnittlich 14.1 Rp./kWh über den Gesteungskosten bestehender Grosswasserkraftanlagen (5 bis 6 Rp./kWh)¹⁴. Ebenso liegen diese über den heutigen Grosshandelspreisen von rund 3-4 Rp./kWh. Das be-

¹⁴ Quelle: BFE 2013b

deutet dass die Wettbewerbsfähigkeit der Grosswasserkraft durch die aktuelle Marktsituation stark beeinträchtigt ist und nicht nur in der Schweiz sondern auch im benachbarten Ausland. Es stellt sich die Frage, ob Investitionen in die Grosswasserkraft trotzdem im aktuellen, ungünstigen Marktumfeld zeitnah ausgelöst werden könnten und dementsprechend was für Unterstützungsmassnahmen möglich wären.

8. Umwelt/Klima

Die Umweltbilanz von Wasserkraftwerken ist positiv. Die graue Energie für Erstellung und Betrieb ist sehr tief, nicht zuletzt wegen der sehr langen Lebensdauer der Anlagen. Mit einem Treibhausgasausstoss zwischen 11 und 20 Gramm CO₂ pro kWh über den gesamten Lebenszyklus (CO₂-Äquivalente pro kWh) schneidet die Wasserkraft am besten ab von allen Produktionstechnologien.¹⁵

Grundsätzlich geniesst die Wasserkraft eine breite gesellschaftliche Akzeptanz. Das bereits stark genutzte Potenzial führt jedoch zu Widerstand gegen Neubauten oder zu Auflagen für Aus- und Umbauten, beispielsweise um die Auswirkung von Schwall und Sunk auf die Natur zu verringern oder Restwassermengen zu gewährleisten. Jedes Wasserkraftwerk greift in den lokalen Wasserhaushalt ein und beeinträchtigt die umgebende Landschaft und die Natur, etwa den Fischbestand. Mit einer Erhöhung der Restwassermenge und Ausgleichsbecken, welche die Wasserrückgabe verstetigen, werden diese Effekte reduziert. Dies verringert wiederum die Stromproduktion um bis zu 2 TWh¹⁶ und hat zusätzliche finanzielle Auswirkungen.

Die Folgen des Klimawandels auf die Wasserkraftproduktion lassen sich nur ungenau quantifizieren, negative Entwicklungen sind nicht auszuschliessen. Aufgrund steigender Temperaturen wird die Verdunstung zunehmen, und der Gewässerabfluss wird verringert. Auch dürfte sich die ausgleichende Funktion der Gletscher, die bisher in der zweiten Sommerhälfte für einen gewissen Abfluss sorgten, schrittweise reduzieren. Andererseits wird sich wegen der höheren Wintertemperaturen der saisonale Unterschied verkleinern.

Laut OcCC, dem Organ des Bundes für Fragen der Klimaänderung, ist bis 2050 in der Schweiz mit einer Erwärmung von etwa 2 °C im Winter und 2,5 °C im Sommer zu rechnen¹⁷. Allerdings bestehen bei dieser Entwicklung Unsicherheiten, da die künftigen Treibhausgasemissionen von wirtschaftlichen und technologischen Faktoren abhängen und das Wissen über die Reaktion des Klimasystems für kleine Gebiete wie die Schweiz beschränkt ist. Dazu wird es gemäss OcCC im Sommer deutlich trockener, im Winter hingegen feuchter werden: Beim mittleren Niederschlag wird bis 2050 für die Schweiz mit einer Zunahme von etwa 8 % im Winter und mit einer Abnahme von gut 15 % im Sommer gerechnet.

Die Unsicherheiten, wie sich die Klimaänderung in den verschiedenen Regionen der Schweiz bemerkbar machen wird, liegen jedoch nach einer Studie von swisselectric research bei etwa 10 %¹⁸. Hier kommt man sowohl zu positiven Resultaten für niedriger gelegene Gebiete wie auch zu mittleren Einbussen von 4 bis 8 % für höher gelegene Gebiete im sehr langfristigen Zeitraum. Darüber hinaus lässt sich eine allgemeingültige Aussage für die Schweiz aufgrund ihrer geographischen Lage nur schwer ableiten: Die Nordschweiz könnte beispielsweise tendenziell höhere Niederschlagsmengen zu erwarten haben, während in der Südschweiz der Niederschlag rückläufig sein könnte. Die klimatischen Veränderungen (weniger Nieder-

¹⁵ Quelle: BFE 2012a2

¹⁶ Quelle: SWV 2012

¹⁷ Quelle: OcCC 2008

¹⁸ Quelle: Swisselectric 2011

schläge im Sommer) können gemäss OcCC die Produktion bis im Jahr 2050 um bis zu 7 % reduzieren¹⁹. Dies bedeutet eine Minderproduktion infolge Klimaerwärmung von etwa 2,5 TWh. Der Schweizerische Wasserversorgerverband rechnet damit, dass die Klimaänderung keine Produktionseinbusse gesamthaft über die ganze Schweiz zur Folge hat²⁰. Ein solcher Nulleffekt ist auch mit den Aussagen von swisselectric research verträglich.

9. Rahmenbedingungen

Um das oben beschriebene Ausbauziel des Bundesrates betreffend Wasserkraft zu erreichen, bedarf es erheblicher Anstrengungen. Dabei bestehen verschiedene Herausforderungen, die wiederum bestimmte Rahmenbedingungen voraussetzen:

- Jedes Wasserkraftwerk greift in den lokalen Wasserhaushalt ein und beeinträchtigt die umgebende Landschaft und Natur wie etwa den Fischbestand. Kompromisse beim Klima-, Gewässer- und Landschaftsschutz werden erforderlich sein, um die ambitionierten Ziele zu erreichen.
- Der Rückfall der Nutzungsrechte der Wasserläufe im Betrachtungszeitraum an die Kantone führt zu Unsicherheiten bezüglich der Restwassermengen und der ökonomischen Bedingungen der Neukonzessionierung. Das Auslaufen der Wasserrechtskonzessionen kann deshalb im Einzelfall nicht nur zu rechtlichen und kostenmässigen Veränderungen, sondern auch zu einer tendenziell eingeschränkten Wasserkraftproduktion führen.
- Die Klimaerwärmung führt langfristig tendenziell zu reduzierter Stromerzeugung aus Wasserkraft, wobei regionale Unterschiede und Unsicherheiten in der Prognose der Effekte vorhanden sind. Der Beitrag von Wasserkraftwerken zum Hochwasserschutz könnte durch die Klimaänderung noch an Bedeutung gewinnen.

10. Ausblick "Wasserzinsen"

Der Wasserzins ist das Entgelt, das die Schweizer Wasserkraftwerke für die Nutzung der Ressource Wasser zu entrichten haben. Den Standortkantonen und –gemeinden der Wasserkraftwerke spült das jährlich rund 550 Millionen Franken in die Kassen, risikolos und bislang völlig unabhängig von der Ertragslage der Wasserkraftproduktion.

Für die Wasserkraftwerke ist der Wasserzins ein bedeutender Kostenfaktor. Heute muss der Wasserkraftwerksbetreiber für jede Kilowattstunde Strom, die aus Wasserkraft gewonnen wird, rund 1.6 Rappen Wasserzins entrichten. Das entspricht bereits rund einem Drittel der Gestehungskosten eines typischen Wasserkraftwerkes. Die aktuelle Wasserzinsregelung gemäss Wasserrechtsgesetz gilt nur noch bis Ende 2019. Für die Zeit danach muss vom Gesetzgeber eine neue Regelung ausgearbeitet werden, welche der weitgehend liberalisierten Stromwirtschaft Rechnung trägt. Die Wasserkraftbetreiber sollen keine Abgaben bezahlen müssen, die sie weder finanzieren noch weiterverrechnen können. Eine Flexibilisierung mit marktpreisabhängiger Entschädigung liegt damit auf der Hand.

¹⁹ Quelle: OcCC 2007

²⁰ Quelle: SWV 2012

Sind die auf dem Markt mit der Wasserkraft erzielbaren Erträge gut, soll auch die Entschädigung für die Nutzung der Ressource entsprechend hoch ausfallen. Sind die Marktpreise hingegen tief, hat die Ressource Wasser für die Stromproduktion offenbar wenig Wert, was sich auch in der Entschädigung niederschlagen muss. Der Wasserzins soll dem ursprünglichen Ausgleichsgedanken Rechnung tragen, muss aber für die Wasserkraftbetreiber langfristig tragbar sein und darf die einheimische Wasserkraft gegenüber dem Ausland nicht benachteiligen.

11. Bewertung und SWOT-Analyse

Bewertungskriterium	2017	2035	2050
Investitions- und Gestehungskosten	Kraftwerksbestand: Einzelfallbetrachtung Neubauten: im heutigen Marktumfeld eher unattraktiv Limitierungen deutlich vorhanden	Kraftwerksbestand: attraktiv Neubauten: Einzelfallbetrachtung; Limitierungen deutlich vorhanden	Kraftwerksbestand: attraktiv Neubauten: Einzelfallbetrachtung; Limitierungen deutlich vorhanden
Umweltverträglichkeit	CO ₂ -frei, aber: Eingriff in lokalen Wasserhaushalt, Landschaft, Natur, Fischbestand	CO ₂ -frei, aber: Eingriff in lokalen Wasserhaushalt, Landschaft, Natur, Fischbestand	CO ₂ -frei, aber: Eingriff in lokalen Wasserhaushalt, Landschaft, Natur, Fischbestand
Verfügbarkeit der Energie	Laufwasserkraft: Grundlast. Speicherkraftwerke: Spitzenlast, Flexibilität, „Batterie“ auch für stochastische erneuerbare Energie. Abhängig von Niederschlagsmengen, Jahreszeit	Laufwasserkraft: Grundlast. Speicherkraftwerke: Spitzenlast, Flexibilität, „Batterie“ auch für stochastische erneuerbare Energie. Abhängig von Niederschlagsmengen, Jahreszeit	Laufwasserkraft: Grundlast. Speicherkraftwerke: Spitzenlast, Flexibilität, „Batterie“ auch für stochastische erneuerbare Energie. Abhängig von Niederschlagsmengen, Jahreszeit
Produktionspotenzial	Energieproduktion 38.5 TWh, Leistung 16'500 MW	Fast kein zusätzliches Potenzial. Bei guten Rahmenbedingungen netto ca. 2 TWh; Zubaupotenzial	Fast kein zusätzliches Potenzial. Bei guten Rahmenbedingungen netto ca. 3 TWh; Zubaupotenzial
Gesellschaftliche Akzeptanz	hoch, allerdings lokale Widerstände und Einsprachen	hoch, allerdings lokale Widerstände und Einsprachen	hoch, allerdings lokale Widerstände und Einsprachen
Politische Akzeptanz	hoch; wachsende Herausforderung: Widerspruch zwischen hoher Grundsatzakzeptanz von Wasserkraftenergie und mangelnder Akzeptanz von Eingriffen in Wasserhaushalt, Landschaft, Natur, Fischbestand	hoch; wachsende Herausforderung: Widerspruch zwischen hoher Grundsatzakzeptanz von Wasserkraftenergie und mangelnder Akzeptanz von Eingriffen in Wasserhaushalt, Landschaft, Natur, Fischbestand	hoch; wachsende Herausforderung: Widerspruch zwischen hoher Grundsatzakzeptanz von Wasserkraftenergie und mangelnder Akzeptanz von Eingriffen in Wasserhaushalt, Landschaft, Natur, Fischbestand

Tabelle 4: Bewertung der Grosswasserkraft nach verschiedenen Kriterien für die Zeiträume 2017, 2035 und 2050. Grün: gut, orange: genügend.

extern	Chancen <ul style="list-style-type: none"> - relativ hohe gesellschaftliche Akzeptanz - Spitzenenergie, Regelenergie - Dauerlast - relativ gute Planbarkeit - Speicherbarkeit 	Risiken <ul style="list-style-type: none"> - im heutigen Marktumfeld hohe Gesteungskosten, unattraktiv für Neubauten - Ausbau stark abhängig vom Umgang mit dem Widerspruch zwischen gewünschter Versorgungssicherheit und Akzeptanz des Eingriffs in Wasserhaushalt, Landschaft Natur, Fischbestand - Gesetz verbietet Zubau nach Plan (z.B. Restwasserauflagen)
intern	Stärken <ul style="list-style-type: none"> - regelbare Energieproduktion - gute Umweltbilanz 	Schwächen <ul style="list-style-type: none"> - Standorte sind limitiert, grosse Neuanlagen kaum mehr möglich - abhängig von Klimaänderungen - Ausbaupotenzial vor allem von Speicherseen begrenzt

Tabelle 5: SWOT-Analyse.

12. Die wichtigsten Zahlen im Überblick

Kennzahl	Jahr	Quelle	Wert
Jahresproduktion Wasserkraft in der Schweiz	2016	BFE 2017	36326 GWh
Anzahl Wasserkraftwerke	2016	BFE 2017, Kapitel 3.2	Laufwasserkraft: Ca. 500 Speicherkraft: Ca. 100 Kleinwasserkraft: Ca. 1000 Total: 1600 Wasserkraftwerke
Maximal mögliche Leistung	2017	BFE 2017b, Tabelle 12	Laufwasserkraft: 4004 MW Speicherkraft: 8156 MW Pumpspeicherwerke: 2589 MW (davon 527 MW reine Umwälzwerke)
Mittlere jährliche Produktionserwartung (ohne Umwälzbetrieb)	2017	BFE 2017b, Tabelle 12	Laufwasserkraft: 17489 GWh Speicherkraft: 17230 GWh Pumpspeicherwerke: 1545 GWh
Mittlere Produktionserwartung Sommer (ohne Umwälzbetrieb)		BFE 2017b, Excelsheet, WKA-Typ gefiltert nach gewünschtem Typ, ZE-Status gefiltert nach "Im Normalbetrieb" und "im Umbau"; "Prod. ohne Umwälzbetrieb - S." multiplizieren mit Spalte "Proz. Anteil CH". Die so erzeugten Werte summieren.	Laufwasserkraft: 11258 GWh Speicherkraft: 9184 GWh Pumpspeicherwerke: 636 GWh
Mittlere Produktionserwartung Winter (ohne Umwälzbetrieb)		BFE 2017b, WKA-Typ gefiltert nach "L", ZE-Status gefiltert nach "Im Normalbetrieb" und "im Umbau"; "Prod. ohne Umwälzbetrieb - S." multiplizieren mit Spalte "Proz. Anteil CH". Die so erzeugten Werte summieren.	Laufwasserkraft: 6231.3 GWh Speicherkraft: 8046 GWh Pumpspeicherwerke: 909 GWh

13. Quellenverzeichnis

BFE 2004	Ausbaupotenzial der Wasserkraft, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2004
BFE 2007	Die Energieperspektiven 2035 - Band 5, Analyse und Bewertung des Elektrizitätsangebotes, Bundesamt für Energie BFE, Bern, Juni 2007
BFE 2011	Forschungsprogramm Wasserkraft - Überblicksbericht 2010, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2011
BFE 2012	Wasserkraftpotenzial der Schweiz. Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050. Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2012
BFE 2012a	ESU-services, PSI, Umweltauswirkungen der Stromerzeugung in der Schweiz, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2012
BFE 2013b	Perspektiven für die Grosswasserkraft in der Schweiz, Dezember 2013
BFE 2017	Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2016, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2017
BFE 2017a	Wasserkraft, http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00491/index.html?lang=de
BFE 2017b	Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz, Stand 1.1.2017, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2017
OcCC 2007	Klimaänderung und die Schweiz 2050, Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung OcCC, Bern, 2007
OcCC 2008	Das Klima ändert – was nun? Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung OcCC, Bern, 2008
Pfammatter 2012	R. Pfammatter, Ausbaupotenzial der Wasserkraft. In: Bulletin SEV/VSE 2/2012, Fehraltorf/Aarau, 2012
Swisslectric 2011	Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung, Synthesebericht, Swisslectric Research, Bern, 2011
SWV 2012	Ausbaupotenzial Wasserkraft Schweiz, Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband 2012, Faktenblatt vom Juli 2012
SWV 2017	Wirtschaftlichkeit einheimischer Wasserkraft, Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband 2012, Faktenblatt, 2016 rev. 2017
VSE 2006	Vorschau 2006 auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz im Zeitraum bis 2035/2050, Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, Aarau, 2006
VSE 2009	Stromversorgung der Zukunft sichern. Update 2009 der Vorschau 2006. In: Bulletin SEV/VSE 10s/2009, Fehraltorf/Aarau, 2009