

# Zukunft der Schweizer Wasserkraft Auslegeordnung der Einflussfaktoren

Schlussbericht nach Durchführung der Auslegeordnung, 6.6.2019  
Bericht ist nur für internen Gebrauch



**Auftraggeber**

Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband (SWV)  
BaslerFonds

**Projektteam**

Felix Ribi  
Michel Müller  
Christina Dübendorfer  
Silvan Rosser  
Florian Howald

**Begleitgruppe**

Nadine Brauchli (VSE)  
Stefan Linder (Alpiq)  
Christian Müller (BKW)  
Roger Pfammatter (SWV)  
Michel Piot (SWV)  
Thomas Porchet (AXPO)  
Thomas Reithofer (CKW)  
Michael Roth (EKW)  
Florian Widmer (Alpiq)

**Externe Experten**

Robert Boes (ETHZ)  
Turhan Demiray (ETHZ)  
Pascal Hänggi (Kt. VS)  
Stefan Hirschberg (PSI)  
Frank Krysiak (UNIBAS)  
Rolf Weingartner (Universität Bern)

EBP Schweiz AG  
Zollikerstrasse 65  
8702 Zollikon  
Schweiz  
Telefon +41 44 395 11 11  
info@ebp.ch  
www.ebp.ch

Druck: 27. Januar 2020  
20200127\_Zukunft\_Schweizer\_Wasserkraft.docx  
Projektnummer: 218258

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
1.1	Ausgangslage und Projektumfang	4
1.2	Modul 1: Auslegeordnung der relevanten Themen	5
2.	Auslegeordnung	6
2.1	Gesamte Auslegeordnung	6
2.2	Fokus auf dreizehn Themenfelder	7
2.3	Energiewirtschaftliche Dynamik	9
2.4	Auswirkungen der Wasserkraft	9
3.	Relevante Themenfelder	10
3.1	Nachfrage nach Stromdienstleistungen der Schweizer Wasserkraft	10
3.2	Konkurrenzangebote	13
3.3	Energie- und Klimastrategien	17
3.4	Marktdesign	21
3.5	Integration in den Europäischen Strommarkt	24
3.6	Naturbedingte Einflüsse auf fassbare Wassermengen	26
3.7	Naturbedingte Einflüsse auf Wasserkraftanlagen	27
3.8	Ökologisierung der Wasserkraft	29
3.9	Wasserbauliche und wasserkrafttechnische Entwicklungen	31
3.10	Ausbaupotenzial und Nutzung von Speichern	32
3.11	Eigentümergebiet	34
3.12	Investitionen in Wasserkraftanlagen	37
3.13	Gestehungskosten der Wasserkraft	39
4.	Synthese	42

# 1. Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Projektumfang

Die Schweizer Wasserkraft ist ein wichtiger Bestandteil der Schweizer und der europäischen Energieversorgung. Sie ist heute und voraussichtlich auch in Zukunft mit grossen Herausforderungen konfrontiert. Um diese erfolgreich zu meistern und künftige Chancen zu nutzen, sind ein klares Bild der möglichen Entwicklungen, eine Fokussierung auf relevante Handlungsfelder und eine Auswahl geeigneter Massnahmen eine wichtige Grundlage.

Grundlagen zum Meistern der Herausforderungen

Der Schweizerische Wasserwirtschaftsverband (SWV) hat deshalb EBP beauftragt, die folgenden Themen zu bearbeiten:

Prozess und seine Module

- eine breite Auslegeordnung der Einflussfaktoren auf die künftige Entwicklung der Schweizer Wasserkraft (Modul 1)
- eine Vertiefung in ausgewählten Themen (Modul 2)
- eine Auswahl geeigneter Massnahmen zur Verbesserung der Investitionssituation und folglich zum Erhalt und Ausbau der Schweizer Wasserkraft (Modul 3)

Die Massnahmen dienen der Wirtschaft und der Politik, die angestrebten Ziele bezüglich des Erhalts und des Ausbaus zu erreichen.

Die Bearbeitung hat in einem partizipativen Prozess mit Vertretern des SWV und seinen Mitgliedern stattgefunden.



Abbildung 1: Module des Prozesses

Im Modul 2 wurden basierend auf der Auswahl des SWV die folgenden Themen vertieft:

- Verbesserung der Investitionssituation
- Zusatzleistung Hochwasserschutz
- Zusatzleistung landwirtschaftliche Bewässerung

Der betriebsinterne Forschungsfonds von EBP (BaslerFonds) leistete eine Co-Finanzierung.

Der vorliegende Bericht umfasst die Auslegeordnung der Einflussfaktoren auf die Zukunft der Schweizer Wasserkraft. Für das Modul 2 liegen für die Vertiefungsthemen Verbesserung der Investitionssituation und Zusatzleistungen Hochwasserschutz bzw. landwirtschaftliche Bewässerung separate Berichte vor.

Berichte

## 1.2 Modul 1: Auslegeordnung der relevanten Themen

Im Rahmen des Moduls 1 hat EBP mittels einer internetbasierten Applikation die unter Kapitel 2.1 präsentierte Gesamtauslegeordnung sowie den vorliegenden Bericht zu 13 relevanten Themenfelder ausgearbeitet.

Erarbeitete Produkte

Die Zukunft der Wasserkraft und deren Einflussfaktoren sollen grundsätzlich langfristig betrachtet werden. Relevant ist die langfristige Entwicklung der Einflussfaktoren insbesondere bei grösseren Investitionen, da diese meist über mehrere Jahrzehnte abgeschrieben werden, oder bei (Neu-)Konzessionierungen, da diese für Zeiträume bis zu 80 Jahre erteilt werden. Eine grosse Anzahl von Neukonzessionierungen wird im Zeitraum zwischen 2035 und 2050 anfallen. Aus diesem Grund wird in diesem Bericht, wo möglich angegeben, welche Entwicklungen vor 2035 zu erwarten sind und welche Entwicklungen später zu erwarten sind.

Zeitliche Betrachtung

Bei einer grossen Zahl von Einflussfaktoren sind diverse Entwicklungen möglich, deren Eintrittswahrscheinlichkeiten kaum abschätzbar sind. Deshalb lassen sich keine verlässlichen Prognosen erstellen.

Beschränkte Prognostizierbarkeit

Bei vielen Einflussfaktoren sind hauptsächlich die Schweizer Bedingungen relevant und der Bericht fokussiert auf diese. Bei anderen Einflussfaktoren, z.B. bei den energiewirtschaftlichen Themen, ist die Vernetzung mit dem Ausland entscheidend. Folglich werden wo nötig auch ausländische Rahmenbedingung miteinbezogen.

Differenzierter geographischer Fokus

Grundsätzlich sind in diesem Projekt mit «Wasserkraft» alle Wasserkraftwerkstypen gemeint. Aufgrund der mengenmässigen Relevanz widmet sich der Bericht verstärkt den Grosswasserkraftwerken (installierte Leistung > 10 MW).

Fokus Grosskraftwerke

### **Nutzung des Berichts**

Der Bericht ist keine öffentliche Publikation und darf nur für den internen Gebrauch verwendet werden.

## 2. Auslegeordnung

### 2.1 Gesamte Auslegeordnung

Die Auslegeordnung in Abbildung 2 zeigt einerseits alle relevanten Einflussfaktoren auf die Schweizer Wasserkraft sowie in Form eines Wirkungsmodells die Beziehungen der einzelnen Faktoren zueinander.

Einflussfaktoren  
und Wirkungsmodell

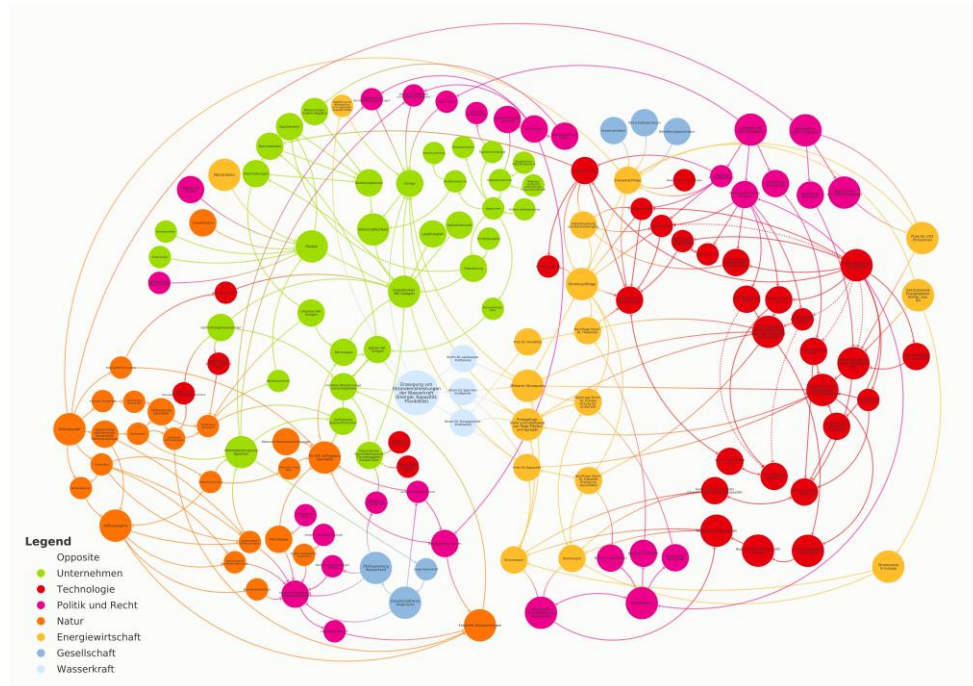


Abbildung 2: Auslegeordnung der Einflussfaktoren

Mit folgendem Link kann die Auslegeordnung im Detail auf dem Internet angeschaut werden: <https://kumu.io/EBP/wasserkraft>

Im Zentrum der Auslegeordnung steht die Erzeugung von Stromdienstleistungen durch Wasserkraftanlagen. Als Stromdienstleistungen unterschieden werden die Bereitstellung von Energie, Kapazität und Flexibilität (detaillierte Ausführung im Kapitel 3.2). Die verschiedenen Kraftwerkstypen – Laufkraftwerke, Speicherkraftwerke und Pumpspeicherkraftwerke – beteiligen sich in unterschiedlichem Ausmass an der Bereitstellung der drei Stromdienstleistungen. Laufkraftwerke erzeugen vor allem Energie. Speicherkraftwerke sind für die Bereitstellung aller drei Dienstleistungen relevant, und Pumpspeicherkraftwerke dienen der Bereitstellung von Kapazität und Flexibilität.

Stromdienstleistungen der Wasserkraft im Zentrum

Die Wasserkraftanlagen und deren Betreiber erbringen neben der Stromerzeugung noch weitere Leistungen, die in diesem Bericht als Zusatzleistungen bezeichnet werden. Zu den Zusatzleistungen gehören: Beiträge für den Hochwasserschutz, die Speicherung für die Trinkwasserversorgung und die Bewässerung sowie den Betrieb und Unterhalt von Seilbahnen und Strassen, die auch für touristische Zwecke genutzt werden.

Zusatzleistungen

Die Einflussfaktoren stammen aus den sechs Bereichen: Unternehmen, Technologie, Politik und Recht, Natur, Energiewirtschaft und Gesellschaft, die in der Auslegeordnung farblich gekennzeichnet sind.

Sechs Bereiche von Einflussfaktoren

## 2.2 Fokus auf dreizehn Themenfelder

Die Anzahl Faktoren, die auf die Stromdienstleistungen der Schweizer Wasserkraft einwirken, ist gross und deren Vernetzung komplex. Zur Fokussierung auf das Wesentliche und zur Verbesserung der Übersicht wurden deshalb 13 relevante Themenfelder bestimmt.

Reduktion der Komplexität

Die Auslegeordnung anhand der 13 Themenfelder zeigt, dass die einen Themenfelder die Erzeugung der Stromdienstleistungen beeinflussen. Während die anderen Themenfelder Einfluss auf den Markt haben, an dem die Stromdienstleistungen abgesetzt werden und an dessen Nachfrage sich die Erzeugung auszurichten hat. Weiter ist zu erkennen, dass der Markt stark von regulatorischen Rahmenbedingungen beeinflusst wird (Energie- und Klimastrategie, Marktdesign, Integration in europäischen Strommarkt) und sich alle Einflussfaktoren direkt oder indirekt als relevante Rahmenbedingungen auf die Investitionen in Wasserkraftanlagen auswirken.

Überblick anhand 13 Themenfeldern

Im Kapitel 3 dieses Berichts erfolgt die detaillierte Auslegeordnung in den einzelnen Themenfeldern. Dabei werden die verschiedenen Einflussfaktoren, deren Zusammenwirken, die heutige und die künftige Situation, deren Wirkung auf die Wasserkraft, der Bezug zu den anderen Themenfeldern sowie die Beeinflussbarkeit aus Sicht des SWVs und seiner Mitglieder gezeigt.

Detaillierte Informationen in den Themenfeldern

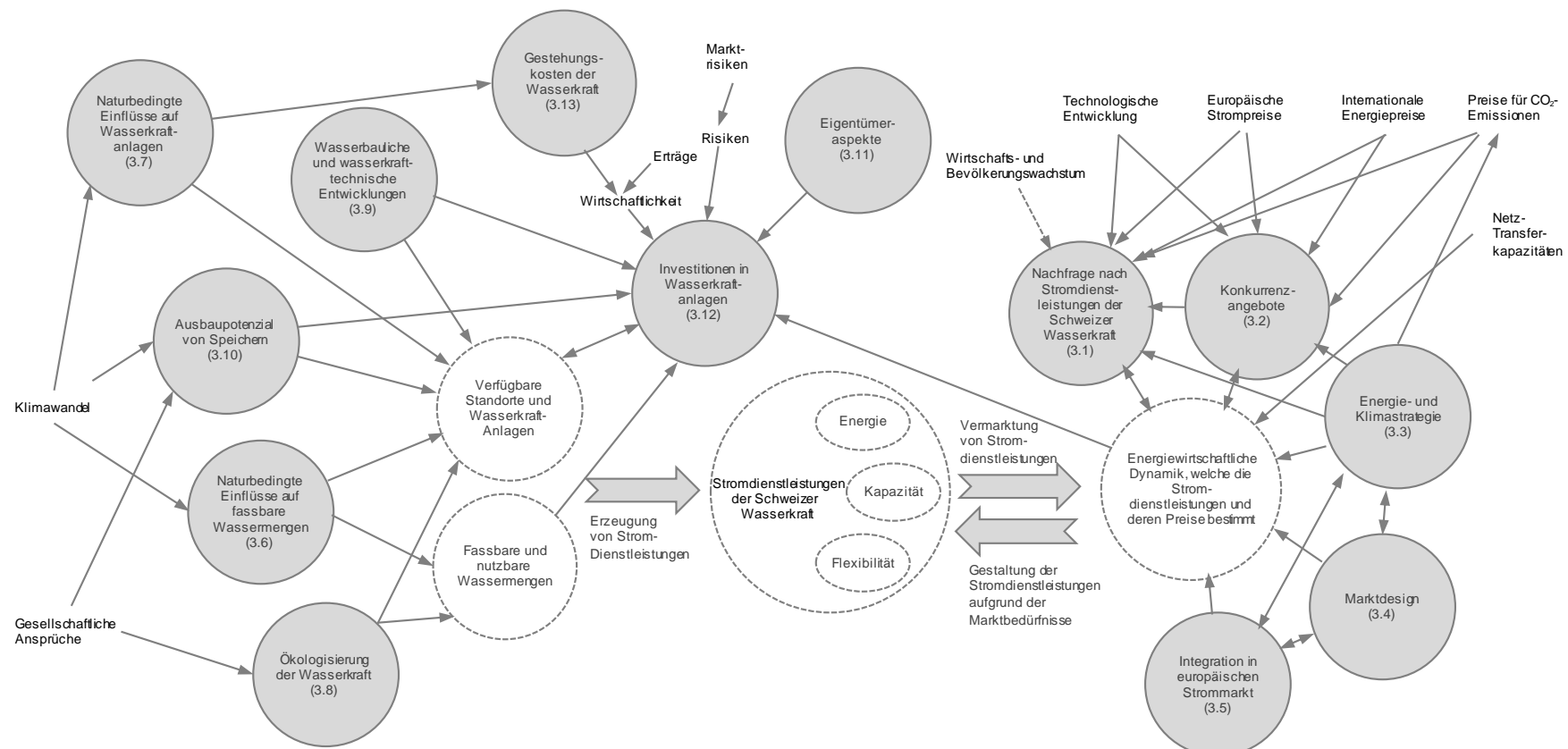


Abbildung 3: Auslegung anhand 13 relevanter Themenfelder



## 2.3 Energiewirtschaftliche Dynamik

Abbildung 3 zeigt auf, dass die energiewirtschaftlichen Mechanismen, welche die Preise bestimmen, viele Themenfelder massgeblich verknüpfen. Aufgrund der hohen Relevanz wird hier auf diese energiewirtschaftliche Dynamik vor der Vertiefung der Themenfelder übergeordnet eingegangen.

Energiewirtschaftliche Dynamik verknüpft Themenfelder

Die heutige Preisbildung auf dem Strommarkt kann mit der Merit Order beschrieben werden. Die Merit Order ist die Reihenfolge, wie stromproduzierende Kraftwerke eingesetzt werden. Diese orientiert sich an den niedrigsten Grenzkosten der Kraftwerke: jene Kosten, welche für die Erzeugung der letzten Kilowattstunde anfallen. Kraftwerke, die sehr günstig Strom erzeugen, werden zuerst zugeschaltet. Anschliessend werden so lange Kraftwerke mit höheren Grenzkosten hinzugefügt, bis die Nachfrage gedeckt ist. Die Grenzkosten dieses letzten Kraftwerks (Grenzkraftwerk) bestimmen den Strompreis für alle eingesetzten Kraftwerke. Kraftwerke, die einen niedrigeren Preis anbieten können als dieses preissetzende Grenzkraftwerk, erzielen eine Marge. Mit diesem Deckungsbeitrag können die Fixkosten der Anlagen ausgeglichen werden.

Mechanismus zur Strompreisbildung: Merit Order

Entscheidend für die Rentabilität der Wasserkraftwerke ist die Vergütung der erzeugten Kilowattstunden über den Strompreis. Dieser hängt wie oben beschrieben von den Grenzkosten der Kraftwerke ab. Die nahe Vergangenheit war geprägt durch den Markteintritt von Kraftwerken mit geringen Grenzkosten, insbesondere Strom aus Wind- und Sonnenenergie. Diese Anlagen verdrängen in der Merit Order teurere Kraftwerke und senken den Strompreis. Somit reduziert sich der Deckungsbeitrag, den die eingesetzten Kraftwerke erwirtschaften können. Weiter werden Grenzkosten der Gas- und Kohlekraftwerke durch die Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preise bestimmt. Sind diese tief, führt dies zu niedrigen Grenzkosten dieser Kraftwerke und zu tendenziell niedrigeren Strompreisen. Die zukünftige Entwicklung des Strompreises ist schwer vorherzusagen. Sie hängt massgeblich von internationalen Entwicklungen ab und von Faktoren wie Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preisen, die mit hoher Unsicherheit behaftet sind. Die Einflussfaktoren dieser Entwicklung werden als Themenfelder in den Kapiteln 3.1 bis 3.5 diskutiert.

Entwicklung des Strompreises

## 2.4 Auswirkungen der Wasserkraft

Die Analyse der Auswirkung der Wasserkraft auf die Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt sind nicht Thema dieser Auslegeordnung. Die Stromdienstleistungen der Schweizer Wasserkraft sollen jedoch ihren Beitrag an die Energieversorgung leisten, wie sie in der Bundesverfassung formuliert ist. Gemäss BV, Art 89, Abs. 1 soll die Energieversorgung ausreichend, breit gefächert, sicher, wirtschaftlich und umweltverträglich sein.

### 3. Relevante Themenfelder

#### 3.1 Nachfrage nach Stromdienstleistungen der Schweizer Wasserkraft

Die Inhalte dieses Kapitels basieren auf den Quellen [1], [5], [6], [7], [11], [21] und [26].

##### **Systembeschreibung**

Die Nachfrage nach Stromdienstleistungen der Schweizer Wasserkraft leitet sich über die Kaskade Energienachfrage, Stromnachfrage, Nachfrage nach Stromdienstleistungen der Wasserkraft her. Die einzelnen Faktoren, welche die Nachfrage auf den drei Ebenen beeinflussen werden im nachfolgenden Abschnitt beschrieben. Relevant ist nicht nur die inländische, sondern auch die ausländische Nachfrage.

Struktur

##### **Heutige und künftige Situation**

In den nachfolgenden Abschnitten wird die künftige Entwicklung einzelner Faktoren in der Schweiz anhand von Zahlen der Energieperspektiven des Bundes angegeben [5]. Diese beruhen auf unterschiedlichen Politiksszenarien, die bis ins Jahr 2050 reichen. Die künftigen Entwicklungen der EU beruhen auf unterschiedlichen Politiksszenarien der IEA [15].

##### *Energienachfrage*

Im Jahr 2017 betrug die Energienachfrage 236 TWh [6]. Gemäss den Szenarien der Energieperspektiven des Bundes [5] wird die Energienachfrage von 2010 bis 2035 zwischen 13% und 26% und bis 2050 zwischen 18% und 41% Prozent abnehmen. Gemäss IEA wird die Energienachfrage in der EU von 2017 bis 2040 zwischen 9% bis 30% abnehmen [15].

Faktoren, welche die Energienachfrage beeinflussen:

Im Jahr 2017 betrug die Wohnbevölkerung in der Schweiz: 8'848'000 [8]. Das Bundesamt für Statistik geht im Zeitraum 2010 bis 2035 von einer Bevölkerungszunahme von 12% und bis 2050 von 14% aus [5]. Die IEA rechnet mit einem gleichbleibenden Bevölkerungsbestand in der EU im Zeitraum 2017 bis 2040 (0% Wachstum) [15].

Bevölkerungsentwicklung

Das SECO geht sowohl im Zeitraum 2010 bis 2035 als auch im Zeitraum 2035 bis 2050 von einem mittleren jährlichen Wachstum von 1.0% aus [5]. Die IEA schätzt das durchschnittliche jährliche BIP-Wachstum für die EU im Zeitraum 2017 bis 2040 auf 1.6% [15].

Wirtschaftsentwicklung

Die IEA geht aufgrund unterschiedlicher Politiksszenarien von folgenden Preisentwicklungen in der EU im Zeitraum 2017 bis 2040 aus [15]:

Energie und CO<sub>2</sub>-Preise in der EU

	Preis 2017	Min. Preis 2040	Max. Preis 2040
Rohöl	\$ 52 / bbl	\$ 64 / bbl	\$ 137 / bbl
Gas	\$ 5.8 / MBtu	\$ 7.7 / MBtu	\$ 9.4 / MBtu
Kohle	\$ 85 / t	\$ 66 / t	\$ 98 / t
CO <sub>2</sub>	\$ 23 / t	\$ 38 / t	\$ 140 / t

<p>Aufgrund technologischer Entwicklungen und politischer Massnahmen ist mit einer Steigerung der Energieeffizienz zu rechnen.</p>	<p>Effizienzmassnahmen</p>
<p>In Zukunft ist mit zusätzlichen Anwendungen und Geräten zu rechnen, die den Energiebedarf ansteigen lassen.</p>	<p>Neue Anwendungen, Geräte</p>
<p>Wichtige Faktoren des Nutzerverhaltens sind die Fahrleistung im Verkehr und die Energiebezugsfläche in Gebäuden. Die Energieperspektiven gehen bei beiden Faktoren von einer Zunahme im Zeitraum 2010 bis 2050 aus.</p>	<p>Nutzerverhalten</p>
<p>Die Erwärmung der mittleren Temperatur wird zu einem geringeren Energiebedarf für die Raumheizung und die Bereitstellung des Warmwassers führen. Andererseits wird der Bedarf zur Kühlung steigen.</p>	<p>Klimawandel</p>
<p><i>Stromnachfrage</i></p>	
<p>Im Jahr 2017 betrug die Stromnachfrage 58.4 TWh/a [6]. Gemäss den Energieperspektiven des Bundes wird die Stromnachfrage von 2010 bis 2035 zwischen 10% zunehmen und 6% abnehmen bzw. bis 2050 zwischen 18% zunehmen und 11% abnehmen [5]. Die unterschiedlichen Werte basieren auf unterschiedlichen Politikszenerarien.</p>	<p>Stromnachfrage in der Schweiz</p>
<p>Im Jahr 2017 betrug die Stromnachfrage in der EU 3'299 TWh/a [15]. Die IEA schätzt, dass die Stromnachfrage in der EU im Zeitraum 2017 bis 2040 zwischen 6.5% und 14.7% ansteigen wird.</p>	<p>Stromnachfrage in der EU</p>
<p>Faktoren, welche die Stromnachfrage beeinflussen:</p>	
<p>Das Niveau der Strompreise hat einen Einfluss auf die Stromnachfrage, insbesondere bei Stromkunden, bei denen die Stromkosten eine relevante Kostengrösse sind (z.B. industrielle Betriebe). Die Strompreise werden hauptsächlich durch den europäischen Markt bestimmt, da die Kopplung der nationalen Märkte stark vorangeschritten ist. Die langfristige Entwicklung der europäischen Strompreise ist von sehr vielen Faktoren abhängig.</p>	<p>Europäische Strompreise</p>
<p>In Zukunft ist unter anderem aufgrund der voranschreitenden Digitalisierung mit zusätzlichen Anwendungen und Geräten zu rechnen, die zu zusätzlichem Strombedarf führen.</p>	<p>Stromanwendungen</p>
<p>Aufgrund von Technologie- und Kostenentwicklungen sowie von Politikmassnahmen kann es im Energiebereich zu Substitutionen kommen. Derzeit findet eine Substitution von fossilen Heizungen durch Wärmepumpen statt (vor allem im Neubau), was zu einer Erhöhung der Stromnachfrage insbesondere im Winter führt. Diese Entwicklung wird voraussichtlich noch mehrere Jahrzehnte und somit über das Jahr 2035 hinaus anhalten, denn das Substitutionspotenzial im Gebäudebestand ist noch gross [7]. Eine weitere Substitution zeichnet sich im Mobilitätsbereich ab, indem Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren durch Elektromobile oder Fahrzeuge mit anderen alternativen Antriebssystemen ersetzt werden. Eine Substitution, die zu einer geringeren Stromnachfrage führt, ist der Ersatz von elektrischen Widerstandheizungen.</p>	<p>Substitutionen</p>
<p>Bereits heute sind das Strom-, das Gas- und das Wärmenetz miteinander verbunden (z.B. Strom- und Wärmeerzeugung mit Biogas). Voraussichtlich werden die Verknüpfungen künftig zunehmen, insbesondere wenn</p>	<p>Netzkonvergenz</p>

überschüssiger Strom aus Photovoltaik (PV) oder Wind in Gas umgewandelt wird (Power-to-Gas).

Stromanwendungen sind in den vergangenen Jahren praktisch ausnahmslos und kontinuierlich effizienter geworden (z.B. LED-Leuchten). Auch in Zukunft sind weitere Effizienzgewinne zu erwarten. Die Effizienzgewinne werden jedoch durch Rebound-Effekte geschmälert.

Effizienz

#### *Nachfrage nach Stromdienstleistungen der Schweizer Wasserkraft*

Gemäss Daten des SWVs lagen die gemittelten Gestehungskosten der Jahre 2011 – 2015 über den Erträgen [21]. Gemäss einer Studie des BFE [5] lagen im Jahr 2016 die Gestehungskosten eines durchschnittlichen Wasserkraftwerks, inkl. Gewinnanteil (angemessene Eigenkapitalverzinsung) über den gesamten Erlösen am Markt. Wie sich das Preisniveau weiter entwickeln wird ist unklar.

Preisniveau der Dienstleistungen

Setzt die EU die heutige Klimapolitik, die eine grosse Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen als Ziel beinhaltet, um, werden die CO<sub>2</sub>-Preise markant ansteigen (siehe Energienachfrage). Dies wird die Nachfrage nach Strom aus fossilen Energieträgern reduzieren und die der Wasserkraft begünstigen.

CO<sub>2</sub>-Preise

Der Zu- und Rückbau von Kraftwerken in der EU (insbesondere in den Nachbarländern) und in der Schweiz wird die Nachfrage nach Stromdienstleistungen der Schweizer Wasserkraft beeinflussen (Details siehe Kapitel 3.2). Aufgrund der heutigen Politikausrichtung ist vor allem mit einem Ausbau von PV und Wind sowie mit dem Rückbau von Kernkraftwerken (KKW) in Deutschland und der langfristigen Stilllegung von KKW in der Schweiz zu rechnen. Wie Frankreich und andere Länder mit der Kernenergie fortfahren ist relevant, jedoch unklar. Deutschland plant den Ausstieg aus Kohlekraftwerken bis 2038 zu realisieren. Aufgrund der heutigen europäischen Klimapolitik ist auch in anderen europäischen Ländern mit einem Rückgang der Kohlekraft zu rechnen. Technologien zur Speicherung auf lokaler Ebene und Flexibilisierung der Nachfrage können im Falle einer kostengünstigen und breiten Anwendung die zentralen Versorgungsstrukturen, zu denen die Wasserkraft gehört, konkurrenzieren.

Konkurrenzangebote

Der Zugang der Schweizer Stromwirtschaft zum europäischen Markt und die Kapazität der Übertragungsnetze beeinflusst die Relevanz der europäischen Stromnachfrage und der europäischen Preise (Details siehe Kapitel 3.5).

Zugang zu europäischem Strommarkt und Kapazität der Übertragungsnetze

#### **Wirkung auf Wasserkraft**

Die Nachfrage nach Stromdienstleistungen der Wasserkraft wirkt sich im Wechselspiel mit dem Angebot der Wasserkraft sowie der Konkurrenztechnologien auf die Strompreise und das Marktvolumen aus. Die Strompreise und das Marktvolumen haben Einfluss auf die Erträge der Wasserkraft und folglich auf die Investitionen, die sich letztlich auf die Erzeugung von Stromdienstleistungen der Wasserkraft auswirken.

Eine Zunahme der Energie- und der Stromnachfrage wirkt sich grundsätzlich positiv auf die Nachfrage nach Stromdienstleistungen der Wasserkraft aus. In welchem Ausmass sich die Energie- Stromnachfrage erhöhen werden ist unklar, da die Entwicklung vieler Einflussfaktoren unsicher ist.

### Bezug zu anderen Themen

Die Nachfrage nach Stromdienstleistungen der Wasserkraft hat einen Einfluss auf die Investitionen in Wasserkraftanlagen (3.12). Die Energie- und Klimastrategien (3.3) sowie das Marktdesign (3.4) und die Integration in den europäischen Strommarkt (3.5) beeinflussen die Nachfrage nach Stromdienstleistungen der Wasserkraft.

### Beinflussbarkeit

Die Nachfrage nach Stromdienstleistungen der Schweizer Wasserkraft lässt sich vor allem durch politische Massnahmen auf verschiedenen Ebenen beeinflussen. Mögliche regulatorische Eingriffe sind: Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Preise, Förderung Erneuerbarer Energien, Ausstieg aus der Kernenergie, Stromabkommen mit der EU, Marktdesign (Marktöffnung).

Politische Massnahmen

Durch den Ausbau der Übertragungsnetze im In- und Ausland kann der Zugang zur schweizerischen und europäischen Nachfrage nach Energie, Kapazität und Flexibilität verbessert werden. Der inländische Ausbau kann über die Swissgrid beeinflusst werden. Der Ausbau im Ausland ist nicht beeinflussbar.

Ausbau der Übertragungsnetze zur Verbesserung des Zugangs zur Nachfrage

Herkunftsnachweise sind das Instrument, mit dem sich die ökologische und regionale Qualität der Wasserkraft vermarkten und abgelden lässt. Mittels Kommunikationsmassnahmen oder Subventionen können die Erträge für die ökologische und die regionale Qualität erhöht werden.

Kommunikationsmassnahmen und Subventionen

Noch wichtiger als die Beeinflussung der Nachfrage ist die Ausrichtung der Stromdienstleistungen und des Kraftwerkparcs auf die Marktnachfrage. Somit empfiehlt es sich insbesondere die Nachfrage und deren Einflussfaktoren gut zu beobachten und die Erkenntnisse in den Investitionsentscheiden zu berücksichtigen.

Nachfrageentwicklung für Investitionsentscheidungen nutzen

## 3.2 Konkurrenzangebote

Die Inhalte dieses Kapitels basieren auf den Quellen [2], [3], [10], [14] und [16].

### Systembeschreibung

Die Wasserkraft steht bei der Befriedigung der Nachfrage nach Stromdienstleistungen mit anderen Angeboten im Wettbewerb. Welche Stromdienstleistungen in welchem Umfang nachgefragt werden, wird unter anderem massgeblich durch das Marktdesign (siehe Kapitel 3.4) bestimmt. Zusammengefasst werden hier drei Kategorien von Stromdienstleistungen identifiziert: «Energie» (im Sinne von Energy-as-produced; vergütet wird die produzierte Strommenge), «Kapazität» (im Sinne von Energy-as-demanded; vergütet wird die bereitgestellte Leistung) und «Flexibilität». Zusatzleistungen wie die Nutzung von Speicheranlagen für Hochwasserschutz oder Bewässerung stehen hier nicht im Fokus. Diese Zusatzleistungen können sowohl eine Chance für Wasserkraftwerke als auch eine Konkurrenz zur Nutzung der Wasserkraftwerke für Stromdienstleistungen darstellen.

Struktur anhand von drei Stromdienstleistungen

Konkurrenzangebote zu Stromdienstleistungen der Wasserkraft stammen insbesondere aus anderen Strom-Erzeugungstechnologien. Die Strom-Erzeugungstechnologien weisen unterschiedlich ausgeprägte Fähigkeiten auf, die oben genannten Stromdienstleistungen «Energie», «Kapazität» und «Flexibilität» zu erbringen, und treten damit in Konkurrenz zu den Stromdienstleistungen der Laufwasser-, Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke. Wie diese Strom-Erzeugungstechnologien die verschiedenen Stromdienstleistungen der Wasserkraft konkurrenzieren, wird stark durch ihren zeitlichen Anfall und ihre Regelbarkeit bestimmt. Deshalb werden vier Kategorien von Strom-Erzeugungstechnologien unterschieden:

Kategorien von  
Stromerzeugungs-  
technologien

- Nicht regelbare, kurzfristig fluktuierende Stromerzeugung: insbesondere Photovoltaik- und Windkraftanlagen
- Nicht regelbare, langfristig schwankende Stromerzeugung: insbesondere wärmegeführte WKK-Anlagen (bspw. Kehrlichtverbrennungsanlagen, Biogasanlagen und Abwasserreinigungsanlagen)
- Kurzfristig regelbare Stromerzeugung: insbesondere in Gaskraftwerken
- Langfristig regelbare Stromerzeugung: insbesondere in Kern- und Kohlekraftwerken; kurzfristige Regelbarkeit ist hier aus technischer oder wirtschaftlicher Sicht nicht möglich, respektive nicht sinnvoll

Sowohl Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke sind im Betrieb flexibel, ihre Stromerzeugung ist kurzfristig regelbar. Insbesondere Speicherkraftwerke weisen aber zudem langfristige Schwankungen auf, welche sich aus der Saisonalität der natürlichen Zuflüsse ergeben. Laufwasserkraftwerke sind im Gegensatz zu Speicherkraftwerken nicht kurzfristig regelbar, sie erzeugen kontinuierlich Strom. Diese Stromerzeugung ist abhängig von Wasserführung und Fliessgeschwindigkeit des genutzten Gewässers. Viele Standorte weisen eine ausgeprägte Saisonalität und damit langfristige Schwankungen der Stromerzeugung auf.

Kategorisierung der  
Wasserkraftwerke

Neben Stromerzeugungstechnologien können auch Speichertechnologien und Technologien zur Nachfrageflexibilisierung weitere wichtige Konkurrenzangebote bereitstellen. Zentraler Bestimmungsfaktor der Speichertechnologien ist ihre zeitliche Speicherfähigkeit (Stunden, Tage oder sogar saisonale Speicherung).

Technologien zur  
Energiespeiche-  
rung und zur Nach-  
frageflexibilisierung

## Heutige und künftige Situation

### *Heutige Situation*

Die heutige Situation konzentriert sich auf den Wettbewerb der Wasserkraft mit anderen Technologien im Energy-Only-Markt (im Markt «Energie» nach den obigen Begriffen). Die Wasserkraft wird dabei einerseits konkurrenziert von nicht-regelbarer, erneuerbarer Stromerzeugung mit Grenzkosten von null (PV und Wind) und andererseits durch kurz- und langfristig regelbare Stromerzeugung, deren Grenzkosten stark abhängig sind von den

internationalen Preisen für fossile Energie und CO<sub>2</sub>-Emissionen (Kohle- und Gaskraftwerke).

### *Zukünftige Situation*

Die zukünftige Situation wird hauptsächlich bestimmt durch technologische Entwicklungen, die Relevanz der Stromdienstleistungen «Kapazität» und «Flexibilität» sowie Zu- und Rückbau von Konkurrenztechnologien. Mittelfristig (bis 2035) sind technologische Entwicklungen vorwiegend als Verbesserungen bestehender Stromerzeugungstechnologien zu erwarten. Langfristig (nach 2035) ist auch der Eintritt und die breitere Marktdurchdringung neuer Technologien denkbar (bspw. geothermische Stromerzeugung, Kernfusion). Diese Entwicklung ist mit sehr grosser Unsicherheit behaftet. Die Relevanz der Stromdienstleistungen «Kapazität» und «Flexibilität» und das Ausmass von Zu- und Rückbau von Konkurrenzangeboten hängen stark von politischen Entscheidungen, insbesondere in den europäischen Nachbarländern, ab.

Einflussfaktoren und zeitliche Entwicklung

Die Rolle der Stromdienstleistungen «Kapazität» und «Flexibilität» würde insbesondere durch Anpassungen im Marktdesign gestärkt (siehe Kapitel 3.4). Der heutige Energy-Only-Markt fokussiert überwiegend auf die Dienstleistung «Energie». Das Umfeld für die Wasserkraft in den oben eingeführten drei Kategorien «Energie», «Kapazität» und «Flexibilität» wird im Abschnitt «Wirkung auf die Wasserkraft» unten beschrieben.

Stromdienstleistungen Kapazität und Flexibilität

Die technologische Entwicklung führt zu Verbesserungen sowohl der Wasserkraft als auch ihrer Konkurrenztechnologien. Zentrales Bestimmungsmerkmal ist die technologische Reife. Beispielsweise sind bei der Photovoltaik, der Batteriespeicherung oder bei Power-to-Gas generell ausgeprägtere Verbesserungen in Effizienz und Kosten zu erwarten als bei sehr reifen Technologien wie der Wasserkraft. Zudem kann die technologische Entwicklung auch zum Eintritt neuer Technologien führen, die heute noch erforscht werden (bspw. Geothermie, CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung, Kernfusion).

Technologische Entwicklung

Das Umfeld für die Wasserkraft wird auch deutlich bestimmt durch die Entwicklung des Zu- oder Rückbaus bei den Konkurrenztechnologien. Der mögliche Zubau wird durch die vorhandenen Potenziale bestimmt. Zu- und Rückbauentscheidungen können einerseits marktgetrieben sein, bestimmt durch die wirtschaftliche Attraktivität der Konkurrenztechnologien. Andererseits kann ein Zu- oder Rückbau ausgesuchter Konkurrenztechnologien zur Erreichung energie- und klimapolitischer Ziele ausgelöst werden, bspw. durch weitere Förderung erneuerbarer Energien oder Entscheide zur Stilllegung von Kern- und Kohlekraftwerken. Beispielsweise soll nach geltendem Recht der Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland Ende 2022 abgeschlossen sein (Atomgesetz, § 7 Genehmigung von Anlagen).

Zu- und Rückbau von Konkurrenztechnologien

Die am Markt zum Einsatz kommenden Technologien prägen die Struktur des Stromsystems. Ein Merkmal von neuen Konkurrenztechnologien ist ihre dezentrale Struktur. Beispielsweise die lokale Erzeugung von Strom mit Photovoltaikanlagen auf Gebäuden, Speicherung durch Batterien als Heimspeicher und Nachfrageflexibilisierung. Die erwähnten Technologien stehen in

Einfluss der Technologie auf die Struktur des Stromsystems

Konkurrenz zu Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken als deutlich zentrale Infrastrukturen. Wie das Zusammenspiel zwischen diesen dezentralen und zentralen Angeboten zukünftig stattfindet, wird einerseits durch die Kapazität und Ausbau der lokalen Verteilnetze und andererseits die Kapazität (Transport und Transformation auf niedrigere Netzebenen) und den Ausbau von Übertragungsnetzen beeinflusst. Ebenfalls entscheidend ist, ob für die dezentralen und zentralen Technologien die gleichen regulatorischen Bedingungen gelten.

### Wirkung auf Wasserkraft

Im Folgenden wird das Umfeld für die Wasserkraft in den drei Kategorien von Stromdienstleistungen «Energie», «Kapazität» und «Flexibilität» beschrieben:

Konkurrenzangebote	Wirkung auf die Wasserkraft
Nicht regelbare, kurzfristig fluktuierende Stromerzeugung: insbesondere Photovoltaik- und Windkraftanlagen	<p>Nicht regelbare, kurzfristig fluktuierende Stromerzeugung weist Grenzkosten von annähernd null auf. Eine Ausweitung dieses Konkurrenzangebots führt im «Energie»-Markt (Energy-as-produced) aufgrund des Merit-Order-Effekts zu einer Senkung des mittleren jährlichen Strompreises und, im Zusammenspiel mit kurzfristig regelbarer Stromerzeugung mit hohen Grenzkosten, zu einer Veränderung des Preisgefüges, in dem kurzfristige Preissprünge auftreten. Gleichzeitig führt eine Ausweitung dieses Konkurrenzangebots zu einem erhöhten Flexibilitätsbedarf. Zwar benötigt ein System mit mehr nicht regelbarer, kurzfristig fluktuierender Erzeugung mehr Kapazität als ein System ohne diese. Gegenüber heute führt eine Ausweitung von nicht regelbarer, kurzfristig fluktuierender Erzeugung aber nicht automatisch zu einem Bedarf nach Zubau von gesicherter Kapazität. Der bestehende Kraftwerkpark kann genügend gesicherte Kapazitäten (aus heutiger Sicht Überkapazitäten) vorweisen. Aufgrund der Senkung des mittleren jährlichen Strompreises ist jedoch denkbar, dass gesicherte Kapazitäten aus ökonomischen Gründen aufgrund des Zubaus nicht regelbarer, kurzfristig fluktuierender Stromerzeugung wegfallen. Gesicherte Kapazitäten können zudem aufgrund politischer Entscheidungen wegfallen (Ausstieg Kern- und Kohlekraft). Aufgrund dieser Entwicklungen kann besteht voraussichtlich mittel- und langfristig eine zusätzliche Nachfrage nach gesicherter Kapazität.</p> <p>Die Senkung des mittleren jährlichen Strompreises führt zu einem schwierigeren Umfeld für die Laufwasserkraft. Die vermehrt kurzfristigen Preissprünge und die steigende Nachfrage nach «Flexibilität» bedeuten grundsätzlich Chancen für Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke. Der Wegfall (politisch und ökonomisch) gesicherter Kapazitäten stellt eine Chance für die Speicherkraftwerke dar.</p>
Nicht regelbare, langfristig schwankende Stromerzeugung: insb. wärmegeführte WKK-Anlagen (bspw. Kehrlichtverbrennungsanlagen, Biogasanlagen und Abwasserreinigungsanlagen)	<p>Das Konkurrenzangebot der nicht regelbaren, langfristig schwankenden Stromerzeugung kann auf Impulse des Strommarkts nur bedingt reagieren. Ihre Stromproduktion hängt vielmehr von anderen Einflussfaktoren wie Wärmebedarf, Abfallaufkommen oder Abfluss ab (daher nicht regelbar). Da sich diese Faktoren eher über Zeiträume von Tagen, Wochen und Monaten ändern, unterscheiden sie sich von der kurzfristig fluktuierenden Stromerzeugung.</p> <p>Sind die Grenzkosten der Stromproduktion dieser Konkurrenztechnologien tief (bspw. bei Kehrlichtverbrennungsanlagen), so führt eine Ausweitung dieses Konkurrenzangebots im «Energie»-Markt aufgrund des Merit-Order-Effekts zu einer Senkung des mittleren jährlichen Strompreises. Die Senkung des mittleren jährlichen Strompreises führt zu einem schwierigeren Umfeld für die Laufwasserkraft. Eine Ausweitung dieses Konkurrenzangebots erhöht den Bedarf nach Flexibilität kaum, senkt aber den Bedarf nach gesicherter Leistung. Während die Pumpspeicher folglich weder positiv noch negativ von dieser Konkurrenztechnologie beeinflusst wird, stellen sie bis zu einem gewissen Grad eine Konkurrenz zu den Speicherkraftwerken dar.</p>
Kurzfristig regelbare Stromerzeugung: insbesondere Gaskraftwerke	<p>Dieses Konkurrenzangebot ist geprägt durch hohe Grenzkosten (Spitzenlastkraftwerke). Eine Ausweitung des Angebots ist nur denkbar, falls andere Kapazitäten rückgebaut werden, oder die Stromnachfrage insgesamt steigt. In dem Fall führt der Einsatz dieses Konkurrenzangebots zu einer Erhöhung des durchschnittlichen Strompreises und einer Veränderung des Preisgefüges (Preissprünge). Dies führt zu einem günstigen Umfeld für die Laufwasserkraft. Eine Ausweitung der kurzfristig regelbaren Stromerzeugung steht jedoch in direkter Konkurrenz mit Speicherkraftwerken (Markt für Kapazität). Die Pumpspeicherkraftwerke können hingegen von den grösseren Preissprüngen profitieren.</p>



Langfristig regelbare Stromerzeugung: insbesondere Kern- und Kohlekraftwerke	Die langfristig regelbare Stromerzeugung weist grundsätzlich tiefe Grenzkosten auf. Allerdings können Veränderungen bei Rohstoff- und CO <sub>2</sub> -Preisen (siehe Kapitel 3.3 Energie- und Klimastrategie) und regulatorische Anpassungen (bspw. Vorgaben für Sicherheit, Entsorgung und Stilllegung bei Kernkraftwerken) diese Grenzkosten erheblich beeinflussen und einen «fuel switch» (z.B. Kohle zu Gas) auslösen. Diese Konkurrenztechnologie ist nur langfristig regelbar, weil aus wirtschaftlicher Sicht ein möglichst konstanter Betrieb vorteilhaft ist. Eine Ausweitung dieses Konkurrenzangebots führt tendenziell zu einer Senkung des durchschnittlichen Strompreises. Dies führt zu einem ungünstigen Marktumfeld für die Laufwasserkraft. Ebenfalls konkurrenziert diese Technologie die Speicherkraft, in dem gesicherte Leistung zu tiefen Preisen angeboten werden kann. Je stärker diese Konkurrenztechnologie ausgebaut wird, desto geringer wird der Spitzenlastanteil für die Speicherkraftwerke. Eine starke Ausweitung der langfristig regelbaren Kraftwerke in Kombination mit erneuerbaren Energien kann aber auch zu Preissprüngen, insbesondere zu Phasen mit sehr tiefen oder negativen Preisen führen, wodurch eine Chance für die Pumpspeicherkraftwerke entsteht (Flexibilitätsbedarf).
Speicherangebote im Zeitraum von Stunden, max. Tagen	Speicherangebote wie Batterien mit einem Zeitraum von Stunden oder max. Tagen sind in direkter Konkurrenz mit Pumpspeicherkraftwerken und Angeboten zur Nachfrageflexibilisierung.
Saisonale Speicherangebote	Angebote zur saisonalen Speicherung wie Power-to-Gas können die Dienstleistungen von Speicherkraftwerken in einem gewissen Ausmass konkurrenzieren.
Nachfrageflexibilisierung	Diese Technologien dienen hauptsächlich dazu, die Nachfrage zeitlich mit der Erzeugung in Übereinstimmung zu bringen. Der Haupteffekt dieser Technologien zeigt sich in den Märkten für Kapazität und Flexibilität und führt dazu, dass Marktvolumen und Preise in diesen Märkten sinken. Angebote der Nachfrageflexibilisierung konkurrenzieren die Pumpspeicherkraft direkt, führen aber generell zu einem schwierigen Umfeld für die Wasserkraft.

### Bezug zu anderen Themen

Der breite Einfluss von Konkurrenzangeboten führt dazu, dass sich dieses Thema stark mit anderen überschneidet. Die Energie- und Klimastrategien (3.3) haben einen deutlichen Einfluss auf Zu- und Rückbau ausgesuchter Konkurrenzangebote und im entsprechenden Kapitel sind die Auswirkungen auf die Wasserkraft ausgeführt. Das Marktdesign (3.4) ist entscheidend zur Bestimmung der Märkte für Stromdienstleistungen.

### Beinflussbarkeit

Wichtige Einflussfaktoren wie internationale Energie- und CO<sub>2</sub>-Preise und die technologische Entwicklung sind durch den SWV und deren Mitglieder kaum beeinflussbar.

Viele Faktoren kaum beeinflussbar

Politische Weichenstellungen in der Definition des Marktdesigns und der Ausprägung von Energie- und Klimapolitik sind, auf nationaler Ebene, zum Teil beeinflussbar. Der Gestaltungsspielraum wird jedoch gering sein: Die Wahl des Marktdesigns und weiterer politischer Entscheidungen in der Schweiz dürfte jedoch massgeblich von politischen Entscheidungen der europäischen Nachbarländer abhängen.

Politische Massnahmen auf nationaler Ebene

## 3.3 Energie- und Klimastrategien

Die Inhalte dieses Kapitels basieren auf den Quellen [1], [10], [14] und [16]. Grundannahme: Die Energie- und Klimastrategien werden grundsätzlich in den heute bestehenden Formen verfolgt.

### Systembeschreibung

Sowohl im Inland wie auch im Ausland bestehen Strategien (bspw. die Energiestrategie 2050 in der Schweiz oder das «2030 climate & energy framework» in der EU) und Verträge (bspw. das Übereinkommen von Paris als internationale Vereinbarung zum Klimaschutz), welche die langfristige Wichtigkeit dieser Themen unterstreichen und die von der Politik gewünschten Entwicklungsrichtungen aufzeigen.

Strategien im In- und Ausland

### Heutige und künftige Situation

Die Energie- und Klimastrategie, sowohl in der Schweiz als auch in den Nachbarländern, setzt an einigen zentralen Stellschrauben an:

Stellschrauben der Entwicklung

- Steigerung der Energie- und Stromeffizienz
- Ausbau der erneuerbaren Energien
- Ausstieg aus der Kernkraft
- Bepreisung von CO<sub>2</sub>-Emissionen
- Ausstieg aus der Kohle

Anhand dieser Stellschrauben werden im Folgenden die Situation und Entwicklung beschrieben. Die Energie- und Klimastrategien sehen fortlaufende Anstrengungen in diesen Bereichen vor, die mittel- und langfristig umgesetzt werden. Ein Zielpfad gemäss dem Übereinkommen von Paris bedarf einer weitestgehenden Dekarbonisierung bis 2050.

Aufgrund des übergeordneten Trends zur Elektrifizierung resultiert in vielen Sektoren eine höhere Stromnachfrage. Anstrengungen zur Steigerung der Stromeffizienz können zu einer Reduktion der Stromnachfrage führen (bspw. Ersatz von Elektrowiderstandheizungen). Siehe Kapitel 3.1 für eine ausführlichere Beschreibung der Energienachfrage.

Steigerung der Energieeffizienz

Der Ausbau der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung, mit starker Förderung insbesondere in Deutschland, hat in den letzten Jahren zu einem deutlich veränderten Umfeld im Strommarkt im Allgemeinen und für die Schweizer Wasserkraft im Speziellen geführt. Der zusätzliche Ausbau erneuerbarer Energie fokussiert sich sowohl in Europa als auch in der Schweiz zu einem grossen Teil auf Photovoltaik und Windkraftanlagen, weil für diese Stromproduktionsanlagen die Potenziale für einen Zubau am grössten sind. Dieser Ausbau führt zu einer verstärkten Stromerzeugung, die nicht regelbar ist und kurzfristig fluktuiert. Dadurch steigt die Zahl der Stunden im Jahr mit sehr niedrigem Strompreis (oder sogar negativen Preisen) unter dem heutigen Marktdesign stetig an. Dagegen steigt in den verbleibenden Stunden der Grosshandelspreis nur langsam an und es stellt sich die Frage, ob diese Stunden genügend hohe Deckungsbeiträge für andere Kraftwerkanlagen liefern.

Ausbau der erneuerbaren Energien

Durch den Ausstieg aus der Kernkraft in der Schweiz und in Deutschland fallen Bandlastkapazitäten mit tiefen Grenzkosten im europäischen Stromsystem weg. Der vollständige Kernkraftausstieg ist in Deutschland auf Ende 2022 vorgesehen. In der Schweiz ist der Ausstieg langfristig vorgesehen: bestehende Kernkraftwerke haben eine unbefristete Betriebsbewilligung und dürfen so lange betrieben werden, wie sie sicher sind. Bei einer

Ausstieg aus der Kernkraft

Betriebsdauer von 50 Jahren würde Leibstadt als jüngstes Kernkraftwerk im Jahr 2034 stillgelegt. Die durchschnittlichen Grosshandelsstrompreise dürften als Folge des Kernkraftausstiegs steigen. Die Preisdifferenzen am Energy-Only-Markt dürften sich erhöhen, da häufiger Produktionsanlagen mit hohen Grenzkosten preissetzend werden (Gas- und Speicherkraftwerke).

Offen bleibt, welche Kernkraftkapazitäten Frankreich erhalten wird. Eine Reduktion der heutigen Kapazität (63 GW) auf 40 GW ist angekündigt, scheint aber nicht gesichert. Je weniger Kernkraftkapazitäten in Frankreich verbleiben, desto höher wird der durchschnittliche Grosshandelspreis sein und desto stärker werden Preissprünge ausfallen zwischen erneuerbaren Produktionsanlagen mit Grenzkosten null und preissetzenden Produktionsanlagen (Gas- und Speicherkraftwerke).

Der Preis für CO<sub>2</sub>-Emissionen beeinflusst das Umfeld für die Wasserkraft massgeblich. Viele der preissetzenden Produktionsanlagen, welche die erneuerbaren Produktionsanlagen mit Grenzkosten null ergänzen, setzen fossile Energieträger ein. Die Grenzkosten dieser Kraftwerke korrelieren entsprechend direkt mit den CO<sub>2</sub>-Preisen. Die EU diskutiert über die Einführung eines CO<sub>2</sub>-Mindestpreises im europäischen Emissionshandelssystem (ETS). Falls die EU das ETS als Hauptinstrument zur Dekarbonisierung der Stromwirtschaft einsetzt, ist von einem langfristig steigenden CO<sub>2</sub>-Preis auszugehen. Ein Mindestpreis würde zudem kurz- und mittelfristig Wirkung entfalten. Die durchschnittlichen Grosshandelspreise würden steigen.

Bepreisung von CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die Preisentwicklung fossiler Energieträger wie Erdgas, Kohle und Erdöl hat grundsätzlich die gleichen Auswirkungen wie die Preise für CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Grenzkosten fossiler Kraftwerke hängen primär vom Preis des Energieträgers und dem CO<sub>2</sub>-Preis ab. Damit sind Preisentwicklungen insbesondere an globalen Märkten (Gas und Erdöl) entscheidend für die zukünftige Preisgestaltung und die Entwicklung des Grosshandelspreises.

Preisentwicklung fossiler Energieträger

Deutschland plant den Ausstieg aus der Kohle. Ein genauer Fahrplan dafür ist jedoch nicht bekannt. In Deutschland werden Braun- und Steinkohlekraftwerke eingesetzt. Braunkohlekraftwerke haben unter den heutigen Rahmenbedingungen geringere Grenzkosten als Steinkohlekraftwerke. Kohlekraftwerke sind allgemein deutlich flexibler steuerbar im Vergleich zur Kernkraft. Vor allem die Steinkohle produziert in Deutschland «bedarfsgerecht». Auch moderne Braunkohlekraftwerke sind steuerbar, allerdings produzieren sie aufgrund der tiefen Grenzkosten vornehmlich Bandlast. Der Ausstieg aus der Kohle würden den durchschnittlichen Grosshandelspreis ansteigen lassen und Preissprünge vergrössern (siehe Kernkraftausstieg). Die Nachfrage nach Kapazität und auch Flexibilität steigt an.

Ausstieg aus der Kohle

### **Wirkung auf Wasserkraft**

Die Auswirkung auf die Wasserkraft wird hier getrennt für Laufwasser- und Speicherkraftwerke und vor dem Hintergrund der oben ausgeführten Stichschrauben diskutiert.

Laufwasserkraftwerke werden am stärksten vom Zubau fluktuierender erneuerbarer Produktionsanlagen konkurrenziert. Dieser Zubau führt zu einer steigenden Anzahl Stunden mit sehr niedrigem Strompreis und einem

Laufwasserkraftwerke

generell tieferen Grosshandelspreis. Dieser ist eine grosse Herausforderung für den wirtschaftlichen Betrieb der Laufwasserkraftwerke. Zudem sind die Potenziale für den weiteren Ausbau der Laufwasserkraft gering. Die Laufwasserkraft könnte andererseits von Massnahmen der Energie- und Klimapolitik profitieren, welche zu einem Anstieg des Grosshandelspreises führen. Diese Massnahmen sind insbesondere die Bepreisung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Ausstieg aus Kern- und Kohlekraftwerken. Diese Massnahmen führen jedoch insbesondere auch zu einem Anstieg der Nachfrage nach Kapazität und Flexibilität. An diesen Märkten kann die Laufwasserkraft jedoch nur bedingt partizipieren.

Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke sind grundsätzlich eine gute Ergänzung zu erneuerbaren, fluktuierenden Produktionsanlagen. Langfristig werden diese zu immer mehr Stunden mit niedrigen Strompreisen führen. In einer begrenzten Anzahl Stunden mit höheren Preisen würde der Einsatz von regelbaren Produktionsanlagen erfolgen. Um diese Stunden möglichst gut auszunutzen ist das Verhältnis von Speichergrösse zu Turbinenleistung entscheidend. Die Turbinenleistung könnte mit Blick auf die Schweizer Kraftwerke für einen optimierten Betrieb ausgebaut werden. Ein Potenzial für einen Ausbau der Speichergrösse und Leistung der Speicherwasserkraft ist vorhanden, jedoch vornehmlich als Erweiterung bestehender Anlagen.

Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke

Die Hauptkonkurrenz für die Speicherkraftwerke erfolgt durch andere Produktionsanlagen, welche die fluktuierenden Erneuerbaren flexibel ergänzen können. Dabei handelt es sich aus heutiger Sicht insbesondere um Gaskraftwerke (und in geringerem Ausmass auch um Kohlekraftwerke). Speicherkraftwerke würden deshalb stark von einem Ausstieg aus der Kohlekraft und von einer Bepreisung von CO<sub>2</sub>-Emissionen profitieren. Entscheidend für den Einsatz der Pumpspeicherkraftwerke sind die Preissprünge zwischen erneuerbaren Produktionsanlagen mit Grenzkosten null und preissetzenden Kraftwerken (Gas-, Kohle-, und Speicherkraftwerke). Würden Gas- und Kohlekraftwerke verteuert bzw. stillgelegt, würde das Marktvolumen für die Wasserkraft am Energy-Only-Markt grösser und insbesondere müsste die wegfallende Kapazität anderweitig gedeckt werden. Der Markt für Kapazitäten als wachsender Markt mit steigenden Preisen kann attraktiv für die Speicherwasserkraft sein. Generell verbessern höhere CO<sub>2</sub>-Preise und Preise für Gas, Öl und Kohle die Wettbewerbsfähigkeit von Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken.

Konkurrenz für Speicherkraftwerke durch Erneuerbare

Langfristig könnte der hier beschriebene Einsatz von Speicherkraftwerken als Ergänzung zu fluktuierenden Erneuerbaren konkurrenziert werden durch Geothermiekraftwerke oder durch Kraftwerke, welche Biomasse oder erneuerbares Gas nutzen. Die Wettbewerbsfähigkeit dieser Produktionsanlagen hängt jedoch sehr stark ab von einer unsicheren technologischen Entwicklung. Langfristig könnten auch Technologien zum Einsatz kommen, die heute noch Gegenstand der Grundlagenforschung sind, bspw. eine gross-technische Nutzung der Kernfusion. Der vermehrte Einsatz von Wärmepumpen und der Elektromobilität bietet einerseits durch eine höhere Stromnachfrage eine generelle Chance für den Absatz von Stromdienstleistungen der Wasserkraft. Andererseits können diese Technologien zur Flexibilisierung

Konkurrenz durch weitere Technologien

der Nachfrage eingesetzt werden. Sie stehen damit in Konkurrenz zu Pumpspeicherkraftwerken.

### **Bezug zu anderen Themen**

Eine grosse Überschneidung besteht zum Thema Einfluss von Konkurrenztechnologien (3.2), da der Zu- und Rückbau jeweils ausgesuchter Konkurrenztechnologien energie- und klimapolitisch angestrebt wird. Eine direkte Verbindung besteht ebenfalls zum Thema Marktdesign (3.4), da die umgesetzten Massnahmen der Energie- und Klimapolitik langfristig eine Anpassung des Marktdesigns bedingen.

### **Beinflussbarkeit**

Die Energie- und Klimastrategie ist durch politische Einflussnahme grundsätzlich beeinflussbar. Wichtige Entscheide und Weichenstellungen finden jedoch teilweise international statt und sind durch Entscheide im politischen System der Schweiz nicht beeinflussbar.

Politische Massnahmen auf nationaler Ebene

## 3.4 Marktdesign

Die Inhalte dieses Kapitels basieren auf den Quellen [4], [10], [14], [16] und [26].

### **Systembeschreibung**

Der Begriff Marktdesign bezeichnet die generelle Struktur des Marktes, die bestimmt, welche Stromdienstleistungen wie in Wert gesetzt werden können. Diese Struktur des Marktes wird zweiteilig betrachtet. Einerseits das Spannungsfeld zwischen Liberalisierung und Lenkung und andererseits das klassische Verständnis des Marktdesigns zum Vergütungssystem, d.h. welche Dienstleistungen werden im Markt vergütet.

Zweiteilige Betrachtung

Ein Fokus auf Liberalisierung erscheint zwingend, wenn eine starke Integration in den EU-Strommarkt angestrebt wird. Bei einer stärkeren Lenkung in Richtung stärkerem Schutz nationaler Produktionsanlagen ergibt sich ein Fokus auf die Schweiz mit Nachteilen im Zugriff auf den europäischen Strommarkt. Ein liberaler Strommarkt in Europa würde deutlich weniger Kapazitäten finanzieren als staatliche Verordnung (Stromwelt vor der Liberalisierung), aber mit zunehmendem Anteil erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung werden deutlich mehr Kapazitäten benötigt als früher.

Liberalisierung vs. Lenkung

Das Strommarktdesign definiert, welche Stromdienstleistungen auf welchen Märkten in welchem geografischen Raum und zu welchen Fristen gehandelt werden. Das Marktdesign orientiert sich am energiewirtschaftlichen Zieldreieck und adressiert die drei Dimensionen Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit und Umweltverträglichkeit. Das Marktdesign hat erheblichen Einfluss auf die Konkurrenzfähigkeit der verschiedenen Kraftwerkstechnologien. Zu unterscheiden sind dabei die Auswirkungen auf die Rentabilität bestehender Anlagen und Anreize für Investitionen in Neubauten oder substanzielle Erweiterungen.

Marktdesign

## Heutige und künftige Situation

Im nur teilliberalisierten Schweizer Strommarkt bedient ein Teil des Schweizer Kraftwerkparks gebundene Endkunden ausserhalb des Marktes. Die vollständige Liberalisierung ist geplant, so dass künftig der gesamte Kraftwerkpark seine Stromdienstleistungen über den freien Markt absetzen muss. Die Bedeutung des Strommarktdesigns steigt daher künftig an. Diese höhere Relevanz des Marktdesigns für die künftige Entwicklung gilt bereits kurz- und mittelfristig. Die in den folgenden Abschnitten ausgeführten Zusammenhänge gelten jedoch auch langfristig.

Bedeutung von Strommarktdesign steigt mit Liberalisierung

Im Hinblick auf die Optimierung des Gesamtsystems wäre ein europaweites Strommarktdesign mit gemeinsamer Definition von Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit und Umweltverträglichkeit optimal. In der Realität gestalten aber fast alle Länder ihren Strommarkt getrieben durch Eigeninteressen. Von einer europäischen Harmonisierung ist auch in Zukunft nicht zwingend auszugehen.

Europäische Harmonisierung nicht zwingend

Die Transformation des Stromversorgungssystems im Zuge der Energiewende, in dem die erneuerbaren Energien zur tragenden Säule werden, wird die Anforderungen an alle Akteure verändern. Zentral für das Gelingen der Energiewende ist eine zunehmende Flexibilisierung von Erzeugung und Verbrauch. Dies ermöglicht eine kostengünstige Integration der fluktuierenden Einspeisung der erneuerbaren Energien. Zudem braucht es gesicherte Kapazitäten in Perioden mit geringer Einspeisung fluktuierender erneuerbarer Energien. Das heutige Marktdesign als Energie-Only-Markt (EOM) vergütet hauptsächlich die Stromdienstleistung «Energie» (Energy-as-produced). Kapazität (Energy-as-demanded) und vor allem Flexibilität werden im heutigen Marktdesign kaum vergütet.

Gegenwärtiges Marktdesign ist für Transformation der Stromversorgung beschränkt geeignet

Im heutigen System wird Flexibilität hauptsächlich über Systemdienstleistungen abgegolten, nicht über den Strommarkt. Systemdienstleistungen sind aber aufgrund ihres Volumens für die Wirtschaftlichkeit der Wasserkraft insgesamt wenig relevant. Sie waren ursprünglich für kurzfristige Ausfälle grosser Kraftwerke gedacht, nicht für die Integration fluktuierender erneuerbarer Energien.

Systemdienstleistungen

In den letzten Jahren sind Zweifel aufgekommen, ob der EOM auch in einem transformierten Stromsystem das energiepolitische Zieldreieck erfüllt – vor allem im Hinblick auf die Versorgungssicherheit. Das Strommarktdesign wird folglich aktuell in Europa und in der Schweiz überarbeitet.

Strommarktdesign gegenwärtig in Überarbeitung

Die Schweiz, Österreich und Deutschland setzen auf die Weiterentwicklung des EOM (EOM 2.0). Die Herausforderung dabei ist, genügend Anreize zum Erhalt und Ausbau gesicherter Kapazitäten und der Bereitstellung von Flexibilität zu schaffen. So sollen kurzzeitig sehr hohe Strommarktpreise während Phasen mit geringer fluktuierender erneuerbarer Stromproduktion genügend Anreize schaffen, um regelbare Kraftwerkskapazitäten zu finanzieren. Flankierende Massnahmen wie die strategische Reserve in der Schweiz sollen den EOM 2.0 ergänzen und Versorgungssicherheit garantieren. Über kürzere Clearingintervalle und eine Stärkung der Intradaymärkte wird zudem die Flexibilisierung des Stromangebots adressiert. Kernelement des EOM

CH, AT und DE setzen auf Weiterentwicklung EOM

2.0 ist aber auch die Flexibilisierung der Nachfrageseite, in dem Endverbraucher ihren Stromverbrauch auf die aktuelle Marktsituation anpassen.

Über den EOM 2.0 hinaus sind zusätzliche Märkte für Kapazität und Flexibilität denkbar. Länder wie Frankreich setzen auf Kapazitätsmärkte. Die notwendige Kapazität wird dabei festgesetzt und von allen Stromverbrauchern bezahlt. Denkbar sind zukünftig auch «liberale Kapazitätsmärkte», wobei Endkunden sich individuell für eine Versorgungsqualität entscheiden können und entsprechend (Energy-as-demanded) zusätzlich zu (Energy-as-produced) bezahlen. Ein solches Marktdesign ist auch in einer nationalen Ausprägung denkbar.

Kapazitätsmarkt als Alternative

### **Wirkung auf Wasserkraft**

Die vollständige Liberalisierung des Strommarktes in der Schweiz erhöht den Konkurrenzdruck auf die Schweizer Wasserkraft, eröffnet aber auch Chancen auf dem europäischen Strommarkt. Ein liberalisierter Markt weist jedoch auch eine höhere Dynamik und grössere Unsicherheiten hinsichtlich der künftigen Entwicklung auf. Für Wasserkraftwerke mit hohem Investitionsbedarf und langen Zeiträumen für die Abschreibung dieser Investitionen bedeutet dies eine grosse Herausforderung. In einem stärker geregelten Markt können die Rendite-Aussichten bei langfristigen Investitionen verbessert und damit die Anreize für Investitionen erhöht werden. Dies resultiert jedoch in höheren Preisen für Endkunden.

Chancen und Herausforderungen

Im Strommarktdesign EOM 2.0 sind sinkende durchschnittliche Grosshandelspreise und kurzzeitig hohe Preisspitzen zu erwarten. Ein gegenläufiger Effekt und steigende durchschnittliche Preise könnten entstehen, wenn mittelfristig wegfallende Kapazitäten von Grosskraftwerken (Kohle- und Kernkraftwerke) nicht genügend ersetzt würden. Sinkende durchschnittliche Grosshandelspreise sind für die Laufwasserkraft tendenziell schwierige Marktbedingungen (je nachdem, wo sich der durchschnittliche Strompreis einpendelt). Für die Speicherwasserkraft stellt sich die Frage, wie häufig die hohen Preisspitzen auftreten und ob diese ausreichen, um genügend Deckungsbeiträge zu erwirtschaften. Der zunehmende Flexibilisierungsbedarf ist für Pumpspeicher interessant.

Auswirkungen von EOM 2.0

Kapazitätsmärkte (zentrale oder liberale) als Ergänzung zum EOM eröffnen neue Vergütungsmöglichkeiten für die Wasserkraft (vor allem Speicher und Pumpspeicher) und bieten Planungssicherheit. Die Ergänzung durch Kapazitätsmärkte kann einen preisdämpfenden Einfluss auf den EOM haben.

Kapazitätsmärkte: Chancen für Speicher und Pumpspeicher

Ein Marktdesign, welches flexible Kraftwerke begünstigt (kürzere Clearingintervalle, Stärkung Intradaymärkte, striktes Bilanzkreismanagement) wären eine grosse Chance für Pumpspeicherkraftwerke. Die Wasserkraft würde von einem europaweit harmonisierten Marktdesign, welches Kapazitäten und Flexibilität vergütet profitieren. Nationale Kapazitätsmärkte wie in Frankreich sind für die Schweizer Wasserkraft eine Gefahr (vor allem im Zusammenhang mit einem EOM-fokussierten Marktdesign in der Schweiz).

Vergütungsmodelle für Flexibilität

Die im StromVG angedachte strategische Reserve (Speicherreserve) ist in ihrer Ausgestaltung und Grössenordnung in ihrer Wirkung auf die Wasserkraft irrelevant und hilft den Wasserkraftbetreibern nicht, ihre Kraftwerke und

Strategische Reserve

Talsperren über lange Zeiten aufrechtzuerhalten. Sie bietet keine genügende langfristige Sicherheit, um Investitionen am Markt auszulösen. Dafür müsste sie grösser und als Mehrjahresprodukt ausgeschrieben werden.

### **Bezug zu anderen Themen**

Ein sehr starker Bezug besteht zur Integration in den europäischen Strommarkt (3.5): soll eine Integration in den europäischen Markt verbreitet stattfinden, bedeutet dies eine starke Tendenz zur Liberalisierung des Marktes und Entscheide zum Strommarktdesign im europäischen Ausland beeinflussen die Marktdynamik in der Schweiz massiv.

### **Beinflussbarkeit**

Das Marktdesign in der Schweiz lässt sich grundsätzlich durch politische Einflussnahme mitbestimmen. In einer Welt, die sich stark an den europäischen Markt anlehnt, ist jedoch der Handlungsspielraum für einen eigenen Schweizer Weg deutlich begrenzt. Wird jedoch weniger stark auf eine Integration in den europäischen Markt gesetzt (mit mehr Lenkung im Schweizer Markt), so wird auch der Handlungsspielraum für Einflussnahme vergrössert.

Politische Massnahmen auf nationaler Ebene

## 3.5 Integration in den Europäischen Strommarkt

Die Inhalte dieses Kapitels basieren auf den Quellen [10], [14] und [16].

### **Systembeschreibung**

Die Schweiz gilt als Stromdrehscheibe Europas. Das Stromnetz ist sehr stark mit den Nachbarländern verbunden, entsprechend beeinflussen sich die Stromsysteme gegenseitig. Während die physikalische Anbindung über das Netz Tatsache ist und bleibt, stellt sich die Frage, wie stark die Strommärkte europäisch integriert, respektive auch technisch gekoppelt werden. Dabei geht es grundsätzlich um den gegenseitigen Marktzugang und die Bewirtschaftung der Grenzkuppelstellen und den miteinhergehenden Chancen und Risiken für die Wasserkraft. Als Nicht-EU-Mitglied wird der Marktzugang über Abkommen (aktuell Stromabkommen) mit der EU geregelt. Die Wirkungsketten und Einflussfaktoren des Marktdesigns wurden im Kapitel 3.4 behandelt.

Physikalische Anbindung, Marktzugang und Bewirtschaftung der Grenzkuppelstellen

### **Heutige und künftige Situation**

Mit der Schaffung eines europäischen Strombinnenmarktes verfolgt die EU seit den 1990er-Jahren das Ziel, in Europa einen wettbewerbsfähigen, offenen und grenzüberschreitenden Strommarkt zu schaffen. Dieser Vision ist die EU im Jahr 2016 schon sehr nahegekommen. So sind in Europa 26 Länder, von Spanien bis Finnland und Italien bis England, über das sogenannte Market Coupling miteinander verbunden.

Europäischer Strommarkt

Vor allem aufgrund der unvollständigen Strommarktliberalisierung hierzu-lande ist die Schweiz nicht offiziell mit den anderen europäischen Ländern gekoppelt. Trotzdem ist das gegenseitige Interesse des grenzüberschreitenden Stromhandels gross, so dass die Schweizer Kraftwerke über explizite Auktionen ebenfalls am europäischen Strommarkt teilnehmen können.

Schweizer Teilnahme



Durch die enge netztechnische Anbindung der Schweiz an Europa muss die Bewirtschaftung der Grenzkuppelstellung und der gegenseitige Marktzugang langfristig mit den Nachbarländern oder der EU geregelt werden. Aus Perspektive des Gesamtsystems sollten Markt und Netz länderübergreifend gekoppelt betrachtet werden. Sprich: der Markt sollte optimalerweise die physikalischen Stromflüsse möglichst genau abbilden, um Transparenz und Vergütungsmöglichkeiten zu schaffen. Dieses Ziel verfolgt die lastflussbasierte Marktkopplung (flow-based Market Coupling). Dabei werden Übertragungskapazitäten praktisch zeitgleich mit dem Market Clearing an den Strommärkten zugeteilt und nicht wie ursprünglich mit einer separaten Kapazitätszuteilung vor dem Market Clearing. Dadurch können insbesondere grössere grenzüberschreitende Transportkapazitäten bereitgestellt werden (stärkere europäische Integration). Die lastflussbasierte Marktkopplung wird aktuell zwischen Deutschland, Holland, Frankreich und Belgien angewandt. Die Schweiz kann dieses System ohne Stromabkommen mit der EU nicht übernehmen.

Marktkopplung

Neben der vollständigen europäischen Integration des Schweizer Strommarktes und der vollständigen Entkopplung des Schweizer Marktes (nicht aber des physikalischen Netzes) gibt es (wie auch die aktuelle Situation zeigt) viele Zukunftswelten zwischen diesen beiden Extremsituationen.

Verschiedene Optionen für die Zukunft

#### **Wirkung auf Wasserkraft:**

Die vollständige europäische Integration des Schweizer Strommarktes inkl. lastflussbasierter Marktkopplung verbessert den europäischen Marktzugang für die Schweizer Wasserkraft. Insbesondere im kurzfristigen Handel (Intraday und Day-ahead) würden dann gleich lange Spiesse für alle gelten. Gleichzeitig steigt der Konkurrenzdruck auf dem inländischen Markt.

Vollständige Integration in europäischen Strommarkt

Eine vollständige, marktseitige Entkopplung des Schweizer Strommarktes würde das Marktvolumen der Schweizer Wasserkraft deutlich reduzieren. Die Grosshandelspreise hingegen würden auf dem Schweizer Handelsplatz steigen.

Vollständige, marktseitige Entkopplung

Eine teilweise Integration (wie heute) geht mit einem schlechteren Zugang zu den europäischen Märkten einher. Schweizer Anbieter sind gegenüber den europäischen benachteiligt (Fristen, Kapazitätszuteilung). Da keine vollständige Marktkopplung vorliegt, kommt es zu häufigeren Redispatchmassnahmen in der Schweiz, wodurch die Wasserkraft in geringer Weise davon profitiert.

Teilweise Integration in europäischen Strommarkt

#### **Bezug zu anderen Themen**

Die Energie- und Klimapolitik (3.3) gibt die Marschrichtung bei der europäischen Integration des Schweizer Strommarktes vor. Zudem hängen Marktdesign (3.4) und europäische Integration voneinander ab. Bei einer vollständigen Integration des Schweizer Strommarktes wird der Druck zur Übernahme europäischer Vorgaben beim Marktdesign steigen. Zudem muss je nach Grad der europäischen Integration das inländische Strommarktdesign anders ausgestaltet werden.

**Beinflussbarkeit**

Die europäische Integration des Schweizer Strommarktes lässt sich grundsätzlich durch politisch Einflussmassnahme mitbestimmen. Ist aber (z.B. im aktuellen Fall «Stromabkommen») auch zu einem grossen Teil durch die EU «fremdbestimmt», respektive an Voraussetzung wie die vollständige Strommarktliberalisierung geknüpft.

Politische Massnahmen auf nationaler Ebene

### 3.6 Naturbedingte Einflüsse auf fassbare Wassermengen

Die Inhalte dieses Kapitels basieren auf den Quellen [18], [22], [27] und [28].

**Systembeschreibung**

Die für die Wasserkraft fassbaren Wassermengen werden von naturbedingter Seite durch die Abflussmengen im Jahresverlauf sowie Schliessen der Fassungen<sup>1</sup> infolge Geschiebetrieb<sup>2</sup> beeinflusst.

Fassbare Wassermengen

Niederschlag im Jahresverlauf, Temperatur (Gletscher-/Schneesmelze) sowie Lage Einzugsgebiet (Anteil Gletscher, Schnee) sind die treibenden Faktoren für die Abflussmenge.

Abflussmengen

Neben Hochwasser und Murgängen sind insbesondere der Geschiebeeintrag in Gewässer und damit die Geologie des Einzugsgebietes verantwortlich für das Schliessen der Fassungen.

Schliessen der Fassungen

**Heutige und zukünftige Situation**

Für die naturbedingten Einflüsse auf die fassbare Wassermenge ist die Differenzierung nach Saisonalität sowie Kraftwerkstyp wichtig. Laufkraftwerke sind heute auf die hohen Abflüsse im Sommer dimensioniert (höher als Abflüsse im Winter). Ebenso sind die Speicher im alpinen Regime auf die Sommerabflüsse ausgelegt zur saisonalen Verlagerung. Durch die Gletschersmelze ist die Wasserkraft aktuell generell in einer Gunstlage.

Gunstlage durch Gletschersmelze

Sowohl bis 2035 als auch bis 2050 ist durch den Klimawandel mit erhöhten Temperaturen, Rückgang der Gletscher, Reduktion Permafrost, weniger Niederschlag im Sommer, mehr Niederschlag im Winter sowie einer generellen Erhöhung der Schneefallgrenze zu rechnen. Durch die Permafrost-Reduktion und den Rückgang der Gletscher wird in naher Zukunft der Geschiebetrieb zunehmen. Nach 2050 ist durch den fortschreitenden Gletscherschwund mit einer Abflussabnahme zu rechnen.

Langfristige Veränderungen durch Klimawandel

**Wirkung der Entwicklungen auf die Wasserkraft**

Für die oben genannten Treiber ist die Wirkung auf die Wasserkraft differenziert nach Typen zu betrachten.

Für Speicherkraftwerke nimmt die fassbare Wassermenge im Winter durch die Zunahme der Abflüsse (mehr Niederschlag, höhere Schneefallgrenze) generell zu. Im Sommer nehmen die fassbaren Wassermengen durch die

Speicherkraftwerke

1 Technisches Bauwerk im Fliessgewässer zur Fassung des Abflusses und Zuleitung zum Kraftwerk.

2 Von einem Fliessgewässer durch die Strömung entlang der Sohle transportierte Feststoffe (Gesteinsmaterial).

Abnahme der Zuflüsse (weniger Niederschlag) tendenziell ab. Solange jedoch die Zuflüsse höher als die Ausbauwassermengen (inkl. Dotierwassermengen) sind, bleibt die fassbare Wassermenge gleich. Ebenso sind bei Einzugsgebieten mit hoher Vergletscherung (>15%) mit voranschreitender Gletscherschmelze in naher Zukunft im Sommer noch erhöhte fassbare Wassermengen zu erwarten.

Mit Zunahme des Geschiebetriebs besteht die Gefahr, dass Fassungen von Speicherkraftwerken vermehrt geschlossen werden müssen, was die fassbare Wassermenge reduziert. Die Anfälligkeit der Wasserkraft auf diesen Trend ist abhängig vom geologischen Untergrund sowie dem Vergletscherungsgrad der Einzugsgebiete.

Bei Laufkraftwerken schlagen sich die höheren Winterabflüsse direkt in eine erhöhte Produktion im Winter durch, während reduzierte Sommerabflüsse das Gegenteil bewirken.

Laufkraftwerke

Eine Studie [28] zu den Auswirkungen der Klimaänderung auf die schweizerische Wasserkraft kommt zum Schluss, dass abgesehen von saisonalen Veränderungen die durchschnittliche, jährliche Stromproduktion für den Zeitraum bis 2050 konstant bleibt oder sogar leicht ansteigen kann. Berücksichtigt wurden in der Studie neben den Veränderungen in den natürlichen Abflüssen auch die Kraftwerkstypen und technischen Auslegungen (z.B. Fassungskapazitäten) der Wasserkraftanlagen. Mit dem Abklingen der Gletscherschmelze sind in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts abnehmende Abflussmengen zu erwarten.

Positive Gesamtbilanz bis 2050

### Bezug zu anderen Themen

Die Thematik der naturbedingten Einflüsse auf die fassbaren Wassermengen steht in engem Zusammenhang mit den naturbedingten Einflüssen auf Wasserkraftanlagen (Kapitel 3.7) und Speichernutzung (Kapitel 3.10), sowie mit den rechtlich und gesellschaftlichen Einflüssen auf die fassbaren Wassermengen (Kapitel 3.8). Die Prognosen zu den natürlichen Abflüssen spielen auch bei der Projektierung von neuen Anlagen und entsprechenden Investitionsentscheidungen (3.12) eine Rolle.

### Beeinflussbarkeit

Die naturbedingten Einflüsse getrieben durch den Klimawandel werden als nicht beeinflussbar angenommen.

Nicht beeinflussbare Faktoren

Beeinflussbare Faktoren wie Betriebsoptimierung sowie die bauliche und technische Entwicklung werden im Kapitel 3.9 behandelt.

Beeinflussbare Faktoren

## 3.7 Naturbedingte Einflüsse auf Wasserkraftanlagen

Die Inhalte dieses Kapitels basieren auf den Quellen [9], [19], [22], [27] und [28].

### Systembeschreibung

In diesem Themenfeld werden die naturbedingten Einflüsse auf Wasserkraftanlagen (Infrastruktur sowie Stauraum) behandelt.

Die Wasserkraft-Infrastruktur insbesondere in hohen Lagen ist durch Naturgefahren wie Sturzprozesse (Felssturz), Rutschungen, Murgänge oder Hochwasser gefährdet.

Wasserkraft-Infrastruktur

Das Geschieberegime beeinflusst Speicherkraftwerke im Alpenraum in betrieblichen Aspekten und bezüglich Stauraumkapazität.	Geschieberegime
<b>Heutige und zukünftige Situation</b>	
In Folge des Klimawandels können durch Permafrost-Reduktion und Gletscher-Rückgang Speicherseen von Wasserkraftanlagen in Zukunft stärker durch Felsstürze sowie Rutschungen betroffen werden. Flutwellen erhöhen die Gefährdung von Wasserkraftanlagen und Unterliegern. Die direkte Gefährdung der Anlagen (Bauwerke) wird als weniger wahrscheinlich angenommen.	Gefährdung durch Naturgefahren
Mit dem auftauenden Permafrost kann in Zukunft mehr Geschiebe aktiviert werden, welches durch höhere Winterabflüsse und Zunahme grosser Hochwasserereignisse stärker mobilisiert werden und in Fassungen und Speicherseen gelangen kann. Die vermehrte Versandung von Wasserfassungen und Verlandung von Staubecken wird als zunehmendes Problem der Wasserkraft dargestellt.	Versandung und Verlandung
<b>Wirkung auf Wasserkraft</b>	
Eine Zunahme der naturbedingten Gefährdung von Anlagen kann Kosten für Schutzmassnahmen verursachen.	Schutzmassnahmen
Die Verlandung von Speicherseen sowie die Versandung von Wasserfassungen haben negative Auswirkungen auf die Betriebssicherheit und die Stromproduktion und führen zu Kosten für Unterhalt (Staumentleerung) oder für Optimierungsmassnahmen. Längerfristig würden ohne Gegenmassnahmen die Speicherkapazitäten verringert werden.	Unterhaltskosten und Verlandung
<b>Bezug zu anderen Themen</b>	
Diese Thematik steht im Zusammenhang mit dem Kapitel 3.10 zum Klimawandel und Speichernutzung sowie zum Kapitel 3.13 über die Gesteinskosten. Bauliche Massnahmen zur Verbesserung der Geschiebeproblematik sind in Kapitel 3.9 beschrieben.	
<b>Beeinflussbarkeit</b>	
Die naturbedingten Einflüsse getrieben durch den Klimawandel werden als nicht beeinflussbar angenommen.	Nicht beeinflussbar
Als Massnahme zur Vermeidung von Schäden durch Flutwellen kommt das Einhalten eines Freibords <sup>3</sup> (Volumenverlust) oder die Ausrüstung der Oberseite der Dämme mit Wellenbrechern sowie die Installation von Warnsystemen in Frage.	Massnahme zur Vermeidung von Schäden durch Flutwellen
Folgende Massnahmen der technischen und baulichen Entwicklungen zur Lösung der Verlandungsproblematik sind denkbar (siehe auch Kapitel 3.9) und haben teilweise auch positive Nebeneffekte auf den Geschiebehaushalt (siehe auch Kapitel 3.8):	Massnahmen zur Lösung der Verlandungsproblematik
— Fassungen durch Trübungs-Messtechnik betrieblich optimiert steuern (Schliessen bei Grenzwert-Überschreitung)	

---

3 Abstand zwischen dem höchsten Stauziel und der Oberkante des Dammes.

- Angepasste Dimensionierung der Entsanderanlagen
- Umleitung des Geschiebes durch Umleitstollen (v.a. bei kleineren Speicherseen)
- Trübeströme bei Hochwasser durch Öffnen des Grundablasses durchleiten sowie regelmässige Stauraumpülungen
- Beschichtung der Turbinen, um Abturbinieren des sedimenthaltigen Wassers zu ermöglichen

### 3.8 Ökologisierung der Wasserkraft

Die Inhalte dieses Kapitels basieren auf den Quellen [9], [20] und [27].

#### **Systembeschreibung**

Die Wasserkraftnutzung beeinflusst die Wasserführung und Dynamik der Gewässer und damit die gewässerspezifischen Lebensräume stark.

Die gesellschaftliche Bewertung der Gewässerlebensräume sowie des Biotop- und Landschaftsschutzes gegenüber der Wasserkraftnutzung beeinflusst die Verfahrensdauern und die Umsetzung der Restwasserbestimmungen im Rahmen von Neukonzessionierungen. Dies beeinflusst die Realisierbarkeit von Ausbauprojekten und die entsprechenden Investitionsentscheide. Besonders betroffen sind neue Standorte von Wasserkraftanlagen (insbesondere Speicherseen).

Gesellschaftliche Einflüsse

Die Massnahmen zur ökologischen Sanierung bestehender Wasserkraftanlagen nach Gewässerschutzgesetz (GSchG) führen zu hohen Planungs- und Investitionskosten (mit Entschädigungsmechanismus), Produktionsverlusten und Rechtsunsicherheit.

Rechtliche Einflüsse

#### **Heutige und zukünftige Situation**

Seit 1992 enthält das GSchG Restwasserbestimmungen, welche die natürlichen Gewässerfunktionen unterhalb von Wasserentnahmen gewährleisten sollen. Das Gesetz unterscheidet zwischen der Sanierung von vor 1992 bereits bestehenden Nutzungen sowie den Restwasseranforderungen bei Neukonzessionierungen inkl. Konzessionserneuerungen. Letztere sind strenger und werden im Zeitraum ab 2035 bis 2050 aufgrund der Häufung von Konzessionserneuerungen zu einem markanten Anstieg der Restwassermengen und folglich zu Produktionseinbussen führen. Das Vorgehen nach GSchG sieht u.a. eine Interessenabwägung zwischen der Wasserkraft und anderen Bedürfnissen vor. Eine Untersuchung des SWV zu Energieeinbussen durch die Restwasserbestimmungen zeigt mögliche Entwicklungen der Produktionseinbussen bei verschiedenen Szenarien, welche alle um mindestens Faktor 2 höher liegen als in der Energiestrategie angenommen wurde.

Restwasseranforderungen

Aufgrund rechtlicher und gesellschaftlicher Ansprüche an Lebensräume und Biotop-/Landschaftsschutz sind Projekte an neuen Standorten schwierig realisierbar. Neben den Restwasserbestimmungen ergeben sich insbesondere aus der Natur- und Heimatschutzgesetzgebung (NHG) mit dem Biotopschutz starke Restriktionen.

Biotopschutz

Mit der neuen Energiegesetzgebung (EnG) wurde der Wasserkraft «nationales Interesse» zugestanden, was deren Position in der Interessenabwägung gegenüber den Schutzansprüchen stärken sollte. Die Wirkung muss sich im Zeitraum bis 2035 zeigen. Generell dauern die Konzessionierungs- und Bewilligungsverfahren sehr lange.

Nationales Interesse

Die Sanierung von Wasserkraftanlagen bezüglich Fischgängigkeit führt voraussichtlich im Zeitraum bis 2035 insbesondere bei Laufwasserkraft zu Produktionsverlusten aufgrund von Wasserabgaben durch Fisch-Bypässe, Energieverluste bei Leitrechen sowie Wirkungsgradeinbussen bei fischgängigen Turbinen.

Sanierung Fischgängigkeit

Auch die Sanierung von Wasserkraftanlagen bezüglich Geschiebehaushalt führt voraussichtlich im Zeitraum bis 2035 insbesondere bei Laufwasserkraft zu Produktionsverlusten aufgrund von zusätzlichen Wasserabgaben zur Geschiebemobilisierung bei Hochwasser.

Sanierung Geschiebehaushalt

Bei der Sanierung von Wasserkraftanlagen bezüglich Schwall-Sunk zeichnet sich ab, dass eine vollständige Sanierung räumlich nicht realisierbare oder sehr teure Speichervolumina erfordern würde. Aufgrund fehlender Verhältnismässigkeit der Kosten ist zu erwarten, dass mancherorts auf eine vollständige Sanierung verzichtet wird. Bisher ungeklärt ist, wie die Behörden den Gesetzestext bei Neuanlagen mit Einleitung in bereits beeinträchtigte (evtl. nicht sanierbare) Gewässer auslegen (Auslegung von «wesentlicher Beeinträchtigung» und «Verhältnismässigkeit der Kosten»). Ebenfalls ungeklärt ist, wie die Behörden die gesetzlichen Vorgaben zukünftig bei Neukonzessionierungen von nicht sanierbaren Anlagen auslegen (Auslegung von «Verhältnismässigkeit der Kosten»).

Sanierung Schwall-Sunk

### **Wirkung auf Wasserkraft**

Es ist davon auszugehen, dass Projekte an neuen Standorten weiterhin auf grossen Widerstand stossen und dass durch den Vollzug der Restwasserbestimmungen im Rahmen von Neukonzessionierungen und durch die ökologische Sanierung der Wasserkraft weitere Produktionsverluste entstehen.

Beim Vollzug der ökologischen Sanierung der Wasserkraftanlagen ist die Auslegung der Gesetzestexte teilweise noch ungeklärt, was die Planungssicherheit beschränkt.

### **Bezug zu anderen Themen**

Die Thematik steht in engem Zusammenhang mit dem Kapitel 3.10 (Ausbau-potenzial und Nutzung von Speichern) sowie 3.12 (Investitionen in Wasserkraftanlagen) und 3.13 (Gestehungskosten)

### **Beeinflussbarkeit**

Für eine Umsetzung der Gewässerschutzgesetzgebung mit Augenmass und eine Verringerung der Widerstände gegen die Wasserkraftnutzung muss auf gesellschaftlicher und politischer Ebene angesetzt werden.

Gesellschaftliche und politische Ebene

Ein interessanter Ansatz im Rahmen der Interessenabwägung zwischen Naturschutz und Wasserkraft könnte eine stärkere regionale Planung sein, wo anstelle der Einzelbetrachtung jedes Standorts eine regionale Priorisierung mit Ausgleich der Interessen über einen grösseren Raum vorgenommen

Regionale Planung und Verdichtung

wird. Dabei wären beispielsweise systemrelevante Grosskraftwerke gegenüber kleineren Kraftwerken stärker zu gewichten und bereits genutzte Gebiete im Sinne einer Verdichtung noch stärker zu nutzen und im Gegenzug in ökologisch wertvollen Gebieten auf die Wasserkraft zu verzichten. Ganzheitliche Planungen über grössere Räume könnten durch ändernde Besitzverhältnisse (z.B. aufgrund Heimfall) begünstigt werden.

### 3.9 Wasserbauliche und wasserkrafttechnische Entwicklungen

Die Inhalte dieses Kapitels basieren auf den Quellen [9] und [27].

#### **Systembeschreibung**

Entwicklung und Forschung im Bereich der Wasserkraft fokussieren heute auf Optimierungen in den folgenden Bereichen:

Forschungs- und  
Entwicklungsthe-  
men

- Fischschutz und Fischabstieg (Bedarf im Rahmen der Sanierung Wasserkraft nach GSchG)
- Beschichtungen von Turbinen (Auslöser zunehmende Abrasion durch Schwebstoffe und Geschiebe)
- Abweisung von Sediment/Geschiebe bei Fassungsbauwerken und Stauräumen (Auslöser stärkerer Geschiebetrieb infolge Klimawandel)
- Reduktion Energieverluste in Triebwasserstollen
- Marktanforderungen an die Steuerung der Anlagen (Kurzfristige Reaktion)

Diese Forschungsthemen beeinflussen in den nächsten Jahrzehnten die Investitionen und den Betrieb der Wasserkraftanlagen.

#### **Heutige und zukünftige Situation**

Wasserkraft-Turbinen und deren Wirkungsgrade sind heute bereits sehr ausgereizt und mit über 90% gegenüber anderen Energieformen sehr hoch. In Zukunft sind in diesem Bereich keine Entwicklungen zu erwarten. Jedoch ist durch den Ersatz von alten mit modernen Turbinen dank höheren Wirkungsgraden eine Erhöhung des Produktionspotenzials zu erwarten.

Wirkungsgrad der  
Turbinen

Die Fischgängigkeit von Wasserkraftwerken ist insbesondere bei den grossen Laufwasserkraftanlagen ein Thema. Neben Fischaufstieg muss auch der Abstieg (via Bypass oder durch Turbinen) mit möglichst tiefer Mortalitätsrate gewährleistet sein. Bereits heute kann die Fischgängigkeit von kleineren Laufkraftwerken mit Leitrechen und Bypass erhöht werden. In Entwicklung für die Zukunft sind Lösungen mit Leitrechen für grosse Abflüsse und Laufkraftwerke an Aare und Rhein sowie auf Fischgängigkeit ausgerichtete Optimierungen der Turbinen.

Massnahmen  
Fischgängigkeit

Die Abweisung von Sediment und Geschiebe ist bei Fassungen für Speicherkraftwerke im alpinen Raum relevant. Durch Eintrag von zu grossen Sediment-Körnern (beispielsweise bei Hochwasser) können Turbinen durch Abrasion beschädigt werden. Bereits heute sind Anzeichen von verstärkter Abrasion der Turbinen durch Zunahme des Geschiebetriebs und damit unterdimensionierte Entsanderanlagen ersichtlich. Man geht davon aus, dass

Geschiebeabwei-  
sung

in Zukunft Volumen und Fracht des Geschiebes zunimmt. In Entwicklung für die Zukunft sind Mess- und Regulierungstechnik für Schwebstoffe, Beschichtungen der Turbinen zur Erhöhung der Widerstandskraft, Ausgestaltung von Geschiebeumleitstollen, Modellierung der Trübestrome zwecks besserer Durchleitung sowie Optimierung der Spülregimes.

#### **Wirkung auf Wasserkraft**

Potenzial für die Wasserkraft besteht durch Ersetzen alter Turbinen mit neuen Turbinen mit erhöhten Wirkungsgraden.

Turbinen

Massnahmen zur Verbesserung der Fischgängigkeit tragen einerseits grosse Investitionskosten mit sich. Dazu kommen Produktionsverluste aufgrund von Wasserabgaben durch den Bypass, Energieverluste bei den Rechen sowie Wirkungsgradeinbussen bei den Turbinen.

Fischgängigkeit

Die oben erwähnten Massnahmen betreffend Zunahme des Geschiebetriebs können einerseits zu Verlust an fassbarer Wassermenge führen. Andererseits wird der Verlandung der Speicher entgegengewirkt, was sich längerfristig auszahlt.

Geschiebeabwei-  
sung

#### **Bezug zu anderen Themen**

Die baulichen und technischen Entwicklungen bei Anlagenteilen werden angetrieben durch die naturbedingten Einflüsse auf die Wasserkraftanlagen (Kapitel 3.7) sowie die regulatorischen Rahmenbedingungen (Kapitel 3.8). Ihrerseits beeinflussen sie die Investitionen (Kapitel 3.12) und die Gesteungskosten (Kapitel 3.13).

#### **Beeinflussbarkeit**

Bauliche Anpassungen sowie betriebliche Optimierungen an den Anlagen durch die Unternehmen werden als beeinflussbare Faktoren angesehen.

Bauliche Anpassungen und betriebliche Optimierungen

### 3.10 Ausbaupotenzial und Nutzung von Speichern

Die Inhalte dieses Kapitels basieren auf den Quellen [9], [17] und [27].

#### **Systembeschreibung**

Natürliche, klimawandel-bedingte Entwicklungen eröffnen ein Potenzial für neue Speicherräume und verändern die technischen Potenziale der vorhandenen Speicher.

Neue Potenziale

Die gesellschaftliche Bewertung beeinflusst die Nutzung bestehender Speicher und die Realisierbarkeit neuer Projekte.

Nutzbarkeit

#### **Heutige und zukünftige Situation**

In Zukunft entstehen durch den vom Klimawandel getriebenen Gletscherrückgang neue Speicherräume in Form von Seen bei Gletschervorfeldern. Bis in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts sollen so 500-600 Übertiefungen mit einer Gesamtfläche von rund 50-60 km<sup>2</sup> entstehen, wo die Entstehung von neuen Seen möglich ist [19]. Die Frage der Nutzbarkeit der neu entstandenen Seen bleibt offen, da sie oft in (zukünftigen) NHG-Biotopen zu liegen kommen. Generell ist davon auszugehen, dass aufgrund rechtlicher

Neue Speicherräume



und gesellschaftlicher Ansprüche an Lebensräume und Biotop-/Landschaftsschutz Projekte an neuen Standorten schwierig realisierbar sind.

Stauraumvergrößerung durch Mauererhöhungen haben ein grosses Potenzial. In einer Arbeit [17] wird unter Berücksichtigung technischer, ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte das Potenzial zur Verlagerung der Stromproduktion vom Sommer in den Winter durch Staumauererhöhungen in der Schweiz auf 1.7 bis 2.8 TWh (Speicheräquivalente) geschätzt. Staumauererhöhungen geniessen gegenüber neuen Speichersee-Standorten eine höhere Akzeptanz (vgl. Kapitel 3.8). Neue Speichervolumina können die verloren gehende Wasserspeicherfunktion der Gletscher (teilweise) übernehmen.

Staumauererhöhungen

Die saisonale Speicherfunktion wird als grosse Chance der Wasserkraft angesehen. Sie ist mit Blick auf die Energiestrategie 2050 sehr wichtig.

Speicherfunktion

Zudem kann der Mehrzwecknutzung der Speicher in Zukunft eine noch grössere Bedeutung zuteilwerden. In trockenen Gebieten wie dem Wallis können grosse künstliche Speicher die natürliche Speicherfunktion von Gletschern teilweise ersetzen und neben der Wasserkraft für Drittnutzer (Trinkwasser, Bewässerung, Wasserführung Vorfluter) zur Verfügung stehen.

Mehrzwecknutzung

Bereits heute tragen Speicherseen zum Hochwasserschutz bei (Rückhalt, Dämpfung Abfluss), auch ohne bewusste Steuerung resp. aufgrund betrieblich motivierter Verteilung der hohen Abflüsse auf eine längere Zeitdauer. Diese Schutzwirkung wird in der Öffentlichkeit oft nicht wahrgenommen. Es besteht noch Optimierungspotenzial durch bewusste Hochwasserschutz-Massnahmen wie Vorabsenkung oder «Reservation» festgelegter Volumina. Wenn bei Neu-/Ausbauten von Speichern die Hochwasserschutz-Massnahmen vermehrt eingeplant und anschliessend erfolgreich kommuniziert werden, kann dies die Akzeptanz erhöhen [9].

Beitrag zum Hochwasserschutz

### **Wirkung auf Wasserkraft**

Zusätzliche Speicherkapazitäten erhöhen die Flexibilität der Stromproduktion und ermöglichen eine Verlagerung der Stromproduktion vom Sommer in den Winter. Ebenso ermöglichen zusätzliche Speicherkapazitäten den Ausbau weiterer Dienstleistungen (z.B. Hochwasserschutz).

Mehrzwecknutzung der Speicher kann das verfügbare Volumen für die Wasserkraftproduktion einschränken. Fraglich ist die Zahlungsbereitschaft für solche Dienstleistungen.

### **Bezug zu anderen Themen**

Die Nutzung der Speicherseen wird auch durch gesellschaftliche und rechtliche Ansprüche beeinflusst (Kapitel 3.8). Weitere Zusammenhänge bestehen mit den Investitionen (Kapitel 3.12) und Gestehungskosten (Kapitel 3.13).

### **Beeinflussbarkeit**

Die naturbedingten Einflüsse getrieben durch den Klimawandel werden als nicht beeinflussbar angenommen.

Nicht beeinflussbar

Die vermehrte und bewusstere Nutzung der Speicherbecken als Mehrzweckspeicher kann Chance oder Konkurrenz zur Wasserkraftnutzung sein und erfordert Regulierungsbedarf z.B. bzgl. Entschädigungen. Diese Mehrzwecknutzung der Wasserkraftspeicher kann eine Chance sein, z.B. wenn sich die Schweizer Wasserkraft zukünftig als «Service Public» in einer ganzheitlichen Betrachtungsweise inklusive den Themen Ökologie, Hochwasserschutz und Drittnutzer (Bewässerung, Trinkwasser etc.) positionieren und durch eine erfolgreiche Kommunikation der Zusatzleistungen die Akzeptanz der Speicheranlagen zu erhöhen vermag.

Mehrzweckspeicher: Regulierungen, Positionierung und Kommunikation

### 3.11 Eigentümeraspekte

Die Inhalte dieses Kapitels basieren auf den Quellen [12] und [24].

#### **Systembeschreibung**

Folgende Aspekte sind wichtig im Zusammenhang mit der Eigentümerschaft von Wasserkraftwerken:

Wichtige Eigentümeraspekte

- Eigentümerstruktur: Mittelland- / Bergkantone, staatliche / private Eigentümer, Heimfallstrategien der Kantone
- Grösse und Finanzkraft des Eigentümers bzw. Investors
- Eigentümerstrategie, politische Einflussnahme
- Geschäftschancen und -risiken
- Know-how

Die Eigentümerschaft hat einen direkten Einfluss auf diese Faktoren.

#### **Heutige und zukünftige Situation**

Für die Faktoren, die in diesem Themenfeld relevant sind, wird nachfolgend vor allem die heutige Situation beschrieben, da die künftigen Veränderungen kaum absehbar sind. Eine Ausnahme sind die Heimfallstrategien der Kantone Tessin und Wallis, die beabsichtigen, dass im Rahmen der Neukonzessionierung die Konzessionskantone und -gemeinden sich mehrheitlich an den Wasserkraftwerken beteiligen. Für einen grossen Teil der Schweizer Wasserkraftwerke stehen Neukonzessionierungen im Zeitraum zwischen 2035 und 2050 an.

#### *Eigentümerstruktur*

Heute gehören die meisten Wasserkraftwerke direkt oder indirekt staatlichen Eigentümern aus den Mittellandkantonen. In den nächsten Jahrzehnten und insbesondere im Zeitraum zwischen 2035 und 2050 werden viele Konzessionen auslaufen und die Kraftwerke werden in das Eigentum der Konzessionsgemeinden und -kantone übergehen. Für die Weiterführung des Kraftwerks gibt es grundsätzlich die folgenden drei Varianten: Selbstnutzung, Fremdbetrieb oder Beteiligung. Bei vielen Kraftwerken besteht die Absicht, dass sich die Konzessionsgemeinden und -kantone stärker an den Kraftwerken beteiligen. Die Kantone Wallis und Tessin haben entsprechende Heimfallstrategien definiert. Bei einem Fremdbetrieb oder einer Beteiligung kommt es zu einer Neukonzessionierung. Sowohl beim Heimfall als auch bei der Neukonzessionierung, deren Konditionen Verhandlungssache sind,

Wandel bei den staatlichen Eigentümern

bestehen viele wirtschaftliche und rechtliche Fragen, deren Beantwortung für den reibungslosen Weiterbetrieb und künftige Investitionen in Kraftwerke von grosser Bedeutung sind. Eine bundesgesetzliche Regulierung der Heimfälle könnte zu mehr Investitionssicherheit und letztlich zu mehr Investitionen führen.

Heute bestehen im kleinen Ausmass Beteiligungen von privaten und ausländischen Investoren an Energieunternehmen, die Wasserkraftwerke besitzen. Inwieweit diese Beteiligungen künftig zunehmen ist unklar. Wahrscheinlich ist jedoch, dass die Beteiligungen dieser Investoren, die keinen gesellschaftlichen Auftrag haben, nur dann zunehmen werden, wenn die Wirtschaftlichkeit der Wasserkraft gegeben ist.

Private und ausländische Investoren

#### *Grösse des Investors*

Mit Wasserkraftwerken sind grosse Investitionen verbunden, die viel Kapital benötigen. Deshalb sind eine gewisse Grösse und Finanzkraft des Investors vorteilhaft, denn diese erleichtern die Finanzierung.

#### *Eigentümerstrategie und politische Einflussnahme*

Heute verfolgen viele Eigentümer Strategien die stark von betriebswirtschaftlichen Zielen geprägt sind. Energie- und regionalökonomische Ziele werden jedoch auch verfolgt.

Fokus betriebswirtschaftliche Ziele

Die politische Einflussnahme der Eigentümer zeigt sich heute in vielen Bereichen, beispielsweise: im Verfolgen von energie- und klimapolitischen Zielen oder in der Ausschüttung von Gewinnen zur Generierung von Erträgen für die Gemeinde- und Staatskassen. Die politische Einflussnahme ist umstritten.

Politische Einflussnahme

Wie sich die Eigentümerstrategien künftig verändern werden ist unklar. Sofern die Eigentümer weiterhin mehrheitlich Kantone und Städte bleiben, wird die politische Einflussnahme sich kaum reduzieren.

Eigentümerstrategie

#### *Geschäftschancen und -risiken*

Nach jahrelangen Gewinnen hat sich in den letzten Jahren gezeigt, dass der Betrieb von Wasserkraftanlagen auch zu Verlusten führen kann. Die Unsicherheit bezüglich der Wirtschaftlichkeit wird mittel- bis langfristig bestehen bleiben, da die bedeutenden technologischen, regulatorischen und ökonomischen Entwicklungen zu grossen Veränderungen führen werden und mit einer vollständigen Marktöffnung die Wasserkraft noch stärker davon betroffen sein wird. Es ist unklar, inwieweit sich Eigentümer oder Betreiber, die heute ihren Strom noch an gebundene Endkunden verkaufen, oder kleinere Konzessionsgemeinden, die mit dem Gedanken spielen, sich nach dem Heimfall stärker an den Kraftwerken zu beteiligen, sich dem bewusst sind.

Gewinnchance und Verlustrisiko

In den Jahren, in denen mit den Wasserkraftwerken Gewinne erwirtschaftet wurden, haben sich die Eigentümer grosse Teile dieser Gewinne ausgeschüttet. Ob in Zukunft angesichts der grossen Unsicherheiten eine vermehrte Bildung von Reserven vorteilhaft wäre, ist zu evaluieren.

Reserven

### *Know-how*

Das Management von Firmen, die Strom aus Wasserkraft erzeugen und vermarkten, ist durch die grossen Veränderungen, insbesondere im Markt, anspruchsvoller geworden und wird anspruchsvoll bleiben. Es bedarf deshalb grosser Kompetenzen in verschiedenen Bereichen (z.B. Management, Energiewirtschaft). Grosse Unternehmen haben eher die Kapazitäten, die nötigen Kompetenzen abzudecken. Kleinere werden es schwieriger haben.

### **Wirkung auf die Schweizer Wasserkraft**

Die Eigentümerschaft hat über das Management und die Finanzierung, welche sich auf Investitionen in Wasserkraftanlagen auswirkt, eine indirekte Wirkung auf die Erzeugung von Strom aus Wasserkraft. Die wichtigsten Auswirkungen, die sich aus den Veränderungen der Eigentümeraspekte ergeben können, sind:

- Falls im Rahmen der Neukonzessionierung vermehrt die Standortkantone und -gemeinden sich an den Kraftwerken beteiligen, kann es sein, dass diese die Wasserzinsen senken werden und somit die Wirtschaftlichkeit und die Investitionsbedingungen verbessern.
- Falls die Beteiligungen sich vermehrt von staatlichen zu privaten Investoren verschieben, werden die Wirtschaftlichkeit und die Risiken einen grösseren Stellenwert bei Investitionsentscheiden einnehmen und energiepolitische Aspekte an Bedeutung verlieren.

### **Bezug zu anderen Themenfeldern**

Folgende Eigentümeraspekte beeinflussen die Investitionen in Wasserkraftanlagen (3.12): staatliche / private Eigentümerstruktur, Grösse der Kraftwerkfirma, politische Einflussnahme, Heimfallstrategien der Kantone

Folgende Eigentümeraspekte beeinflussen die Gestehungskosten der Wasserkraft (3.13): Renditeansprüche und Gewinnausschüttungen

### **Beeinflussbarkeit der Faktoren**

Sowohl die Eigentümerstruktur, die Grösse der Kraftwerkfirmen, die Eigentümerstrategie, die politische Einflussnahme, die Gewinnausschüttungspraxis als auch das Know-how lassen sich von den Kraftwerkfirmen beeinflussen.

Massnahmen innerhalb Unternehmen

Im Rahmen der Neukonzessionierungen werden die Beteiligungsverhältnisse zu einem relevanten Thema, insbesondere angesichts der vorliegenden Heimfallstrategien der Kantone VS und TI. Im Rahmen der Neukonzessionierungen, jedoch auch schon davor empfehlen sich politische Massnahmen zur Beeinflussung der Heimfallstrategien sowie Gespräche und Verhandlungen mit den Konzessionskantonen und -gemeinden.

Politische Massnahmen

### 3.12 Investitionen in Wasserkraftanlagen

Die Inhalte dieses Kapitels basieren auf den Quellen [5], [12], [14] und [21].

#### Systembeschreibung

Investitionen in Wasserkraftanlagen sind wie alle Investitionen vor allem von der Wirtschaftlichkeit und den Risiken der Investition beeinflusst. Besondere Eigenschaften der Investitionen in Wasserkraftanlagen sind die Langfristigkeit und die Kapitalintensität, beziehungsweise die erheblichen Risiken, die damit verbunden sind. Diese erheblichen Risiken führen grundsätzlich zu höheren Renditeansprüchen, insbesondere bei privatwirtschaftlichen Investoren.

Wichtige Einflussfaktoren

#### Heutige und zukünftige Situation

Für die Faktoren, die in diesem Themenfeld relevant sind, wird nachfolgend vor allem die heutige Situation beschrieben, da die langfristigen künftigen Entwicklungen kaum absehbar sind. Die künftigen Entwicklungen, die heute erkennbar sind, betreffen hauptsächlich den Zeitraum bis 2035.

#### Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit ist abhängig von den Erträgen, den Gestehungskosten und den Renditeansprüchen der Eigentümer.

Einflussfaktoren

Die Erträge stammen heute hauptsächlich aus dem Verkauf von Stromdienstleistungen. Die Erträge für Zusatzleistungen (z.B. Abgeltung von Hochwasserschutzmassnahmen) sind bezüglich ihrer Grösse nicht relevant. Zwischen 2018 und 2022 unterstützt der Bund bestehende Wasserkraftwerke mit einer Marktprämie und neue mit Investitionsbeiträgen.

Erträge

Heute wird die Hälfte des Stroms aus Schweizer Wasserkraft an gebundene Endkunden verkauft, die den Strom zu Gestehungskosten übernehmen. Die andere Hälfte des Stroms wird am freien Markt zu Marktpreisen verkauft. Gemäss Daten des SWVs lagen die gemittelten Gestehungskosten der Jahre 2011 – 2015 über den Erträgen [21]. Gemäss einer Studie des BFE [5] lagen im Jahr 2016 die Gestehungskosten eines durchschnittlichen Wasserkraftwerks, inkl. Gewinnanteil (angemessene Eigenkapitalverzinsung) über den gesamten Erlösen am Markt.

Heutige Wirtschaftlichkeit

Künftig ist entscheidend, welche Preise am freien Markt bezahlt werden und falls diese nicht kostendeckend sind, ob der Bund aus energiepolitischen Gründen die Wasserkraft mit geeigneten Massnahmen stützt.

Künftige Entwicklung

Die Aspekte der Gestehungskosten sind im separaten Kapitel 3.13 beschrieben.

Gestehungskosten

Die Renditeansprüche richten sich im freien Markt primär an den Renditen alternativer Anlagemöglichkeiten am Kapitalmarkt. Die Renditeansprüche öffentlicher Investoren sind meist tiefer, da der Zweck im Vordergrund steht. Wie sich der Kapitalmarkt und somit die Renditeansprüche künftig entwickeln werden ist ungewiss.

Renditeansprüche

Heute und künftig ist entscheidend:

- Welche Preise am freien Markt bezahlt werden.

- Falls die Preise am freien Markt nicht kostendeckend sind, ob der Strom aus Wasserkraft weiterhin an gebundene Kunden abgesetzt werden kann oder ob der Bund aus energiepolitischen Gründen die Wasserkraft mit geeigneten Massnahmen stützt.
- Ob die Gestehungskosten der Wasserkraft konkurrenzfähig sind bzw. ob mit geeigneten Massnahmen die Kosten künftig gesenkt werden können.

### Risiken

Für die Wasserkraft sind folgende Risikoarten relevant: Marktrisiken, rechtliche Risiken, Betriebsrisiken, Finanzrisiken, Umweltrisiken.

Die eine Hälfte der Produktion der Schweizer Wasserkraft ist heute im freien Markt. Die andere Hälfte wird für die Versorgung der gebundenen Kunden verwendet. Der Bundesrat plant jedoch, den Markt vollständig zu öffnen. Was dazu führt, dass wahrscheinlich künftig die ganze Wasserkraftproduktion am Markt vermarktet wird. Die letzten Jahre haben gezeigt, dass die Marktrisiken gross sind. In Zukunft bleiben grossen Marktrisiken voraussichtlich bestehen, denn die technologischen Entwicklungen und die Markteingriffe von Staaten sind einerseits nicht abschätzbar und können andererseits durchaus zu Marktsituationen führen, die für die Wasserkraft nachteilig sind. Zu ergänzen ist, dass heute nicht alle Kraftwerke, insbesondere PV- und Windkraftanlagen, gleichermassen den Marktrisiken ausgesetzt sind.

Marktrisiken

Die rechtlichen Bestimmungen, welche die Wasserkraft betreffen, haben in der Vergangenheit stark zugenommen. Dazu zählen nicht nur die Bestimmungen in der Schweiz, sondern auch die Bestimmungen im Ausland. Die Entwicklung der rechtlichen Bestimmungen ist langfristig kaum abschätzbar. Deshalb ist vorsichtigerweise weiterhin mit rechtlichen Risiken zu rechnen.

Rechtliche Risiken

Umweltrisiken bestehen vor allem in Form von Naturgefahren. Diese sind in den Kapitel 3.7 und 3.8 genauer beschrieben.

Umweltrisiken

Die Betriebsrisiken sind vor allem technischer Natur bzw. im Bezug zu den bestehenden Infrastrukturanlagen. Aufgrund des hohen Monitorings- und Unterhaltsniveaus schätzen Branchenvertreter das Risiko als eher klein ein.

Betriebsrisiken

Währungsrisiko beim Export der erzeugten Energie sowie beim Beschaffen von Vorleistungen im Ausland und die Entwicklung des allgemeinen Zinsniveaus.

Finanzrisiken

Weitere wichtige Aspekte, welche die Risiken von Investitionen in Wasserkraftwerke erhöhen, sind die hohen Investitionskosten und die langen Investitionszyklen.

Weitere Aspekte

### Wirkung auf die Schweizer Wasserkraft

Gemäss Branchenvertretern beträgt der jährliche Investitionsbedarf zur Sicherstellung einer angemessenen Erneuerung aller bestehender Wasserkraftanlagen in der Schweiz CHF 500 Mio. Aufgrund der schwierigen Ertragslage in den letzten Jahren entstand ein Kostendruck, der dazu führte, dass die Investitionen seit 2013 unter diesem Wert liegen.

Heutige Investitionen

Damit in Zukunft die Investitionen wieder zunehmen, muss sich das Marktumfeld verbessern. Einerseits muss sich die Wirtschaftlichkeit langfristig

Künftige Investitionen

verbessern und andererseits müssen die Risiken abnehmen. In einem Markt, der aufgrund von technologischen Entwicklungen und regulativen Eingriffen sich stark wandelt, bestehen in Zukunft wahrscheinlich grosse Marktrisiken. Es stellt sich die Frage, ob positive Entwicklungen der Wirtschaftlichkeit diese Risiken in Zukunft kompensieren können, oder ob Schweizer Markt-eingriffe sinnvoll und nötig sind, um Investitionen in die Wasserkraft auszulösen.

### **Bezug zu anderen Themenfeldern**

Alle Themenfelder haben einen Einfluss auf die Investitionen in Wasserkraftanlagen. Die meisten Themenfelder beeinflussen indirekt über die Wirtschaftlichkeit die Investitionen. Die Eigentümeraspekte (3.11) haben zudem einen Einfluss auf das grundsätzliche Investitionsverhalten. Die Investitionen haben über die Abschreibungen einen Einfluss auf die Gestehungskosten (3.13).

### **Beeinflussbarkeit der Faktoren**

Grundsätzlich hängen Investitionen vom Entscheid der Eigentümer ab und können somit vollumfänglich beeinflusst werden. Die Entscheide der Eigentümer hängen jedoch von der Wirtschaftlichkeit und den Risiken ab, die nur beschränkt beeinflusst werden können.

Faktoren nur teilweise beeinflussbar

Durch eine geeignete Wahl und Gestaltung der Investitionsvorhaben können die Kosten und die Erträge, die sich auf die Wirtschaftlichkeit auswirken, teilweise beeinflusst werden. Auch der Unterhalt, der einen Einfluss auf den Erneuerungsbedarf und folglich auf Erneuerungsinvestitionen hat, sowie die Finanzierungsform kann vom Unternehmen gewählt werden. Ein weiterer wichtiger Faktor sind die Konzessionen, deren Bedingungen zwischen den beiden Parteien verhandelt werden können. Wichtige Aspekte bei den Konzessionsbestimmungen sind der Restwert des wasserbaulichen Teils und der Rückbau.

Verschiedene Massnahmen auf Unternehmensebene

## **3.13 Gestehungskosten der Wasserkraft**

Die Inhalte dieses Kapitels basieren auf der Quelle [5] und [21].

### **Systembeschreibung**

Bestandteile der Gestehungskosten sind die Betriebskosten, Abschreibungen (Investitionskosten), Kapitalkosten (Eigenkapital und Fremdkapital), die Wasserzinsen und übrigen Abgaben sowie die Gewinnsteuer. Sie wirken sich somit direkt auf die Gestehungskosten der Wasserkraft aus. Für die einzelnen Kostenbestandteile gibt es verschiedene Kostentreiber.

Wichtige Einflussfaktoren

### **Heutige und zukünftige Situation**

#### *Generell*

Die Kostenstruktur zeigt, dass die Hauptkostenanteile die Betriebskosten, Abschreibungen, Kapitalkosten und Wasserzinsen sind.

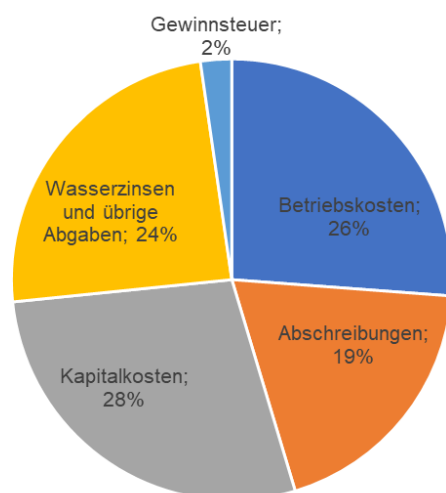


Abbildung 4: Heutige Kostenstruktur Wasserkraft (BFE 2018)

Zurzeit wird rund die Hälfte des Stroms der Schweizer Wasserkraft am freien Markt abgesetzt. Für diesen Teil besteht ein Wettbewerbsdruck und somit ein Anreiz, die Kosten zu senken.

Wettbewerbsdruck durch Markt

Die andere Hälfte des Stroms aus Schweizer Wasserkraft wird heute an gebundene Kunden geliefert, denen die Gestehungskosten überwältzt werden können. Es besteht ein beschränkter Druck die Kosten zu senken. Wird die Marktöffnung wie geplant umgesetzt, wird auch dieser Teil dem Wettbewerbsdruck ausgesetzt sein.

Kostenüberwälzung möglich

#### *Betriebskosten*

Gemäss Branchenvertretern sind die Kraftwerksunternehmen derzeit bestrebt, die Betriebskosten mittels verschiedener Massnahmen zu senken. Ein Beispiel dafür ist der Wechsel der Periodizität des Unterhalts. Der Unterhalt erfolgte in der Vergangenheit meist in regelmässigen Zeitintervallen. Heute erfolgt der Unterhalt eher nach Bedarf, d.h. aufgrund einer Zustandsbeurteilung. Weitere Kostenreduktionspotenziale bestehen unter anderem durch eine vermehrte Automatisierung. Die Auswirkungen des Klimawandels führen in verschiedenen Bereichen zu steigenden Betriebskosten.

Kostenreduktionen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit

#### *Abschreibungen (Investitionskosten)*

Gemäss Branchenvertretern nehmen heute Kraftwerkfirmen aufgrund der angespannten finanziellen Situation nur zurückhaltend Investitionen vor. Bei Ausbauinvestitionen ist ein Grund, dass grundsätzlich zuerst die rentabelsten Investitionen getätigt werden und heute die tendenziell weniger rentablen Investitionen noch möglich sind. Erneuerungsinvestitionen werden zurzeit weniger als langfristig nötig realisiert, um die Investitionskosten und indirekt die Abschreibungen tief zu halten. Um die Kraftwerke jedoch in einem guten Zustand zu behalten, sind mittelfristig die Einsparungen zu kompensieren. Faktoren, die heute und künftig zu steigenden Kosten führen, sind erhöhte Umweltvorschriften und vermehrte Schäden aufgrund von Naturgefahren, die durch den Klimawandel zunehmen werden.

Geringe Investitionen



### *Kapitalkosten*

Wichtige Faktoren sind die Konditionen am Kapitalmarkt und die Marktrisiken. Gemäss Branchenvertretern führt das tiefe Zinsniveau zurzeit zu sinkenden Kapitalkosten. Die zunehmenden Marktrisiken führen jedoch in Form von Risikoaufschlägen zu höheren Kapitalkosten.

Unterschiedliche  
Entwicklungen

### *Wasserzinsen*

Im Rahmen der Neugestaltung des Wasserrechtsgesetzes (WRG) kann sowohl das Niveau der Wasserzinsen angepasst als auch eine Flexibilisierung eingeführt werden. Werden im Rahmen von Heimfällen vermehrt die Konzessionsgemeinden und -kantone zu Kraftwerkseigentümern, wird evtl. der Anspruch auf Wasserzinsen sinken.

Chance Neugestaltung  
WRG

### **Wirkung auf die Stromdienstleistungen der Schweizer Wasserkraft**

Die Gestehungskosten wirken sich über die Wirtschaftlichkeit bzw. die Eigenkapitalrenditen auf die Investitionen in Wasserkraftanlagen und folglich auf die Erzeugung der Stromdienstleistungen der Schweizer Wasserkraft aus. Sie sind von grosser Relevanz bezüglich der Investitionen, besonders weil die Rendite vieler geplanter Investitionen heute schlecht ist und dies Investitionen verhindert. Die absehbaren Entwicklungen umfassen potenzielle Kostensteigerungen und -reduktionen. Somit sind zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und zum Auslösen künftiger Investitionen ein aktives Kostenmanagement sowie politische Massnahmen im Bereich Wasserzinsen wichtig (siehe Beeinflussbarkeit).

### **Bezug zu anderen Themenfeldern**

Die naturbedingten Einflüsse auf Wasserkraftanlagen (3.7), die rechtlichen und gesellschaftlichen Einflüsse auf Wassermengen und Standorte (3.8), die wasserbaulichen und wasserkrafttechnischen Entwicklungen (3.9) sowie die Ausbaupotenziale und Nutzungen von Speichern (3.10) haben einen Einfluss auf die Betriebskosten und indirekt über die Investitionen (3.12) auf die Abschreibungen. Die Renditeansprüche und Gewinnausschüttungen (3.11 Eigentümeraspekte) beeinflussen die Kapitalkosten.

### **Beeinflussbarkeit der Faktoren**

Folgende Faktoren sind durch die Unternehmen beeinflussbar:

- Die Betriebskosten können die Unternehmen durch verschiedene Massnahmen beeinflussen (z.B. Niveau des Unterhalts).
- Die Abschreibungen können die Unternehmen grundsätzlich durch eine geringere Investitionstätigkeit beeinflussen. Wo jedoch das Optimum der Investitionen liegt, muss im Einzelfall bestimmt werden.
- Die Kapitalkosten können durch die Unternehmen durch die Finanzierungsstruktur sowie die Ausschüttungen an die Eigentümer beeinflusst werden.

Verschiedene  
Massnahmen auf  
Unternehmens-  
ebene

Die Wasserzinsen sind im Rahmen der Überarbeitung des WRG durch politische Arbeit beeinflussbar.

Politische Massnahmen

## 4. Synthese

Die Auslegeordnung zeigt die Relevanz der Schweizer Wasserkraft für die Schweizer und europäische Stromversorgung. Sie zeigt zudem die Chancen sowie die Herausforderungen, mit welchen die Wasserkraft zukünftig konfrontiert ist. Mit der umfangreichen Betrachtung werden auch die hohe Komplexität und die Vielfalt der Einflussfaktoren sichtbar, welche die zukünftige Entwicklung der Wasserkraft bestimmen. In 13 Themenfeldern wurden über hundert verschiedene Einflussfaktoren identifiziert. Es zeigen sich einige übergeordnete Erkenntnisse, die in dieser Synthese zusammengefasst werden.

Von der Vielfalt von Einflussfaktoren zu übergeordneten Erkenntnissen

Die Auslegeordnung betrachtet alle Wasserkraftwerkstypen mit einem Fokus auf grössere Anlagen, aufgrund deren mengenmässiger Relevanz. Bei den meisten Fragestellungen dieser Auslegeordnung wurde zwischen Lauf-, Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken unterschieden. Sowohl die Einbettung in die energiewirtschaftliche Dynamik als auch die Auswirkungen der naturbedingten Einflüsse fallen je nach Kraftwerkstyp unterschiedlich aus.

Unterscheidung der Kraftwerkstypen zentral

Im Zentrum der Auslegeordnung steht die Erzeugung von Stromdienstleistungen durch Wasserkraftanlagen. Übergeordnet wurden für die Auslegeordnung drei Stromdienstleistungen identifiziert: Energie (Energy-as-produced), Kapazität (Energy-as-demanded) und Flexibilität. Für die Wasserkraft relevant ist diese Unterscheidung insbesondere, weil die drei Wasserkraftwerkstypen unterschiedlich an den Teilmärkten dieser drei Dienstleistungen partizipieren können.

Drei grundlegende Stromdienstleistungen

Die mit grösseren Wasserkraftanlagen verbundenen hohen Investitionen werden meist über einen langen Zeitraum getätigt und (Neu-)Konzessionierungen werden für bis zu 80 Jahre erteilt. Die Auslegeordnung nimmt deshalb eine stark langfristige Perspektive ein. Es zeigt sich, dass die Eintretenswahrscheinlichkeiten der Prognose der zukünftigen Entwicklung der verschiedenen Einflussfaktoren sehr unterschiedlich sind. Dabei ist insbesondere zu unterscheiden zwischen Aussagen zur zukünftigen Entwicklung der energiewirtschaftlichen Dynamik und der Entwicklung naturbedingter Einflüsse.

Langfristige Entwicklung je nach Thema unterschiedlich klar

Die Entwicklung der naturbedingten Einflüsse wird insbesondere durch den übergeordneten Trend des Klimawandels beeinflusst. Entwicklung und Auswirkungen des Klimawandels wurden wissenschaftlich untersucht und sind sehr detailliert dokumentiert. Es handelt sich um eine langfristige stetige Entwicklung, deren generelle Richtung relativ gut voraussehbar scheint. Die Bandbreite des Ausmasses der möglichen Entwicklung ist jedoch gross, wie die unterschiedlichen Szenarien des IPCC zeigen. Es ist sowohl bis 2035 als auch bis 2050 mit erhöhten Temperaturen, Rückgang der Gletscher, Reduktion Permafrost, Zunahme Geschiebetrieb, weniger Niederschlag im Sommer, mehr Niederschlag im Winter sowie einer generellen Erhöhung der Schneefallgrenze zu rechnen. Nach 2050 ist durch den fortschreitenden Gletscherschwund mit einer Abflussabnahme zu rechnen. Für Speicherkraftwerke ist im Winter von einer Zunahme der fassbaren Wassermenge auszugehen. Die Abnahme der Abflüsse im Sommer werden teilweise aufgrund

Naturbedingte Einflüsse: übergeordneter Treiber Klimawandel

der Limitierung durch die Ausbauwassermengen kompensiert. Bei Laufkraftwerken schlagen sich die höheren Winterabflüsse direkt in eine erhöhte Produktion im Winter durch, während reduzierte Sommerabflüsse das Gegenteil bewirken.

Die Wasserkraftnutzung beeinflusst die Wasserführung und Dynamik der Gewässer und damit die gewässerspezifischen Lebensräume stark. In den vergangenen drei Jahrzehnten haben Anpassungen in der Gewässerschutzgesetzgebung und deren Vollzug zu einer zunehmenden Ökologisierung der Wasserkraft geführt. Es ist davon auszugehen, dass ein Ausbau der Wasserkraft an neuen Standorten weiterhin auf grossen Widerstand stösst und dass durch den Vollzug der Gewässerschutzbestimmungen weitere Produktionsverluste entstehen. Neukonzessionierungen sind zudem mit Unsicherheiten in der Rechtsauslegung und langdauernden, komplexen Verfahrensabläufen konfrontiert, was die Planungssicherheit schmälert. Für eine Umsetzung der Gewässerschutzgesetzgebung mit Augenmass und eine Verringerung der Widerstände gegen die Wasserkraftnutzung muss auf gesellschaftlicher und politischer Ebene angesetzt werden.

Ökologisierung der Wasserkraft

Die Forschung im Bereich Wasserkraft konzentriert sich auf Fischschutz und Fischabstieg, um die gesetzlichen Anforderungen mit möglichst kleinen Produktionsverlusten erfüllen zu können, sowie auf Optimierungen der technischen und baulichen Ausrüstung gegenüber den naturbedingten Einflüssen wie Umgang mit vermehrter Schwebstoff- und Geschiebeführung. Zudem werden die Anlagensteuerungen optimiert, um die Marktanforderungen nach kurzfristiger Reaktion erfüllen zu können.

Bauliche und wasserkrafttechnische Entwicklungen

Eine Erhöhung der Speichervolumina ist einerseits durch Freiwerden potenzieller Stauräume durch abschmelzende Gletscher sowie durch die Erhöhung bestehender Staumauern denkbar, wobei letzterem höhere Realisierungschancen eingeräumt werden. Grosse künstliche Speicher können die verlorengelassene natürliche Speicherfunktion von Gletschern teilweise ersetzen und neben der Wasserkraft für Drittnutzer (Trinkwasser, Bewässerung, Wasserführung Vorfluter) zur Verfügung stehen sowie durch Wasserrückhalt und Abflussdämpfung noch vermehrt zum Hochwasserschutz beitragen. Die vermehrte und bewusstere Nutzung der Speicherbecken als Mehrzweckspeicher kann Chance oder Konkurrenz zur Wasserkraftnutzung sein und erfordert Regulierungsbedarf z.B. bzgl. Entschädigungen.

Ausbaupotenzial Speicher

Die energiewirtschaftliche Dynamik ist stark von den regulatorischen Rahmenbedingungen geprägt. Aufgrund der Abhängigkeit von politischen Entscheidungen ist nicht mit einer stetigen langfristigen Entwicklung der regulatorischen Rahmenbedingungen zu rechnen. Durch die Umsetzung von Klima- und Energiestrategien der öffentlichen Hand ist mit weiteren Entscheidungen zur Förderung von Technologien zu rechnen, die in Konkurrenz zur Wasserkraft stehen (z.B. PV, Wind, verschiedene Speicherformen). Gleichzeitig führen politisch getriebene Entscheide zur Ausserbetriebnahme einzelner Technologien (z.B. Ausstieg aus Kernkraft und Kohle). Durch diese Entscheide ändert sich das Umfeld für die Wasserkraft deutlich. Weitere Einflussfaktoren, in welchen die Politik die Entwicklung vorgibt, sind die Liberalisierung des Strommarkts, eine Anpassung des Marktdesigns mit eventuellen

Energiewirtschaftliche Dynamik: stark regulatorisch geprägt

Korrekturen des heutigen Energy-Only-Markts und die verstärkte europäische Integration des Schweizer Strommarktes. Eine Anpassung des Energy-Only-Markts würde die Stromdienstleistungen Kapazität und Flexibilität stärken – eine Chance für Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke. Die verstärkte europäische Integration würde der Wasserkraft zusätzliche Chancen eröffnen, jedoch auch die Konkurrenz durch europäische Kraftwerke steigern.

Neben den politischen Rahmenbedingungen sind die globalen und europäischen Energie- und CO<sub>2</sub>-Preise Einflussfaktoren mit höchster Relevanz auf die Zukunftschancen der Wasserkraft. Die langfristige Entwicklung der Energiepreise hängt von sehr vielen Faktoren ab und ist schwer vorherzusagen. Aufgrund der vorgesehenen Massnahmen der Klimapolitik ist mit einem markanten Anstieg der CO<sub>2</sub>-Preise zu rechnen. Diese würde die Preise von Strom aus fossilen Kraftwerken deutlich verteuern und die Wasserkraft begünstigen.

Entwicklung der Energie und CO<sub>2</sub>-Preise

Im Gegensatz zu den regulatorischen Rahmenbedingungen ist die technologische Entwicklung stetiger und in ihren Auswirkungen besser vorhersagbar. Die technologische Entwicklung führt zur Verbesserung sowohl der Wasserkraft als auch von Technologien, die in Konkurrenz zur Wasserkraft stehen. Zentrales Bestimmungsmerkmal ist die technologische Reife der einzelnen Technologien. Bei einer sehr reifen Technologie wie der Wasserkraft sind keine grösseren Sprünge hinsichtlich Effizienz und Kostenreduktionen zu erwarten. Bei weniger reifen Technologien sind deutlichere Verbesserungen denkbar, die jedoch auch wieder schwieriger vorhersagbar sind. Dies gilt insbesondere hinsichtlich des Eintritts neuer Technologien, die das Umfeld für die Wasserkraft deutlich verändern könnten (bspw. Geothermie oder CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung).

Technologische Entwicklungen

Aufgrund der heutigen Rahmenbedingungen für die Wasserkraft, die durch eher tiefe Erträge für die Stromdienstleistungen und grosse Unsicherheiten während der langen Investitionsdauer gekennzeichnet sind, werden heute nur wenige Investitionen in Wasserkraftanlagen realisiert. Damit die Ziele der Energiestrategie 2050, die Ausbau- und Erneuerungsinvestitionen bedingen, erreicht werden können, müssen sich die Rahmenbedingungen stark verbessern. Ob die Marktentwicklungen ohne regulatorische Eingriffe durch die Schweizer Politik künftig zu einem genügend guten Investitionsklima führen werden, ist unklar. Aus heutiger Sicht sind zur Erreichung der Ziele der Energiestrategie 2050 regulatorische Eingriffe nötig.

Verbesserung der Rahmenbedingungen zur Erreichung der Ziele der Energiestrategie 2050 nötig

Sowohl beim Heimfall als auch bei der Neukonzessionierung, deren Konditionen Verhandlungssache sind, bestehen viele wirtschaftliche und rechtliche Fragen, deren Beantwortung für den reibungslosen Weiterbetrieb und künftige Investitionen in Kraftwerke von grosser Bedeutung sind.

Heimfall und Neukonzessionierungen

Viele der relevantesten Einflussfaktoren sind übergeordnete Treiber, durch globale oder europäische Dynamiken geprägt und über physische Gegebenheiten wie beim Klimawandel bestimmt. Die Rolle des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbands und seiner Mitglieder erfolgt vor diesem Hintergrund eher als Reaktion auf diese Einflussfaktoren. Die Beeinflussbarkeit

Beeinflussbarkeit durch SWV und dessen Mitglieder oft durch nachgelagerte Massnahmen

ergibt sich über eine optimale Ausrichtung auf veränderte Rahmenbedingungen.

Die Auswirkungen der naturbedingten Einflussfaktoren sind grundsätzlich gut absehbar und die Konsequenzen sind bekannt. Die Reaktion auf naturbedingte Einflussfaktoren umfasst insbesondere Massnahmen der Betriebsoptimierung, in dem die Wasserkraftanlagen entsprechend so angepasst werden, dass sie auch zukunftsgerichtet weiterhin funktionsfähig bleiben. Bei der Neuauslegung von Anlagen muss dem sich ändernden Abflussregime Rechnung getragen werden. Ansonsten stehen technische und betriebliche Massnahmen zur Geschiebeabweisung im Vordergrund.

Naturbedingte Einflüsse: Reaktion durch Betriebsoptimierung

Politische Entscheide und Rahmenbedingungen können das Marktumfeld für die Wasserkraft markant verbessern oder verschlechtern. Obwohl stark europäisch geprägt ist auch auf Schweizer Ebene ein entsprechender Gestaltungsspielraum vorhanden. Die Einflussnahme auf die Schweizer Entscheide ist ein möglicher Hebel des SWV und seiner Mitglieder, um die zukünftige Entwicklung der Wasserkraft positiv zu gestalten. Dabei kann insbesondere auf die Rolle der Wasserkraft bei der Erreichung der Ziele von Artikel 89 der Bundesverfassung sowie der Energiestrategie 2050 verwiesen werden. Neben der Beeinflussung politischer Entscheide ist das Erkennen von zukunftsfähigen und robusten Geschäftsmodellen der einzelnen Wasserkraftwerkstypen sowie die daraus folgende optimale Ausrichtung des Kraftwerkparks zentral.

Energiewirtschaftliche Einflüsse: politische Einflussnahme und Geschäftsmodelle

Auf unternehmerischer Ebene bestehen relevante Einflussmöglichkeiten vor allem im Kostenmanagement sowie bei Investitionsplanungen und -entscheiden. Zudem besteht Handlungsbedarf in der Beantwortung vieler wirtschaftlicher und rechtlicher Fragen im Zusammenhang mit Heimfällen und Neukonzessionierungen.

Unternehmerische Einflüsse: Kostenmanagement, Investitionen, Heimfall und Neukonzessionierungen

## A1 Quellenverzeichnis

- [1] BFE, 2012, Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050
- [2] BFE, 2013, Energiespeicher in der Schweiz: Bedarf, Wirtschaftlichkeit und Rahmenbedingungen im Kontext der Energiestrategie 2050
- [3] BFE, 2017, Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen von Stromproduktionsanlagen
- [4] BFE, 2017 Eckpfeiler eines schweizerischen Strommarktdesigns nach 2020
- [5] BFE, 2018, Rentabilität der Schweizer Wasserkraft
- [6] BFE, 2018, Schweizer Gesamtenergiestatistik 2017
- [7] BFS, 2017, Verteilung der Gebäude nach Energieträger
- [8] BFS, 2018, Die Bevölkerung der Schweiz 2017
- [9] Boes, R., 2018, Interview mit Prof. Dr. Robert Boes, Direktor VAW ETH Zürich, 27.11.18, durchgeführt von Christina Dübendorfer und Florian Howald.
- [10] Demiray, T., 2018, Interview mit Dr. T. Demiray, ETH Zürich, 22.11.2018, durchgeführt von Felix Ribi und Silvan Rosser (EBP)
- [11] Enerdata, 2018, Global Energy Statistik Jahrbuch 2018
- [12] Kanton Wallis, 2018, Inputs zu diversen Themen, Email vom 9.11.2018
- [13] Hänggi, P., 2018, Interview mit Dr. Pascal Hänggi, Kanton Wallis, 19.11.2018, durchgeführt von Felix Ribi und Silvan Rosser (EBP)
- [14] Hirschberg, S., 2018, Interview mit Dr. S. Hirschberg, Paul Scherrer Institut, 19.11.2018, durchgeführt von Michel Müller (EBP)
- [15] IEA, 2018, World Energy Outlook 2018
- [16] Krysiak, F., 2018, Interview mit Prof. Dr. F. Krysiak, Universität Basel, 12.11.2018, durchgeführt von Michel Müller und Silvan Rosser (EBP)
- [17] Leimgruber A., Felix D., Müller-Hagmann M., Boes R., 2018, Storage hydropower potential from dam heightening in Switzerland, VAW ETH Zürich.
- [18] National Center for Climate Services (NCCS), 2019, Schweizer Klimaszenarien CH2018, Link: <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/schweizer-klimaszenarien.html> (19.2.2019)
- [19] NELAK, 2013, Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken. Forschungsbericht NFP 61. Haerberli, W., Büttler, M., Huggel, C., Müller, H. & Schleiss, A. (Hrsg.). Zürich, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 300 S.
- [20] Pfammatter R., Semadeni Wicki N., 2018, Energieeinbussen aus Restwasserbestimmungen – Stand und Ausblick; Publiziert in «Wasser Energie Luft», Fachzeitschrift des SWV, 110. Jahrgang, Heft 4/2018, Seiten 233-245
- [21] Piot M., 2017, Wirtschaftlichkeit der Wasserkraft in der Schweiz, Wasserwirtschaft
- [22] Schaefli B., Manso P., Fischer M., Huss M., Farinotti D.: The role of glacier retreat for Swiss hydropower production. Renewable Energy (2018).
- [23] SWV, Roger Pfammatter, 2016, Schweizer Wasserkraft – Auslaufmodell oder Zukunftsmusik?
- [24] Universität Basel, Hannes Weigt, 2015, The Future of Swiss Hydropower - Drivers and Uncertainties
- [25] Universität Basel, Hannes Weigt, 2017, The Future of Swiss Hydropower: Is there money left somewhere? Interim Project Report
- [26] VSE, 2018, Energiewelten 2018
- [27] Weingartner, R., 2018, Interview mit Prof. Dr. R. Weingartner, Universität Bern, 20.11.18, durchgeführt von Christina Dübendorfer und Florian Howald.
- [28] Weingartner, R., Schädler, B. und Hänggi, P., 2013, Auswirkungen der Klimaänderung auf die schweizerische Wasserkraftnutzung, Geographica Helvetica, 68, 239–248.