



Bern, den 06. Dezember 2024

Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze

Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 21.3974 der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrats (UREK-N) vom 24. August 2021

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Sintesi	5
1 Postulat 21.3974	7
2 Ausgangslage und Zielsetzung	7
2.1 Energiepolitische Ziele	7
2.2 Auswirkungen des Klimawandels	7
2.3 Entwicklung alpiner Auen	8
3 Studien zur Entwicklung von Gletscherseen	8
3.1 Inventar bestehender Gletscherseen des Wasserforschungsinstituts Eawag	8
3.2 Entstehung zukünftiger Gletscherseen und Wasserkraftpotenzial	9
4 Schätzung des Wasserkraftpotenzials	10
4.1 Potenzial bis 2050	11
4.2 Potenzial nach 2050	12
5 Hindernisse für die Ausnutzung des Potenzials	12
5.1 Marktsituation und regulatorisches Umfeld.....	13
5.2 Konzessionsrechtliche Themen.....	13
5.3 Bewilligungsverfahren	14
5.4 Interessenkonflikte zwischen Wasserkraftnutzung und Umwelt- bzw. Landschaftsschutz.....	14
5.4.1 Biotope von nationaler Bedeutung	15
5.4.2 Inventare von Landschaften nationaler Bedeutung	18
5.4.3 UNESCO-Welterbestätten.....	20
6 Massnahmen zur optimalen Ausschöpfung des Potenzials	21
7 Fazit	22
8 Literatur	23
9 Anhang: Einbezogene Projekte	25

Zusammenfassung

Die im Zusammenhang mit der Gletscherschmelze freiwerdenden Flächen eröffnen ein Potenzial für verschiedene Nutzungen, unter anderem auch für die Erstellung von Speicherkraftwerken. Im Rahmen der Erarbeitung des vorliegenden Berichts wurden die bekannten Wasserkraftprojekte im periglazialen Gebiet¹ zusammengestellt, bereinigt und ausgewertet, welche bis 2050 technisch machbar wären. Die Potenziale wurden jeweils nach zusätzlicher Jahresproduktion sowie zusätzlich steuerbarer Winterproduktion unterschieden.

Es sind Projekte mit einem theoretischen Potenzial an zusätzlicher Jahresproduktion im Umfang von rund 1'470 Gigawattstunden (GWh) pro Jahr in periglazialen Gebieten bekannt. Von dieser zusätzlichen Produktion stammen 340 GWh pro Jahr von Ausbauten und 1'130 GWh pro Jahr von Neuanlagen. Darin enthalten sind auch die Projekte, welche im Anhang 2 des revidierten Stromversorgungsgesetzes (StromVG, SR 734.7) aufgeführt sind (545 GWh pro Jahr). Dieses Potenzial entspricht einem Drittel des notwendigen Bruttozubaues zur Erreichung der Zubauziele für die Wasserkraft gemäss Art. 2 Abs. 2 des Energiegesetzes.

Vom Potenzial an steuerbarer Winterproduktion (Saisonspeicherung) im periglazialen Umfeld von 2'430 GWh pro Jahr betreffen rund 1'300 GWh pro Jahr Ausbauten bestehender Speicher und 1'130 GWh pro Jahr Neuanlagen. Vom gesamten Potenzial stammen 1'395 GWh pro Jahr von den drei Projekten des Anhangs 2 des revidierten StromVG Trift, Grimsel und Gorner. Das Potenzial an steuerbarer Winterproduktion ist höher als das Potenzial an zusätzlicher Produktion, weil teilweise heute bereits turbinirtes, aber nicht gespeichertes Wasser, neu gespeichert werden könnte. Das noch bekannte Potenzial an Speicherezubau ausserhalb der periglazialen Gebiete beträgt rund 860 GWh pro Jahr und damit nur rund ein Drittel des Potenzials in periglazialen Gebieten. Diese Zahlen unterstreichen die Bedeutung des periglazialen Umfelds für die Erreichung der energiepolitischen Ziele.

Die periglazialen Gebiete weisen neben dem Potenzial für die Energieversorgung aber auch für verschiedene weitere Bereiche eine Bedeutung auf. Beim Biotopschutz betrifft dies primär die Bedeutung als Auenlebensraum. Vom beschriebenen Potenzial tangiert nur ein sehr kleiner Teil Auengebiete überhaupt nicht (20 GWh Jahresproduktion). Ein massgeblicher Teil der **Projekte** (540 GWh Jahresproduktion) würde Neuanlagen in bereits ausgeschiedenen Auengebieten im Inventar Auenverordnung bedingen. Solche sind ausgeschlossen und keiner **Interesserenabwägung** zugänglich, da es sich um neue Anlagen in Auengebieten von nationaler Bedeutung und damit Ausschlussgebiete gemäss Art. 12 Abs. 2 EnG handelt. Der überwiegende Teil der Projekte weist zwar Konflikte mit Auengebieten unterschiedlicher Schutzstufen auf, dabei handelt es sich aber nicht um Ausschlussgebiete (910 GWh Jahresproduktion), da diese Projekte primär Erweiterungen und Erneuerungen bestehender Anlagen betreffen. Eine Erstellung von neuen Kraftwerken in nach dem 1. Januar 2023 ausgeschiedenen Auengebieten ist zwar nicht ausgeschlossen, dürfte aber trotzdem eine hohe Hürde darstellen, insbesondere, wenn diese, wie im Falle der Gletschervorfelder noch natürlich sind.

Ein weiteres Konfliktpotenzial besteht mit den Gebieten im Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler (BLN). Der überwiegende Teil der Projekte befindet sich in solchen Gebieten, wobei auch hier eine Interessenabwägung möglich ist. Die Ausführungen zeigen, dass das Resultat der Interessenabwägung einen massgeblichen Einfluss auf die Ausschöpfung des theoretischen Potenzials haben wird.

¹ Im Rahmen dieser Untersuchungen werden die Gebiete innerhalb der Gletscherstände der kleinen Eiszeit (ca. 1850) als periglazial bezeichnet. Dies umfasst sowohl Gebiete, welche heute bereits eisfrei sind als auch solche, welche erst in Zukunft eisfrei werden.

Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze

Ein Drittel des Zubaupotenzials im periglazialen Gebiet bezogen auf die Jahresproduktion liegt in UNESCO-Welterbestätten. Betreffend die steuerbare Winterproduktion ist ein Sechstel davon betroffen. In solchen Fällen sind die internationalen Gremien der Welterbekonvention einzubeziehen, da die Projekte die entsprechenden Werte beeinträchtigen könnten.

Anstehende Konzessionserneuerungen, umweltrechtliche Bestimmungen insbesondere zum Restwasser sowie klimabedingte Herausforderungen sind für die Realisierungschancen des Potenzials im periglazialen Umfeld von zentraler Bedeutung. Betreffend Restwasser wurde bereits das Postulat 23.3007 «Anpassung der Restwasserbestimmungen für bestehende Wasserkraftwerke bei gleichzeitiger Verbesserung der Biodiversität der Gewässer» überwiesen, welches den Bundesrat beauftragt, spezifische Lösungen für die Verringerung der aus den Restwasserbestimmungen resultierenden Energieproduktionseinbussen zu finden. Massnahmen werden deshalb im Rahmen der Beantwortung dieses Vorstosses entwickelt. Betreffend Fragen der Restwertentschädigung wurde von der UREK-N die Motion 23.3021 «Erweiterungs- und Modernisierungsinvestitionen bei Wasserkraftanlagen sicherstellen» eingereicht und vom Nationalrat angenommen. Diese wurde jedoch am 10.6.2024 vom Ständerat abgelehnt.

Der mangelnden Wirtschaftlichkeit von Speicherprojekten unter Marktbedingungen wurde durch die Einführung von umfangreichen Förderinstrumenten begegnet. Es kann erwartet werden, dass ein massgeblicher Teil der bekannten Projekte mit der vorhandenen Förderung wirtschaftlich ist. Betreffend die Bewilligungsverfahren hat der Bundesrat die Beschleunigungserlass (23.051) in die parlamentarische Beratung geschickt. In diesen Bereichen werden deshalb im vorliegenden Bericht keine Massnahmen vorgeschlagen. Im Zusammenhang mit der Erreichung der Ausbauziele bei der Wasserkraft sind die neu zu verhandelnden Konzessionen jedoch als Hemmnis einzustufen.

Sintesi

Le superfici che si rendono disponibili a seguito dello scioglimento dei ghiacciai offrono un potenziale per diversi sfruttamenti, tra le altre cose anche per la costruzione di centrali idroelettriche ad accumulazione. Nell'ambito dell'elaborazione del presente rapporto, i progetti idroelettrici relativi alle zone periglaciali², già noti e tecnicamente realizzabili entro il 2050, sono stati raccolti, analizzati e valutati. È stata fatta una distinzione tra il potenziale di produzione annua supplementare e il potenziale di produzione invernale controllabile supplementare.

Si tratta di progetti noti che presentano un potenziale teorico di produzione annua supplementare di circa 1'470 gigawattora (GWh) nelle zone periglaciali, di cui 340 GWh all'anno provenienti da ampliamenti e 1'130 GWh all'anno provenienti da nuovi impianti. Sono compresi anche i progetti riportati nell'allegato 2 della revisione della legge sull'approvvigionamento elettrico (LAEI; RS 734.7) per 545 GWh all'anno. Tale potenziale corrisponde a un terzo dell'incremento lordo necessario per il raggiungimento degli obiettivi di incremento della produzione di energia idroelettrica secondo l'articolo 2 capoverso 2 della legge sull'energia (LEne; RS 730.0).

Del potenziale di produzione invernale controllabile (stoccaggio stagionale) in ambiente periglaciale, pari a 2'430 GWh all'anno, circa 1'300 GWh all'anno derivano da ampliamenti di centrali idroelettriche esistenti mentre 1'130 GWh all'anno da nuovi impianti. 1'395 GWh all'anno del potenziale complessivo provengono dai tre progetti Trift, Grimsel e Gorner dell'allegato 2 della LAEI riveduta. Il potenziale di produzione invernale controllabile è superiore al potenziale di produzione supplementare perché parte dell'acqua già oggi turbinata ma non immagazzinata potrebbe in futuro essere immagazzinata. Il potenziale noto di incremento dello stoccaggio al di fuori delle zone periglaciali è di circa 860 GWh all'anno e pertanto pari soltanto a circa un terzo del potenziale nelle zone periglaciali. Queste cifre sottolineano l'importanza dell'ambiente periglaciale per il raggiungimento degli obiettivi di politica energetica.

Le zone periglaciali sono importanti non soltanto per il potenziale legato all'approvvigionamento energetico, ma anche per aspetti legati a diversi altri settori. Nel contesto della protezione dei biotopi, tali zone sono rilevanti principalmente in quanto habitat golenale. Soltanto un'esigua parte del potenziale descritto non riguarda affatto le zone golenali (20 GWh di produzione annua). Una parte considerevole dei progetti (540 GWh/a) richiederebbe nuovi impianti all'interno delle zone golenali già delimitate che figurano nell'Inventario dell'ordinanza concernente la protezione delle zone golenali d'importanza nazionale (ordinanza sulle zone golenali; RS 451.31). Tali impianti non sono ammessi e non possono essere oggetto di ponderazione degli interessi poiché si tratta di nuovi impianti in zone golenali d'importanza nazionale e quindi in zone d'esclusione secondo l'articolo 12 capoverso 2 LEne. La maggior parte dei progetti presenta conflitti con zone golenali di diverso grado di protezione. Non sono però interessate le zone d'esclusione (910 GWh/a) in quanto i progetti in questione riguardano principalmente ampliamenti e rinnovamenti di impianti esistenti. Sebbene la costruzione di nuove centrali elettriche non sia esclusa nelle zone golenali delimitate dopo il 1° gennaio 2023, è probabile che tali zone rappresentino un notevole ostacolo ai progetti, soprattutto se allo stato naturale come nel caso dei margini proglaciali.

Un ulteriore potenziale di conflitto sussiste con le zone dell'Inventario federale dei paesaggi, siti e monumenti naturali d'importanza nazionale (IFP). La maggior parte dei progetti si trova in

² Nel contesto degli studi in questione sono definite periglaciali le zone che si trovano all'interno dei ghiacciai della piccola era glaciale (ca. 1850). Ciò include le zone che sono già oggi prive di ghiaccio e quelle che lo diventeranno solo in futuro.

Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze

queste zone e per gli stessi è possibile effettuare una ponderazione degli interessi. Le considerazioni mostrano che il risultato della ponderazione degli interessi incide in modo significativo sullo sfruttamento del potenziale teorico.

Un terzo del potenziale di incremento della produzione annua nelle zone periglaciali risiede nei siti iscritti nel patrimonio mondiale dell'UNESCO. Per quanto concerne la produzione invernale controllabile si tratta di un sesto del potenziale. In questi casi è necessario coinvolgere gli organismi internazionali della Convenzione sul Patrimonio mondiale, poiché i progetti potrebbero avere un impatto sul valore riconosciuto dei siti.

I futuri rinnovi di concessione, le disposizioni di diritto ambientale, in particolare quelle concernenti il deflusso residuale, nonché le sfide legate al clima sono elementi determinanti nell'ottica dello sfruttamento del potenziale in ambiente periglaciale. In relazione ai deflussi residuali è stato già trasmesso il postulato 23.3007 «Adattare le disposizioni sui deflussi residuali per le centrali idroelettriche esistenti migliorando contemporaneamente la biodiversità delle acque», che incarica il Consiglio federale di individuare soluzioni specifiche per ridurre le perdite di produzione d'energia derivanti dalle disposizioni sui deflussi residuali. Le misure vengono pertanto elaborate nel quadro della risposta al suddetto postulato. Per quanto concerne l'indennizzo sul valore residuo, la CAPTE-N ha presentato la mozione 23.3021 «Garantire gli investimenti mirati ad ampliare e modernizzare gli impianti idroelettrici», che è stata accolta dal Consiglio nazionale, mentre è stata respinta dal Consiglio degli Stati il 10 giugno 2024.

La scarsa redditività dei progetti di stoccaggio alle condizioni di mercato è stata contrastata con l'introduzione di strumenti di promozione di ampia portata. Ci si può attendere che i progetti noti saranno in massima parte redditizi con gli strumenti disponibili. Per quanto concerne le procedure di autorizzazione, il Consiglio federale ha sottoposto una modifica della legge sull'energia («atto sull'accelerazione» (23.051)) all'esame del Parlamento. Questo spiega perché il presente rapporto non contiene proposte di misure in questo ambito. In relazione al raggiungimento degli obiettivi di incremento della produzione idroelettrica, le concessioni oggetto di nuovi negoziati sono da considerarsi un ostacolo.

1 Postulat 21.3974

Das Postulat 21.3974 mit dem Titel «Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze» wurde am 24. August 2021 von der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrates (UREK-N) eingereicht und am 17. März 2022 vom Nationalrat angenommen.

Eingereichter Text

Der Bundesrat wird beauftragt, einen Bericht zum durch die Gletscherschmelze generierten Wasserkraftpotenzial vorzulegen. Im Bericht soll er gestützt auf das neue Inventar des Wasserforschungsinstituts Eawag das Potenzial der Wasserkraftproduktion aufzeigen ebenso wie die Massnahmen, die zur Nutzung des Potenzials der Gletscherseen zu ergreifen sind.

2 Ausgangslage und Zielsetzung

2.1 Energiepolitische Ziele

Im Bundesgesetz über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien wurden 16 Wasserkraftprojekte identifiziert, um 2 Terawattstunden (TWh) pro Jahr sicher abrufbare, klimaneutrale Winterstromproduktion zu realisieren. Die 16 Projekte beinhalten nebst Staumauererhöhungen auch 4 neue Anlagen in periglazialen Gebieten sowie ein grosses Laufwasserkraftwerk. Die durchschnittliche Stromproduktion aus Wasserkraft pro Jahr von heute 36,8 TWh soll bis 2035 auf 37,9 TWh und bis 2050 auf 39,2 TWh gesteigert werden. Dies unter Berücksichtigung der zu erwartenden Verluste durch die Restwasserbestimmungen sowie der Sanierung Wasserkraft.

Neue Speicherkraftwerke in periglazialen Gebieten können einen wesentlichen Beitrag zur Erfüllung dieser energiepolitischen Ziele der Schweiz leisten. Als wichtigster Beitrag ist die Erhöhung der Produktion und insbesondere der Winterproduktion zu nennen. Zudem wird durch die Schaffung von zusätzlichem Stauraum die Energiespeicherung erhöht, was der bedarfsgerechten Bereitstellung der Produktion dient. Besonders zu erwähnen ist, dass durch neue Kopfspeicher im obersten Einzugsgebiet der Flüsse auch die bestehende, in den meisten Fällen umfangreiche Kraftwerksinfrastruktur unterhalb von den Sommer-Winter-Verlagerungen profitiert, d.h. es gibt einen vielfachen Mehrwert, welcher in der vorliegenden Auswertung nicht beziffert ist. Dies im Gegensatz zu neuen Speichern in tieferen Lagen. Nicht zuletzt dienen die Speicherkraftwerke der Bereitstellung von Systemdienstleistungen und unterstützen damit die Stabilität des gesamten Energiesystems.

2.2 Auswirkungen des Klimawandels

Aufgrund des Klimawandels wird in der Schweiz die Schneefallgrenze weiter ansteigen und die Gletscherschmelze voranschreiten. Bis 2100 werden die Gletscher in der Schweiz gemäss den zurzeit verfügbaren Modellen zwischen 59 und 93 Prozent ihres Eisvolumens verlieren.³ Der

³ Ayala et al., 2020.

Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze

Klimawandel führt zudem zur Veränderung der jahreszeitlichen Verteilung des Niederschlags sowie zum Anstieg der Lufttemperatur.⁴

Mit dem Klimawandel und dem damit zusammenhängenden Auftauen des Permafrostes geht auch eine erhöhte Naturgefahrensituation einher. Auch dies kann dazu führen, dass das theoretische Potenzial nicht ausgeschöpft werden kann.

2.3 Entwicklung alpiner Auen

Die alpinen Auen werden gemäss Bundesinventar der Auen von nationaler Bedeutung in Gletschervorfelder⁵ und alpine Schwemmebenen⁶ unterteilt. 2016 betrug die Gesamtfläche aller Gletschervorfelder rund 842 km² und damit 2 Prozent der Landesfläche. Gemäss Schweizer et. al. (2023) werden die Gletschervorfelder bis 2040 je nach Klimaszenario um 27 bis 29 Prozent auf insgesamt rund 1'100 km² zunehmen. Bis 2100 wird die Zunahme zwischen 49 bis 104 Prozent betragen. Die freierwerdenden Flächen bieten Raum für verschiedenste Lebensräume⁷. Zuerst werden die Flächen durch Pioniervegetation besiedelt, längerfristig entwickelt sich auf waldfähigen Standorten Wald. Entlang der Fliessgewässer mit einem Gefälle von weniger als 10 Prozent und insbesondere in den flachen Überflutungsbereichen entstehen neue Flächen mit Auencharakter. Am Einlauf durchflossener Seen bilden sich Deltas. Werden durchflossene Seen mit Sedimenten aufgefüllt, findet anschliessend eine vergleichbare Entwicklung statt und es entstehen ebenfalls Flächen mit Auencharakter.

3 Studien zur Entwicklung von Gletscherseen

3.1 Inventar bestehender Gletscherseen des Wasserforschungsinstituts Eawag

Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs Eawag erstellte ein Inventar⁸ mit den seit der kleinen Eiszeit oder heute bestehenden Seen in ehemaligen Gletschergebieten. Zukünftig entstehende Seen wurden darin nicht erhoben. Ein Grossteil der 1'192 identifizierten Seen eignet sich aufgrund ihrer geringen Grösse nicht für die Erstellung von Stauseen. Im Eawag-Inventar wurde auch nicht evaluiert, ob im Umfeld der identifizierten Seen eine nutzbare Höhendifferenz besteht. Zudem wurden auch die Volumina der Seen als eine zentrale Grösse für eine potenzielle Speicherwasserkraftnutzung nicht erhoben. Aus diesen Gründen eignet sich das im Postulatstext erwähnte Inventar nur begrenzt zur Beantwortung der Fragestellung des vorliegenden Postulats.

⁴ Die dadurch hervorgerufenen Veränderungen der Abflüsse wie auch die zu erwartenden Auswirkungen auf die Wasserkraft sind in den hydrologischen Szenarien Hydro CH-2018 dargestellt. Siehe dazu: www.nccs.admin.ch > National Centre for Climate Services NCCS > Klimawandel und Auswirkungen > Hydrologische Szenarien Hydro-CH2018.

⁵ Der Lebensraum *Gletschervorfeld* umfasst die im Bereich des Gletscherendes liegenden Gebiete, die neuzeitlich eisbedeckt waren, sowie die räumlich unmittelbar damit verbundenen glazialen und glazifluvialen Akkumulationen.

⁶ Der Lebensraum *alpine Schwemmebene* umfasst im Sinne des Inventars flache Gebiete oberhalb von 1800 m ü. M., die von Überflutung und flächiger fluvialer Sedimentumlagerung geprägt werden, sowie die räumlich unmittelbar damit verbundenen relikten Flächen gleicher Entstehung.

⁷ Geo7, 2021.

⁸ Mölg et.al., 2021.

3.2 Entstehung zukünftiger Gletscherseen und Wasserkraftpotenzial

Die Abschätzung der Entstehung zukünftiger Gletscherseen basiert auf der Bestimmung der Geländeoberfläche unter den bestehenden Gletschern sowie der Annahme, dass sich in vorhandenen Senken Seen bilden werden. Kombiniert mit einem Gletscherrückzugsmodell ermöglichen diese Studien Aussagen über die Anzahl, das Volumen und den Zeitpunkt der Entstehung zukünftiger Gletscherseen.⁹

Unter den bestehenden Gletschern dürften insgesamt rund 3'600 Senken vorhanden sein, davon annähernd 700 mit einer Fläche von mehr als 5'000 m² und einer Tiefe von mindestens 5 Metern. Diese grösseren Seen weisen zusammen eine Fläche von 45,2 km² auf, was 4,7 Prozent des heute vergletscherten Gebiets entspricht. Sie verfügen über ein Volumen von insgesamt 1,16 km³. Für ein mittleres Klimaszenario gehen Steffen et al. (2022) davon aus, dass von diesem potenziellen Seevolumen 0,12 km³ bis 2050 und 0,56 km³ bis 2100 eisfrei werden. Die Anzahl der bis 2100 entstehenden Seen wird mit 381 bis 655 angegeben. Davon dürften rund 200 bereits bis 2050 eisfrei werden.

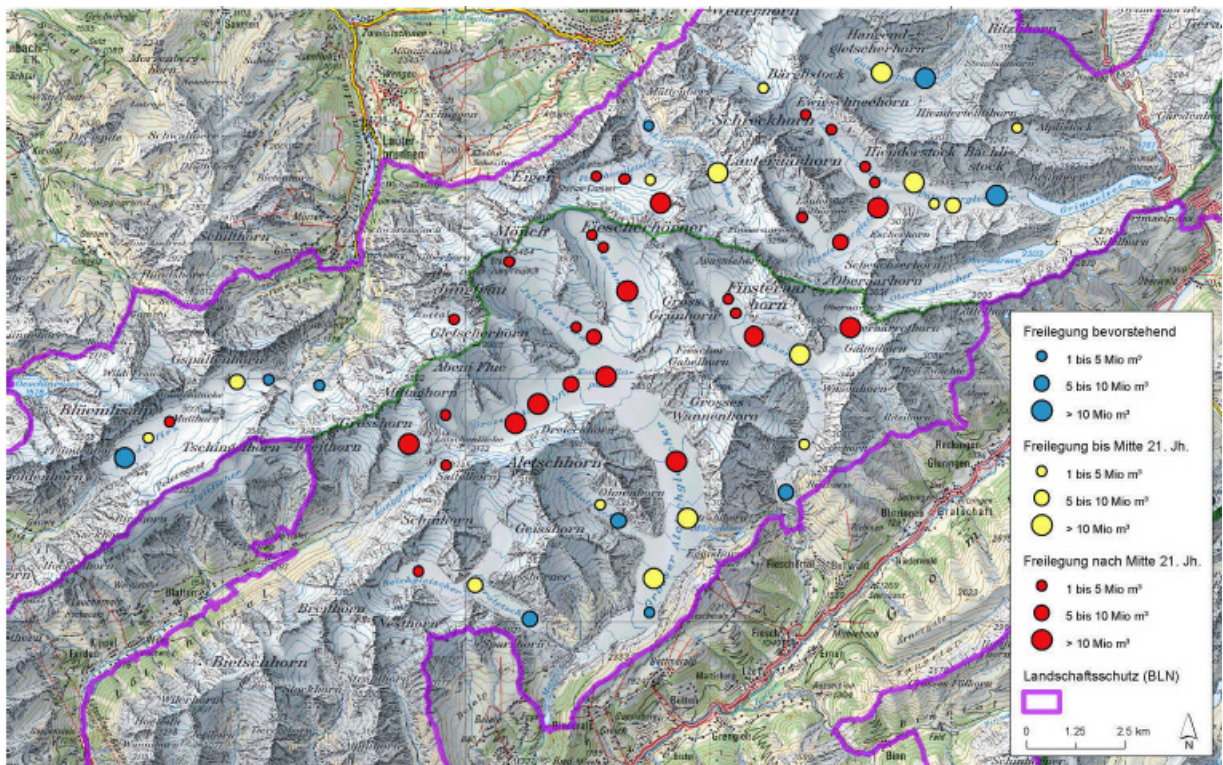


Abbildung 1: Modellierte Senken in den heute eisbedeckten Gletscherbetten der Aletschregion. Quelle: NELAK, 2013.

Die meisten Senken befinden sich unter den grossen Gletschern. Bei diesen benötigt das Abschmelzen am meisten Zeit, weshalb ein Teil dieser Senken erst spät freigelegt wird. Ob in diesen Senken Seen entstehen werden, «hängt u.a. davon ab, ob eine schluchtartige Entwässerungsrinne vorhanden ist und wie die Senken mit Sedimenten gefüllt werden.»¹⁰ Dabei ist zu beachten, dass eine massgebliche Anzahl der entstehenden Seen bis 2100 durch die Sedimentation bereits wieder verfüllt sein werden.

⁹ Linsbauer, 2012, NELAK, 2013, Gharehchahi et al., 2020 und Steffen et al., 2022.

¹⁰ NELAK, 2013, S.vi.

Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze

Die Entstehung eines natürlichen Gletschensees lässt noch keine Aussagen über das Wasserkraftpotenzial eines Standortes zu, da dazu noch weitere Anforderungen erfüllt sein müssen. Zunächst muss berücksichtigt werden, wann der entsprechende Standort eisfrei sein wird. Zudem müssen langfristig genügende Zuflüsse im Einzugsgebiet für eine regelmässige Füllung des Stausees vorhanden sein oder es muss die Möglichkeit der Zuleitung von zusätzlichem Wasser aus einem anderen Einzugsgebiet bestehen. Weiter muss in genügender Nähe eine ausreichende Gefällestufe vorhanden sein.

Nicht in allen Gletscherrückzugsgebieten entstehen neue Seen. Beim Vorhandensein einer geeigneten Sperrstelle können sie sich jedoch trotzdem für die Errichtung einer Staumauer eignen.

4 Schätzung des Wasserkraftpotenzials

Die Wasserkraftnutzung in Gletscherrückzugsgebieten ist ein Thema, welches intensiv bearbeitet worden ist und zu dem einige Vorarbeiten von Wasserkraftwerksbetreibern und Hochschulen vorliegen.

Im Rahmen der Erarbeitung des vorliegenden Berichts wurden die bekannten Wasserkraftprojekte zusammengestellt und damit das Potenzial abgeschätzt. Dabei wurden nebst wissenschaftlichen Arbeiten und den Abklärungen der Branche auch die im Rahmen des Runden Tisches und der Potenzialstudie des Bundesamtes für Energie (BFE 2019) bekannten Projekte berücksichtigt. Es ist darauf hinzuweisen, dass dabei der heutige Kenntnisstand abgebildet wurde, welcher teilweise mit grossen Unsicherheiten behaftet ist.

Zuerst wurde eine Liste möglicher Projekte erstellt. Diese wurde um Projekte bereinigt, welche sich gegenseitig ausschliessen, da sie beispielsweise dasselbe Wasser oder dieselbe Gefällstrecke nutzen. Weiterhin wurden Projekte ausgeschlossen, welche aus technischen Gründen offensichtlich nicht machbar sind oder deren Realisierung nur mit sehr grossem Aufwand möglich wäre. Dies können beispielsweise geologische Gründe sein, beispielsweise das Vorhandensein von Klüften, so dass kein See gestaut werden kann oder mangelnde Wasserverfügbarkeit, so dass der See nicht gefüllt werden könnte. Daraus ergibt sich das noch vorhandene technische Potenzial. Dabei wurden die wirtschaftlich-ökologischen Rahmenbedingungen nicht berücksichtigt.

Dieses technische Potenzial kann in Neuanlagen und Ausbauprojekte unterteilt werden. Bei Neuanlagen (neue Speicher) werden sämtliche massgeblichen Anlagenteile wie die Fassung, der Speicher, die Zuleitung und die Zentrale neu erstellt. Bei Ausbauprojekten (Speicherausbau) werden nur einzelne Anlagenteile wie beispielsweise die Erstellung eines neuen Speichers mit Einleitung in ein bestehendes Kraftwerkssystem neu erstellt.

Projekte im periglazialen Umfeld können erst realisiert werden, wenn die Staustelle und ein Grossteil der potenziellen Seefläche eisfrei sind. Dies ist bei den meisten der vorhandenen Projekte der Fall, so dass diese bereits heute realisiert werden könnten. Verschiedene Projektstandorte sind heute aber noch eisbedeckt und die Gletscher werden sich erst in den nächsten Jahrzehnten soweit zurückziehen, dass der Projektstandort eisfrei wird. Daher wurde zwischen Projekten, welche bis 2050 realisiert werden können, und solchen, welche erst nach 2050 realisiert werden können, unterschieden.

Die in die Auswertung einbezogenen Projekte sind im Anhang (Kap. 9) aufgeführt. In dieser Liste wurden sowohl die Projekte aufgeführt, welche bis 2050 realisiert werden könnten als auch diejenigen, welche erst nach 2050 realisiert werden könnten.

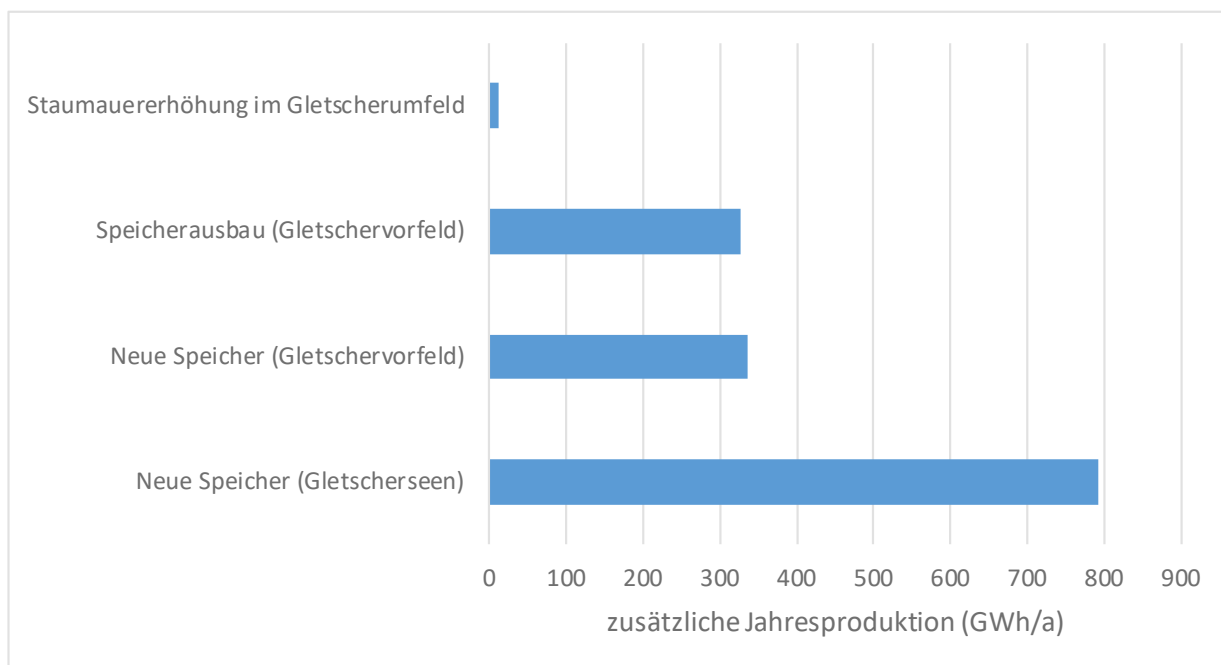
4.1 Potenzial bis 2050

Dem BFE sind Projekte mit einem Potenzial an zusätzlicher Jahresproduktion im Umfang von rund 1'470 GWh pro Jahr für Neu- und Ausbauprojekte in periglazialen Gebieten bekannt (Abbildung 2). Von dieser zusätzlichen Produktion stammen 545 GWh pro Jahr aus Projekten, welche im Anhang 2 des revidierten Stromversorgungsgesetzes (StromVG) aufgeführt sind. Davon handelt es sich bei 340 GWh pro Jahr um Ausbauten und bei 1'130 GWh pro Jahr um Neuanlagen.¹¹ Die Ausbauten können in Staumauererhöhungen (Beitrag zur Erhöhung der Jahresproduktion 12 GWh pro Jahr) und die Erstellung zusätzlicher Speicherkapazitäten in bestehenden Kraftwerkssystemen¹² unterteilt werden.

Die Wasserkraftproduktion der Schweiz betrug per 1. Januar 2023 rund 36,8 TWh¹³. Um den Zielwert 2050 von 39,2 TWh pro Jahr zu erfüllen, muss die Nettoproduktion um 2,4 TWh pro Jahr gesteigert werden. Aufgrund der zu erwartenden Minderproduktion durch die Restwasserbestimmungen beträgt der notwendige Bruttozubau mindestens 4,3 TWh pro Jahr. Produktionsminderungen infolge Betriebseinstellungen bei der Kleinwasserkraft oder Minderungen infolge der Sanierung Wasserkraft wurden dabei noch nicht berücksichtigt, diese sind jedoch von untergeordneter Bedeutung. Zu berücksichtigen ist ebenfalls, dass der Abfluss aus der Gletscherschmelze langfristig abnehmen wird und dass aufgrund der steigenden Schneefallgrenze ein grösserer Teil der Niederschläge als Regen sofort abflusswirksam werden wird und dadurch die Winterproduktion ansteigen wird.

Mit dem vorhandenen theoretischen Potenzial im periglazialen Umfeld könnte der notwendige Bruttozubau zu gut einem Drittel abgedeckt werden.

Abbildung 2: Potenzial zusätzliche Jahresproduktion (GWh/a) bis 2050 an periglazialen Standorten



¹¹ Summe aus «Neue Speicher (Gletschervorfeld)» und «Neue Speicher (Gletscherseen)».

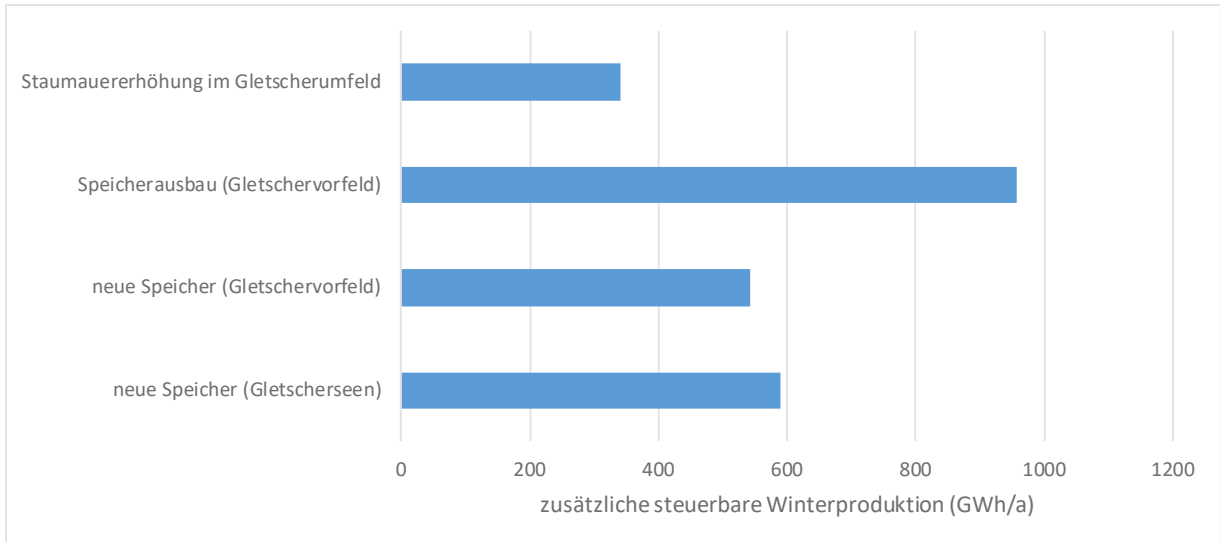
¹² Dabei wird teilweise neues oder zusätzliches Wasser gefasst.

¹³ Provisorische Angaben gemäss der Statistik der Wasserkraftanlagen. www.bfe.admin.ch > Versorgung > Statistik und Geodaten > Geoinformation > Geodaten > Wasser > Statistik der Wasserkraftanlagen.

Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze

Bezogen auf die steuerbare Winterproduktion existiert ein Potenzial von rund 2'430 GWh pro Jahr in periglazialen Standorten (Abbildung 3). Davon stammt 1'395 GWh pro Jahr von den drei Projekten des Anhangs 2 des revidierten StromVG Trift, Grimsel und Gorner. Vom Potenzial im periglazialen Umfeld betreffen rund 1'300 GWh pro Jahr Ausbauten bestehender Speicher und 1'130 GWh pro Jahr Neuanlagen.

Abbildung 3: Potenzial zusätzliche steuerbare Winterproduktion (GWh pro Jahr) an periglazialen Standorten bis 2050.



Neben dem Speicherpotenzial im periglazialen Umfeld ist ein zusätzliches Potenzial bei der Erstellung neuer Speicher sowie bei Staumauererhöhungen vorhanden, welches nicht dem periglazialen Umfeld zuzurechnen ist. Dieses Potenzial aus bekannten Projekten ausserhalb der periglazialen Gebiete beträgt rund 860 GWh pro Jahr und damit nur rund ein Drittel des Potenzials in periglazialen Gebieten. Diese Zahlen unterstreichen die Bedeutung des periglazialen Umfelds für die Erreichung der energiepolitischen Ziele.

4.2 Potenzial nach 2050

Auch nach 2050 werden durch die Gletscherschmelze noch weitere Gebiete eisfrei werden, welche sich für die Wasserkraftnutzung eignen. Aufgrund des langen Zeithorizontes wurden an diesen Stellen bisher i.d.R. noch keine Projektierungen durchgeführt. Deshalb kann für die Periode nach 2050 kein Gesamtpotenzial angegeben werden. Dem BFE sind jedoch einige Projekte und Projektideen bekannt, bei welchen der Bereich des Speichersees erst nach 2050 eisfrei werden wird und die deshalb auch erst dann realisiert werden könnten. Diese weisen ein theoretisches Potenzial an zusätzlicher Jahresproduktion von 150 GWh pro Jahr und von 600 GWh pro Jahr an zusätzlicher steuerbarer Winterproduktion auf.

5 Hindernisse für die Ausnutzung des Potenzials

Die periglazialen Gebiete weisen neben dem Potenzial für die Energieversorgung auch für verschiedene weitere Bereiche eine Bedeutung auf, unter anderem als Element der Landschaft oder als Gewässer- und Lebensraum. Natürlich entstehende Gletscherseen in solchen Gebieten können zudem eine Naturgefahr darstellen. Gleichzeitig können Wasserkraftanlagen auch von Naturgefahren betroffen sein. Zu erwähnen sind auch die Interessen für die Trinkwasserversorgung und für den Bergtourismus. Daraus ergeben sich verschiedenen Interessen, die der Erstellung von Wasserkraftwerken zuwiderlaufen können.

Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze

Neben diesen standortgebundenen Voraussetzungen sind auch übergeordnete Rahmenbedingungen massgeblich, ob ein Kraftwerk realisiert werden kann oder nicht. Zu nennen sind hier primär das politische Umfeld sowie konzessionsrechtliche Rahmenbedingungen.

5.1 Marktsituation und regulatorisches Umfeld

Verschiedene Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von bestehenden Anlagen¹⁴ sowie für Erweiterungen und Neuanlagen¹⁵ haben gezeigt, dass Projekte neuer Wasserkraftwerke im jeweiligen Marktumfeld nicht rentabel betrieben werden konnten. Daran hat sich im Grundsatz bis heute nichts geändert. Als Reaktion darauf wurden im Rahmen der Energiestrategie 2050 entsprechende Förderinstrumente wie die Marktprämie und die Investitionsbeiträge eingeführt. Mit dem Bundesgesetz über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien wird die Förderlandschaft mit Projektierungsbeiträgen sowie einer gleitenden Marktprämie ergänzt. Projekte mit einer massgeblichen Zunahme der Jahresproduktion sind in der Regel rentabler als Projekte, welche eine reine Umlagerung vom Sommer in den Winter bewirken. Dies liegt daran, dass Staumauererhöhungen kaum zusätzliche Energie erzeugen und sich so rein mit der Preisdifferenz zwischen Sommer und Winter finanzieren müssen. Bei Projekten mit Zusatzenergie kann hingegen der gesamte Energiepreis zur Finanzierung der Kosten genutzt werden.

Die Rentabilität wurde bei der Bestimmung des in Kap. 4 dargestellten, theoretischen Potenzials nicht beurteilt, da die notwendigen Grundlagen nicht vorliegen und dies sehr umfangreiche Berechnungen vorausgesetzt hätte. Es kann jedoch erwartet werden, dass ein massgeblicher Teil der bekannten Projekte mit der vorhandenen Förderung wirtschaftlich sein dürfte. Eine Erhöhung der Förderung erscheint zudem aus Gründen der Fördereffizienz nicht sinnvoll.

5.2 Konzessionsrechtliche Themen

Verschiedene Kantone haben in den letzten Jahren Wasserkraftstrategien entwickelt. Diese zielen darauf ab, einen grösseren Teil der Wertschöpfung der Wasserkraft im eigenen Kanton zu realisieren. Für die heutigen Konzessionäre bedeutet dies, dass sie nach Ablauf der Konzession das Verfügungsrecht über die Anlage ganz oder zumindest teilweise verlieren werden. Die damit einhergehende Unsicherheit, wirkt sich auf deren Bereitschaft aus, gegen Ende der Konzession Erneuerungs- und Erweiterungsprojekte zu realisieren. Staumauererhöhungen sind jedoch mit hohen Investitionen verbunden, welche nicht in der laufenden Konzession amortisiert werden können.

Im Bundesgesetz über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte vom 22. Dezember 1916 (Wasserrechtsgesetz, WRG, SR 721.80) besteht das Instrument der Restwertvereinbarung. Modernisierungs- und Erweiterungsinvestitionen werden beim Heimfall dem Konzessionär vergütet, sofern er die Modernisierung oder Erweiterung in Absprache mit dem heimfallberechtigten Gemeinwesen vorgenommen hat. Für die Bestimmung des Restwertes gibt das Gesetz einige Hinweise, lässt aber einen gewissen Spielraum offen (Art. 67, Abs. 4 Wasserrechtsgesetz). Der Restwert muss zwischen Konzessionär und Konzedenten verhandelt werden. Die Analyse von Praxisfällen hat gezeigt, dass die Restwertvereinbarungen zwar wichtig sind, aber auch zu verschiedenen Streitfällen geführt haben und teilweise gar keine Lösung gefunden werden konnte. Diskussionen mit Betreibern und Kantonen haben auch gezeigt, dass die Konzedenten bei einer Projektierung nicht nur Angaben zum Projekt verlangen, sondern die Gesamtsicht der

¹⁴ BFE, 2014.

¹⁵ BFE, 2013.

Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze

Wasserkraftanlage sehen möchten. Dies hat zur Folge, dass bei einer Erweiterung de facto bereits die Heimfallverhandlungen des gesamten Kraftwerks vorgezogen werden müssen.

Aktuell gibt es hier nur die Lösung auf dem Verhandlungsweg. Tendenziell wird mit grösseren Veränderungen und Investitionen bis zum Ablauf der bestehenden Konzession zugewartet, was dazu führt, dass auch der notwendige Zubau erst später realisiert wird. Auch ein Ausbau nach einer Konzessionserneuerung ist nicht sicher, da es meist rentabler ist, die bestehende Anlage ohne grosse Ausbauten weiterlaufen zu lassen.

Die Risiken, welche mit der Konzessionserteilung zusammenhängen wurden beim im Kap. 4 dargestellten, theoretischen Potenzial nicht beurteilt, da der Erfolg der Verhandlungen zwischen Konzedent und Konzessionär nicht vorausgesagt werden kann. Im Zusammenhang mit der Erreichung der Ausbauziele bei der Wasserkraft sind die neu zu verhandelnden Konzessionen jedoch als Hemmnis einzustufen.

5.3 Bewilligungsverfahren

Als weiteres Hindernis werden die komplexen und langwierigen Planungs-, Bewilligungs- und Rechtsmittelverfahren betrachtet. Vorhaben mit gewichtigen Auswirkungen auf Raum und Umwelt bedürfen einer Grundlage im kantonalen Richtplan (Art. 8 Abs. 2 Raumplanungsgesetz). Davon ausgenommen sind Speicherwasserkraftwerke nach Anhang 2 des revidierten StromVG an bestehenden Standorten. Unabhängig davon müssen die Kantone geeignete Gebiete und Gewässerstrecken für Wasserkraftanlagen im kantonalen Richtplan ausscheiden. Nach der Richtplanung wird das Konzessionsverfahren, allenfalls mit einer Umweltverträglichkeitsprüfung, durchgeführt. Ist für die Realisierung der Anlage eine Rodungsbewilligung oder eine gewässerschutzrechtliche Bewilligung notwendig, muss geprüft werden, ob diese erteilt werden können. Danach folgt das Baubewilligungsverfahren einschliesslich der oft notwendigen baurechtlichen Bewilligungen für Bauten und Anlagen ausserhalb der Bauzone. Die Kantone sind nach geltendem Recht verpflichtet, die verschiedenen Verfahren zu koordinieren (Art. 25a Raumplanungsgesetz). Sowohl gegen die Konzession als auch gegen die Baubewilligung steht jeweils der Rechtsweg bis vor das Bundesgericht offen. Die Gemeinden können auch Beschwerde gegen die entsprechende Richtplanfestlegung wegen Verletzung ihrer Gemeindeautonomie führen.

Damit können bei grossen Energieanlagen zwischen Projektierungsbeginn und Realisierung über 20 Jahre verstreichen. Der Bundesrat hat deshalb am 21. Juni 2023 eine Botschaft zur Änderung des Energiegesetzes vom 30. September 2016 (SR 730.0) verabschiedet, um die Verfahren für die Planung, den Bau, die Erweiterung und die Erneuerung von grossen Elektrizitätserzeugungsanlagen zu vereinfachen und zu beschleunigen. Die Massnahmen konzentrieren sich primär auf Solar- und Windenergieanlagen. Die Wasserkraft würde einzig davon profitieren, dass es zukünftig für Anlagen von nationalem Interesse nur noch eine kantonale Rechtsmittelinstanz geben würde. Diese Vorlage befindet sich zurzeit in der parlamentarischen Beratung.

5.4 Interessenkonflikte zwischen Wasserkraftnutzung und Umwelt- bzw. Landschaftsschutz

Gemäss schweizerischem Recht sind verschiedene Schutzgebietskategorien mit unterschiedlichen Zielen und Schutzgraden vorhanden. Die jeweils zu schützenden Naturwerte sind häufig an bestimmte naturräumliche Voraussetzungen gekoppelt. Trockenwiesen sind beispielsweise an Trockenstandorte gebunden oder Auen an Gewässerläufe. Entsprechend zeigen nicht

Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze

alle Schutzgebietskategorien gleich grosse Überschneidungen mit den hier untersuchten Potenzialen im periglazialen Umfeld.

Durch den Klimawandel werden kälteliebende Arten in höhere Sphären verdrängt. Die Gletscherschmelze legt heute mit Eis bedeckte Gebiete frei, wodurch Ersatzlebensräume für diese kälteliebenden Arten entstehen. Mit der vermehrten Nutzung dieser Gebiete für künstliche Seen und Infrastrukturen würde dieser Lebensraum gestört und die Zunahme dieser Rückzugshabitate reduziert.

Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung, Trockenwiesen und -weiden sowie die Schutzgebiete gemäss dem Übereinkommen über Feuchtgebiete, insbesondere als Lebensraum für Wasser- und Watvögel von internationaler Bedeutung zeigen nur sehr geringe Überschneidungen mit Wasserkraftprojekten im periglazialen Umfeld. Diese werden deshalb im vorliegenden Bericht nicht näher dargestellt. Demgegenüber weisen Auengebiete und Gebiete des Bundesinventars der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung die grössten Überschneidungen mit dem hier untersuchten Potenzial auf, weshalb auf diese beiden Kategorien genauer eingegangen wird. Massgebliche Überschneidungen sind ebenfalls für das UNESCO-Weltnaturerbe vorhanden.

Von den Schutzgebieten gemäss der Verordnung über die Abgeltung von Einbussen bei der Wasserkraftnutzung vom 25. Oktober 1995 (VAEW, SR 721.821)¹⁶ ist nur ein bereits in Entwicklung befindliches Projekt betroffen (100 GWh pro Jahr Jahresproduktion, 50 GWh pro Jahr steuerbare Winterproduktion), wobei Verhandlungen für eine Auflösung des VAEW-Vertrages im Gange sind.

5.4.1 Biotop von nationaler Bedeutung

Es sind fünf verschiedene Inventare von Biotopen von nationaler Bedeutung in Kraft. Die Hoch- und Flachmoore von nationaler Bedeutung geniessen einen absoluten Schutz und werden hier nicht weiter behandelt, da keine Projekte in solchen Gebieten vorhanden sind und solche Projekte ohnehin ausgeschlossen wären. Weitere Inventare sind die Auengebiete, die Amphibienlaichgebiete und die Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung. In Zusammenhang mit der Wasserkraft sind primär die Auengebiete von nationaler Bedeutung betroffen.

Die Auengebiete von nationaler Bedeutung sind im Anhang 1 der Verordnung über den Schutz der Auengebiete von nationaler Bedeutung vom 28. Oktober 1992 aufgelistet. Darunter sind 54 Gletschervorfelder und 14 alpine Schwemmebenen zu finden.

Gemäss Artikel 12 Abs. 2 des geltenden Energiegesetzes sind neue Wasserkraftwerke in Biotopen von nationaler Bedeutung (und damit auch in Auengebieten) ausgeschlossen. Mit Inkrafttreten des Bundesgesetzes über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien wird dieser absolute Ausschluss für Wasserkraftprojekte von nationalem Interesse in drei Fällen aufgehoben und entsprechende neue Wasserkraftprojekte von nationalem Interesse der Interessenabwägung zugänglich (neu Art. 12 Abs. 2bis):

1. Für Auengebiete, bei welchen es sich um Gletschervorfelder oder alpine Schwemmebenen handelt, sofern diese nach dem 1. Januar 2023 in das Inventar aufgenommen worden sind.

¹⁶ Verzichtet ein Gemeinwesen in einer schützenswerten Landschaft von nationalem Interesse auf eine mögliche Wasserkraftnutzung, so kann es eine Teilentschädigung (entgangene Wasserzinsen) beim Bund beantragen. Die Entschädigungen sind an vertraglich vereinbarte Schutzziele geknüpft.

Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze

2. Bei Schwall-Ausleitkraftwerken zur ökologischen Sanierung nach Artikel 39a des Gewässerschutzgesetzes, wenn wesentliche Beeinträchtigungen der Schutzziele des betroffenen Objektes beseitigt werden können.
3. In Fällen, in denen lediglich die Restwasserstrecke im Schutzobjekt zu liegen kommt.

Erweiterungen von Wasserkraftanlagen in Biotopen von nationaler Bedeutung sind nicht a priori ausgeschlossen und damit der Interessenabwägung zugänglich.

Ein Abweichen vom Schutzziel ist nur zulässig für unmittelbar standortgebundene Vorhaben, die dem Schutz des Menschen vor schädlichen Auswirkungen des Wassers oder einem anderen überwiegenden öffentlichen Interesse von ebenfalls nationaler Bedeutung dienen. Ihr Verursacher ist zu bestmöglichen Schutz-, Wiederherstellungs- oder ansonst angemessenen Ersatzmassnahmen zu verpflichten (Art. 4 Abs. 2 Auenverordnung). Projekte nach Anhang 2 des revidierten StromVG müssen zudem zusätzliche Ausgleichsmassnahmen zum Schutz von Biodiversität und Landschaft vorsehen.

Die Auen ausserhalb des Bundesinventars stellen schutzwürdige Flächen nach Artikel 18 Absatz 1^{ter} des Bundesgesetzes über den Natur- und Heimatschutz (NHG) ohne besonderen Schutzstatus dar, jedenfalls solange nicht auf kantonaler Ebene Schutzgebiete geschaffen wurden.

Mit dem Abschmelzen der Gletscher werden verschiedene Flächen freigelegt werden, welche Auencharakter aufweisen werden. Je nach deren Grösse können diese in Zukunft auch nationale Bedeutung erlangen. Geo7 (2021) hat die mögliche Entwicklung der Gletschervorfelder bis 2100 analysiert und schlägt vor, dass für 13 Gebiete mit erhöhtem Schutzbedarf eine raumplanerische Sicherung als «Vorranggebiete Biodiversität» – entweder als Auengebiet von nationaler Bedeutung oder als kantonales Schutzgebiet – anzustreben sei. Diese Flächen wurden in der nachfolgenden Auswertung als neue potenzielle Auengebiete ausgewiesen. Diese Flächen würden – sofern sie nicht vor dem 1. Januar 2023 inventarisiert worden sind – nicht als Ausschlussgebiete gelten. Auch in diesen Fällen dürfte die Realisierung von neuen Anlagen eine hohe Hürde darstellen. Das Bundesgericht hat in seinem Urteil zu Lugnez¹⁷ erwogen, dass «Auen mit einem vollständigen oder weitgehend intakten Gewässer- und Geschiebehaushalt [...] aufgrund der weitgehenden Nutzung der Wasserkraft in der Schweiz selten geworden [sind], weshalb die Interessenabwägung auch nach allgemeinen Grundsätzen in der Regel zugunsten ihres vollumfänglichen Schutzes ausfallen wird» und entsprechend Wasserkraftprojekte nicht bewilligt werden dürften.

5.4.1.1 Auswirkungen auf Jahresproduktion

Nur ein sehr kleiner Teil der Speicherprojekte im periglazialen Umfeld (rund ein Prozent bezogen auf die mögliche Jahresproduktion) ist gar nicht vom Auenschutz betroffen. In diesen Fällen überlagern sich weder Anlagenteile noch eine mögliche Restwasserstrecke mit Auengebieten, seien es solche von nationaler Bedeutung oder solche, welche nicht von nationaler Bedeutung sind (Abbildung 4). Dies bedeutet, dass es bei fast allen Projekten einen potenziellen Konflikt zwischen dem Auenschutz und der Nutzung geben wird.

Ein Drittel der Neubauprojekte (540 GWh pro Jahr) würden Anlagenteile in bereits ausgeschiedenen Auengebieten im Inventar Auenverordnung bedingen. Diese sind gemäss heute gelten-

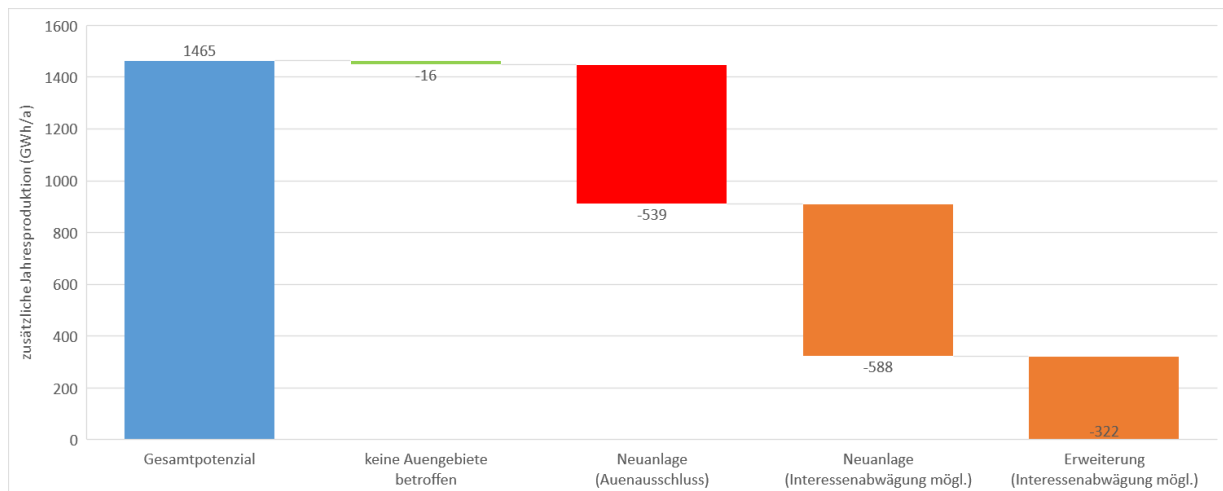
¹⁷ BG-Urteil vom 12. Oktober 2016, 1C_526/2015, 1C_528/2015.

Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze

dem Recht und auch nach Inkraftsetzung des Bundesgesetzes über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien ausgeschlossen und keiner Interessenabwägung zugänglich (rote Säule).

Projekte im Umfang von 910 GWh pro Jahr weisen zwar Konflikte mit Auengebieten (Auengebiete auf Restwasserstrecke, Erweiterungen im Bereich von Auen, Anlagen in Gletschervorfeldern) auf, sind jedoch keine Ausschlussgebiete (orange Säulen).

Abbildung 4: Auswirkungen Auengebiete auf Speicherkraftwerke mit Gletscherbezug (Jahresproduktion GWh pro Jahr)



5.4.1.2 Auswirkungen auf Stromspeicherung

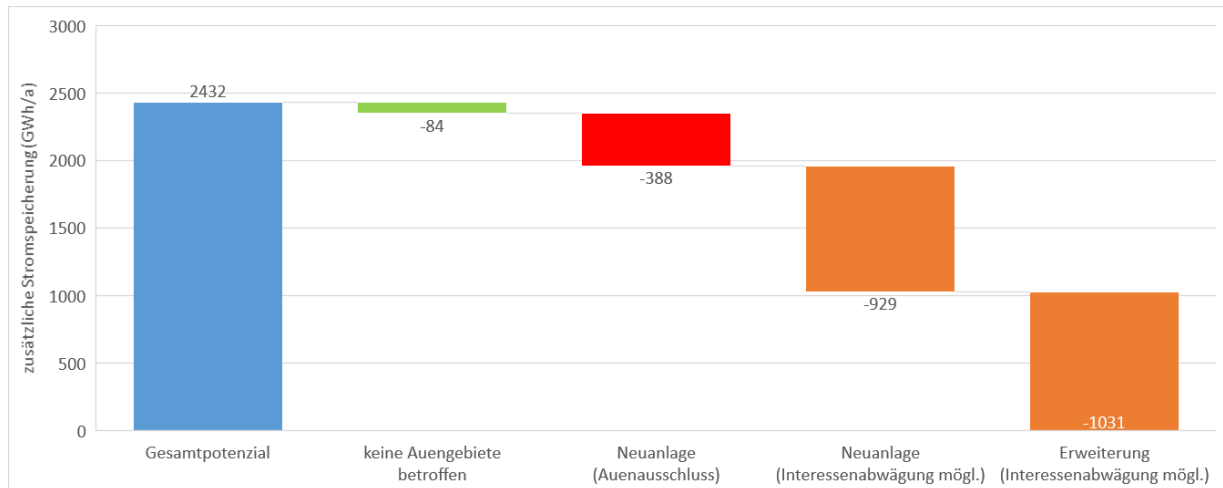
Bezogen auf die steuerbare Winterproduktion ist ebenfalls nur ein sehr kleiner Teil der Speicherprojekte im periglazialen Umfeld (rund 3 Prozent bezogen auf die mögliche Stromspeicherung) nicht vom Biotopschutz betroffen, d.h. weder Anlagenteile noch eine mögliche Restwasserstrecke überlagern sich mit Auengebieten, seien es solche von nationaler Bedeutung oder solche, welche nicht von nationaler Bedeutung sind (Abbildung 5).

Bezüglich der steuerbaren Winterproduktion ist ein kleinerer Anteil von 388 GWh pro Jahr (alle Neuanlagen) gemäss heute geltendem Recht in einem Ausschlussgebiet und keiner Interessenabwägung zugänglich.

1'963 GWh pro Jahr steuerbare Winterproduktion weisen eine Überschneidung mit Aueninventarobjekten auf, welche jedoch keine Ausschlussgebiete darstellen. Dies umfasst Projekte, die Auenobjekte tangieren, welche nicht von nationaler Bedeutung sind, bei welchen sich aber Auengebiete auf der Restwasserstrecke befinden oder bei Erweiterungen bestehender Anlagen.

Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze

Abbildung 5: Auswirkungen Auengebiete auf Speicherkraftwerke mit Gletscherbezug (steuerbare Winterproduktion, GWh pro Jahr)



5.4.2 Inventare von Landschaften nationaler Bedeutung

Zu den Inventaren des Bundes von nationaler Bedeutung nach Artikel 5 des Bundesgesetzes über den Natur- und Heimatschutz (NHG) zählen das Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN), das Bundesinventar der schützenswerten Ortsbilder der Schweiz von nationaler Bedeutung (ISOS) sowie das Bundesinventar der historischen Verkehrswege der Schweiz (IVS). In Bezug auf die Realisierung des Potenzials in periglazialen Gebieten ist primär das BLN relevant.

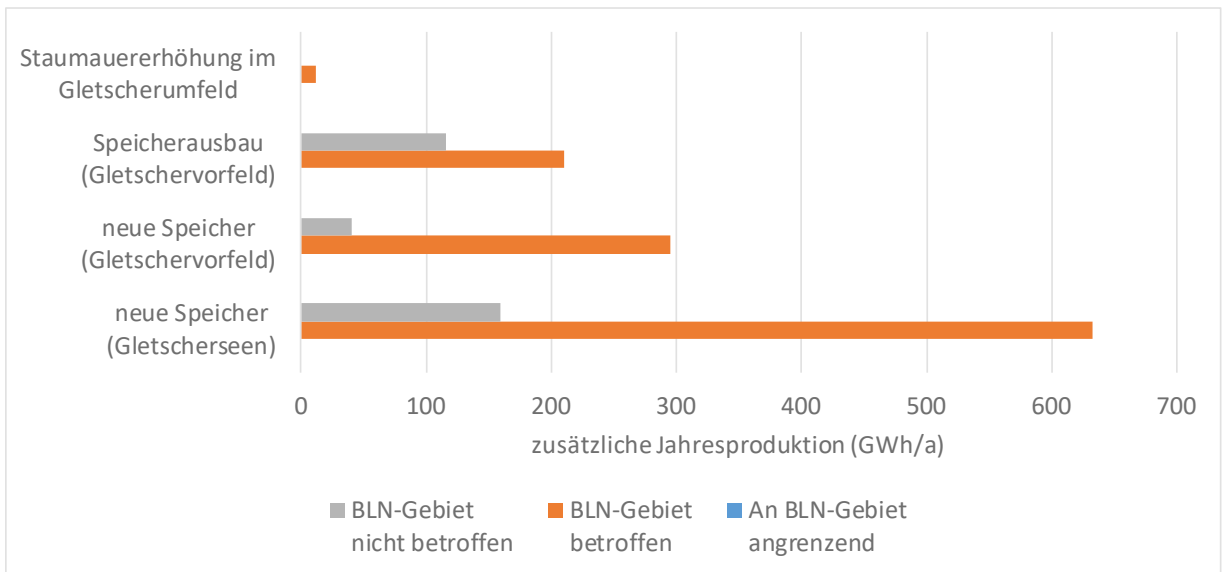
Die Objekte der erwähnten Inventare sind ungeschmälert zu erhalten, jedenfalls aber unter Einbezug von Schutz-, Wiederherstellungs- oder angemessenen Ersatzmassnahmen möglichst zu schonen. Bei der Erfüllung von Bundesaufgaben – die Erteilung von Wasserkraftkonzessionen stellt eine solche dar – darf nach Artikel 6 NHG bei einem schwerwiegenden Eingriff in das Schutzobjekt ein Abweichen von der ungeschmälerten Erhaltung nur in Erwägung gezogen werden, wenn der Erhaltung gleich- oder höherwertige Interessen von ebenfalls nationaler Bedeutung entgegenstehen. Nur für Kraftwerksprojekte von nationalem Interesse darf von der ungeschmälerten Erhaltung grundsätzlich abgewichen werden. In diesen Fällen darf die Interessenabwägung zwischen Schutz- und Nutzungsinteressen durchgeführt werden, wobei deren Resultat generell durch die nationale Bedeutung nicht präjudiziert wird. Einzig bei Kraftwerken gemäss Artikel 9a Absatz 3 Bst. d des revidierten StromVG gilt, dass das Interesse an der Realisierung grundsätzlich anderen Interessen von nationaler Bedeutung vorgeht.

5.4.2.1 Auswirkungen auf Jahresproduktion

Vom gesamten Potenzial in periglazialen Gebieten von 1'470 GWh pro Jahr befinden sich Projekte mit einem Potenzial von 1'150 GWh pro Jahr in BLN-Gebieten, wovon 930 GWh pro Jahr Neuanlagen sind und 220 GWh pro Jahr Erweiterungen (Abbildung 6). Die Wasserkraftprojekte sind von ihrem Potenzial her allesamt von nationalem Interesse. Folglich kann unter Umständen vom ungeschmälerten Erhalt abgewichen werden.

Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze

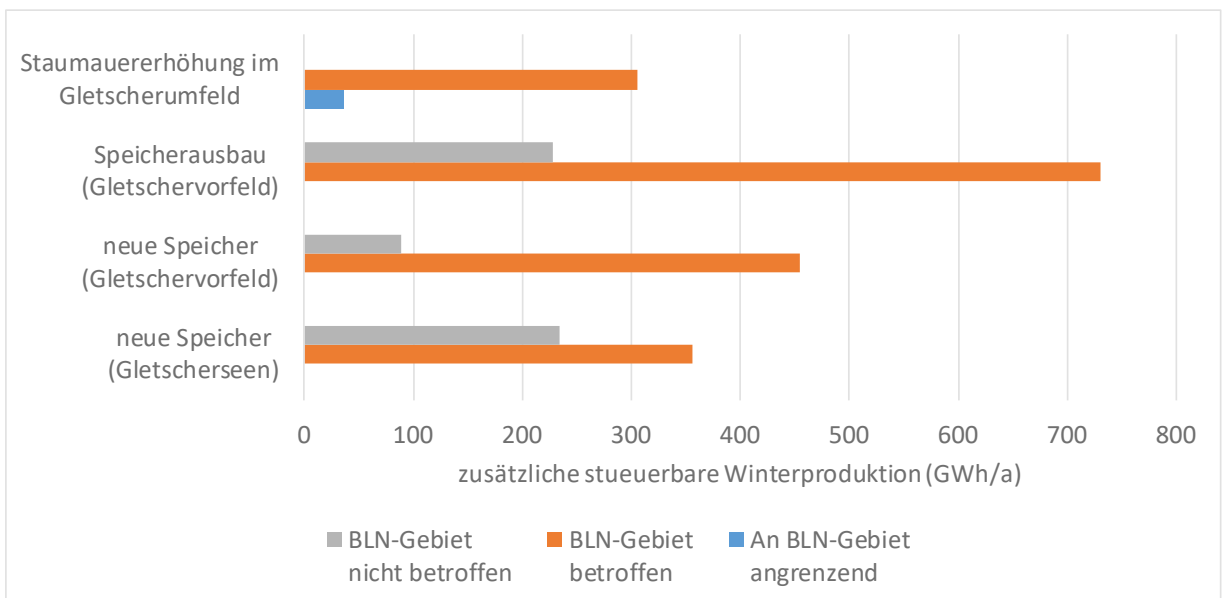
Abbildung 6: Potenzial für zusätzliche Jahresproduktion (GWh pro Jahr) bis 2050 an periglazialen Standorten und deren Überlagerung mit Gebieten gemäss Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung



5.4.2.2 Auswirkungen auf Stromspeicherung

Vom gesamten Stromspeicherpotenzial in periglazialen Gebieten von 2'432 GWh pro Jahr befinden sich Projekte mit einem Speicherpotenzial von 1'845 GWh pro Jahr in BLN-Gebieten. Speicherpotenziale von 587 GWh pro Jahr befinden sich ausserhalb von BLN-Gebieten, wobei davon Projekte mit einem Speicherpotenzial von 36 GWh pro Jahr direkt an ein BLN-Gebiet angrenzen. Bei den periglazialen Projekten liegt bei keinem Projekt nur die Restwasserstrecke in einem BLN-Gebiet.

Abbildung 7: Potenzial für zusätzliche steuerbare Winterproduktion (GWh/a) bis 2050 an periglazialen Standorten und deren Überlagerung mit BLN-Gebieten 2050

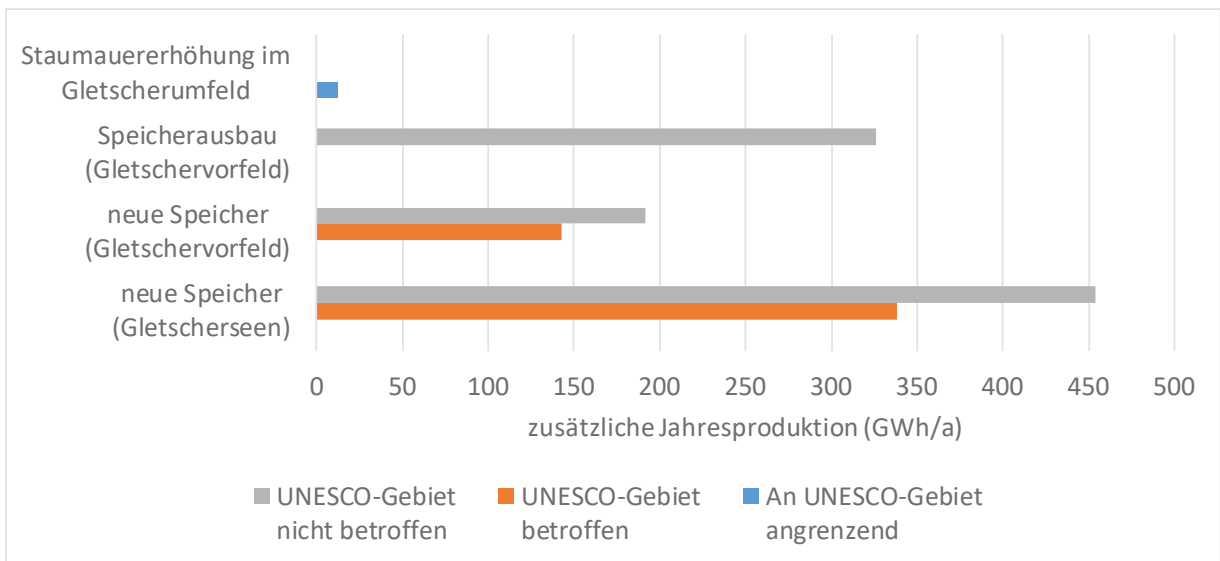


5.4.3 UNESCO-Welterbestätten

In der Schweiz bestehen 13 UNESCO-Welterbestätten. Die in die Welterbeliste aufgenommenen Stätten müssen von aussergewöhnlichem universellem Wert sein, der für alle gegenwärtigen und kommenden Generationen der Menschheit erhalten bleiben soll. In Bezug auf den Ausbau der Wasserkraft ist primär im Umfeld des UNESCO-Welterbe Schweizer Alpen Jungfrau-Aletsch noch Ausbaupotenzial vorhanden. Bei Projekten in oder in der Nähe von Welterbestätten besteht die Gefahr von Auswirkungen auf den aussergewöhnlichen universellen Wert der Stätte. In solchen Fällen sind die internationalen Gremien der Welterbekonvention einzubeziehen. Zudem kann die UNESCO die Stätte auf die «Liste des Welterbes in Gefahr» setzen. Das Welterbekomitee kann die Schweiz zudem auffordern, die Projekte zu stoppen, was die Schweiz auf der internationalen Bühne exponieren würde. In extremis könnte die UNESCO das Gebiet von der Welterbeliste nehmen. Wird eine Welterbestätte nicht geschützt, stellt dies einen Verstoß gegen das Völkerrecht dar.

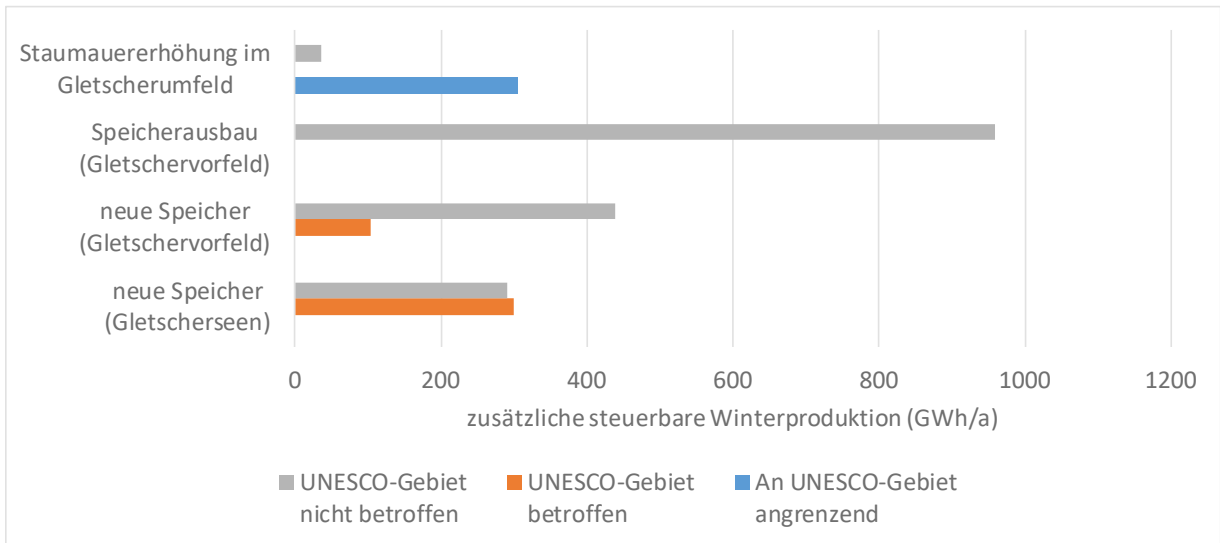
Ein Drittel des Zubaupotenzials im periglazialen Gebiet bezogen auf die Jahresproduktion liegt in dieser Schutzgebietskategorie (Abbildung 8). Beim Speicherausbau ist ein Sechstel davon betroffen (Abbildung 9). Dieser Anteil steigt deutlich, betrachtet man das Potenzial, welches erst nach 2050 realisiert werden kann.

Abbildung 8: Potenzial für zusätzliche Jahresproduktion (GWh pro Jahr) bis 2050 an periglazialen Standorten und deren Überlagerung mit dem UNESCO-Weltnaturerbe bis 2050



Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze

Abbildung 9: Potenzial für zusätzliche steuerbare Winterproduktion (GWh pro Jahr) bis 2050 an periglazialen Standorten und deren Überlagerung mit UNESCO-Weltnaturerbe bis 2050



6 Massnahmen zur optimalen Ausschöpfung des Potenzials

Anstehende Konzessionserneuerungen sowie umweltrechtliche Bestimmungen und klimabedingte Herausforderungen sind für die Realisierung des Potenzials im periglazialen Umfeld von Bedeutung. Der mangelnden Wirtschaftlichkeit wurde durch die Einführung von umfangreichen Förderinstrumenten begegnet. Betreffend die Bewilligungsverfahren hat der Bundesrat den Beschleunigungserlass in die parlamentarische Beratung geschickt. In diesen Bereichen werden deshalb im vorliegenden Bericht keine Massnahmen vorgeschlagen.

Konzessionsrecht

Für die Realisierung des Potenzials in Gletschervorfeldern kommen je nach Situation Neuanlagen oder Erweiterungen bestehender Anlagen zur Anwendung. Neuanlagen sind konzessionsrechtlich relativ unproblematisch und die Verfahren und Zuständigkeiten sind klar. Bei Erweiterungsprojekten stellt sich die Situation komplexer dar.

Während der letzten 10 bis 20 Jahren vor Ende der Konzession finden rechtliche, technische und wirtschaftliche Diskussionen zwischen dem aktuellen Betreiber und den Konzedenten statt. Es ist entscheidend, dass sich diese Diskussionen nicht auf den Betrieb der Anlagen sowie auf die Realisierung möglicher Erweiterungen und Erneuerungen auswirken. Bei Erneuerungs- und Erweiterungsinvestitionen erfolgt zudem häufig eine Verknüpfung der Analyse des Projekts mit der bestehenden Anlage. Eine Einigung über den Restwert der bestehenden Anlage ist langwierig und schwierig. Deshalb müssen Massnahmen auch dieses Problem adressieren.

Das Wasserrechtsgesetz enthält verschiedene Bestimmungen, welche aktuell Anlass zu Diskussionen zwischen den Betreibern und den Gemeinwesen geben (Definition Nutzungsdauer, Bestimmung Restwert, billige Entschädigung, etc.).

Projekte sind vielfach an bestehende Anlagen gekoppelt, welche häufig nur noch eine relativ kurze Konzessionsrestlaufzeit aufweisen. Diese Konstellation behindert die Inangriffnahme solcher Projekte. Eine Lösungsmöglichkeit besteht in der Erteilung einer Zusatzkonzession.

Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze

Heute ist jedoch nicht einheitlich geregelt, welche Projekte im Rahmen einer Zusatzkonzession bewilligt werden können. Alternativ könnten Varianten aufgezeigt werden, wie Erweiterungen rechtlich und wirtschaftlich von der Bestandesanlage entkoppelt werden könnten.

Umwelt

Mit der erfolgten Anpassung von Art. 12 EnG sind neue Voraussetzungen für die Interessenabwägung geschaffen worden. Für die Ausschöpfung des Potenzials wird entscheidend sein, wie diese Interessenabwägung in den konkreten Einzelfällen zwischen Schutz und Nutzung ausfällt.

Die heutigen Restwasseranforderungen führen bei Konzessionserneuerungen zu einer massgeblichen Reduktion des Produktionspotenzials. In diesem Zusammenhang hat der Nationalrat das Postulat 23.3007 «Anpassung der Restwasserbestimmungen für bestehende Wasserkraftwerke bei gleichzeitiger Verbesserung der Biodiversität der Gewässer» der UREK-N überwiesen. Darin wird der Bundesrat beauftragt, eine Revision des Gewässerschutzgesetzes vom 24. Januar 1991 zu prüfen, um die aus den Restwasserbestimmungen resultierenden Energieproduktionseinbussen zu verringern und gleichzeitig die Situation im Bereich der Biodiversität zu verbessern.

7 Fazit

Periglaziale Gebiete weisen ein massgebliches Ausbaupotenzial bei der Jahresproduktion und bei der speicherbaren Winterproduktion auf. Die Gewährleistung des Natur- und Landschaftschutzes schränkt das vorhandene technische Potenzial erwartungsgemäss ein. Mit der Anpassung des Energiegesetzes wurden diesbezüglich bereits Konkretisierungen vorgenommen. Wie die Interessenabwägung der Projekte, welche nicht von vornherein ausgeschlossen sind, ausfallen wird, kann aktuell ohne konkrete Projekte nicht abgeschätzt werden. Dieser Konflikt müsste in der Interessenabwägung aufgelöst werden, sofern diese einer Abwägung zugänglich sind. Der Ausgestaltung der Interessenabwägung kommt damit eine grosse Bedeutung zu in Bezug auf die Erreichung der Ausbauziele. Damit Projekte bewilligungsfähig werden, müssen die gesetzlichen Schutzbestimmungen (u.a. zum Restwasser) eingehalten werden, auch wenn das die Rentabilität schmälern kann. Dies kann wiederum dazu führen, dass bewilligungsfähige Projekte nicht wirtschaftlich sind und deshalb nicht realisiert werden. Diese Situation wurde mit der Einführung von Investitionsbeiträgen für Wasserkraftanlagen (EnG Art. 26) und der gleitenden Marktprämie (Art. 29a rev. EnG) verbessert.

Für die Realisierung dieses Ausbaus sind weitere Themenbereiche, z.B. das Konzessionsrecht massgeblich, welche teilweise aktuell politisch diskutiert werden. Für die mangelnde Wirtschaftlichkeit der Projekte wurden bereits verschiedene Förderinstrumente realisiert.

8 Literatur

- Ayala, A., Farinotti, D. Stoffel, M., and Huss, M. (2020). Glaciers: Hydro-CH2018 synthesis report chapters: "future changes in hydrology". Hydro-CH2018 Project. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern.
- BFE (2013): Perspektiven für die Grosswasserkraft in der Schweiz. Wirtschaftlichkeit von Projekten für grosse Laufwasser- und Speicherkraftwerke und mögliche Instrumente zur Förderung der Grosswasserkraft.
- BFE (2014): Kostenstruktur und Kosteneffizienz der Schweizer Wasserkraft, Schlussbericht.
- BFE (2019): Wasserkraftpotenzial der Schweiz. Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050.
- Boes, R. et.al. (2021): Swiss Potential for Hydropower Generation and Storage – Synthesis Report. ETH Zürich. Swiss Potential for Hydropower Generation and Storage - Research Collection (ethz.ch), zuletzt abgerufen am 25.5.2022.
- Ehrbar, D., Schmocker L., Vetsch D., Boes R. (2019): Wasserkraftpotenzial in Gletscherrückzugsgebieten der Schweiz. Wasser Energie Luft. 111. Jahrgang. Heft 4. 205-212.
- Ehrbar, D., Schmocker, L., Vetsch, D.F., Boes, R.M. (2018): Hydropower potential in the periglacial environment of Switzerland under climate change. Sustainability 10(8), 2794.
- ETH (2018): Current and future energy performance of power generation technologies in Switzerland. Study commissioned by the Swiss Academy of Engineering Sciences (SATW).
- Felix, D., Müller-Hagmann, M., Boes, R. (2020): Ausbaupotenzial der bestehenden Speicherseen in der Schweiz. Wasser, Energie, Luft. 112. Jahrgang, Heft 1. 1-10.
- Geo7 (2021): Alpine Auen: Entwicklung 2000 – 2100. Interner Bericht. Pro Natura – Schweizerischer Bund für Naturschutz. Basel, 2020.
- Gharehchahi, S., James, W. H., Bhardwaj, A., Jensen, J. L., Sam, L., Ballinger, T. J., and Butler, D. R. (2020): Glacier ice thickness estimation and future lake formation. In: Swiss southwestern Alps – The upper Rhône catchment: A VOLTA application, Remote Sens., 12, 3443.
- Linsbauer, A., Paul, F., & Haeberli, W. (2012): Modeling glacier thickness distribution and bed topography over entire mountain ranges with GlabTop: Application of a fast and robust approach. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 117, F00307.
- NCCS (Hrsg.) (2021): Schweizer Gewässer im Klimawandel. National Centre for Climate Services, Zürich. 28 S. ISBN 978-3-9525413-3-3.
- NCCS (Hrsg.) (2018): CH2018 – Climate Scenarios für Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services Zürich. www.nccs.admin.ch > National Centre for Climate Services NCCS > Klimawandel und Auswirkungen > Schweizer Klimaszenarien CH2018 > CH18-Technischer Bericht.
- NELAK (2013): Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken. Formation des nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne – chances et risques. Forschungsbericht NFP 61. Haeberli, W., Bütler, M., Huggel, C., Müller, H. & Schleiss, A. (Hrsg.). Zürich.

Analyse des Wasserkraftpotenzials der Gletscherschmelze

- Mölg, N., Huggel, C., Herold, T., Storck, F., Allen, S., Haeberli, W., Schaub, Y., und Odermatt, D. (2021): Inventory and evolution of glacial lakes since the Little Ice Age: Lessons from the case of Switzerland. In: Earth Surface Processes and Landforms. Volume 46, Issue 13.
- Schweizer, S., Veas, A., Wyss, K., Binkert, L., Rohrer, M., Berger, B. (2023): Auswirkungen der Projekte des «Runden Tisches Wasserkraft» auf Gletschervorfelder – eine Einordnung. Wasser Energie Luft. 115. Jahrgang. Heft 1. 1-6.
- Steffen, T., Huss, M., Estermann, R., Hodel, E., Farinotti, D. (2022): Volume, evolution, and sedimentation of future glacier lakes in Switzerland over the 21st century. Earth Surf. Dynam., Volume 10.

9 Anhang: Einbezogene Projekte

Nachfolgend sind die in die Auswertung einbezogenen Projekte aufgeführt.

Projektname	Kanton	Zusätzliche Produktion (GWh)	Zusätzliche steuerbare Winterproduktion (GWh)	Ausschluss gemäss Art. 12 EnG ¹⁷	BLN, Art. 5 NHG	UNESCO Welt-naturerbe
Trift	BE	145	215	Nein	Nein	Nein
Grimsensee	BE	12	240	Nein	Ja	Angrenzend
Oberaarsee	BE	0	65	Nein	Ja	Angrenzend
Lago da l'Albignia	GR	0	36	Nein	Angrenzend	Nein
Allalingletscher	VS	15	50	Nein	Nein	Nein
Adduction Zinal	VS	110	105	Nein	Nein	Nein
Turtmangletscher	VS	6	123	Nein	Nein	Nein
Unterer Grindelwaldgletscher	BE	114	90	Nein	Ja	Ja
Fieschergletscher	VS	60	85	Nein	Ja	Ja
Kraftwerk Oberaletsch (Speicher)	VS	100	50	Nein	Ja	Ja
Kraftwerk Oberaletsch + Aletschgletscher (nach 2050) Differenzzahlen zu Oberaletsch klein	VS	100	480	Nein	Ja	Ja
Rhonegletscher	VS	35	56	Ja	Ja	Nein
Haut Glacier d'Arolla	VS	9	90	Nein	Ja	Nein
Mehrzweckspeicher Gorner	VS	200	650	Nein	Ja	Nein
Ferpècle	VS	10	80	Nein	Ja	Nein
Sela	GR	10			Nein	Nein
Hüfigletscher	UR	127	85	Ja	Ja	Ja
Blüemlisalp-gletscher	BE	16	19	Nein	Ja	Ja
Findelgletscher	VS	90	88	Nein	Ja	Nein
Gauligletscher	BE	64	75	Ja	Ja	Ja
Mellichgletscher	VS	25	39	Nein	Nein	Nein
Vadret da Palü	GR	14	19	Nein	Nein	Nein
Glacier du Brenay	VS	5	45	Ja	Ja	Nein
Otemmagletscher	VS	48	127	Ja	Ja	Nein
Glacier du Corbassière	VS	48	100	Ja	Ja	Nein
Glacier du Giétro	VS	5	20	Nein	Ja	Nein
Roseggletscher	GR	260		Ja	Ja	Nein

¹⁷ Provisorische Beurteilung des Bundesamtes für Energie (BFE), in einem allfälligen Bewilligungsverfahren von den zuständigen Behörden zu beurteilen.