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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 115 (2023)

Heft: 3

Artikel: Talsperren in der Schweiz : Vergangenheit, Gegenwart und zukünftige Rolle

Autor: Boes, Robert / Balestra, Andrea

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1049995

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 25.12.2025

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

Talsperren in der Schweiz – Vergangenheit, Gegenwart und zukünftige Rolle

Robert Boes, Andrea Balestra

Zusammenfassung

Die Schweiz gilt aufgrund ihrer topografisch und hydrologisch guten Voraussetzungen mit reichhaltigen Wasserressourcen als das Wasserschloss Europas. Die Quellgebiete der grossen europäischen Flüsse Rhein und Rhone sowie der wichtigen Zuflüsse zur Donau und zum Po, nämlich Inn und Ticino, liegen in den Schweizer Alpen. In Ermangelung anderer natürlicher Ressourcen für die Energieerzeugung hat das Land daher schon früh seine Wasserressourcen durch den Bau von Speicherkraftwerken mit Talsperren stark genutzt, die heute gut die Hälfte der gesamten jährlichen Wasserkraftproduktion der Schweiz ausmachen.

Obwohl die meisten Schweizer Stauanlagen für die Stromerzeugung aus Wasserkraft gebaut wurden, bieten sie zunehmend auch beträchtliche Vorteile als Mehrzweckanlagen in Form von Stauräumen für den Schutz vor Naturgefahren sowie für die landwirtschaftliche Bewässerung, die Trink- und Brauchwasserversorgung und nicht zuletzt für Freizeit- und Erholungszwecke.

Es wird erwartet, dass die Bedeutung der Wasserkraftspeicherung auf verschiedenen Zeitskalen im Rahmen des angestrebten Übergangs zu erneuerbaren Energien und der Dekarbonisierung weiter zunehmen wird. In der Zwischenzeit bieten auch ehemals vergletscherte Gebiete Flächen und Stauräume für neue Mehrzweckanlagen. Die zu erwartenden Herausforderungen für das Schweizer Talsperrenwesen werden zunehmend interdisziplinär sein. Betrieb und Unterhalt von alternden Talsperren und Wasserkraftanlagen, Anpassung an den Klimawandel, Umweltverträglichkeit und der zunehmende Druck zur Mehrzwecknutzung der Wasserressourcen erfordern ein umfassendes Verständnis und einen partizipativen Ansatz unter Einbezug aller Akteure.

Résumé

En raison de ses conditions topographiques et hydrologiques favorables avec des ressources en eau abondantes la Suisse est considérée le «château d'eau» de l'Europe. Les sources des grands fleuves européens, le Rhin et le Rhône, ainsi que des principaux affluents du Danube et du Pô, notamment l'Inn et le Ticino, se trouvent dans les Alpes suisses. En l'absence d'autres ressources naturelles pour la production d'énergie, le pays a donc très tôt fortement exploité ses ressources en eau en construisant des centrales hydroélectriques à accumulation avec barrages et retenues, qui représentent aujourd'hui une bonne moitié de la production hydroélectrique annuelle totale de la Suisse.

Même si la plupart des barrages suisses ont été construits pour produire de l'électricité à partir de la force hydraulique, ils offrent de plus en plus d'avantages considérables en tant que réservoirs à buts multiples pour la protection contre les risques naturels ainsi que la provision d'eau pour l'irrigation, l'eau potable et industrielle et les loisirs.

Il est prévu que l'importance du stockage de l'énergie hydraulique continue de croître à différentes échelles de temps dans le cadre de la transition vers les énergies renouvelables et la décarbonisation. Entre-temps, des zones autrefois couvertes de glaciers offrent également des espaces pour de nouvelles retenues à buts multiples. Les défis attendus pour l'ingénierie de barrages en Suisse seront de plus en plus interdisciplinaires. L'exploitation et l'entretien des barrages vieillissants et des installations hydroélectriques, l'adaptation au changement climatique, la compatibilité environnementale et la pression croissante en faveur d'une utilisation à buts multiples des ressources en eau exigent une compréhension globale et une approche participative impliquant tous les acteurs.

1. Einleitung

Die Schweiz ist ein wasserreiches Land mit einer hohen Dichte an Talsperren. Diese dienen in erster Linie der Speicherung von Wasser für die Stromerzeugung. Grössere Talsperren wurden bereits im 19. Jahrhundert errichtet, so dass es 1928, zur Zeit der Gründung der Internationalen Talsperrenkommission (International Commission on Large Dams ICOLD), bereits ein umfangreiches nationales Fachwissen zum Talsperreningenieurwesen gab. Dieses manifestierte sich in der ebenfalls 1928 gegründeten Schweizerischen Talsperrenkommission, welche zunächst aus fünf Fachexperten bestand, die auch international vernetzt und anerkannt waren. Dennoch dauerte es bis 1948, bis sich mit dem Schweizerischen Nationalkomitee für grosse Talsperren die Vereinigung gründete, später bekannt als Schweizerisches Talsperrenkomitee, deren 75-Jahr-Jubiläum 2023 gefeiert wird.

Im vorliegenden Artikel wird ein Überblick über die Talsperren als die grössten von Menschenhand geschaffenen Bauwerke inklusive ihrer natürlichen Randbedingungen in der Schweiz gegeben und deren Bedeutung für die Wasser- und Energiewirtschaft aufgezeigt. Der Beitrag schliesst mit einem Ausblick auf die aktuellen Herausforderungen und die zukünftige Bedeutung der Talsperren in der Schweiz.

2. Funktionen und Zwecke von Talsperren

Staumauern, Staudämme und dazugehörende Bauwerke werden zusammenfassend als Talsperren bezeichnet. Wie der Name andeutet, sperren sie ein Tal ab, und

zwar im Unterschied zu Wehren meist erheblich über dem höchsten Hochwasserstand des ungestauten Flusses. ICOLD definiert eine Talsperre als «gross», wenn ihre Höhe mindestens 15 m von der Fundation bis zur Dammkrone beträgt oder wenn sie bei einer Höhe zwischen 5 und 15 m ein Speichervolumen von mindestens 3 Mio. m^3 aufweist.

Durch Talsperren gebildete Stauseen dienen weltweit zur Speicherung von Wasser in Zeiten reichlicher Zuflüsse für Zeiten geringen Wasserdargebots. In vielen warmen und ariden Ländern sorgen die monatelangen niederschlagslosen Trockenzeiten für geringe Abflüsse in den Fliessgewässern, welche mittels Wasserspeicherung aus Talsperren ausgeglichen werden können. Gelegentlich wird dann gar eine Überjahresspeicherung angestrebt, d. h. überschüssiges Wasser aus einem oder mehreren wasserreichen Jahr(en) wird gespeichert, um die geringeren Niederschläge und Abflüsse in (einem) trockenen Jahr(en) auszugleichen. Im Alpenraum erfolgen die Abflüsse vor allem im Frühjahr und Sommer infolge von Niederschlägen in Form von Regen, der Schneeschmelze des im Winter gefallenen Niederschlages sowie der Gletscherschmelze. Hingegen ist der Wasserbedarf für die Stromproduktion aufgrund der Bedarfsverteilung im Winter besonders gross und muss mittels Jahresspeicher ausgeglichen werden.

Talsperren dienen weltweit vielfältigen Zwecken, vornehmlich der landwirtschaftlichen Bewässerung, der Wasserkraftnutzung, der Trink- und Brauchwasserversorgung, der Grundwasseranreicherung, der Verbesserung der Binnenschifffahrt und dem Hochwasserschutz. In der Schweiz steht die Wasserkraftnutzung im Vordergrund. Die grossen saisonalen Speicherkraftwerke in den (Vor-)Alpen ermöglichen aber darüber hinaus eine erhebliche Verbesserung des Hochwasserschutzes, indem die Zuflüsse in die Talsperren gedämpft und die Abflüsse damit zeitlich verzögert werden.

3. Schweizer Talsperren-Infrastruktur

3.1 Zeitliche Entwicklung und Talsperrentypen

Die Schweizerische Stauanlagenverordnung fasst Talsperren und Wehre als Stauanlagen zusammen *(Schweizerischer Bundesrat, 2022)*. Stauanlagen haben in der Schweiz eine lange Tradition. Die älteste Stauanlage unter Bundesaufsicht ist der 14,5 m hohe Erdschüttdamm des Wenigerweihers am Rande der Stadt St. Gallen. Er wurde 1822 zur Wasser- und Energieversorgung von nahen Industrieanlagen gebaut und ist nach wie vor in Funktion, wenngleich der heutige Stau alleine aus ökologischen Gründen zur Aufrechterhaltung eines Amphibienlaichgebiets von nationaler Bedeutung beibehalten wird *(Hager, 2023)*.

Zwischen 1869 und 1872 entstand bei Pérolles südlich von Freiburg mit der Gewichtstaumauer Magerau Europas erste Staumauer aus Beton. Etwas weiter südlich wurde 50 Jahre später bei Montsalvens eine Bogenstaumauer errichtet, wiederum eine Europapremiere. Dieser Mauertyp wurde zu der in der Schweiz am zweithäufigsten verbreiteten Bauart für grosse Talsperren *(Bild 1)*. Doch zuvor wurde Gewichtsstaumauern der Vorzug gegeben, wie zum Beispiel die 110 m hohe Talsperre bei Schräh im Wägital, die 1924 fertiggestellt wurde und bis 1929 als weltweit höchste Staumauer galt. In den Jahren der Weltwirtschaftskrise und während des Zweiten Weltkriegs entstanden auch einige materialsparende Pfeilerstaumauern, so zum Beispiel die Lucendro-Talsperre auf dem Gotthardpass. Weitere Informationen zu den wichtigsten Phasen der schweizerischen Talsperrenentwicklung sind in *Pougatsch & Schleiss (2023)* zu finden, zu den wichtigsten Akteuren im Talsperreningenieurwesen in *Hager (2023)*.

Der wirtschaftliche Aufschwung nach dem Zweiten Weltkrieg verlangte nach mehr Wasserkraft, was in der Schweiz zu einem regen Bau von Talsperren führte: In der kurzen Zeit von 1950 bis 1970 wurden rund 90 grosse Talsperren gebaut *(Bild 1)*. Dies entspricht fast der Hälfte aller heute bestehenden grossen Schweizer Talsperren. In diesen Jahren entstand auch die Gewichtsstaumauer der Grande Dixence, welche mit ihren 285 m immer noch die höchste dieses Typs in der Welt ist. Ab den 1980er-Jahren war es um den Bau neuer Talsper-

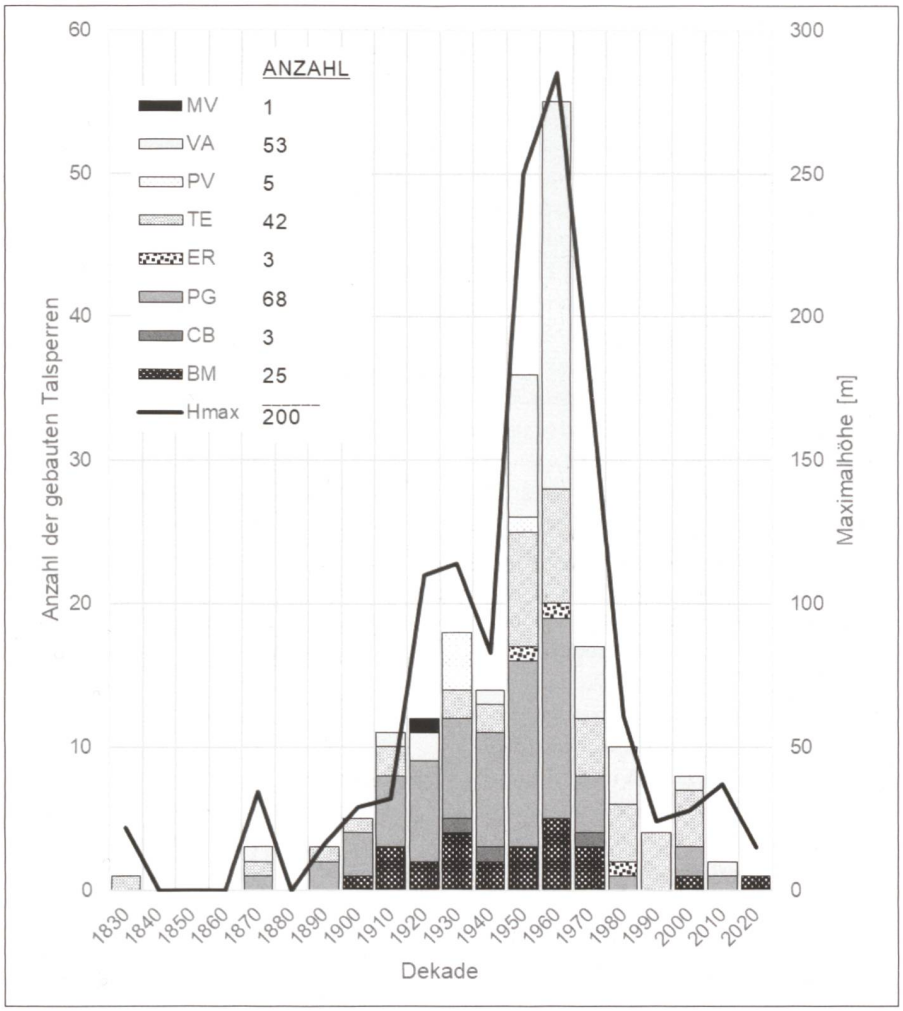

Bild 1: Entwicklung der Talsperren in der Schweiz nach Typ inkl. der maximalen Sperrenhöhen (Hmax) pro Dekade (links) und Verteilung der Talsperren nach maximaler Höhe über der Fundation (rechts); Klassifizierung nach ICOLD: BM = Wehr, CB = Pfeilerstaumauer, ER = Steinschüttdamm, MV = Gewölbestaumauer, PG = Gewichtsstaumauer, PV = Bogengewichtsstaumauer, TE = Erdschüttdamm, VA = Bogenmauer (eigene Darstellung).

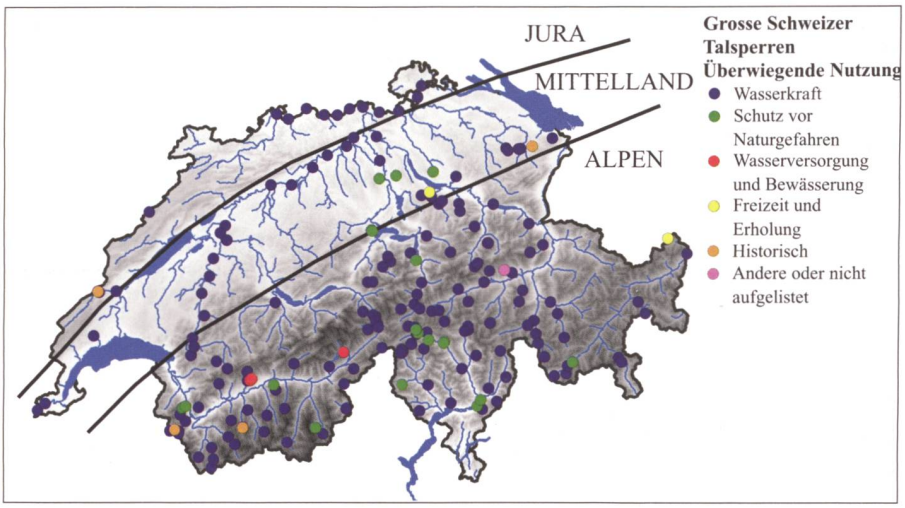

Bild 2: Räumliche Verteilung und Zweckbestimmung von Stauanlagen in der Schweiz (eigene Darstellung).

ren in der Schweiz ruhiger geworden, während der Bau kleiner Stauanlagen zu anderen Zwecken als der Wasserkraft, hauptsächlich zum Hochwasserrückhalt, fortgesetzt wurde *(Schwager et al., 2023)*. Aufgrund ihrer Kenntnisse und Erfahrungen waren und sind Schweizer Ingenieurinnen und Ingenieure bei zahlreichen Talsperren-Projekten im Ausland tätig *(Droz, 2023)*. Sie halten dabei mit dem stetig wachsenden Erfahrungsstand Schritt, was wiederum der optimalen Überwachung und Anpassung der einheimischen Talsperren zugutekommt und die Grundlage für neue Schweizer Talsperren-Projekte und Sanierungen bildet. Heute gibt es in der Schweiz 200 grosse Talsperren gemäss der ICOLD-Definition *(Bild 1)*. Mehr als 220 Stauanlagen sind der Oberaufsicht des Bundes unterstellt *(Schwager et al., 2023)*. Dazu gehören nach der Definition der Schweizerischen Richtlinie über die Sicherheit von Stauanlagen im Wesentlichen Sperren, welche entweder über 10 m Stauhöhe aufweisen oder eine Stauhöhe von mindestens 5 m bei einem Stauvolumen des Sees von mindestens 50 000 m³ haben *(BFE, 2014)*. Als massgebende Stauhöhe wird in der Regel der vertikale Abstand zwischen dem Stauziel und einer unteren Referenzkote definiert, wobei letztere dem Niveau des Niederwasserspiegels oder der umliegenden Geländehöhe entspricht. Die meisten der grossen Schweizer Talsperren befinden sich in den Alpen *(Bild 2)*.

Wenngleich gut unterhaltene Absperrbauwerke Hunderte Jahre ihre Funktion erfüllen können, so stellt die Alterung dennoch zunehmend Ansprüche an Überwachung, Wartung und Betrieb. Negative Erscheinungen, die erst nach längerer Betriebszeit auftreten oder wahrgenommen werden, sind z. B. Betonzerfallsprozesse wie das Betonquellen *(STK, 2017a)*. Der Unterhalt des bestehenden Talsperrenparks stellt hohe Ansprüche an Knowhow und Expertise der Beteiligten und wird häufig von den Eidgenössischen Technischen Hochschulen in Lausanne und Zürich sowie von anderen Hochschuleinrichtungen technisch unterstützt. Ab 2023 sind 165 der 200 grossen Schweizer Talsperren älter als 50 Jahre, während deren Durchschnittsalter bei 70 Jahren liegt *(Bild 3)*.

Der Bedarf an neuen Talsperren ist seit der Jahrtausendwende stark zurückgegangen, wird aber jüngst wieder vermehrt diskutiert *(Felix et al., 2022; Fauriel et al., 2023)*, siehe auch *Abschnitte 6.1 und 6.2*. Die Erhöhung bestehender Talsperren ist eine Möglichkeit zur Vergrösserung des Speichervolumens für die Energieproduktion im Winter. In der Vergangenheit wurden z. B. die Bogenstaumauern Mauvoisin (VS) und Luzzone (TI) zu diesem Zweck um 13,5 bzw. 17 m erhöht *(Schenk & Feuz, 1992; Baumer, 2012)*. *Wohnlich et al. (2023)* geben einen Überblick über die Erfahrungen von Schweizer Ingenieurinnen und Ingenieuren mit Talsperrenerhöhungen.

3.2 Stauanlagen für die Wasserkraftnutzung

Dank der naturräumlichen Voraussetzungen mit entsprechenden topographischen, geologischen und hydrologischen Randbedingungen wurde die Wasserkraftnutzung in der Schweiz seit dem ersten Kraft-

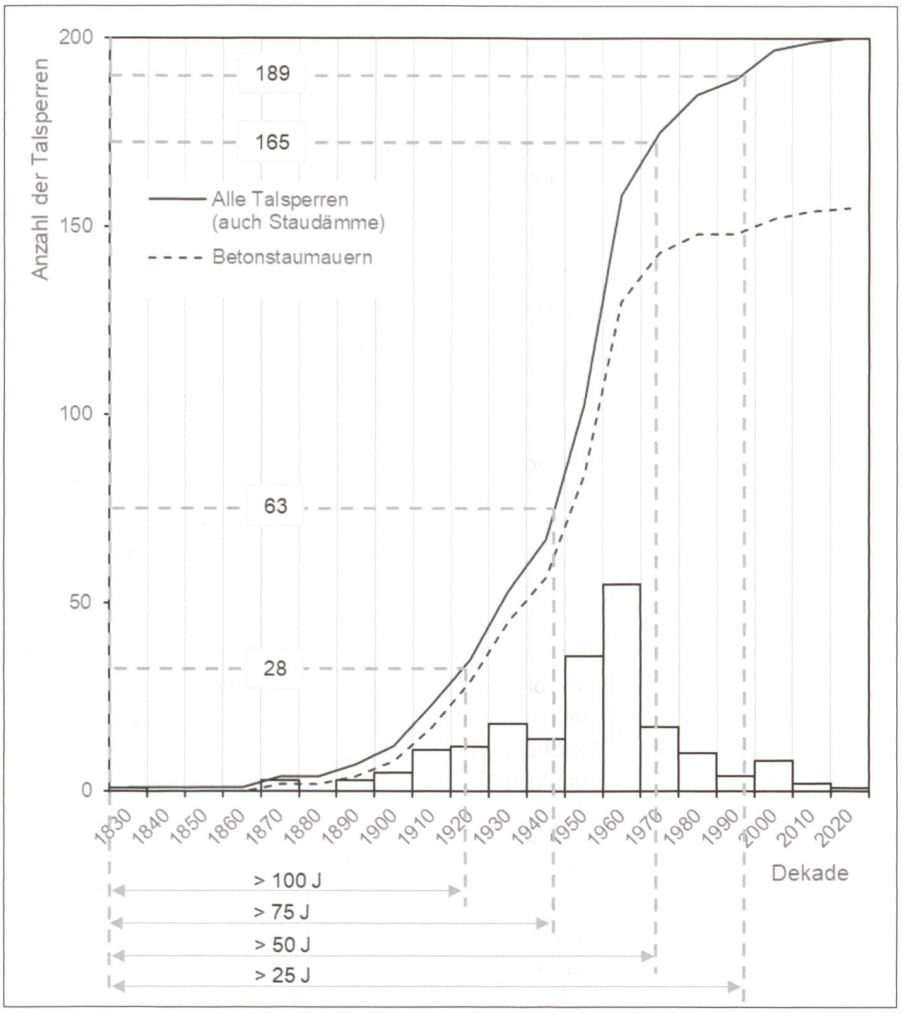

Bild 3: Entwicklung der grossen Talsperren in der Schweiz nach Alter (eigene Darstellung).

werk zur Stromproduktion 1892 in St. Moritz *(St. Moritz Energie, 2023)* bis heute intensiv ausgebaut. Es gibt mehr als 650 Laufwasser-, Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke mit installierten Leistungen von 300 kW bis zu den 1269 MW des Wasserkraftwerks Bieudron. Ihre kumulierte Jahresproduktion beträgt nominell rund 36 TWh/a, was ca. 57 Prozent des Landesbedarfs an Elektrizität deckt. Im internationalen Vergleich hat die Schweiz die höchste spezifische Wasserkraftproduktion pro Einheits-Landesfläche, mit weitem Abstand vor Österreich und Norwegen.

In der Schweiz können hauptsächlich folgende zwei Anlagentypen unterschieden werden:

- Niederdruckstaustufen (mit Fallhöhen bis 30 m) die als Laufwasserkraftwerke an den grossen Flüssen betrieben werden, sowie
- saisonale Stauanlagen an alpinen Gewässern, mit Absperrbauwerken unterschiedlicher Bauart und meist mittlerer bis grosser Höhe, die grosse nutzbare Fallhöhen zwischen etwa 200 bis knapp 2200 m in einer, zwei oder drei Stufen generieren.

Zwischen diesen beiden vorherrschenden Gruppen ist der mittlere Fallhöhenbereich (30–200 m) in der Schweiz nur spärlich vertreten, obwohl der entsprechende Wasserkraftwerkstyp weltweit am häufigsten vorkommt und auch die grössten Wasserkraftanlagen ausmacht, d. h. Anlagen an wasserreichen Flüssen mit einer relativ hohen Sperre und einem nahe gelegenen Kraftwerk. Die entsprechenden Stauseen zeichnen sich durch kleine bis mittlere Speicherkennziffern (Verhältnis von Speichervolumen zu Jahreszuflusswasserfracht) aus (z. B. kleiner 0,25), welche es noch erlaubt, das Kraftwerk weitgehend unabhängig von Zuflussschwankungen mit nur moderaten Schwankungen des Stauseewasserspiegels zur Deckung des Bedarfs zu betreiben.

Bei den Speicherkraftwerken wird zwischen reinen Speicherkraftwerken und solchen mit Zubringerpumpen unterschieden. Die Speicherseen der reinen Speicherkraftwerke werden ausschliesslich durch natürliche Zuflüsse gespiesen. Bei Speicherkraftwerken mit Zubringerpumpen wird auch Wasser aus topographisch tiefer liegenden Einzugsgebieten den Speicherseen zugeführt. Die Zuflüsse sind naturgemäss in den Sommermonaten während der Schnee- und Gletscherschmelze am grössten.

Pumpspeicherkraftwerke zeichnen sich dadurch aus, dass sie entweder für die Stromproduktion oder für den Pumpbetrieb eingesetzt werden können. In Zeiten schwacher Energienachfrage werden bei den Pumpspeicherkraftwerken elektrische Energie aus anderen inländischen Kraftwerken und Stromimporte dazu verwendet, Wasser aus einem tiefer liegenden in ein höher liegendes Speicherbecken hinaufzupumpen. Gepumpt und turbiniert wird über die gleiche Höhendifferenz. Dabei wird keine Energie erzeugt, sondern nur die zeitliche Verfügbarkeit der Energie verschoben. Die für die Pumpen verwendete Energie ist grösser als die daraus erzeugte Spitzenenergie; der Wälzwirkungsgrad dieser Anlagen liegt bei rund 0,75 bis 0,8. Pumpspeicherkraftwerke sind jedoch in grossen Stromnetzen sehr wertvoll, da sie es ermöglichen, überschüssige Energie in Form von Wasser zu speichern, das innerhalb von Sekunden bis wenigen Minuten für die Stromerzeugung freigesetzt werden kann. Schweizer Pumpspeicherkraftwerke sind üblicherweise so konzipiert, dass sie überschüssige natürliche Zuflüsse in saisonalen Stauseen mit relevanter Fallhöhe speichern. Andererseits sind einige Speicherkraftwerke auch mit Pumpen ausgestattet, die das Wasser aus tiefer gelegenen Zuflüssen in einen Stausee fördern. Die Grande Dixence, die grösste Schweizer Speicherwasserkraftanlage im Kanton Wallis, umfasst zum Beispiel vier grosse Pumpstationen *(Leroy, 2023)*.

Das technische Ausbaupotenzial der Wasserkraft in der Schweiz wird oft als zu rund 90 Prozent ausgeschöpft eingeschätzt, sodass das Potenzial für einen weiteren Ausbau durch den Bau neuer Anlagen eher gering ist. Die gegenwärtigen Anstrengungen konzentrieren sich auf den Erhalt und die Optimierung der Kapazität und der Effizienz der bestehenden Wasserkraftwerke und der dazugehörigen Stauanlagen. Der Wert der Wasserkraft liegt zukünftig noch stärker in der Speicherung auf verschiedenen Zeitskalen (kurzzeitig bis saisonal) sowie der Bereitstellung grosser Flexibilität für Lastaufnahme und kurzfristige Erzeugung mittels Pumpspeicherkraftwerken *(Boes et al., 2021)*.

3.3 Stauanlagen für andere Zwecke

Neben der Wasserkraft tragen die grossen saisonalen Speicherkraftwerke in den Alpen wesentlich zum Hochwasserrückhalt und damit zu einer erheblichen Verbesserung des Hochwasserschutzes bei. Wichtig für den Schutz der Bevölkerung vor Naturgefahren in verschiedenen Regionen der Schweiz sind aber auch Geschiebe- und Hochwasserrückhaltesperren. Zudem sind in den Alpen in den letzten Jahrzehnten zahlreiche sogenannte Beschneiungsteiche entstanden, welche der Wasserspeicherung zur künstlichen Beschneiung von Skipisten dienen. Vor allem im Kanton Wallis gibt es inzwischen einige Staubecken, welche der Bewässerung sowie Trink- und Brauchwasserversorgung dienen. Schliesslich haben Stauseen, die keinen wirtschaftlich relevanten Zweck mehr erfüllen, heute noch ökologische und Freizeit- und Erholungsfunktionen *(Bild 2)*, sodass der Rückbau von Schweizer Talsperren bisher kein Thema war. Im Gegenteil, einige wenige, meist kleine Speicher, die künstlich aufgestaut werden, wer-

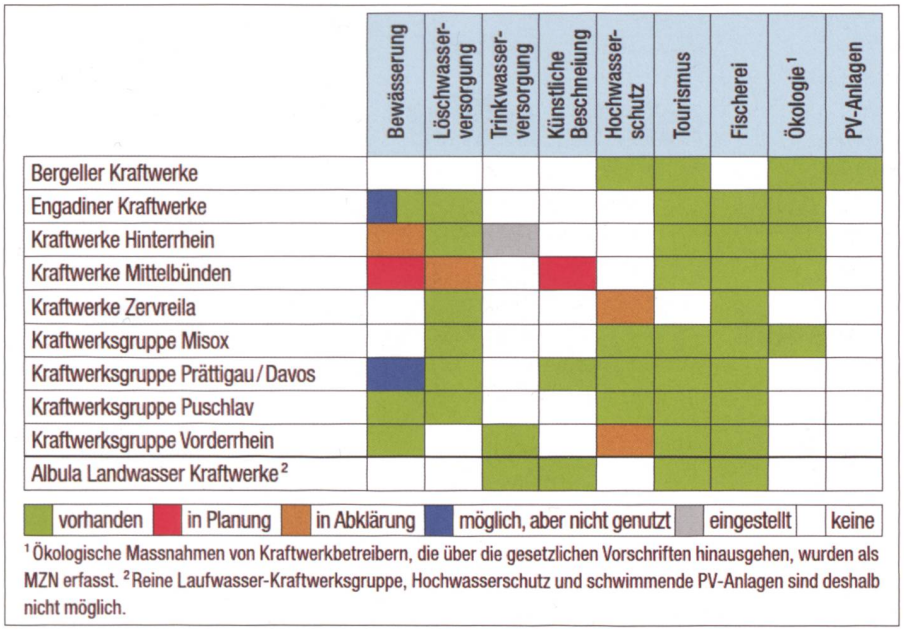

Bild 4: Übersicht der Nebennutzen von Wasserkraftspeichern im Kanton Graubünden (Quelle: Roth, P.; Björnsen Gurung, A.; 2020).

den weiter betrieben, um Habitate und Lebensräume von Flora und Fauna zu erhalten, die sich im Laufe der Zeit etabliert haben. Dies trifft vor allem auf die früh industrialisierten Mittellandkantone zu, wie das Beispiel des Wenigerweihers in St. Gallen zeigt *(siehe Abschnitt 3.1)*. Die durch Stauseen geschaffenen Wasserflächen, aber auch die oft beeindruckenden Absperrbauwerke selbst, sind in vielen Fällen eine touristische Attraktion geworden. Sie werden viel besucht oder dienen als Ausgangspunkte für Hochgebirgswanderungen und Skitouren, da die Erschliessung vieler Alpentäler erst durch den Talsperrenbau erfolgte. *Bild 4* zeigt beispielhaft für den Kanton Graubünden die vielfältigen, ursprünglich nicht geplanten Nebennutzen der dortigen Wasserkraftspeicher.

4. Wasserschloss Schweiz

4.1 Topographie und Relief

Mit einer Fläche von nur 41 285 km² ist die Schweiz eines der kleineren Länder Europas. Die Gesamtausdehnung beträgt in Ost-West-Richtung rund 350 km, in Nord-Süd-Richtung rund 220 km. Die Schweiz ist von Natur aus sehr gebirgig geprägt und lässt sich in drei landschaftliche Grossräume einteilen, die grosse Unterschiede aufweisen: den Jura, das dichtbesiedelte Mittelland sowie die Alpen mit den Voralpen *(Bild 2)*. Rund 60 Prozent der Landesfläche gehören zu den Alpen, 30 Prozent werden zum Mittelland gerechnet, und der Jura nimmt die restlichen 10 Prozent der Landesfläche ein. In der Schweiz gibt es mehr als 3350 Gipfel über 2000 m ü. M. Die sechzehn höchsten Gipfel der Schweiz liegen alle in den Walliser Alpen. Der höchste Gipfel ist die 4634 m ü. M. hohe Dufourspitze im Monte-Rosa-Massiv in der Nähe von Zermatt.

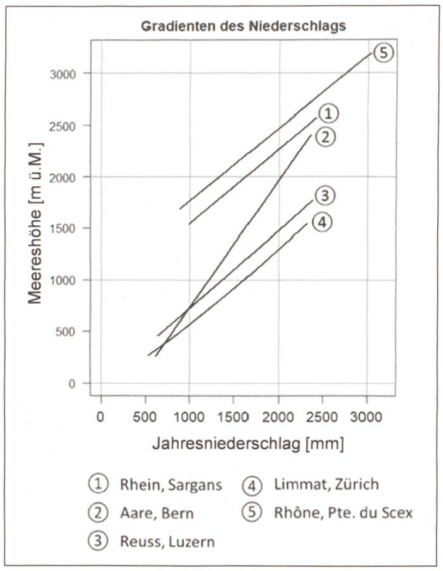

Bild 6: Jahresniederschlagsverteilung für verschiedene schweizerische Flusseinzugsgebiete und deren Variabilität mit der Höhe (Bild: R. Weingartner mit Daten von Schädler & Weingartner, 2002).

4.2 Klimaregionen und Hydrologie

Die Alpen bilden im Herzen Europas eine wichtige Klima- und Wasserscheide mit zusätzlichen alpinen und inneralpinen Wettereffekten, aufgrund derer in der Schweiz trotz ihrer geringen Grösse meist mehrere Wetterlagen herrschen, die für eine grosse Variabilität der Niederschlagsverteilung sorgen *(Bild 5 und Bild 6)*. Nördlich der Alpen herrscht gemässigtes, meistens von ozeanischen Winden geprägtes, mitteleuropäisches Klima, südlich der Alpen ist es eher mediterran.

Der mittlere Jahresniederschlag beträgt ca. 1400 mm (Referenzperiode 1981 bis 2010). In den Alpenregionen ist der mittlere Niederschlag höher, z. B. 1750 mm pro Jahr, je nach Höhenlage, welche einen starken Einfluss auf den Jahresniederschlag hat, am ausgeprägtesten im Aare-Einzugsgebiet *(Bild 6)*. Im Mittelland und im Jura beträgt die Niederschlagsmenge etwa 1000 bis 1500 mm pro Jahr. Sie ist in der Schweiz im Sommer allgemein ungefähr doppelt so hoch wie im Winter. Rund 32 Prozent des jährlichen Niederschlags in der Schweiz verdunsten, die restlichen 68 Prozent gelangen als Abfluss ins Ausland *(Viviroli & Weingartner, 2004)*.

4.3 Fliessgewässer, Seen und Gletscher

Aufgrund ihrer Topographie und der hohen Niederschlagsmenge weist die Schweiz ein weit verästeltes Netz von Bächen und Flüssen mit einer Gesamtlänge von rund 65 000 km auf. Im Gotthardmassiv entspringen mit dem Rhein und der Rhone zwei der längsten Flüsse Europas. Durch die Schweiz verlaufen mehrere europäische Hauptwasserscheiden, welche die Einzugsgebiete von Nordsee, Mittelmeer und Schwarzem Meer trennen. So fliesst der Rhein mit seinen Zuflüssen in die Nordsee, die Rhone und der Ticino ins Mittelmeer, während das Wasser des Inn über die Donau ins Schwarze Meer gelangt. Eine dreifache Hauptwasserscheide findet sich auf dem Lunghinpass. Innerhalb der Schweiz hat der Rhein mit 375 km den längsten Lauf, vor dem Rhein-Zufluss Aare mit 295 km. Die Rhone fliesst 264 km innerhalb der Schweiz, während die Reuss als viertgrösster Fluss der Schweiz 158 km Länge erreicht. Weitere prägende Flüsse sind die Saane im Westen, der Ticino im Süden, die Birs und der Doubs im Nordwesten, die Linth/Limmat und die Thur im Nordosten und der Inn im Südosten. Bei Schaffhausen bildet der Rhein den grössten Wasserfall Mitteleuropas (Rheinfall). In der Schweiz sind die Abflüsse in den Fliessgewässern vielerorts durch die Wasserkraftproduktion beeinflusst.

Die Schweiz hat aufgrund ihrer topographischen Struktur und vor allem aufgrund der Vergletscherung während der Eiszeiten rund 1500 Seen, grossteils kleinere Bergseen. Insgesamt sind ungefähr 4 Prozent der Oberfläche der Schweiz von Seen bedeckt, diese Summe wird aber hauptsächlich von den grössten Seen der

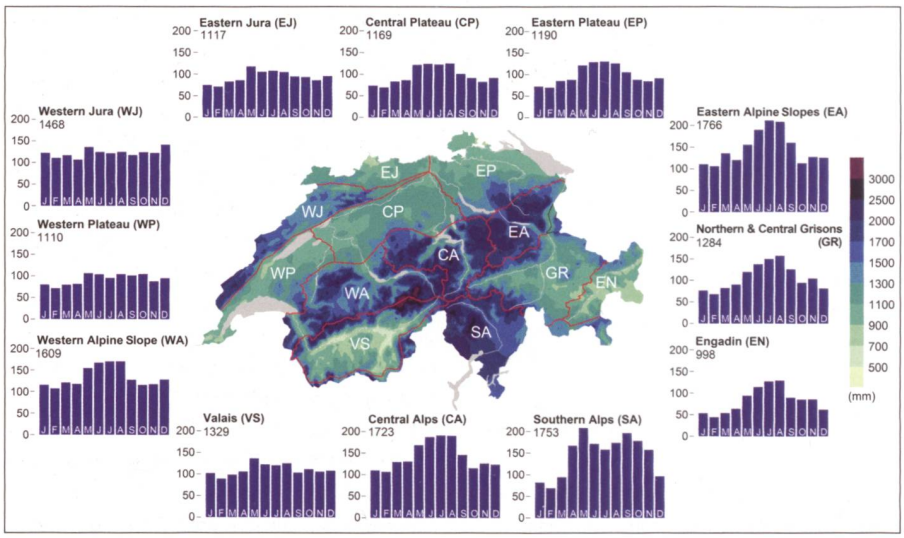

Bild 5: Jahresniederschlagsverteilung und Monatssummen [mm] der Messreihe 1981 bis 2010 für die zwölf Klimaregionen der Schweiz; die Jahresmittel sind in den oberen linken Ecken der Säulendiagramme angegeben (Quelle: adaptiert von NCCS, 2018).

Schweiz bestimmt: Genfersee (580 km², davon knapp 60 Prozent in der Schweiz), Bodensee (536 km², ca. 24 Prozent der Uferlänge auf Schweizer Boden), Lago Maggiore (213 km², 20 Prozent in der Schweiz), der mit 193 m ü. M. den tiefsten Punkt der Schweiz bildet, Neuenburgersee (215 km²), Vierwaldstättersee (114 km²) und Zürichsee (88 km²).

Die Schweizer Alpen werden massgeblich durch zahlreiche Gletscher geprägt. Der grösste und längste Alpengletscher ist der Grosse Aletschgletscher, danach folgt der Gornergletscher (nach Fläche). Den letzten Höchststand erreichten die Schweizer Gletscher während der Kleinen Eiszeit, die von Anfang des 15. bis Mitte des 19. Jahrhunderts dauerte. Seit dem Ende der Kleinen Eiszeit ist auch in der Schweiz, wie nahezu weltweit, ein deutlicher Rückgang der Gletscher zu beobachten. Dieser Gletscherschwund hat sich in den letzten Jahrzehnten noch verstärkt. Zwischen 1920 und 2019 nahm das Eisvolumen aller Gletscher der Schweizer Alpen um rund die Hälfte auf 51 km³ ab, davon allein zwischen 1980 und 2019 um 38 Prozent *(Zekollari et al., 2019)*.

4.4 Auswirkungen des Klimawandels

Aufgrund des globalen Temperaturanstiegs ändert sich die jahreszeitliche Verteilung der Abflüsse, und die Menge des in Schnee und Gletschereis gespeicherten Wassers verringert sich weiter, was wiederum Auswirkungen auf die Mehrzwecknutzung der Ressource hat. *Bild 7* zeigt für typische Einzugsgebiete und Abflussregime, wie sich die saisonalen Abflüsse im Jahresverlauf bis Mitte und Ende des Jahrhunderts verändern werden, sofern keine Klimaschutzmassnahmen ergriffen werden und die Emissionen und die Erwärmung weiter zunehmen (Emissionen-Szenario RCP 8.5).

Bis zum Ende des Jahrhunderts wird im Mittel mit einer Zunahme der Winterabflüsse von rund 10 Prozent mit Klimaschutzmassnahmen (RCP 2.6) und rund 30 Prozent ohne solche Massnahmen gerechnet (RCP 8.5) *(Brunner et al., 2019)*. Besonders stark nehmen die Winterabflüsse in heute nivalen, also durch Schneeschmelze dominierten Regimen zu *(siehe z. B. Bild 7, Plessur)*. Die geringsten Veränderungen der Winterabflüsse zeigen Einzugsgebiete im Mittelland, in denen die Schneedecke schon heute wenig zum Abfluss beiträgt, sowie sehr hoch gelegene Einzugsgebiete *(Bild 7, Rosegbach)*, in denen auch in Zukunft infolge der tiefen Temperaturen im Winter der Niederschlag grösstenteils in Form von Schnee fallen wird *(Mülchi et al., 2021)*.

Im Sommer zeigen die Szenarien eine mittlere Abflussabnahme von rund 10 Prozent mit Klimaschutzmassnahmen und 40 Prozent ohne Klimaschutz bis Ende des Jahrhunderts. Verantwortlich für diesen Rückgang sind verminderte Sommerniederschläge, höhere Verdunstung und die Abnahme des Gletscher- und Schneeschmelzwassers, wie beispielhaft für die Kander in *Bild 8* veranschaulicht. Gebiete aller Höhenlagen und Regionen sind von rückläufigen Sommerabflüssen betroffen. Die sommerlichen Abflüsse werden auch in heute noch vergletscherten Gebieten abnehmen *(Bild 7, Rosegbach)*.

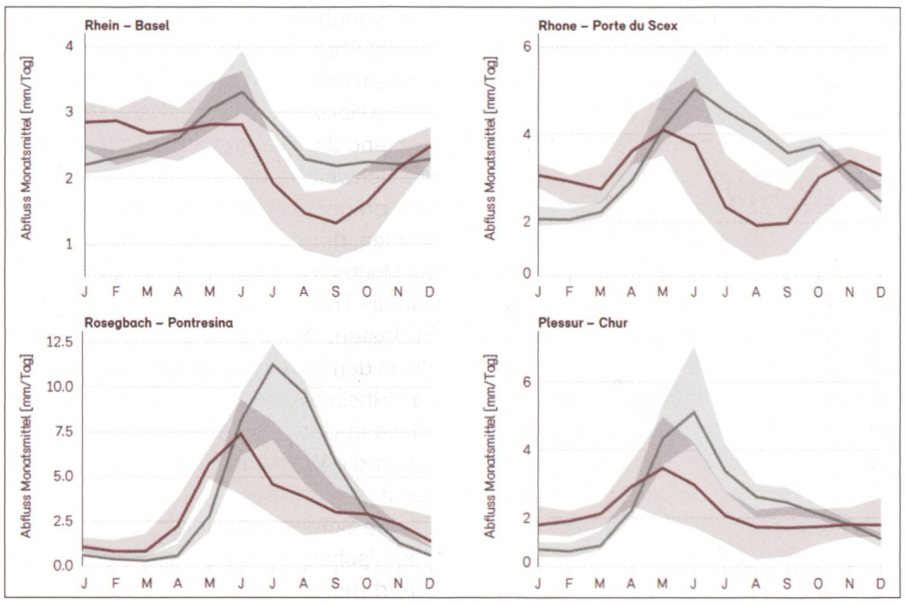

Bild 7: Veränderung der mittleren monatlichen Abflüsse in charakteristischen Einzugsgebieten mit Median (Linie) und Unsicherheitsbereich (Füllung) für die Referenzperiode (1981 – 2010, grau) und die Szenarien ohne Klimaschutzmassnahmen (RCP 8.5) für Ende Jahrhundert (2085, braune Linie und Füllung) (Quelle: adaptiert von BAFU, 2021).

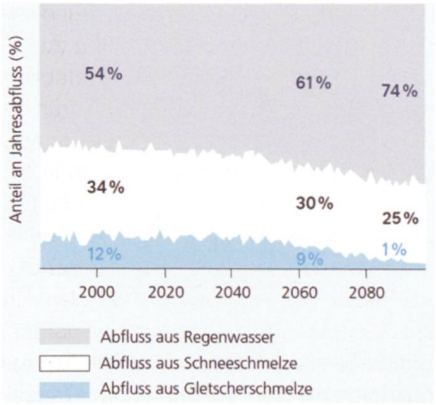

Bild 8: Abflussanteile von Regen- und Schmelzwasser aus Schnee und Eis an der Kander bei Kandersteg für das Szenario RCP 8.5 (Quelle: NCCS 2021).

5. Systemische Bedeutung der Schweizer Talsperren für die Wasserwirtschaft

5.1 Energie- bzw. Elektrizitätswirtschaft

In der Schweiz sind Wasserressourcen reichlich vorhanden, aber die Abflussregime unterliegen grossen saisonalen Schwankungen, vor allem in kleinen, hoch gelegenen Einzugsgebieten. Im Winter ist der Abfluss geringer als im Sommer, während der Strombedarf höher ist (55 Prozent des jährlichen Bedarfs im Jahrzehnt 2013 bis 2022). Um dieses Ungleichgewicht auszugleichen, spielen saisonale Speichersysteme eine wichtige Rolle.

Für Flüsse mit kleinen Einzugsgebieten in den Seitentälern der Zentralalpen erfordert der Ausgleich der Stromerzeugung im Sommer und im Winter ein Speichervolumen von typischerweise 30-40 Prozent des Jahresabflusses, je nach Grad der Gletscherbedeckung in den Einzugsgebieten. Bei den Flüssen der Haupttäler liegt dieser Relativwert deutlich niedriger, aber absolut wären sehr grosse Speichervolumina erforderlich. Hier haben die vielen Alpenrandseen zwischen den Alpen und dem Mittelland eine wichtige ausgleichende Funktion, indem sie die Einzugsgebiete ober- und unterhalb dank ihres Retentionseffekts teilweise entkoppeln.

In der Schweiz wird dank grosser Wasserkraftspeicher ein erheblicher Teil der natürlichen Zuflüsse vom Sommer- in das Winterhalbjahr (1. Oktober bis 31. März) transferiert, so dass die Speicherkraftwerke heute je die Hälfte ihrer Jahresproduktion im Sommer- und im Winterhalbjahr er-

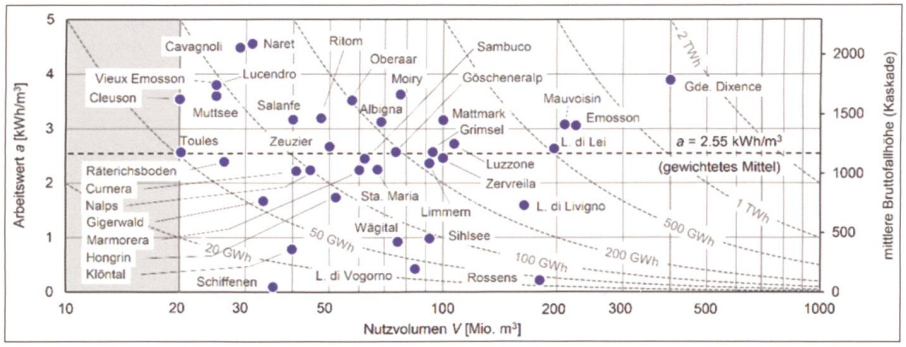

Bild 9: Speicherbare elektrische Energie (gestrichelte Kurven), durchschnittliche nutzbare Bruttohöhe (ggf. einer Wasserkraftwerkskaskade) und entsprechender Arbeitswert der Schweizer Stauseen über 20 Mio. m³ in Funktion ihres Nutzvolumens (angepasst aus Felix et al., 2020).

zeugen, während die Zuflüsse in einem Verhältnis von rund 4:1 auf diese beiden Halbjahre verteilt sind.

Das Verhältnis Speicher- zu Laufwasserkraft macht in der Schweiz ca. 53 Prozent zu 47 Prozent aus, während es global rund 33 Prozent zu 67 Prozent beträgt. Fast 90 Prozent der gesamten Speicherkapazität der schweizerischen Wasserkraftspeicher von rund 9 TWh werden von Stauseen mit Volumen über 20 Mio. m³ erbracht *(Bild 9)*. Diese Speicherkapazität stellt eine wertvolle Reserve dar, die sich jedes Jahr erneuert und die Sicherheit der Stromversorgung vor allem im Winterhalbjahr erhöht. Das bis zum Spätsommer in den Stauseen gespeicherte Wasser reicht aus, um im Winterhalbjahr rund 25 Prozent des gesamten Strombedarfs des Landes zu decken.

5.2 Hochwasser-Risikomanagement

Natürliche und künstliche Seen können durch ihre Retentionswirkung erheblich dazu beitragen, Hochwasserschäden flussabwärts zu verhindern. Jeder See hat implizit einen Retentionseffekt, weil der Zufluss immer verzögert und gedämpft wird, selbst bei Vollfüllung. Bei Talsperren und Wehren hängt dies von der Leistungsfähigkeit und Betriebsweise der Entlastungsanlage ab, also dem Seeabfluss. Je grösser die Seefläche, desto grösser der Dämpfungseffekt. Ein Überstau von 1 m über der Wehrschwelle der Hochwasserentlastungsanlage am Sihlsee, dem flächenmässig grössten Stausee in der Schweiz, bedeutet einen Wasserrückhalt von rund 10 Mio. m³. Insofern bieten auch die für die Wasserkraftnutzung konzipierten Talsperren stets eine deutliche Hochwasserschutzfunktion, die umso grösser ist, je mehr freies Speichervolumen zur Verfügung steht. Die kritischste Jahreszeit bzgl. Hochwasser an grossen Schweizer Talsperren ist daher in der Regel der Herbst, wenn sich die Jahresspeicher ihrem höchsten Füllungsgrad nähern. Das Hochwasserrisiko wird beim Betrieb der entsprechenden Schweizer Stauseen, Rückhaltebecken und regulierten natürlichen Seen zunehmend berücksichtigt. Nach dem Walliser Hochwasser von 1993 wurde die Hochwasserentlastungsanlage des Speichers Mattmark so umgebaut, dass die oberste Lamelle von 2 m mit einem Volumen von 3,6 Mio. m³ nunmehr ausschliesslich dem Hochwasserrückhalt dient, über die der Kanton Wallis verfügt *(Biedermann et al., 1996; Sander & Haefliger, 2002)*.

Das Sihltal in den Kantonen Schwyz und Zürich hat seit dem Bau einer Talsperre an der Sihl rund 40 km flussaufwärts der Stadt Zürich in den 1930er Jahren kein grösseres Hochwasser mehr erlebt. Der Sihlsee reguliert fast die Hälfte des Sihl-Einzugsgebiets an der Zürcher Pegelstation. In der Stadt Zürich wird das Schadenspotenzial bei einer extremen Überflutung der Sihl, die den Retentionseffekt des Sihlsees weit übersteigt, auf bis zu 6,7 Milliarden CHF geschätzt. Die Folgekosten durch Ausfälle der Energieversorgung, der Telekommunikation und des Verkehrs würden die materiellen Schäden um ein Vielfaches übersteigen. Der Kanton Zürich setzt deshalb ein umfassendes Massnahmenkonzept zur Verbesserung des Hochwasserschutzes rund um die Limmat und die Sihl sowie für den Zürichsee um, dessen Pegel vor einem eintretenden Hochwasser mittels des Platzspitzwehrs an der Limmat vorabgesenkt werden kann. Mehrere Hochwasserschutzmassnahmen wurden bereits umgesetzt, darunter spezifische strukturelle Massnahmen an kritischen Infrastrukturen, die Optimierung der Notfallplanung und -organisation, die Optimierung der Hochwasservorhersage einschliesslich der antizipativen Regulierung des Zürichsees und des Wasserkraftspeichers Sihlsee. Zudem verhindert seit 2017 ein Schwemmholzrechen in Gattikon an der Sihl Verklausungen durch grosses Schwemmholz an kritischen Stellen flussabwärts, unter anderem an den Durchlässen unter dem Hauptbahnhof Zürich. Als langfristige Lösung, um das untere Sihltal und die Stadt Zürich vor extremen Hochwassern der Sihl zu schützen, ist ein Hochwasserentlastungsstollen im Bau, der Hochwasserspitzen aus der Sihl (zwischen dem Sihlsee und der Stadt Zürich) teilweise in den Zürichsee ableitet *(AWEL, 2017; BAFU, 2020; Stucki & Oplatka, 2021)*.

In der Schweiz müssen grosse Talsperren ein tausendjährliches Hochwasser (HQ_{1000}) sicher abführen können, wobei für die Berücksichtigung der Abflussorgane die sogenannte (n_{-1})-Bedingung gilt. Das bedeutet, dass der Auslass mit der grössten Abflusskapazität (z. B. Grundablass) nicht berücksichtigt werden darf. Für ein noch selteneres Sicherheitshochwasser (S_{HQ}), das meist mit 50 Prozent über dem Scheitelwert des HQ_{1000} angesetzt wird, dürfen alle Abflussorgane berücksichtigt werden, ausser bei Schüttdämmen, wo auch für das S_{HQ} die (n_{-1})-Bedingung gilt. Eine jüngere Untersuchung der für grosse Talsperren zuständigen Aufsichtsbehörde, dem Bundesamt für Energie (BFE) zeigt, dass in vielen Fällen bei der Bestimmung des HQ_{1000} eher konservative Abschätzverfahren angewendet wurden. Die der Anlagendimension zugrunde gelegten Bemessungshochwasser liegen oft um 30 bis 80 Prozent über dem «erwarteten» HQ_{1000} gemäss offizieller Hochwasserstatistik des Bundes *(Schwager et al., 2023)*. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass für die Bestimmung solch seltener Eintrittswahrscheinlichkeiten naturgemäss grosse Unsicherheiten bestehen. In einem laufenden Forschungsprojekt werden unter Einbezug von Wettergeneratoren stündliche Temperatur- und Niederschlagszeitreihen für 300 000 Jahre simuliert, mit denen massgebende Hochwasserganglinien mit Wiederkehrperioden von 100 bis 100 000 Jahren ausgewählt werden *(Andres et al., 2021)*.

6. Ausblick zur zukünftigen Rolle der Talsperren und Stauseen in der Schweiz

6.1 Talsperren zur Gewährleistung der Sicherheit und Flexibilität der Energieversorgung

Die Speicherwasserkraft aus den Schweizer Alpen trägt wesentlich zur Stabilität des nationalen und europäischen Stromnetzes bei und ist ein Schlüssel für die angestrebte Energiewende hin zu erneuerbaren Energien. In der schweizerischen Energiestrategie spielt die Wasserkraft eine zent-

rale Rolle, insbesondere für die Versorgungssicherheit im saisonalen Ausgleich. Sowohl die Wasserkraftproduktion als auch die Speicherkapazität sollen in den nächsten Jahren und Jahrzehnten erhöht werden. Dies kann allgemein durch Neubauten, Ausbauten und Erweiterungen sowie Erneuerung und Sanierung bestehender Anlagen erfolgen. Da das wirtschaftlich realisierbare Wasserkraftpotenzial in der Schweiz bereits stark genutzt wird, stehen die Energiespeicherung in grossen Wasserkraftstauseen sowie die weitere Flexibilisierung zwischen Erzeugung und Stromverbrauch mittels Pumpspeicherkraftwerken im Vordergrund.

Bis 2040 sollen mindestens 2 TWh an zusätzlicher Speicherkapazität in Stauseen zur Verfügung stehen. Zu diesem Zweck wurde in einem durch das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) initiierten partizipativen Prozess der sogenannte «Runde Tisch Wasserkraft» gegründet. Ziel war es, ein gemeinsames Verständnis zwischen Projektentwicklern, verantwortlichen Behörden und anderen Stakeholdern wie Umweltverbänden für die Herausforderungen zu entwickeln, vor denen die Wasserkraft im Kontext der Energiestrategie 2050, des Netto-Null-Klimaziels, der Versorgungssicherheit und der Erhaltung der Biodiversität steht. In diesem Prozess waren 33 potenzielle Projekte, zu denen das BFE Kurzbeschreibungen und Kennzahlen von den Projektentwicklern eingeholt hatte, hinsichtlich Biodiversität, Landschaft und Energie gescreent worden. Die Projekte mit den voraussichtlich geringsten spezifischen Auswirkungen auf Biodiversität und Landschaft pro GWh an zusätzlicher Jahresspeicherkapazität erhielten die höchsten Noten. Um das Ziel von +2 TWh/Winter zusätzlicher Stromproduktion zu erreichen, wurden schliesslich 15 Projekte mit den besten Noten aufgelistet *(BFE, 2021)*.

Die Liste enthält 11 Stauseeausbauten durch moderate Erhöhungen der Absperrbauwerke und weitere Anpassungsmassnahmen, zwei neue Stauseen im vergletscherten Hochgebirge und zwei Ausbauten von bestehenden Anlagen. Es wird erwartet, dass die zwei neuen Stauseen und die zwei Ausbauten einen Beitrag von zusammen etwa 1 TWh/Winter leisten werden, analog zu den 11 Talsperrenerhöhungsprojekten. Die insgesamt erwartete zusätzliche Stromspeicherung von 2 TWh/Winter ergibt sich hauptsächlich aus einer zusätzlichen Produktionsverlagerung vom Sommer in den Winter und nur zu einem geringeren Teil aus zusätzlicher Produktion. Die Projekte werden in *Fauriel et al. (2023)* näher beschrieben, inklusive eines Vergleichs zu aktuellen Studien der ETH Zürich *(Ehrbar et al., 2018, 2019; Felix et al., 2020; Boes et al., 2021)*. Dementsprechend wird der Bau einiger neuer Talsperren und die Erhöhung mehrerer bestehender Talsperren bis 2040 und 2050 erwartet. Dank der Tragfähigkeitsreserven ist die Erhöhung bestehender Schweizer Staumauern um einen bestimmten Prozentsatz ihrer ursprünglichen Maximalhöhe (z. B. 10 Prozent) oft technisch machbar, indem die Staumauer nur auf oder in der Nähe der Dammkrone erhöht wird, d. h. ohne grössere bauliche Anpassungen wie z. B. einer Änderung des Talsperrentyps. Die Reserven sind auf die absichtliche Überdimensionierung vieler Schweizer Talsperren nach 1943 infolge der Erfahrungen mit der Bombardierung deutscher Talsperren durch die Alliierten im Zweiten Weltkrieg zurückzuführen.

Die Schweizer Energiestrategie 2050 stellt mehrere technologische Herausforderungen, die nur durch interdisziplinäre Lösungen bewältigt werden können. Der Hauptzuwachs an Jahreserzeugung soll durch die Solarenergie kommen, die allerdings im Tages- und Jahresverlauf sehr volatil ist. Die alpine Photovoltaik kann eine Schlüsselrolle bei der Elektrizitätserzeugung spielen, da im Alpenraum aufgrund der höheren Effizienz und eines ausgeglicheneren Produktionsprofils im Jahresverlauf besonders gute Rahmenbedingungen bestehen. Die Installation von Photovoltaikanlagen auf Talsperren und den dazugehörigen Stauseen ist daher eine Lösung, die aus folgenden Gründen in Betracht gezogen werden sollte: (i) Nutzung der bestehenden Wasserkraftinfrastruktur für die Installation und den Netzanschluss, (ii) geringere Auswirkungen auf die Landschaft, (iii) schnelle Realisierung und (iv) ein Produktionsmodell, das sich gut mit der Flexibilität der Speicherwasserkraft kombinieren lässt. Einen Überblick über Photovoltaikanlagen auf Staumauern und Stauseen in der Schweiz geben *Maddalena et al. (2022), Rossetti et al. (2023) und Maggetti et al. (2023)*.

6.2 Talsperren als Mehrzweckanlagen

Bis anhin werden nur wenige Schweizer Talsperren explizit als Mehrzweckanlagen bewirtschaftet und nur wenige Konzessionen sind mit weiteren wasserbezogenen Dienstleistungen verbunden *(Palmieri et al., 2023)*. Mit dem Klimawandel wird je-

Bild 10: Triftgletscher (BE) 1948 (links), 2008 mit proglazialem See (Mitte) und Visualisierung der geplanten Bogenstaumauer mit Speichersee (rechts) (Quelle: Kraftwerke Oberhasli AG).

doch der Druck auf die Wasserressourcen aufgrund anderer Nutzungsansprüche zunehmen *(Abschnitt 4.4)*. Bei der Bewässerungsfunktion muss berücksichtigt werden, dass die meisten alpinen Speicher der Schweiz zu weit entfernt von den grossen landwirtschaftlichen Nutzflächen im Mittelland liegen *(Kellner und Weingartner, 2018)* und im Vergleich zu natürlichen Alpenrandseen um ein Vielfaches kleiner sind (z. B. Grimselsee im Vergleich zu Brienzer-/Thunersee).

Die Mehrzwecknutzung von Stauseen schafft Synergien und dürfte die öffentliche Akzeptanz erhöhen. Für einige der neuen Stauseen aus der Liste des «Runden Tisches Wasserkraft» werden neben der Wasserkraft auch andere Nutzungen diskutiert und geplant. Ein Beispiel ist die Gorner Talsperre, die eine wesentliche Hochwasserschutzfunktion für Zermatt und das Mattertal erfüllt und zusätzlich der Wasserversorgung für Bewässerung, Trinkwasser, Beschneiung, Brandbekämpfung usw. dienen soll *(Fauriel et al., 2023)*.

Der in der Planung am weitesten fortgeschrittene neue Mehrzweckspeicher in den Schweizer Alpen ist die Talsperre Trift im Berner Oberland, welche sich derzeit im Genehmigungsverfahren befindet. Dort, wo noch vor 75 Jahren, zur Gründungzeit des STK, die Zunge des Triftgletschers lag, hat sich seit etwa der Jahrtausendwende ein proglazialer See gebildet. Das Speichervolumen dieses natürlichen Sees soll mit einer neuen Bogenstaumauer auf rund 85 Mio. m^3 erhöht werden *(Bild 10)*. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht kann ein solcher Stausee die Speicherfunktion des Gletschers teilweise ersetzen, indem der Abfluss zwischengespeichert und verzögert bzw. zu Zeiten erhöhten Bedarfs an die Unterlieger abgegeben wird *(geo7 AG, 2017; Kellner & Weingartner, 2018)*.

6.3 Anpassungsmassnahmen an Talsperren infolge des Klimawandels

Mit dem sich ändernden Klima nimmt die Variabilität der Abflüsse zu *(Annandale et al., 2016; Palmieri et al., 2023)*. Auch die Jahresabflussfrachten sind davon betroffen, da Trocken- und Nassjahre in ihrer Ausprägung tendenziell zunehmen *(Abschnitt 4.4)*. Der Bedarf an Talsperren und deren Speichervolumen zum Ausgleich zwischen Wasserdargebot und Wasserbedarf nimmt damit zu, besonders in Regionen, wo natürliche Speicher wie Gletscher zurückgehen. In der Fachwelt wird derzeit noch widersprüchlich diskutiert, ob der Sedimenteintrag in Speicher zu- oder abnehmen wird. Während die Sedimentverfügbarkeit einerseits tendenziell zunimmt, ist andererseits bei abnehmenden Sommerabflüssen mit einer geringeren Sedimenttransportkapazität zu rechnen.

Die Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Anpassungsmassnahmen werden in *Tabelle 1* wiedergegeben.

Auswirkungen	Allfällige Anpassungsmassnahmen
Verstärkung von Extremhochwassern	ggf. Anpassung der Hochwasserentlastungsanlagen, inkl. Berücksichtigung steigender Verklausungsgefahren mit tendenziell zunehmenden Schwemmholzvolumen *(STK, 2017b; Schmocker und Boes, 2018)*
Tendenziell zunehmender Bedarf an Hochwasserschutz für die Unterlieger	ggf. Anpassung der Bewirtschaftung oder Anpassung an den Auslassorganen (siehe Bsp. Sihlsee und Mattmark in *Abschnitt 5.2*)
Geänderte Zuflusswasserfrachten und geänderter Bedarf an Wasser in der Region einer Talsperre	Anpassung der Bewirtschaftung, Umwandlung in eine Mehrzweckanlage
Verstärkung des Sedimenteintrags in Speicher	Effektives Talsperren-Sedimentmanagement für einen nachhaltigen Betrieb, ggf. Erhöhung von Triebwasserfassungen und Auslässen an Stauanlagen
Ggf. häufigere und intensivere gravitative Naturgefahren im Bereich von Stauanlagen, z.B. Massenrutschungen in Speicher und Gefahr von Impulswellen *(Evers et al., 2018, 2022)*	Verstärkte Überwachungen der Speicherhänge, Untersuchung der Auswirkungen von Impulswellen, ggf. Dispositiv für kurzfristige Absenkungen

Tabelle 1: Auswirkungen des Klimawandels mit allfälligem Bedarf an Anpassungsmassnahmen.

6.4 Anpassungsmassnahmen an Talsperren infolge neuer ökologischer Anforderungen

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie und nationale Gesetzgebungen stellen neue Anforderungen an Querbauwerke wie Wehre und Talsperren hinsichtlich Ökologie. In der Schweiz ist das revidierte Gewässerschutzgesetz 2011 in Kraft getreten, welches diverse neue oder strengere Anforderungen an Wasserkraftanlagen stellt. Hinsichtlich der Stauanlagen, welche der Wasserkraft dienen, sind dies insbesondere:

- Herstellung bzw. Verbesserung der Fischwanderung, sowohl stromauf- als auch -abwärts
- Herstellung bzw. Verbesserung der Geschiebedurchgängigkeit bzw. des Geschiebehaushalts
- Massnahmen zur Minderung der Schwall-Sunk-Auswirkungen auf die Gewässerstrecke unterhalb von Speicherkraftwerken.

Die Kantone haben in strategischen Planungen den Handlungsbedarf erhoben, und die Umsetzung der Massnahmen zur sogenannten «Sanierung Wasserkraft» soll bis 2030 erfolgen. Dabei wird berücksichtigt, ob die Massnahmen bzgl. ihrer technischen und finanziellen Machbarkeit verhältnismässig sind, d. h. in einem vernünftigen Aufwand-Nutzen-Verhältnis stehen. Der Fischauf- und/oder -abstieg muss an rund 700 Anlagen saniert werden *(Dönni et al., 2017)*, wobei nicht alle als Stauanlagen gelten. Die Geschiebedurchgängigkeit soll an bis zu 200 Wasserkraftanlagen verbessert werden *(Bammatter et al., 2015)*. Während diese beiden Punkte vor allem für Niederdruckanlagen an den grösseren Talgewässern gelten *(Boes et al., 2017)*, sind Schwall-Sunk-Massnahmen an rund 100 Speicherkraftwerken vornehmlich im Schweizer Alpenraum durchzuführen *(Bammatter et al., 2015)*.

In erster Linie sind bauliche Anpassungen vorgesehen; es können aber auch betriebliche Massnahmen zum Einsatz kommen, beispielsweise das Absenken eines Stauraums zum Durchleiten von Geschiebe und Schwemmholz während eines Hochwassers. Die Betreiber der Wasserkraftanlagen werden durch die nationale Netzgesellschaft (Swissgrid) für die notwendigen Sanierungsmassnahmen entschädigt. Anrechenbare einmalige Kostenelemente sind zum Beispiel Planungs- und Projektierungskosten, Anschaffungskosten für Land oder Liegenschaften, Baukosten, Kosten für neue Steuertechnik, Ausfallkosten und Erlöseinbussen aufgrund von Minderproduktion.

Diese Anforderungen führten bereits in der jüngeren Vergangenheit zum Bau oder zur Sanierung von Nebenanlagen wie Fischauf- und -abstiegsanlagen *(Meyer et al., 2016)*, zu Massnahmen des Geschiebemanagements an Stauanlagen *(Schleiss et al., 2016; Boes et al., 2017)* und zu neuen Ausgleichsbecken zur Schwalldämpfung *(Schweizer et al., 2021)*. Beispielhaft seien ein Fischlift an der Talsperre Maigrauge in der Stadt Freiburg/Fribourg *(Bild 11)* genannt, das Kompensationsbecken der Kraftwerke Oberhasli in Innertkirchen *(Bild 12)* und Geschiebeschüttungen unterhalb der Talsperre Rossens an der Saane/Sarine.

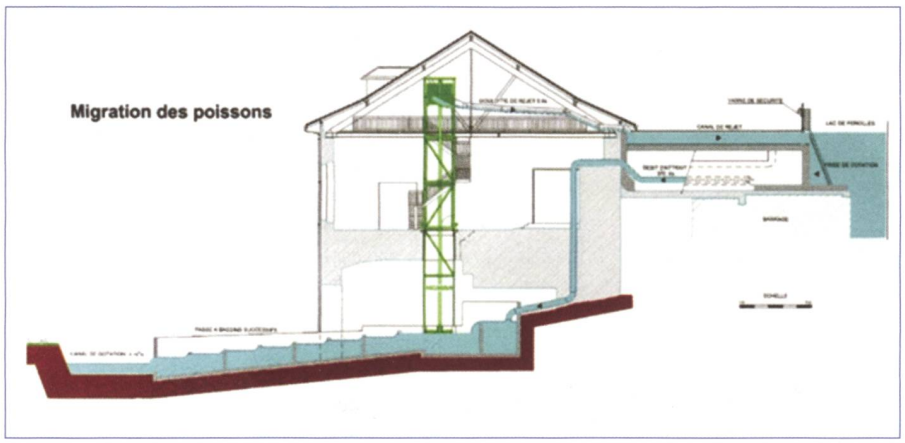

Bild 11: Fischlift zur stromaufwärts gerichteten Fischwanderung an der Talsperre Maigrauge (FR).

Dort wird Kies am Flussufer unterhalb der Talsperre deponiert und mittels sogenannter künstlicher Hochwasser, welche durch Abgabe über die Grundablässe erzeugt werden, erodiert und nach Unterstrom transportiert *(Bild 13)*, siehe auch *Friedl et al. (2017)*.

Es werden noch vielfältige Anstrengungen zu unternehmen sein, um die Anforderungen des revidierten Schweizerischen Gewässerschutzgesetzes zu erfüllen. Dies wird aus heutiger Sicht weit über das Zieljahr 2030 hinausgehen. Dabei sind u. a. neue Lösungen zu finden, welche in Forschungsprojekten seit Jahren intensiv bearbeitet werden. Ein Beispiel hierzu ist der Fischschutz an grossen Wasserkraftanlagen und Wasserfassungen mit Ausbauabflüssen deutlich über 100 m^3/s, für welchen es noch keinen allgemein anerkannten Stand der Technik gibt *(Rutschmann et al., 2022)*. Die Nutzung von Synergien sind ein weiterer Ansatz zur Wiederherstellung bzw. Verbesserung des Fliessgewässerkontinuums sowohl für Sediment als auch aquatische Organismen an Querbauwerken *(Foldvik et al., 2022)*.

7. Zusammenfassung

Talsperren sind wasserwirtschaftliche Schlüsselelemente für die Bewirtschaftung von Wasserressourcen und den Ausgleich von Wasserdargebot und -bedarf. Je nach Bedarf können sie eine einzelne Hauptfunktion haben oder als Mehrzweckspeicher genutzt werden. Die Schweiz gilt als das Wasserschloss Europas und hat topographisch, geologisch und hydrologisch gute Voraussetzungen für die energetische Nutzung ihrer Wasserkräfte. Deshalb hat sie schon früh ihre Wasserkraftressourcen stark ausgebaut. Speicherwasserkraftwerke machen heute in punkto Jahreserzeugung dank des umfangreichen Talsperrenparks in der Schweiz gut die Hälfte der gesamten Wasserkraftproduktion aus. Obwohl die meisten Talsperren für die Wasserkraftnutzung gebaut wurden, haben sie auch einen erheblichen Nutzen zur Gefahrenprävention vor Hochwasser. Ein sich zunehmend wandelndes Klima stellt neue Ansprüche an die Speicherbewirtschaftung. Gerade infolge des verstärkten und sich beschleunigenden Gletscherschwunds treten neben die Funktion der Wasserkraftspeicherung auch der Hochwasserschutz, aber auch die Rolle der Speicherung von Wasser für die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen und für die Brauch- und Trinkwasserversorgung.

In Zukunft nimmt die Bedeutung der Wasserkraftspeicher im Rahmen der Energiewende weiter zu, um Elektrizität auf verschiedenen Zeitskalen (von Sekunden bis saisonal) zu speichern und bei Bedarf zur Verfügung zu stellen. Die bisher vergletscherten Alpen bieten zudem Standorte für neue Speicherseen. Der Klimawandel stellt aber auch neue Anforderungen an Betrieb und Unterhalt der Talsperren, und die Gewässerschutzgesetzgebung verlangt umfangreiche Anpassungsmassnahmen an den Wasserkraftwerken, wovon die Stauanlagen im Wesentlichen in Bezug auf die (Wieder-)Herstellung der Fischwanderung, die Geschiebedurchgängigkeit und die Reduktion von Schwall-Sunk-Effekten unterhalb von Speicherkraftwerken betroffen sind.

Verdankung

Die Autoren bedanken sich herzlich bei *Dr. David Felix*, AquaSed GmbH, *Dr. Frederic Evers*, VAW, ETH Zürich, und *Andrea Baumer*, OFIMA/OFIBLE für ihr sorgfältiges Korrekturlesen und ihre wertvollen Hinweise. Ebenso wird Prof. em. *Rolf Weingartner* herzlich für die Erstellung von *Bild 5* gedankt.

Bild 12: Schwall-Beruhigungsbecken Innertkirchen (BE) der Kraftwerke Oberhasli KWO (Quelle: KWO AG).

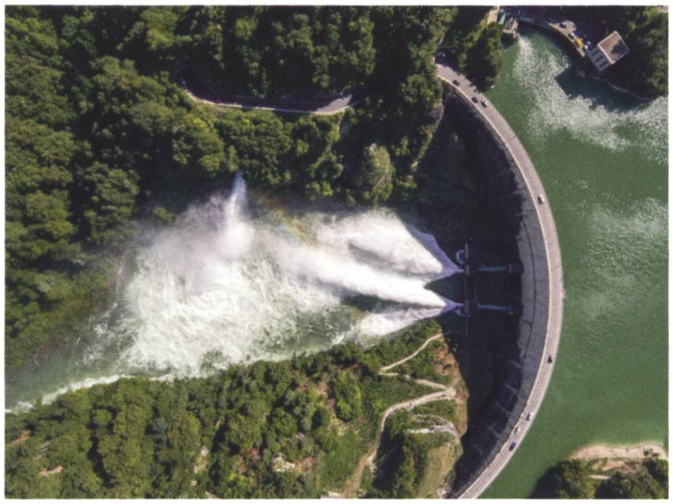

Bild 13: Künstliches Hochwasser an der Talsperre Rossens (FR) der Groupe E (Quelle: Forschungsgruppe Ökohydrologie, ZHAW).

Quellen:
Andres, N., Steeb, N., Badoux, A., Hegg, C. (Hrsg.) (2021). Extremhochwasser an der Aare. Hauptbericht Projekt EXAR. Methodik und Resultate. WSL-Berichte 104, 226 S.
Annandale, G.W., Morris, G.L., Karki, P. (2016). Extending the Life of Reservoirs: Sustainable Sediment Management for Dams and Run-of-River Hydropower. Directions in Development. Washington, DC: World Bank. doi: 10.1596/978-1-4648-0838-8.
AWEL (ed.) (2017). Hochwasserschutz Sihl, Zürichsee und Limmat. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), Abteilung Wasserbau, www.zh.ch/de/planen-bauen/wasserbau/wasserbauprojekte/hochwasserschutz-sihl-zuerichsee-limmat.html (abgefragt am 29. Mai 2023)
Bammatter, L., Baumgartner, M., Greuter, L., Haertel-Borer, S., Huber Gysi, M., Nitsche, M., Thomas, G. (2015). Renaturierung der Schweizer Gewässer: Die Sanierungspläne der Kantone ab 2015. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wasser, Ittigen.
Baumer, A. (2012). Innalzamento diga Luzzone: uno sguardo su 15 anni d'esercizio. «Wasser Energie Luft» 104(3): 204-208 (auf Italienisch).
Biedermann, R., Pougatsch, H., Darbre, G., Raboud, P.-B., Fux, C., Hagin, B., Sander, B. (1996). Speicherkraftwerke und Hochwasserschutz. «Wasser Energie Luft» 88(10): 220–265 (auf Deutsch und Französisch).
Boes, R., Hohermuth, B., Giardini, D. (Hrsg.), Avellan, F., Boes, R, Burlando, P., Evers, F., Farinotti, D., Felix, D., Hohermuth, B., Manso, P., Münch-Aligné, C., Schmid, M., Stähli, M., Weigt, H. (2021). Swiss Potential for Hydropower Generation and Storage, Synthesis Report, ETH Zurich, https://doi.org/10.3929/ethz-b-000517823 (auf Englisch).
Boes, R.M., Albayrak, I., Friedl, F., Rachelly, C., Schmocker, L., Vetsch, D., Weitbrecht, V. (2017). Geschiebedurchgängigkeit an Wasserkraftanlagen. Aqua viva 59(2): 23-27, www.aquaviva.ch/aktuell/zeitschrift.
Brunner M., Björnsen Gurung A., Zappa M., Zekollari H., Farinotti D., Stähli M. (2019). Present and Future Water Scarcity in Switzerland: Potential for Alleviation through Reservoirs and Lakes. Science of The Total Environment, 666: 1033–1047. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.169 (auf Englisch).
BAFU (Hrsg.) (2020). Regulierung Zürichsee, Faktenblatt, Bundesamt für Umwelt (BAFU), www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/organisation/baudirektion/awel/Seeregulierung_Z%C3%BCrichsee.pdf (abgefragt am 26. Juni 2023).
BAFU (Hrsg.) (2021). Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer. Hydrologie, Gewässerökologie und Wasserwirtschaft. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern. Umwelt-Wissen 2101: 134 S.
BFE (2014). Richtlinie über die Sicherheit der Stauanlagen, Teil B: Besonderes Gefährdungspotenzial als Unterstellungskriterium. Bundesamt für Energie, Ittigen.
BFE (2021). Medienmitteilung Runder Tisch Wasserkraft. Bundesamt für Energie, www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-86432.html.
Dönni, W., Spalinger, L., Knutti, A. (2017). Erhaltung und Förderung der Wanderfische in der Schweiz – Zielarten, Einzugsgebiete, Aufgaben. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), 53 S.
Droz, P. (2023). L'ingénierie suisse des barrages dans le monde. «Wasser Energie Luft» 115(3): (auf Französisch).
Ehrbar, D., Schmocker, L., Vetsch, D., Boes, R. (2018). Hydropower Potential in the Periglacial Environment of Switzerland under Climate Change. Sustainability 10.8: 2794. DOI: 10.3390/su10082794 (auf Englisch).
Ehrbar, D., Schmocker, L., Vetsch, D., Boes, R. (2019). Wasserkraftpotenzial in Gletscherrückzugsgebieten der Schweiz. «Wasser Energie Luft» 111(4): 205-212.
Evers, F.M., Schmocker, L., Fuchs, H., Schwegler, B., Fankhauser, A.U., Boes, R.M. (2018). Landslide generated impulse waves: assessment and mitigation of hydraulic hazards. Proc. 26th ICOLD Congress, Vienna, Austria, Q.102-R.40: 679–694 (auf Englisch).
Evers, F., Boes, R.M. (2022). Slide-induced impulse waves in the context of periglacial hydropower development. Proc. 27th ICOLD Congress, Marseille, France, Q.106-R.36: 59–69 (auf Englisch).
Fauriel, J., Filliez, J., Felix, D., Boes, R.M. (2023). Additional water and electricity storage in the Swiss Alps: from studies of potential towards implementation. Proc. ICOLD European Club Symposium «Role of dams and reservoirs in a successful energy transition» (Boes, R.M., Droz, P. & Leroy, R., eds.), Taylor & Francis, London (auf Englisch).
Felix, D., Müller-Hagmann, M., Boes, R. (2020). Ausbaupotential der bestehenden Speicherseen in der Schweiz. «Wasser Energie Luft» 112(1): 1–10.
Felix, D., Ehrbar, D., Fauriel, J., Schmocker, L., Vetsch, D.F., Farinotti, D., Boes, R.M. (2022). Potentials for increasing the water and electricity storage in the Swiss Alps. Proc. 27th ICOLD Congress, Marseille, France, Q.107-R.24: 367–387 (auf Englisch).
Foldvik, A., Silva, A.T., Albayrak, I., Schwarzwälder, K., Boes, R.M., Ruther, N. (2022). Combining Fish Passage and Sediment Bypassing: A Conceptual Solution for Increased Sustainability of Dams and Reservoirs. Water 14(12), 1977, https://doi.org/10.3390/w14121977 (auf Englisch).
Friedl, F., Battisacco, E., Vonwiller, L., Fink, S., Vetsch, D.F., Weitbrecht, V., Franca, M.J., Scheidegger, C., Boes, R., Schleiss, A. (2017). Geschiebeschüttungen und Ufererosion. In: Geschiebe- und Habitatsdynamik. Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern: Bulletin 7 (auf Deutsch, Französisch und Italienisch).
geo7 AG (2017): Multifunktionsspeicher im Oberhasli. Bericht im Auftrag des Amts für Wasser und Abfall (AWA) des Kantons Bern.
Hager, W.H. (2023). Herausragende Schweizer Talsperren-Ingenieure. «Wasser Energie Luft» 115(3).
Kellner, E., Weingartner, R. (2018). Chancen und Herausforderungen von Mehrzweckspeichern als Anpassung an den Klimawandel. «Wasser Energie Luft» 110(2): 101–107.
Leroy, R. (2023). Optimisation de la ressource en eau – une expérience suisse. «Wasser Energie Luft» 115(3).
Maddalena, G., Hohermuth, B., Evers, F.M., Boes, R., Kahl, A. (2022). Photovoltaik und Wasserkraftspeicher in der Schweiz-Synergien und Potenzial. «Wasser Energie Luft» 114(3): 153–160.
Maggetti, D., Maugliani, F., Korell, A., Balestra, A. (2023). Photovoltaic on dams – Engineering challenges Proc. ICOLD European Club Symposium «Role of dams and reservoirs in a successful energy transition» (Boes, R.M., Droz, P. & Leroy, R., eds.), Taylor & Francis, London.
Meyer, M., Schweizer, S., Andrey, E., Fankhauser, A., Schläppi, S., Müller, W., Flück, M. (2016). Der Fischlift am Gadmerwasser im Berner Oberland, Schweiz. WasserWirtschaft 106(2/3): 42–48.
Muelchi, R., Rössler, O., Schwanbeck, J., Weingartner, R., Martius, O. (2021). River runoff in Switzerland in a changing climate – runoff regime changes and their time of emergence. Hydrology and Earth System Sciences, 25(6): 3071–3086 (auf Englisch).
NCCS (Hrsg.) (2018). CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz, Technischer Bericht, National Centre for Climate Services, Zurich, 271 S. (auf Englisch).
NCCS (Hrsg.) (2021). Schweizer Gewässer im Klimawandel. National Centre for Climate Services, Zürich. 28 S. ISBN 978-3-9525413-3-3.
Palmieri, A., Maggetti, D., Balestra, A. (2023). Multipurpose dams – A European perspective. Proc. ICOLD European Club Symposium «Role of dams and reservoirs in a successful energy transition» (Boes, R.M., Droz, P. & Leroy, R., eds.), Taylor & Francis, London.
Pougatsch, H., Schleiss, A.J. (2023). Swiss dams: overview of historical development. Proc. ICOLD European Club Symposium «Role of dams and reservoirs in a successful energy transition» (Boes, R.M., Droz, P. & Leroy, R., eds.), Taylor & Francis, London (auf Englisch).
Rossetti, E., Maggetti, D., Balestra, A. (2023). Dams and photovoltaic plants – The Swiss experience. Proc. ICOLD European Club Symposium «Role of dams and reservoirs in a successful energy transition» (Boes, R.M., Droz, P. & Leroy, R., eds.), Taylor & Francis, London (auf Englisch).
Roth, P., Björnsen Gurung, A. (2020). Die Mehrzweck-nutzung von Grosswasserkraftwerken im Kanton Graubünden heute und in Zukunft. «Wasser Energie Luft», 112(2): 71–75.
Rutschmann, P., Kampa, E., Wolter, C., Albayrak, I., David, L., Stoltz, U., Schletterer, M. (eds.) (2022). Novel Developments for Sustainable Hydropower, Springer, Cham: 91-98, https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-99138-8 (auf Englisch).
Sander, B., Haefliger, P. (2002). Umbau der Stauanlage Mattmark für den Hochwasserschutz: Schlüsselereignisse und -aktionen, welche die Zeit seit dem Hochwasser von 1993 bis heute prägten. TEC 21, 128(36): 20–26.
Schädler, B., Weingartner, R. (2002). Ein detaillierter hydrologischer Blick auf die Wasserressourcen der Schweiz: Niederschlagskartierung im Gebirge als Herausforderung. «Wasser Energie Luft» 94(7/8): 189–197.
Schenk, T., Feuz, B., 1992. Die Erhöhung der Staumauer Mauvoisin. «Wasser Energie Luft» 84(10): 245–248.
Schleiss, A. J., Franca, M.J., Juez, C., De Cesare, G. (2016). Reservoir sedimentation. Journal of Hydraulic Research, 54:6, 595-614, DOI: 10.1080/00221686.2016.1225320 (auf English).
Schmocker, L., Boes, R. (2018). Schwemmgut an Hochwasserentlastungsanlagen (HWE) von Talsperren. «Wasser Energie Luft» 110(2): 91–98.
Schwager, M., Askarinejad, A., Friedli, B., Oberender, P. W., Pachoud, A. J., Pfister, L. (2023). Swiss dam safety regulation: Framework, recent changes and future perspectives. Proc. ICOLD European Club Symposium «Role of dams and reservoirs in a successful energy transition» (Boes, R.M., Droz, P. & Leroy, R., eds.), Taylor & Francis, London.
Schweizer, S., Lundsgaard-Hansen, L., Meyer, M., Schläppi, S., Berger, B., Baumgartner, J., Greter, R., Büsser, P., Flück, M., Schwendemann, K. (2021). Die Schwall-Sunk-Sanierung der Hasliaare: Erste Erfahrungen nach Inbetriebnahme und ökologische Wirkungskontrolle. «Wasser Energie Luft» 113(1): 1–8.
Schweizerischer Bundesrat (2022). Stauanlagenverordnung (StAV) vom 23. November 2022 (Stand am 1. Januar 2023).
STK (2017a). Betonquellen bei Staumauern in der Schweiz. Schweizerisches Talsperrenkomitee, www.swissdams.ch/de/publications/publications-csb/2017_Betonexpansion.pdf, 80 S.
STK (2017b). Schwemmgut an Hochwasserentlastungsanlagen (HWE) von Talsperren. Schweizerisches Talsperrenkomitee, www.swissdams.ch/de/publications/publications-csb/2017_Schwemmholz.pdf, 82 S.
St. Moritz Energie (2023). Geschichte und Pioniergeist. www.stmoritz-energie.ch/ueber-uns/portrait/geschichte-pioniergeist.html (abgefragt am 26. Juni 2023).
Stucki, A., Oplatka, M. (2021). Hochwasserschutz Sihl, Zürichsee, Limmat – Übersicht Gesamtprojekt und Entlastungsstollen Thalwil. Wasserbau-Symposium 2021, VAW-Mitteilung 263, (R. Boes, Hrsg.), Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, 323–331.
Viviroli, D., Weingartner, R. (2004). Hydrologische Bedeutung des Europäischen Alpenraumes. In: Bundesamt für Umwelt (BAFU) (Hrsg.): Hydrologischer Atlas der Schweiz. ISBN 978-3-9520262-0-5.
Wohnlich, A., Fankhauser, A., Feuz, B. (2023). Dam heightening in Switzerland. «Wasser Energie Luft» 115(3) (auf Französisch).
Zekollari, H., Huss, M., Farinotti, D. (2019). Modelling the future evolution of glaciers in the European Alps under the EURO-CORDEX RCM ensemble. The Cryosphere, 13(4), 1125–1146 (auf Englisch).

Autoren:
Robert Boes: ETH Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Präsident des Schweizerischen Talsperrenkomitees.
Andrea Balestra: Lombardi Engineering Ltd., Sekretär des Schweizerischen Talsperrenkomitees.