



Eidg. Forschungsanstalt für Wald,
Schnee und Landschaft WSL

Herausforderungen der Governance sowie der ökologischen, landschaftlichen und ökonomischen Auswirkungen von Mehrzweckspeichern

E. KELLNER, M. STÄHLI, C. UNTERBERGER, R. OLSCHESKI, A. THÜR UND A.
BJÖRNSÉN GURUNG



IM AUFTRAG DES BUNDESAMTES FÜR UMWELT BAFU – FEBRUAR 2021

EIN FORSCHUNGSPROJEKT IM RAHMEN DES NCCS THEMENSCHWERPUNKTES
“HYDROLOGISCHE GRUNDLAGEN ZUM KLIMAWANDEL” DES NATIONAL CENTRE FOR
CLIMATE SERVICES

Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Hydrologie, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Autoren: Elke Kellner, Manfred Stähli, Christian Unterberger, Roland Olschewski, Angela Thür, Astrid Björnsen Gurung

Korrespondierende Autorin: Elke Kellner (elke.kellner@wsl.ch)

Begleitung BAFU: Fabia Hüsler, Petra Schmocker-Fackel

Begleitgruppe: Martin Barben (Bundesamt für Umwelt, BAFU), Jan Béguin (Bundesamt für Landwirtschaft, BLW), Guido Federer (Bundesamt für Energie, BFE), Rolf Gurtner (BAFU), Bernhard Hohl (BFE), Roland Hohmann (BAFU), Christian Holzgang (BAFU), Andreas Inderwildi (BAFU), Andreas Knutti (BAFU), Philipp Röser (BAFU), Carlo Scapozza (BAFU), Markus Thommen (BAFU)

Hinweis: Diese Studie/dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) im Rahmen des Themenschwerpunkts Hydro-CH2018 verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Zitiervorschlag: Kellner E., Stähli M., Unterberger C., Olschewski R., Thür A. und Björnsen Gurung A. 2021. Herausforderungen der Governance sowie der ökologischen, landschaftlichen und ökonomischen Auswirkungen von Mehrzweckspeichern. Hydro-CH2018 Projekt. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU), Bern, Schweiz, 82 S. doi: 10.5281/zenodo.4680488

DOI: 10.5281/zenodo.4680488

Zusammenfassung

Aufgrund des Klimawandels werden Schneedecke und Gletschermasse abnehmen, Niederschläge sich mehr in den Winter verschieben, und es muss mit häufigeren Sommertrockenheiten gerechnet werden. Gleichzeitig wird erwartet, dass die Nachfrage nach Wasser, insbesondere durch die Landwirtschaft, in den Sommermonaten zunehmen wird. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie gross das Potenzial von Wasserspeichern zur Verminderung von Sommerwasserknappheit ist. In einem ersten Teilprojekt wurden für 307 mittelgrosse Einzugsgebiete der Schweiz die heutige und zukünftige Sommerwasserknappheit abgeschätzt und dem nutzbaren Speichervolumen natürlicher Seen und künstlicher Speicher gegenübergestellt. Dabei wurde **aus Sicht der Wasserbilanz** das lokale Potenzial von bestehenden Speichern zur Verminderung von Wasserknappheit als eher gering eingestuft. Auf regionaler Ebene (d.h., für grössere Einzugsgebiete) wurde jedoch aufgezeigt, dass ein Potenzial zur Verminderung der Wasserknappheit vorhanden ist.

Im zweiten Teil des Projektes wurde analysiert, welche Herausforderungen sich **aus Sicht der Governance, der Ökologie, des Landschaftsschutzes und der Ökonomie** für die Mehrzwecknutzung von Speichern stellen, und wie diese gelöst werden können. Der vorliegende Synthesebericht zeigt, welche Herausforderungen für Wassernutzungen von Speichern in der Schweiz von besonderer Bedeutung sind: (1) Mangelnde **Datengrundlage** zu hydrologischen und sozio-ökonomischen Auswirkungen einer Mehrzwecknutzung; (2) Mangelndes **Bewusstsein** bezüglich (zukünftiger) saisonaler und regionaler Wasserknappheiten; (3) Ungenügende **prozessuale und rechtliche Koordination** verschiedener Nutzungen; (4) Mangelnde **Strategien zum Umgang mit Wasserknappheit**; (5) Mangelnde **Anpassungsfähigkeit** an den Klimawandel und an sozio-ökonomische Veränderungen; (6) Ungeklärte **Zielkonflikte** (a) zwischen **Schutz- und Nutzungsinteressen** und (b) zwischen **Mitigation** (Wasserkraft) vom und **Anpassung** (Bewässerung, Ökologie) an den Klimawandel. Folgende Ansätze im Umgang mit den Herausforderungen werden aufgezeigt: (1) Erhöhung des Bewusstseins in Bezug auf Wasserknappheiten und Erarbeitung von Datengrundlagen; (2) Umsetzung von konkreten Empfehlungen für die öffentliche Politik und Gesetze; und (3) Einhaltung von bestimmten Design-Kriterien bei partizipativen Prozessen zur Erarbeitung von Möglichkeiten einer Mehrzwecknutzung.

Recherchen zu den **ökologischen Auswirkungen** haben gezeigt, dass eine veränderte Bewirtschaftung der bestehenden natürlichen Seen und Speicher hin zu einer verstärkten Mehrzwecknutzung nur zu geringen Zusatzbelastungen führen wird. Dies gilt insbesondere, wenn sie im Verhältnis zu den bereits bestehenden ökologischen Auswirkungen betrachtet werden, welche die aktuellen Regulierungen der Seen und Speicher verursachen. In spezifischen Fällen könnte die Mehrzwecknutzung einen ökologischen Mehrwert leisten, wenn bspw. Wasserkraftspeicher den Abfluss in trockenen Sommern für unterliegende Nutzungen erhöhen. Zu den ökologischen Auswirkungen des Speicherneubaus hat die Literatursuche keine wesentlichen neuen Erkenntnisse gebracht. Hier werden auch in Zukunft für jeden einzelnen Fall die lokalen Auswirkungen im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung darzulegen sein.

Die Analysen der ökonomischen Auswirkungen einer Mehrzwecknutzung haben gezeigt, dass eine pauschale **Kosten-Nutzen-Analyse** für die Mehrzwecknutzung der Schweizer Wasserspeicher nicht zielführend ist, weil Kosten und Nutzen häufig regional an ganz unterschiedlichen Orten anfallen (häufig nicht dort, wo Entscheidungen getroffen werden) und zu Gunsten/Lasten von unterschiedlichen Sektoren (resp. der Allgemeinheit) gehen. Trotzdem gibt es Erkenntnisse, dass eine verstärkte Mehrzwecknutzung einen positiven ökonomischen Nettoeffekt haben kann.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass die Mehrzwecknutzung von Speichern sowie Mehrzweckspeicher-Kaskaden eine vielversprechende Lösung zur Minderung von Sommerwasserknappheit darstellen. Hierzu müssen jedoch aktiv (1) Herausforderungen bezüglich des Bewusstseins und der Datengrundlage zu Wasserknappheiten angegangen werden, (2) Empfehlungen für die öffentliche Politik und Gesetze umgesetzt werden und (3) Grundsätze für die Durchführung von Partizipationsprozessen erarbeitet und umgesetzt werden, um die Wasserversorgung in der Schweiz weiterhin in gewohnter Qualität und Zuverlässigkeit für verschiedene Wassernutzungen gewährleisten zu können.

Der Bericht schliesst mit **Handlungsempfehlungen** zur Umsetzung auf kantonaler und Bundesebene und dem Aufzeigen weiteren **Forschungsbedarfs**.

Résumé

En raison du changement climatique, la couverture neigeuse et la masse des glaciers vont diminuer, les précipitations vont se déplacer davantage vers l'hiver et il faut s'attendre à des sécheresses estivales plus fréquentes. En même temps, la demande en eau, notamment de la part de l'agriculture, devrait augmenter pendant les mois d'été. Dans ce contexte, il est question d'évaluer le potentiel des réservoirs d'eau pour réduire les pénuries d'eau en été. Dans une première étape de projet, le manque d'eau en été actuel et futur a été estimé pour 307 bassins versants de taille moyenne en Suisse et comparé au volume de stockage utile des lacs naturels et des réservoirs artificiels. **Du point de vue du bilan hydrique**, le potentiel local des réservoirs existants pour réduire la pénurie d'eau s'est avéré plutôt faible. Au niveau régional (c'est-à-dire pour les bassins versants plus importants), il a toutefois été démontré qu'il existe un potentiel de réduction de la pénurie d'eau régionale.

Dans la deuxième partie du projet, les défis d'une utilisation polyvalente des réservoirs ont été identifiés **du point de vue de la gouvernance, de l'écologie, de la protection du paysage et de l'économie** et des solutions pour ces derniers ont été analysées. Le présent rapport de synthèse montre les défis qui revêtent une importance particulière pour les utilisations de l'eau des réservoirs en Suisse : (1) **Manque de données** sur les impacts hydrologiques et socio-économiques de l'utilisation polyvalente ; (2) Manque de sensibilisation aux (futurs) pénuries d'eau saisonnières et régionales ; (3) **Coordination procédurale et juridique** insuffisante des différentes utilisations ; (4) Manque de **stratégies pour faire face à la pénurie d'eau** ; (5) Manque de **capacité d'adaptation** au changement climatique et aux changements socio-économiques ; (6) **Compromis non résolus** entre (a) les intérêts de conservation et d'utilisation et (b) entre l'atténuation (hydroélectricité) et l'adaptation (irrigation, écologie) au changement climatique. Les approches suivantes ont été identifiées pour faire face à ces défis : (1) accroître la sensibilisation aux pénuries d'eau et développer des bases de données ; (2) mettre en œuvre des recommandations concrètes pour la politique publique et les lois ; et (3) adhérer à certains critères de conception dans le cadre de processus participatifs afin de développer des possibilités d'utilisation polyvalente.

En ce qui concerne **les impacts écologiques**, il a été constaté qu'un changement dans la gestion des lacs et réservoirs naturels existants en faveur d'une utilisation polyvalente accrue n'entraînerait que des impacts supplémentaires mineurs par rapport aux impacts écologiques existants causés par la réglementation actuelle des lacs et réservoirs. Dans certains cas, l'utilisation polyvalente pourrait ajouter une valeur écologique, par exemple, si les réservoirs hydroélectriques augmentent le ruissellement pendant les étés secs pour les utilisations sous-jacentes. La recherche documentaire n'a pas apporté de nouveaux résultats significatifs sur les impacts écologiques des nouveaux réservoirs ; à l'avenir, les impacts locaux devront également être présentés pour chaque cas individuel dans le cadre d'une étude de l'impact sur l'environnement (EIE).

Les analyses de l'impact économique de l'utilisation polyvalente ont montré qu'il n'est pas opportun de procéder à une **analyse globale des coûts et des avantages** de l'utilisation polyvalente des réservoirs d'eau suisses, car les coûts et les avantages se produisent souvent au niveau régional, dans des endroits très différents (qui ne sont souvent pas ceux où les décisions sont prises) et sont à l'avantage/au détriment de différents secteurs (ou du grand public). Néanmoins, certains éléments indiquent qu'une utilisation polyvalente accrue peut avoir un effet économique net positif.

En résumé, les résultats montrent que l'utilisation polyvalente des réservoirs et lacs ainsi que les cascades de réservoirs à usages multiples constituent une solution prometteuse pour atténuer la pénurie d'eau en été. Toutefois, il faut activement (1) aborder les défis liés à la sensibilisation et aux données sur la pénurie d'eau, (2) mettre en œuvre des recommandations en matière de politique publique et de législation, et (3) élaborer des principes de mise en œuvre des processus participatifs afin de continuer à assurer l'approvisionnement en eau en Suisse avec la qualité et la fiabilité habituelles pour les différents usages de l'eau.

Le rapport se termine par des **recommandations d'action** pour la mise en œuvre au niveau cantonal et fédéral et l'identification de besoins de recherche supplémentaires.

Summary

Due to climate change, snow cover and glacier mass will decrease, precipitation will shift more to the winter season, and more frequent summer droughts are to be expected. At the same time, the demand for water, especially for agriculture, is expected to increase in the summer months. In this context, the question arises how high the potential of water reservoirs is to reduce summer water shortages. In a first sub-project, the current and future summer water scarcity was estimated for 307 medium-sized catchments in Switzerland, and compared with the usable storage volume of natural lakes and artificial reservoirs. From a **water balance perspective**, the local potential of existing reservoirs to reduce water scarcity was found to be rather low. However, at the regional level (i.e. for larger catchments), it was shown that there indeed is a potential capacity to reduce water scarcity.

In the second part of the project, it was analysed, which challenges for the multi-purpose use of reservoirs from the **perspective of governance, ecology, landscape protection and economics** exist, and how they can be solved. This synthesis report shows, which challenges are of particular importance for water uses of reservoirs in Switzerland: (1) lack of **data** on hydrological and socio-economic impacts of multi-purpose use; (2) lack of **awareness** of (future) seasonal and regional water scarcities; (3) insufficient **procedural and legal coordination** of different uses; (4) lack of **strategies to deal with water scarcity**; (5) lack of **adaptive capacity** to climate change and socio-economic changes; (6) unresolved **trade-offs** (a) between **conservation and use interests** and (b) between **mitigation** (hydropower) and **adaptation** (irrigation, ecology) to climate change. The following approaches to deal with the challenges are identified: (1) raising awareness of water scarcity and developing data baselines; (2) implementing concrete recommendations for public policy and legislation; and (3) adhering to specific design criteria in participatory processes to develop options for multi-purpose use.

Research on **ecological impacts** has shown that changing the management of existing natural lakes and reservoirs towards increased multi-purpose use will result in minor additional impacts, only. This is particularly true when considered in relation to the existing ecological impacts caused by the current regulations of lakes and reservoirs. In specific cases, multi-purpose use could add ecological value, e.g., if hydropower reservoirs increase runoff in dry summers for downstream uses. The literature search did not yield any significant new findings on the ecological impacts of new reservoir construction. In future, the local impacts will have to be analysed for each individual case within the framework of an environmental impact assessment.

The analyses of the economic impacts of multi-purpose use have shown that a general **cost-benefit analysis** for the multi-purpose use of Swiss reservoirs is not expedient, because costs and benefits often occur regionally in very different places (often not where decisions are made) and are to the benefit/expense of different sectors (or the general public). Nevertheless, there is evidence that increased multi-purpose use can have a positive net economic effect.

In summary, the results show that multi-purpose use of storage as well as multi-purpose storage cascades are a promising solution to mitigate summer water scarcity. However, this requires actively (1) addressing challenges related to water scarcity awareness and data, (2) implementing recommendations for public policy and legislation, and (3) developing and implementing principles for conducting participatory processes in order to ensure a continued water supply in Switzerland with the usual quality and reliability for different water uses.

The report concludes with **recommendations for action** for implementation at cantonal and federal level and the identification of **further research needs**.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung.....	9
1.1 Hintergrund	9
1.2 Projekt Mehrzweckspeicher in Hydro-CH2018	10
1.3 Ziel des Syntheseberichtes	11
2. Schlüssel-Faktoren der Mehrzwecknutzung von Speichern.....	11
2.1 Wasserdargebot und Nachfrage heute und in Zukunft	11
2.2 Governance.....	12
2.3 Ökologische Auswirkungen	13
2.4 Landschaftliche Auswirkungen	14
2.5 Sozio-ökonomische Auswirkungen.....	14
3. Chancen und Herausforderungen einzelner Speichermöglichkeiten für die Mehrzwecknutzung.....	16
3.1 Alpenrand- und Mittellandseen	16
3.2 Bewässerungsteiche.....	19
3.3 Wasserentnahme aus Speicher-Fluss-Kaskaden.....	22
3.4 Beschneidungsteiche	24
3.5 Änderung der Bewirtschaftung bestehender Speicher bei der Konzessionserneuerung.....	27
3.6 Neubau von alpinen Speichern	29
3.7 Zusammenfassung Chancen und Herausforderungen einzelner Speichermöglichkeiten für die Mehrzwecknutzung	38
4. Konkrete Fallbeispiele.....	41
4.1 Fallbeispiel zur Governance der Mehrzwecknutzung	41
4.1.1 Ziel der Fallstudie und Limitationen	41
4.1.2 Beschreibung Fallstudien-Kaskaden A und B.....	41
4.1.3 Methode.....	46
4.1.3 Ergebnisse	46
4.1.4 Schlussfolgerungen	53
4.2 Fallbeispiel zur Kosten-Nutzen Berechnung einer Mehrzwecknutzung	56
4.3 Fallbeispiele zu Mehrzweckspeichern im Kanton Graubünden und Wallis.....	58
5 Zusammenfassung einzelner Aspekte der Mehrzwecknutzung.....	61
5.1. Governance.....	61
5.2 Ökologische Auswirkungen	61
5.3 Landschaftliche Auswirkungen	62
5.4 Sozio-ökonomische Auswirkungen.....	63
6 Schlussfolgerungen und Herausforderungen.....	65
7 Handlungsempfehlungen.....	67
8 Forschungsbedarf	71
Literaturverzeichnis.....	72
Anhang 1	82

1 Einführung

1.1 Hintergrund

Die Schweiz wird oft als "Wasserschloss Europas" bezeichnet, weil sich hier die Quellen der grossen Flüsse Europas befinden (Viviroli et al. 2007; Mountain Agenda 1998). Die Rhone fliesst in das westliche Mittelmeer, der Rhein in die Nordsee, der Tessin (Po) in die Adria und der Inn (Donau) ins Schwarze Meer. Das Wasser dieser Flüsse wird für vielfältige Zwecke wie Bewässerung, Wasserkraftproduktion, Trink- und Industriewasserversorgung, Tourismus, Ökologie und thermische Kühlung benötigt. Im Sommer ist der Wasserbedarf in Europa besonders hoch, da mehr Wasser für die Bewässerung und Kühlung verwendet wird (Brunner et al. 2019c). Aus hydrologischer Sicht sind die grossen Flüsse alpin geprägt. Dank der Schnee- und Gletscherschmelze führen sie genau dann viel Wasser, wenn der Wasserbedarf sehr hoch ist (Huss 2011; Jenicek et al. 2018). Diese Abflussspitzen sind stark beeinflusst durch die Speicherkapazität eines Einzugsgebietes, wie Schnee und Gletscher, aber auch durch den Boden, das Grundwasser sowie natürliche und künstliche Seen (van Loon 2015). Infolge des Klimawandels und damit einhergehender Temperaturerhöhungen werden die beiden natürlichen Speicher Schnee und Gletscher in Zukunft aufgrund des Gletscherrückgangs und einer Verringerung der Schneedecke an Bedeutung verlieren (Farinotti et al. 2016; Marty et al. 2017; Beniston et al. 2018). So beträgt beispielsweise der Anteil des Wassers, welcher der Schneedecke entstammt, beim Rhein in Basel heute rund 40% und wird gegen Ende des Jahrhunderts auf 20-25% zurückgehen (BAFU 2012b). Es wird daher erwartet, dass die Abflüsse im Winter und Frühjahr zunehmen, aber im Sommer und Herbst zurückgehen, während die Jahresabflussmenge relativ stabil bleiben wird (BAFU 2021). Gleichzeitig wird prognostiziert, dass die Abhängigkeit von alpinen Abflüssen bis 2050 aufgrund von Bevölkerungswachstum und Landnutzungsänderungen zunehmen wird (Viviroli et al. 2020). Diese Veränderungen in der saisonalen Wasserverfügbarkeit sowie der Wassernutzungen können zu saisonalen und lokalen Wasserknappheiten führen (Weingartner et al. 2014), wie die Trockenjahre 2003, 2015 und 2018 in der Schweiz gezeigt haben.

Der Hitzesommer 2003 wurde von der Bevölkerung mehrheitlich noch als Ausreisser wahrgenommen. Der Sommer 2015 war dann nach 2003 der zweitwärmste Sommer seit Beginn der Messungen im Jahr 1864. Er war geprägt durch niedrige Pegelstände und geringe Abflussmengen in den Gewässern, starke Gletscherschmelze und eine rekordhohe Erwärmung von Permafrostböden. Das Sommerhalbjahr 2018 (April bis September) war dann nach 2003 und 2015 der wärmste Sommer in der Schweiz seit Messbeginn. Die hohen Temperaturen waren von einer aussergewöhnlichen Trockenheit begleitet, die an einigen Messstationen in der Ostschweiz zu einem Jahrhundertereignis führte. Viele Fischarten litten unter den hohen Wassertemperaturen und im Rhein kam es trotz der eingeleiteten Sofortmassnahmen im August zu einem Fischsterben. Die Rheinschifffahrt musste aufgrund der tiefen Wasserstände reduziert werden. Aufgrund der Trockenheit verfärbten sich die Laubbäume bereits im Juli und die Waldbrandgefahr war in der ganzen Schweiz gross. In der Landwirtschaft verursachte die Trockenheit Ernteausfälle bei Gras und Futtermitteln. Auf vielen Alpen wurde das Wasser knapp, und Helikopter stellten die Wasserversorgung sicher (BAFU 2016a, 2019a).

Diese Situationen stellen neue Herausforderungen für die Wasserwirtschaft dar, da Landwirtschaft und Wasserkraftproduktion direkt von alpinen Einzugsgebieten abhängen und sich an die Veränderungen der Wasserverfügbarkeit anpassen müssen (Beniston et al. 2018). Mit der abnehmenden Bedeutung der natürlichen Speicher Schnee und Gletscher nimmt der Stellenwert von anderen Speichern zur Gewährleistung der Wasserverfügbarkeit und des Wasserknappheits-Managements zu (Ehsani et al. 2017). Speicher können ein Wasserdefizit in Trockenzeiten reduzieren, indem sie Wasser in regenreichen (Winter-) Perioden zwischenspeichern (Wanders and Wada 2015). Hierzu können neue künstliche Speicher, die Umnutzung bestehender künstlicher Speicher, aber auch natürliche Seen einen Beitrag leisten. Sowohl in der nationalen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (BAFU 2012a,

2014a) als auch in kantonalen Strategien ist festgehalten, dass Umnutzungen von bestehenden Speichern in Mehrzweckspeicher zu prüfen sind. Mehrzweckspeicher sind Speicher, die für mehrere Nutzungen verwendet werden. Dies können Energieerzeugung, Hochwasserschutz, Beschneigung, Bewässerung, Trinkwasser, Löschwasser, thermische Nutzung, Speisung von Oberflächengewässern in lang andauernden Trockenperioden sowie Schaffung von touristischen Zonen sein. Während Wasserspeicher in umliegenden Ländern wie Frankreich, Österreich, Italien, Deutschland sowie in aussereuropäischen Ländern bereits seit vielen Jahren für verschiedene Zwecke genutzt werden, ist die Mehrzwecknutzung insbesondere in Bezug auf Trockenheit in der Schweiz weniger etabliert (Kellner and Weingartner 2018). Auch die Massnahmen in den nationalen und kantonalen Strategien haben hier noch zu keiner Veränderung geführt.

1.2 Projekt Mehrzweckspeicher in Hydro-CH2018

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) initiierte im Rahmen des NCCS-Programms Hydro-CH2018 im Frühjahr 2017 ein Forschungsprojekt zu Wasserspeichern in der Schweiz. Da Wasserspeicher Teil von sozial-ökologischen Systemen sind, sollte das Potential von Mehrzweckspeichern, deren Implementierung und Auswirkungen interdisziplinär untersucht werden (s. Abb. 1). Genau diesen Ansatz verfolgte das initiierte Forschungsprojekt. Der erste Teil des Projektes ging der Frage nach, **wie gross das effektive, nachhaltig nutzbare Potenzial von natürlichen und künstlichen Seen zur Bewältigung zukünftiger Wasserknappheit in der Schweiz ist?** Die Eidg. Forschungsanstalt WSL und die HSR Hochschule für Technik Rapperswil berechneten in der ersten Projektphase das theoretische, wasserbilanz-basierte Potenzial (Brunner et al. 2019b). In einer nachfolgenden Projektphase (2019-2021) wurde aufgezeigt, (i) wie das theoretische Potenzial möglichst optimal genutzt werden kann, und (ii) wo die Herausforderungen und Risiken bei der Nutzung des theoretischen Potenzials liegen.

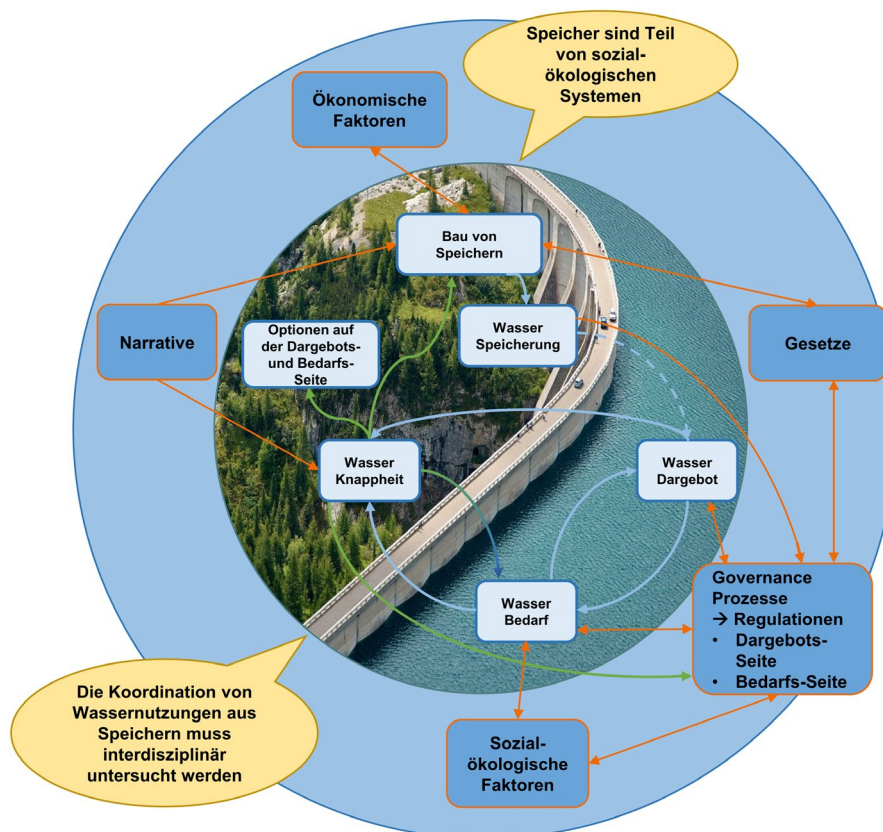


Abbildung 1: Wasserspeicher sind Teil von sozial-ökologischen Systemen. Die Implementierung sowie die Wassernutzungen werden durch verschiedene Faktoren beeinflusst (angepasst von Kellner 2021b).

1.3 Ziel des Syntheseberichtes

Der vorliegende Synthesebericht zeigt für die Schweiz eine Übersicht der **Herausforderungen, Risiken und Chancen** einer verstärkten Mehrzwecknutzung bestehender und neuer Wasserspeicher auf – insbesondere im Hinblick auf die Bewältigung von aussergewöhnlichen Trockenheits-Situationen, welche in Zukunft vermehrt erwartet werden. Dabei wird besonders auf ökologische, landschaftliche, wirtschaftliche, rechtliche und prozedurale (Governance-bezogene) Aspekte fokussiert, wogegen technische Aspekte nicht behandelt werden. Aus den daraus entwickelten Schlussfolgerungen werden Handlungsempfehlungen (auf übergeordneter Ebene) entwickelt, welche eine optimierte Mehrzwecknutzung von Wasserspeichern in der Schweiz unterstützen.

2. Schlüssel-Faktoren der Mehrzwecknutzung von Speichern

2.1 Wasserdargebot und Nachfrage heute und in Zukunft

Im Zentrum der Mehrzwecknutzung von Wasserspeichern steht die Frage, wieviel Wasser überhaupt zur Verfügung steht und nachgefragt wird. Dieser Aspekt wurde im ersten Teil dieses Projektes für die gesamte Schweiz untersucht (Brunner et al. 2019a). Dabei interessiert nicht in erster Linie ein Normaljahr, sondern aussergewöhnliche trockene Sommer (wie beispielsweise 2003 und 2018), sowie zukünftige Situationen unter dem Einfluss des Klimawandels.

Eine umfassende Berechnung basierend auf allen verfügbaren Daten und den aktuellsten Klimaszenarien (CH2020) hat ergeben, dass sich das gesamte zukünftige Wasserdargebot in der Schweiz gegenüber heute nur gering verändern wird, während sich die Saisonalität des Abflusses, insbesondere in den Regionen mit Schnee- und Gletschereinflüssen, relativ stark verändern wird. Sommerwasserknappheit ist sowohl unter heutigen wie auch zukünftigen Bedingungen v.a. im Mittelland und nur bedingt in alpinen Regionen zu erwarten. Unter extremen Bedingungen können aber auch Gebiete in den Alpen von Wasserknappheit betroffen sein.

Die schweizweite, totale Kapazität der natürlichen Seen und künstlichen Wasserspeicher ist grösser als die erwartete Wasserknappheit im Sommer. Während bei Stauseen beinahe die volle Speicherkapazität (3 500 Mio. m³) auch tatsächlich nutzbar ist, heute aber vorwiegend für die Wasserkraftproduktion reserviert ist, beträgt der Anteil des Nutzvolumens am Gesamtvolumen aller natürlichen Seen der Schweiz im Durchschnitt lediglich 3.5%. Dieses Volumen (2 000 Mio. m³) ist kleiner als das Speichervolumen aller Schweizer Stauseen. Im Vergleich dazu sind die möglichen zusätzlichen Speichervolumina mittels Dammerhöhung oder neuer Gletscherseen relativ gross: 500 Mio. m³ für potenzielle Dammerhöhungen (Felix et al. 2020) und 4 000 Mio. m³ für potenzielle neue Gletscherseen (Farinotti et al. 2016). Trinkwasserreservoirs und Beschneiungsteiche weisen mit Abstand die kleinsten Speichervolumina auf und sind aufgrund ihrer Grösse für zusätzliche Nutzungen vernachlässigbar.

Generell ist festzustellen, dass die grossen Wasserspeicher oft nicht dort liegen, wo Wasserknappheit zu erwarten ist. Aus diesen Gründen ist das lokale Potenzial von bestehenden Speichern zur Verminderung von Wasserknappheit eher gering. Vergleicht man das nutzbare Speichervolumen hingegen auf (über-) regionaler Ebene mit dem dortigen Wasserbedarf, besteht ein beträchtliches Potenzial zur Verminderung von Wasserknappheit. In den meisten hydrologischen Grossregionen übersteigt das regional nutzbare Volumen von Wasserspeichern unter heutigen Bedingungen die regional zu erwartende Sommerwasserknappheit. Oberliegende Gebiete können in den Regionen Rhône, Rhein, Aare und Ticino unter normalen (mittleren) Bedingungen zur Deckung von Sommerdefiziten in unterliegenden Gebieten verwendet werden. Sogar unter extremen Bedingungen (100-jährliche Wasserknappheit) kann lokale Wasserknappheit oft über in der Region gespeichertes und nutzbares Wasser gedeckt werden. Eine Ausnahme bildet die Region Aare, wo das Nutzvolumen lediglich 52% der extremen

Wasserknappheit zu decken vermag. In diesem Gebiet könnten zusätzliche Speicher (bspw. periglaziale Speicher) einen Beitrag zur Verminderung von Wasserknappheit in unterliegenden Gebieten leisten.

2.2 Governance

Die Nutzung von Wasser aus Seen und Speichern betrifft viele verschiedene Sektoren, sowie die Ökologie und die Gesellschaft ganz allgemein – nicht nur Anlieger, sondern auch die unterliegenden Gebiete. Somit sind kurzfristige Nutzungs-Regelungen sowie langfristige Nutzungs-Strategien sehr wichtige, aber auch komplexe Themen für Entscheidungsträger. Der Zugang zu Wasser und deren Nutzungsrechte werden in einem komplexen Rechtsrahmen geregelt. So gelten in einem gegebenen (Ressourcen-)Perimeter (bspw. Einzugsgebiet) formelle Regeln, die aus dem Privatrecht (Eigentumsrechte, Verträge, etc.) sowie aus dem öffentlichem Recht (nationale, kantonale, kommunale Gesetzgebung,) stammen und die Nutzungs- und Verfügungsrechte des Wassers bestimmen (Gerber et al. 2009). Eigentumsrechte schützen Individuen und ihre Güter gegenüber dem Staat. Die öffentliche Nutzungs- und Schutzpolitik ist vom öffentlichen Recht abhängig. Diese legen eine begrenzte Handlungsspanne der Eigentümer zu Gunsten des öffentlichen Interesses fest. Das bedeutet, die Regeln beeinflussen das Verhalten der Eigentümer und/oder Nutzer (bspw. Bewässerungsgenossenschaft) dadurch, dass den Gütern und Dienstleistungen (z.B. Bewässerungswasser) eine bestimmte Nutzungsmenge zugewiesen wird. Aufgrund des institutionellen Charakters garantieren die formellen Regeln durch ihre Stabilität eine Regelmässigkeit und eine gewisse Vorhersehbarkeit der Ressourcenregulierungsmodalitäten, so dass sich Entscheidungen und Sanktionen aus deren Verwirklichung ergeben. Die konkreten Nutzungsrechte einer Ressource sowie die Verfügungsrechte erfolgen aus der Kombination der öffentlichen Politik und der Eigentumsrechte.

Meistens erhalten die Wassernutzenden eine zeitlich beschränkte Konzession. Dies gilt beispielsweise für die alpinen Wasserkraftspeicher, aber auch für die Nutzung von Bewässerungswasser aus Flüssen, Seen oder dem Grundwasser. Wie solche Nutzungsrechte erarbeitet und festgelegt werden, ist gesetzlich geregelt. Es ist festgelegt, wer am Entscheidungsprozess teilnehmen und wer konkret entscheiden darf, welche Rechte vergeben werden dürfen, welche Informationen für eine Entscheidung vorliegen müssen, und welche Kosten und Nutzen mit der Ressourcennutzung entstehen (Ostrom 1999).

In der Schweiz nahm die Zahl der öffentlichen Politiken (nationale, kantonale, kommunale Gesetzgebung) und Eigentumsrechte (Konzessionen, Wasser-Rechte, Verträge, Konventionen, etc.), welche die Nutzung von Wasser und den Bau von Wasserspeichern regeln, im Laufe des 20. Jahrhunderts stark zu. Somit ist die Anzahl der Regulierungen zwar hoch, aber die Kohärenz gering, da Nutzungs- und Schutzpolitiken weitgehend unkoordiniert und sektoriell entwickelt wurden (Oberlack and Eisenack 2018; Sosa et al. 2018; Hill 2013; Hurlbert and Montana 2015). Inkohärenzen können zwischen verschiedenen Sektoren, zwischen Mitigations- und Anpassungsstrategien an den Klimawandel und über administrative Grenzen hinweg bestehen (Sosa et al. 2018; Shrestha and Dhakal 2019a; Gupta et al. 2013). Die inkohärenten Ressourcen-Regulierungen, die sich bspw. in sich widersprechenden Nutzungs- und Schutzregulierungen zeigen, führen zu widersprüchlichen Anreizen (Kellner et al. 2019). Dadurch können Akteure mit unterschiedlichen Nutzungsinteressen widersprüchliche formale Regeln auf verschiedenen Governance-Ebenen oder in verschiedenen Politikbereichen aktivieren, um ihre speziellen Nutzungsinteressen zu verteidigen.

Diese Situation erschwert den Neu- oder Ausbau von Mehrzweckspeichern. Konfliktlösungen zwischen Ressourcen-Nutzungen und die Koordination der verschiedenen Ansprüche an einen Speicher sind unter inkohärenten Regelungen erschwert.

2.3 Ökologische Auswirkungen

Die Bewirtschaftung von Wasserspeichern für unterschiedliche Zwecke hat vielfältige Auswirkungen auf das Ökosystem im Speicher selbst, im angrenzenden Uferbereich, sowie entlang der unterliegenden Fliessgewässer. Zu den ökologischen Auswirkungen von Wasserspeichern liegen zahlreiche Studien und Forschungsarbeiten vor, welche sich auf konkrete Fallbeispiele beziehen (s. Abb. 2) und in der vorliegenden Studie analysiert wurden. Zusätzliche Informationen stammen aus einem Online-Workshop, der am 11.06.2020 mit Vertretern und Vertreterinnen verschiedener Forschungseinrichtungen, Bundesämter (BAFU, BFE, BLW), kantonaler Behörden, Verbände und weiterer Interessensgruppen durchgeführt wurde. Aus den zusammengetragenen Informationen wurde ein Zwischenbericht (Thür et al. 2020) und eine Übersichtsgrafik (s. Anhang 1) erstellt, von denen Erkenntnisse in den vorliegenden Bericht eingeflossen sind.

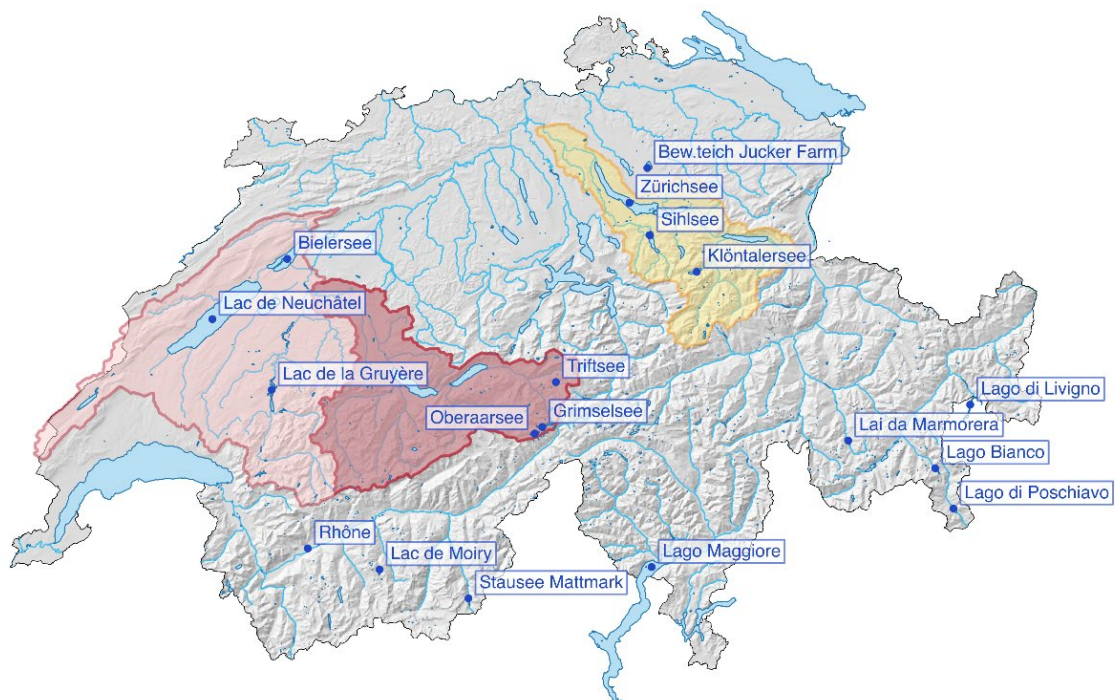


Abbildung 2: Geographische Lage von Wasserspeichern in der Schweiz, zu denen Informationen über ökologischen Auswirkungen vorliegen.

Die ökologischen Auswirkungen von Wasserspeichern sind sehr vielfältig und unterschiedlich gravierend. Sie betreffen die Qualität oder die Temperatur des Wassers, die Flora und Fauna sowie das Geschiebe oder die Sedimentablagerungen, welche ihrerseits eine wichtige ökologische Funktion haben (s. Abb. 3). Im Fall von Speicher-Neubauten kommen auch indirekte ökologische Auswirkungen, z.B. durch den Bau, hinzu.

Zu den ökologischen Auswirkungen einer verstärkten oder veränderten Mehrzwecknutzung liegen keine systematischen Studien vor. Eine der grossen Schwierigkeiten bei der Beurteilung ist die Tatsache, dass Seen und Speicher bereits durch ihre Primär-Nutzung (beispielsweise bei Stauseen durch die Wasserkraft) stark beeinflusst sind. Kritische ökologische Auswirkungen als Folge von Speicherbewirtschaftung, wie Schwall und Sunk oder grosse saisonale Pegelschwankungen, sind bereits durch die Primär-Nutzung entstanden und können nicht der Mehrzwecknutzung zugeschrieben werden.

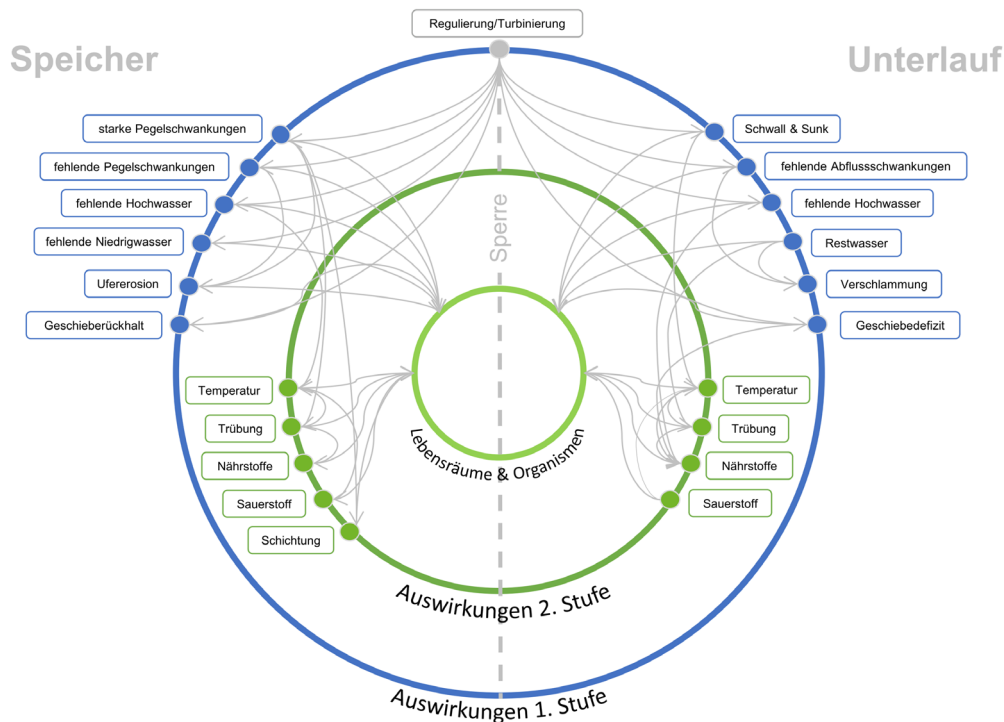


Abbildung 3: Übersicht der möglichen Auswirkungen einer verstärkten oder veränderten Bewirtschaftung von Wasserspeichern und die daraus resultierenden ökologischen Auswirkungen (Quelle: Thür et al., 2020).

2.4 Landschaftliche Auswirkungen

Jeder Speicher hat Auswirkungen auf das Landschaftsbild. Diese sind jedoch je nach Speicher sehr unterschiedlich (s. Kapitel 3). Pegelschwankungen, die durch eine Mehrzwecknutzung verstärkt oder vermindert werden können, führen zusätzlich zu landschaftlichen Auswirkungen. Die Wahrnehmung und Akzeptanz von Seen und künstlichen Speichern kann sehr individuell sein (bspw. Hunziker et al. 2012), wird beeinflusst durch aktuelle Ereignisse, die Medienberichterstattung (Daus et al. 2019), durch den Standort des Speichers und dessen Sichtbarkeit (Kellner 2019).

Das Landschaftskonzept Schweiz strebt an, dass Anlagen zur Energieerzeugung und -speicherung, wie alpine Speicher, möglichst landschafts- und naturverträglich ausgestaltet sind und der natürlichen Dynamik Rechnung tragen. Auf andere Speichertypen oder auf die Mehrzwecknutzung von Speichern wird im Landschaftskonzept nicht eingegangen (BAFU 2020c).

2.5 Sozio-ökonomische Auswirkungen

Bringt eine erweiterte Nutzung bestehender Wasserspeicher nur Vorteile oder entstehen dabei auch Kosten? Wie verhält es sich beim Bau neuer Speicher? Wo sind die Kosten und Nutzen zu verorten und wie kann man diese umfassend darstellen? Welche Rolle spielt bei diesen Überlegungen die öffentliche Hand und wie kann man mit Unsicherheiten, die sich aus dem fortschreitendem Klimawandel und der sozioökonomischen Entwicklung ergeben, umgehen? Diese Fragen stellten sich rund um die Kosten und Nutzen von Wasserspeichern und deren Mehrzwecknutzung; im Rahmen dieser Studie konnten allerdings nicht alle abschliessend beantwortet werden.

Hitze und Wasserknappheit bergen für die Landwirtschaft ein hohes Risiko. Bleibt der Niederschlag über einen längeren Zeitraum aus, können Kulturen nicht normal wachsen, im schlimmsten Fall verdorren sie. Die Erfahrungen aus den Jahren 2003, 2015 und 2018 zeigen, dass bei den landwirtschaftlichen Auswirkungen von Trockenheit und Hitze der Zeitpunkt des Einsetzens der Trockenheit, der Wasserbedarf der angebauten Kulturen sowie die Auswirkungen auf die Qualität der

Ernte entscheidend sind (ProClim 2005; BAFU 2016b, 2019b). Im Jahr 2003 führten die sommerliche Hitze und Trockenheit zu erheblichen Ertragsrückgängen bei Winterweizen, Wintergerste, Körnermais, Kartoffeln und Raps. Der Schweizerische Bauernverband schätzt die Verluste auf CHF 500 Mio. (ProClim 2005). Im Jahr 2015 waren hauptsächlich die Erträge im Kartoffel- und Zuckerrübenanbau betroffen und 2018 wurden gesamtschweizerisch vor allem niedrigere Zuckerrübenenerträge beobachtet (BAFU 2016b, 2019b). Das hitze- und trockenheitsbedingte Ertragsrisiko variiert regional stark und ist von den angebauten Sorten sowie dem Vorhandensein von Bewässerungsanlagen abhängig. Bei bewässerten Kulturen wurden kaum Ertragsrückgänge beobachtet, vorausgesetzt Bewässerungswasser stand ausreichend zur Verfügung.

In der Stromproduktion führen Trockenheit und einhergehende Niedrigwassersituationen vor allem bei Laufwasserkraftwerken zu Produktionseinbussen. Speicherkraftwerke profitierten hingegen vom zusätzlichen Schmelzwasser, das aufgrund der hohen Temperaturen aus den vergletscherten Gebieten zufließt und für die Stromerzeugung zur Verfügung steht. Vor allem in den Jahren 2003 und 2015 konnte eine erhöhte Stromproduktion der Speicherkraftwerke die Produktionseinbussen der Laufwasserkraftwerke wettmachen. Bei der Wasserkraft war in den drei Hitze- und Trockenjahren (2003, 2015, 2018) eine Tendenz zur Verschiebung der Stromproduktion vom Sommer in den Winter und das Frühjahr erkennbar. Für die Stromproduzenten ist dies positiv, da die Schweiz im Sommer Strom exportiert und im Winter auf Stromimporte angewiesen ist. Für Kernkraftwerke sind hohe Luft- und Wassertemperaturen limitierende Faktoren. Kernkraftwerke ohne Kühltürme verwenden Flusswasser zur Kühlung und leiten es danach wieder in die Flüsse zurück. Nach den Bestimmungen der Gewässerschutz-Verordnung (GSchV) darf die Temperatur eines Fließgewässers durch Wärmeeintrag oder -entzug gegenüber dem möglichst unbeeinflussten Zustand um höchstens 3 °C, in Gewässerabschnitten der Forellenregion um höchstens 1,5 °C, verändert werden; dabei darf die Wassertemperatur 25 °C nicht übersteigen. Wird diese erreicht, müssen Kernkraftwerke ihre Leistung reduzieren. Trotz der Zusammenhänge zwischen Temperatur, Wasserstand und Stromproduktion, gab es bei ganzjähriger Betrachtung in den letzten Hitze- und Trockenjahren kaum negative Auswirkungen auf die Schweizer Stromproduktion (ProClim 2005; BAFU 2016; 2019).

Bei der Mehrzwecknutzung (alpiner Speicherseen) werden neben der Primärnutzung (Stromproduktion) auch weitere Nutzungsmöglichkeiten (z.B. Hochwasserschutz, landwirtschaftliche Bewässerung) berücksichtigt. Wie bereits in Abschnitt 2.3 gezeigt, können diese Bewirtschaftungsentscheidungen einen erheblichen Einfluss auf den Unterlauf haben. Betreiber von Speicherkraftwerken möchten die im Frühjahr und Sommer anfallenden Niederschläge und Schmelzwassermengen für Zeiten hoher Strompreise im Winter speichern. Sie profitieren dabei von der Flexibilität, die Speicherkraftwerke bei der Stromerzeugung bieten. Die Landwirtschaft braucht jedoch gerade im Frühjahr und Sommer das Wasser aus Oberflächengewässern, um die Kulturen zu bewässern. Dieses Beispiel zeigt die sich entgegenstehenden saisonalen Anforderungen verschiedener Nutzungsformen. Konflikte können aber auch innerhalb einer Nutzungsform (z.B. Bewässerung) entstehen, wenn mehrere Nutzer (bspw. Landwirte) um die knappe Ressource Wasser konkurrieren. Diese Nutzungskonflikte gilt es in der Kosten-Nutzen-Analyse abzubilden.

Neben der Mehrzwecknutzung von Speicherseen gibt es auch Alternativen, um das Wasserknappheitsrisiko in der Landwirtschaft zu reduzieren. Lokale Bewässerungsteiche oder Bewässerungssilos können Niederschläge und Überschusswasser aus den Wintermonaten speichern und im Sommer nutzbar machen. Auch ein klimaangepasster Ackerbau und eine Anpassung bei den Bewirtschaftungsweisen, Kulturen und Standorten können dazu beitragen, das Wasserknappheitsrisiko nachhaltig zu reduzieren (BLW 2011). Seit 2009 besteht in der Schweiz zusätzlich die Möglichkeit, Ackerkulturen und Grasland gegen Trockenheitsschäden zu versichern (Schweizer Hagel 2018).

Um fundierte Aussagen zur Wirtschaftlichkeit der Mehrzwecknutzung treffen zu können, gilt es, die Nutzen und Kosten umfassend zu ermitteln und zu vergleichen. Dabei sollten grundsätzlich alle positiven und negativen Auswirkungen einer Massnahme erfasst werden, inklusive der externen Kosten und Nutzen (z.B. durch ökologische Auswirkungen). Die Auswirkungen werden in Geldeinheiten ausgedrückt; dies ermöglicht einen direkten Vergleich. Allerdings müssen dafür auch Kosten und Nutzen monetär erfasst werden, für die es (noch) keine Marktpreise gibt (z.B. Auswirkungen auf die Biodiversität, bestimmte Ökosystemleistungen oder das Landschaftsbild). Werden Kosten und Nutzen analysiert, die über einen längeren Zeitraum (z.B. mehrere Jahre) anfallen, müssen diese diskontiert werden. Betrachtet man längere Zeiträume, ist ferner zu berücksichtigen, dass Berechnungsgrössen über die Zeit zu- oder abnehmen können (z.B. der zukünftige Wasserbedarf). Hier ist zu klären, welche Veränderungen im Rahmen der Analyse angenommen werden. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren erlauben die Ergebnisse einer Kosten-Nutzen-Analyse klare Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von Massnahmen und den verfügbaren Alternativen (BAFU 2007).

3. Chancen und Herausforderungen einzelner Speichermöglichkeiten für die Mehrzwecknutzung

Im Folgenden werden verschiedene natürliche und künstliche Speicher und deren Herausforderungen bezüglich Koordination sowie ökologische, landschaftliche und ökonomische Auswirkungen bei der Mehrzwecknutzung beschrieben.

3.1 Alpenrand- und Mittellandseen

Seen sind nicht nur bereichernde Landschaftselemente, sie sind auch bedeutende Wasserspeicher (s. Abb. 4). Unter natürlichen Bedingungen unterliegen deren Pegelstände grossen Schwankungen. Von den Schweizer Seen mit einer Seefläche von mehr als 20 Quadratkilometern werden alle bis auf den Bodensee und den Walensee hinsichtlich Seestand und -abfluss reguliert. Dazu werden verschiedene Wehrtypen eingesetzt. Grössere Regulierwehre sind oft auch kombiniert mit Wasserkraftwerken für die Stromproduktion oder mit Schleusen für die Schifffahrt. Seeregulierungen erfolgen nicht willkürlich, verbindliche Reglemente definieren für jeden Tag im Jahr und für jeden möglichen Seestand einen bestimmten Sollabfluss. Dadurch wird ein Gleichgewicht zwischen den Seezuflüssen und dem Seeausfluss erzielt und ein gleichmässiger Abfluss im Unterlauf sichergestellt, welcher den Interessen von Seeanstössern und Unterliegern bzw. den Bedürfnissen von Hochwasserschutz, Natur, Schifffahrt oder Energiegewinnung am besten Rechnung trägt. Wenn bei starken Niederschlägen oder während einer intensiven Schneeschmelze aussergewöhnlich grosse Seezuflüsse zu erwarten sind, kann der See durch eine vorausschauende Regulierung abgesenkt werden. Dies schafft zusätzliches Rückhaltevolumen und mindert die Hochwasserbedrohung. Die Erfahrungen der Hochwasser von 1999, 2005 und 2007 zeigten, dass nicht erst bei steigenden Pegelständen, sondern bereits im Vorfeld solcher Ereignisse reagiert werden sollte, indem der Seepegel gesenkt wird. Durch die trockenen Sommer von 2003, 2015 und 2018 wurden auch für den gegenteiligen Fall Erfahrungen gesammelt. Hierbei ging es einerseits um das Aufrechterhalten des Seepegels trotz des reduzierten Zuflusses, aber gleichzeitig auch um genügende Abflussmengen für die unterliegenden Gewässer. Durch eine entsprechende Regulierung können Seen somit einen Beitrag zur Minderung von Wasserknappheit leisten, wobei die Regulierung weitere Nutzungsinteressen am See und am Abfluss berücksichtigen muss. Gezielte Abfluss-Regulierungen für Wasserentnahmen im Unterlauf sind in der Schweiz bisher noch nicht üblich.



Abbildung 4: Bielersee, Kanton Bern: Beispiel eines Mittellandsees mit angrenzender Landwirtschaft (Foto: Urs Wehrli).

Da die Regulierung der Seestände und der Seeausflüsse nicht allen Ansprüchen jederzeit und gleichermassen gerecht werden kann, müssen Kompromisse eingegangen werden. Die Entwicklung der jeweiligen Seereglemente erfolgte partizipativ, und es wurde versucht, den unterschiedlichen Nutzungs-Interessen bezüglich optimaler Seestände bestmöglich gerecht zu werden. Trotzdem entstehen immer wieder Interessenskonflikte: beispielsweise wäre für Flora und Fauna insbesondere im Frühjahr ein natürliches, unreguliertes Pegelregime günstig. In dieser Jahreszeit müssen aber die Pegelstände mancher Seen tief gehalten werden, um das Schmelzwasser aufnehmen zu können. Im Winter benötigt die See-Schifffahrt genügend hohe Seestände, während teilweise die Pflege seenaher Riedflächen im Herbst und Winter tiefe Wasserstände erfordert (BAFU 2015). Hingegen wären sowohl für die Landwirtschaft als auch für die unterliegenden Wasserkraftwerke eher ausgeglichene, konstante Verhältnisse vorteilhaft. So ergeben sich widersprechende Schutz- und Nutzungsinteressen sowie Zielkonflikte zwischen Anwohnenden am See und am Unterlauf.

Zuständig für die Regulierung der Seen, die Überwachung der Reguliersysteme und die Festlegung der saisonalen Eckwerte sind die Kantone. Dort, wo mehrere Kantone von einer Seeregulierung betroffen sind, bestehen interkantonale Vereinbarungen. Zudem verfügt der Bund beim Zürichsee und bei den Jurarandseen ein Mitspracherecht in Hochwasser-Notsituationen. Es ist jedoch (noch) nicht abschliessend geklärt, ob Niedrigwassersituationen im Sinne der Reglemente zu den Notsituationen gehören.

Herausforderungen bei der Koordination

Die Seen werden schon heute für die Gewinnung von Trinkwasser, zur Regulierung von Hochwasser, zur Bewässerung, Kühlung, Heizung und zur Naherholung genutzt. Zusätzliche oder vermehrte Nutzungen zur Minderung von Wasserknappheit würden wahrscheinlich eine Anpassung des Seereglements erfordern. Im Kanton Bern wurde das Seereglement beim Thunersee für den 2009 in

Betrieb genommenen Hochwasser-Entlastungsstollen vorläufig geändert. Einer solchen Änderung folgt eine 10-jährige Monitoring-Phase für bestimmte ökologische Parameter. Erst nach deren Auswertung und etwaigen weiteren Ersatzmassnahmen kann ein neues Reglement beschlossen werden. Eine von der BLS AG für die Schifffahrt am Thuner- und Brienzensee geforderte Seereglement-Änderung wurde aufgrund der aufwendigen Prozesse mit geringen Erfolgsaussichten in den letzten Jahren eingestellt. Die Beispiele zeigen, dass die Änderung eines Seereglements ein sehr langwieriger und kostspieliger Prozess ist, bei dem das Reglement mit allen Akteuren neu ausgehandelt und eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt werden muss.

Ökologische Auswirkungen

Die Alpenrand- und Mittellandseen werden wie oben beschrieben schon heute mehrfach genutzt. Die Integration weiterer Nutzungen müsste in das Seereglement aufgenommen werden. Hierbei würde sich voraussichtlich an den vorgegebenen Pegelständen, die für die Schifffahrt, die Anlieger aber eben auch für die ökologischen Ansprüche festgelegt wurden, nichts ändern. Die Seeregulierung führt schon heute zu einer Dämpfung der Seespiegelschwankungen mit den folgenden ökologischen Auswirkungen:

Beeinträchtigung von Schilfgürteln und anderen lokalen, ökologisch wertvollen Uferbereichen: Durch die Dämpfung der Seespiegelschwankungen werden die Flachwasser- und Uferbereiche weniger stark überflutet. Dies kann beispielsweise die Brutgebiete von Vögeln (Uferbereiche, Moore, Rieden) tangieren. Dadurch hat auch die Überflutungsdauer der Schutzgebiete abgenommen, was eine Artenverschiebung und Abnahme von artenreichen Gebieten zur Folge hat (Fuhrer et al. 2019). Auch am Lago Maggiore gibt es diesbezüglich grössere Bedenken: Ein erhöhter Seepegel (als Wasserreserve für die landwirtschaftliche Bewässerung in unterliegenden italienischen Gebieten) gefährde das Ökosystem der Sumpflandschaft Bolle di Magadino in der Schweiz, ein wichtiges Gebiet für den Vogelschutz. Bei erhöhtem Wasserstand werde der Sumpf überschwemmt und Insekten, für die das Gebiet Brutstätte ist, würden weggeschwemmt, was sich wiederum auf die Nahrungskette der Zugvögel auswirkt (SRF 2019; Swissinfo 2019).

Verstärkte Ufererosion: Durch die eingeschränkten Pegelschwankungen trifft das Wasser das ganze Jahr über auf denselben Uferbereich und erodiert dort stärker, als wenn der Pegel stärker schwanken würde. Davon ist bspw. am Neuenburgersee das Moor der Grande Cariaie betroffen, das zwischen See und Wald liegt. Dadurch verschwinden Sandbänke. Der Wald gewinnt durch die Verbuschung – auf Kosten des Moores – an Land und beeinträchtigt/verändert die Biodiversität (Baudraz 2018).

Neben der Dämpfung der Seespiegelschwankungen verändern die Seeregulierung und die verschiedenen Nutzungen teilweise die Wassertemperatur und Wasserqualität im See, vor allem aber die der unterliegenden Fliessgewässer.

Veränderung der Abflussdynamik im Unterlauf: Eine Anpassung der Seen-Bewirtschaftung beeinflusst auch die Abflussdynamik im Unterlauf. Wenn es (wie im Fall des Lago Maggiore) das Ziel ist, den Seepegel im Frühling und Sommer auf einem höheren Niveau zu regulieren und damit mehr Wasser für Trockenheit bereitzustellen, nimmt die Hochwasser-Gefahr zu. Dies stellt eine Gefahr für die Seeanstösler dar und kann zu höheren/häufigeren Abflussspitzen im Unterlauf führen. Für die Ökologie von unterliegenden Auen wäre dies eine positive Auswirkung. Auch eine Veränderung des Seeabflusses in trockenen und heissen Sommern hin zu höheren Abflüssen (und folglich zu einer stärkeren Absenkung des Seepegels) begünstigt die Ökologie des Unterlaufs. So kühlt sich dort die Wassertemperatur ab, und kritische Niedrigwasser-Situationen können sich entschärfen – mit positiven Auswirkungen für Fische und andere aquatische Ökosysteme im Unterlauf.

Landschaftliche Auswirkungen

Eine veränderte Bewirtschaftung bestehender natürlicher Seen, die ein aktiveres Wasserknappeits-Management berücksichtigt, könnte sich auch auf das Landschaftsbild auswirken. Beispielsweise könnten Seespiegelschwankungen vegetationsfreie verschlammte Uferstreifen vermehrt sichtbar machen.

Ökonomische Auswirkungen

Beeinflusst die Mehrzwecknutzung die Stromproduktion aus Wasserkraft oder die Schifffahrt, kommt es zu Produktions- bzw. Betriebseinschränkungen. Für die Betreiber würden dadurch Kosten entstehen, da sie nicht die optimale Strommenge produzieren bzw. die Flotte nicht optimal auslasten könnten. Zusätzlich entstünden Transaktionskosten, da zusätzliche Nutzungen zu einem erhöhten Koordinationsbedarf führen.

3.2 Bewässerungsteiche

Trotz des Abschmelzens der Gletscher und somit eines teilweise erhöhten Abflusses wurden in Hitzesommern wie 2003, 2015 und 2018 Entnahme-Einschränkungen oder Verbote bezüglich Wasserentnahmen aus Oberflächengewässern oder Grundwasser verfügt. Diese führten teilweise zu Konflikten zwischen den kantonalen Behörden und der Landwirtschaft (BUWAL, BWG, MeteoSchweiz 2004; BAFU 2016a). Besonders in diesen Trockenzeiten wird Bewässerungswasser für die Landwirtschaft und Freizeitaktivitäten (z.B. Golfplätze) benötigt. Der Bewässerungsdruck wird jedoch auch durch eine intensivere Anbauweise erhöht. Im Vertragsanbau für Konservengemüse wird die Möglichkeit zur Bewässerung vom Abnehmer vertraglich verlangt (Kellner 2020b).

Als Reaktion darauf kann man in den letzten Jahren einen Anstieg der Zahl von Bewässerungsteichen beobachten. In Bewässerungsteichen wird Wasser aus Oberflächen- oder Niederschlagswasser gespeichert. Bei deren Bau wird meist die Aushuberde als Damm rund um den Teich aufgeschüttet, wodurch das Volumen des Teichs erhöht wird. Dies bedeutet aber gleichzeitig einen landschaftlichen Eingriff (s. Abb. 2 links). Der Boden ist meist mit Folie ausgelegt und der Teich aus Sicherheitsgründen eingezäunt. Golfplätze haben oftmals eigene Bewässerungsteiche, die Teil der Anlage sind. Teilweise werden über die Folie spezielle Netze gelegt, welche es Kleinlebewesen ermöglichen, sich daran festzuhalten und bei Bedarf auszusteigen (Kellner and Weingartner 2018). Gegen die Bildung von Algen wird das Wasser in Bewässerungsteichen meist angesäuert. Im Wallis nutzt man Bewässerungsteiche im Gegensatz zu anderen Gebieten der Schweiz schon seit längerer Zeit. Sie werden auch in höheren Lagen gebaut, um Rebflächen mit genügend Wasser zu versorgen (s. Abb. 5 rechts).

Teilweise werden auch fixe Stahlsilos verwendet (s. Abb. 6 links). Hierbei wird auf der vorgesehenen Fläche der Humus bis auf 80 cm Tiefe abgeführt, verdichtet und mit Gartenplatten ausgelegt. Hierauf wird das Silo gestellt. Solche Silos haben relativ kleine Volumina von unter 1000 m³ Speicherkapazität, welche jedoch je nach landwirtschaftlichem Betrieb ausreichend ist.



Abbildung 5: links: Bewässerungsteich Seeland, Kanton Bern (Foto: Elke Kellner); rechts: Bewässerungsteich in Miège, Kanton Wallis (Foto: Michael Beyrer).



Abbildung 6: links: Stahlsilo bei einem Beerenproduzenten in Aesch LU mit 805 m³ Speicherkapazität (Eppenberger 2020); rechts: zwei kleinere Teiche klären das Wasser, bevor es in den grossen Bewässerungsspeicher (20.000 m³) fliesst, Gemüseproduzent in Deutschland (Foto: (Deter and Eghbal 2020) bioland-Fachmagazin).

Herausforderungen bei der Koordination

Herausforderungen im Zusammenhang mit Bewässerungsteichen zeigen sich erstens in Landnutzungskonflikten und zweitens in zu kleinen Volumina. Bewässerungsteiche werden insbesondere in landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen benötigt, in denen die LandwirtInnen ihr Land nicht für einen Teich umnutzen und damit landwirtschaftliche Ertragseinbussen in Kauf nehmen möchten. Gleichzeitig würde ein Teich den Ertrag auf den anderen Flächen aber erhöhen. Ausserdem führt dies zu Zielkonflikten mit dem gesetzlich geregelten Erhalt von Fruchtfolgeflächen (Sachplan Fruchtfolgefläche). So sind häufig kleine Bewässerungsteiche zu beobachten, bei denen Regenwasser von Gebäuden und Strassen bzw. Drainagewasser gesammelt wird (Eppenberger 2020). Diese Teiche nehmen zwar wenig Land in Anspruch, weisen aber auch nur kleine Volumina auf und enthalten somit für lang andauernde Trockenperioden nicht ausreichend Wasser. Die gesetzlichen Auflagen der Bewilligungsbehörden erschweren den Bau eines Teiches mitten in die Landschaft, weshalb eine Lage direkt neben den Betriebs- oder Wohngebäuden bevorzugt wird. Grundsätzlich werden Baubewilligungen gegeben, da sie das lokale Wassernetz entlasten (Eppenberger 2020).

Die genannten Zielkonflikte werden zunehmend so gelöst, dass Oberflächenwasser aus grossen Flüssen über Wasserleitungen direkt zu den landwirtschaftlichen Flächen gepumpt wird (siehe nächstes Kapitel). Weitere Nutzungen werden von den Betreibern eines Bewässerungsteiches explizit nicht gewünscht, da

das Wasser schon für den eigenen Gebrauch meist nur knapp reicht. Bewässerungsteiche haben auch meist keinen natürlichen Ausfluss. Das Bewässerungswasser wird mit Pumpen entnommen.

Ökologische Auswirkungen

Die meisten Bewässerungsteiche in der Schweiz sammeln Regenwasser und haben keinen Zu- oder Abfluss. Die ökologischen Auswirkungen beschränken sich daher auf den Landverbrauch und die Folien, welche zur Abdichtung des Teichs verwendet werden. Besteht diese Folie aus PVC, können sich durch die Sonneneinstrahlung Weichmacher lösen, die gesundheitsschädlich sind. Bessere, aber teurere Varianten sind Folien aus PE, EPDM oder LDPE. Aber auch hier kann bspw. die Ablösung von Polymeren zu Problemen führen (Bryner et al. 2020).

Bei Bewässerungsteichen, bei denen ein Abfluss möglich ist, ist die Speicherkapazität des Teichs meist zu klein, um als Hochwasserschutz oder zur Kompensation von Trockenheit einen wesentlichen ökologischen Beitrag zu leisten (Kummer 2021). Eine aktuelle Studie im Kleineinzugsgebiet Eital (Kanton Baselland) untersucht, inwieweit grössere künstliche Speicher (sogenannte *regionale* Speicher) die Wasserführung von sehr kleinen Fliessgewässern verbessern könnten; insbesondere, ob damit verhindert werden könnte, dass diese Gewässer in sehr trockenen Sommern trockenfallen. Abschliessende Ergebnisse liegen dazu noch nicht vor.

Landschaftliche Auswirkungen

Bewässerungsteiche in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten liegen häufig direkt neben Gewächshäusern, da diese das Regenwasser auffangen. Somit greifen sie nicht bedeutend ins Landschaftsbild ein. Frei in der Landschaft liegende Bewässerungsteiche stören durch ihre aufgeschütteten Dämme jedoch das Landschaftsbild und wurden in der Vergangenheit auf Basis der gesetzlichen Auflagen von den Bewilligungsbehörden teilweise nicht genehmigt.

Ökonomische Auswirkungen

Bewässerungsteiche werden meist nicht mehrzweckgenutzt. Die Kosten für den Bau eines Bewässerungsteichs können ab einer Grösse von ca. 1000 m³ nach einigen Jahren durch die vermiedenen trockenheitsbedingten Ertragseinbussen in der landwirtschaftlichen Produktion kompensiert werden (Eppenberger 2020).

Wenn der Aushub für den Teich kostenpflichtig entsorgt werden muss und nicht für den Damm verwendet werden darf, übersteigen die Baukosten eventuell die zu erwartenden vermiedenen Verluste (Eppenberger 2020). Die Bewilligungspraxis hierzu ist kantonal sehr unterschiedlich.

Liegt der Wasserpreis vom Netz über einem Franken pro Kubikmeter, kann sich eine eigene Wasserversorgung bereits lohnen, da diese eine höhere Versorgungssicherheit in Zeiten der Wasserknappheit bietet. Ein Dach mit 1000 m² Fläche ergibt bei einem Jahresniederschlag von 1000 Millilitern pro m² 1000 m³ Speicher-Wasser. Wenn noch weitere Gebäude, Plätze, Strassen, Drainagewasser oder ein kleiner Bach vorhanden sind, lohnt sich eine eigene Versorgung. Obstproduzenten entscheiden sich eher für Stahlsilos, die mit einem Speichervolumen von 1000 m³ fertig montiert rund CHF 30 000 kosten. Je höher der Wasserpreis desto schneller ist eine Anlage amortisiert. Meistens ist das nach wenigen Jahren der Fall. Ein Teich lohnt sich, wenn viel Bewässerungswasser benötigt wird, Wasser eher knapp ist sowie genug Platz und eine Baubewilligung vorhanden sind (Eppenberger 2020).

3.3 Wasserentnahme aus Speicher-Fluss-Kaskaden

Wie im vorausgehenden Kapitel beschrieben, werden Bewässerungsteiche aufgrund zunehmender Einschränkungen oder Verbote von Wasserentnahmen aus kleinen Oberflächengewässern oder dem Grundwasser in Trockenperioden gebaut. Diese führen jedoch zu Landnutzungskonflikten und weisen zu kleine Volumina für längere Trockenperioden auf. Als Folge dieses Zielkonflikts kann man zunehmend eine neue Lösung in der Schweiz beobachten. Statt Wasser aus kleineren von Trockenperioden stark belasteten Oberflächengewässern zu entnehmen, werden weitreichende Leitungen von grösseren Oberflächengewässern bis zu den landwirtschaftlichen Flächen gebaut.

Ein Beispiel dafür ist das Furttal im Kanton Zürich. Das Furttal ist eine landwirtschaftlich intensiv genutzte Region, welche gemäss dem regionalen Richtplan zur Versorgung des Agglomerationsgebiets der Stadt Zürich mit Frischprodukten dient. Landwirtschaftsbetriebe sowie der Golfplatz Otelfingen benötigen Bewässerungswasser. Das in der Landwirtschaft eingesetzte Wasser wird für Spezialkulturen (v.a. Gemüse) im Freiland und in Gewächshäusern eingesetzt. Beim Vertragsanbau von Konservengemüse ist überdies die Möglichkeit zur Bewässerung Teil von Abnehmerverträgen. Das Bewässerungswasser wurde bisher hauptsächlich aus dem Furtbach und seinen Seitenbächen, aus oberflächennahem Grundwasser, Trinkwasser sowie aus Quellwasser aus den Talflanken entnommen (Baudirektion Kanton Zürich 2008). Manche landwirtschaftlichen Betriebe besitzen auch kleine Bewässerungsteiche. Da insbesondere in trockenen Sommern der Abfluss des Furtbachs unter kritische Werte absank, wollte das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) die vorhandenen Konzessionen zum Schutz der Wasserqualität des Furtbachs und zur Sicherstellung eines ausreichenden Abflusses neu regeln. Im Jahr 2014 wurde daher die Bewässerungsgenossenschaft Furttal (BGF) gegründet und ein neues Projekt gestartet.

Bei diesem Projekt wird das Wasser bei Oetwil mit einem Pumpwerk aus der Limmat in einen Hochspeicher auf den Hüttikerberg gefördert und von dort im freien Gefälle ins Bewässerungsnetz eingespeist (s. Abb. 7). Der Speicher weist jedoch nur ein Volumen von 500 m³ auf, da er als reiner Ausgleichsspeicher zur Stabilisierung des Netzes dient. Die Bewässerungsgenossenschaft Furttal hat den Zweck, das nötige Bewässerungsnetz zu erstellen und zu betreiben. Ausserdem verwaltet sie alle erteilten Konzessionen zur Nutzung von Bewässerungswasser im Gebiet (Müller Ingenieure AG 2017).

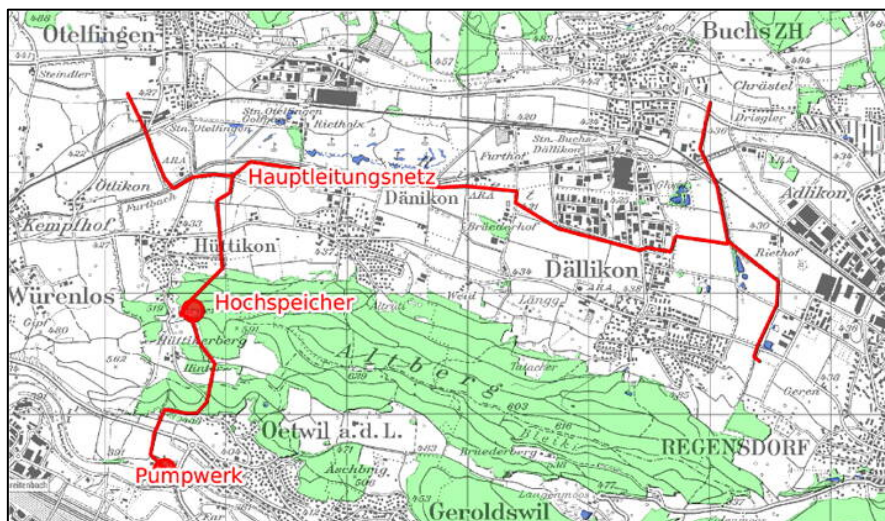


Abbildung 7: Bewässerungsprojekt Furttal, Kanton Zürich (Quelle: Agrarbericht 2019 2019).

Diese Lösung setzt jedoch voraus, dass der Fluss, aus dem das Wasser entnommen wird, vor allem in Trockenzeiten genügend Abfluss aufweist, was aufgrund der heutigen Klimaszenarien für die Schweiz nicht erwartet werden kann (NCCS 2018a). Haben Flüsse jedoch oberliegend einen Mittellandsee, wie

den Zürichsee im Fall der Limmat, oder alpine Speicher, müssten diese entsprechend so reguliert werden, dass sie auch unterliegende Nutzungen berücksichtigen. Auf die Nutzung von alpinen Speichern zur Minderung von Wasserknappheit wird vertieft in den Kapiteln 3.6 und 3.7 eingegangen.

Herausforderungen bei der Koordination

Die Entnahme von Wasser aus Flüssen erfordert eine Koordination mit oberliegenden Nutzungen, bzw. mit der Regulierung von oberliegenden Seen. Hierauf wird vertieft in den Kapiteln 4.1 und 4.2 eingegangen.

Ökologische Auswirkungen

Eine verstärkte künstliche Ableitung oder Entnahme des Wassers aus Flüssen (und grösseren Bächen) zum Zweck der Bewässerung – wie in diesem Bericht am Beispiel Furttal dargelegt – verringert den Abfluss im Fliessgewässer und kann sich somit negativ auf die Ökologie im Unterlauf auswirken. Entscheidend ist die Entnahme-Menge im Vergleich zum aktuellen Abfluss. In vielen Fällen ist die Entnahme-Menge unbedenklich, insbesondere, wenn der Fluss viel Schmelzwasser führt. Ist die Menge des ausgeleiteten Wassers im Vergleich zum Abfluss im Fliessgewässer jedoch beträchtlich, werden Entnahmeeinschränkungen oder –verbote ausgesprochen. Dies ist auch in den Konzessionen vermerkt, da es sonst zu schwerwiegenden ökologischen Auswirkungen im Unterlauf kommen könnte. Die Einschränkungen oder Verbote bedürfen keiner finanziellen Entschädigung.

Eine Wasserentnahme im Fluss sollte jedoch idealer Weise durch einen oberliegenden See oder Speicher reguliert werden. Dies ermöglicht einen höheren Abfluss bis zur Entnahmestelle, was zu positiven ökologischen Auswirkungen führen kann. Daraus entstehende Seepegelschwankungen müssten kompensiert werden (siehe Kapitel 3.1).

Grundsätzlich führt eine «regulierte» Wasserentnahme aus grösseren Flüssen zu einer Entlastung von Entnahmen aus kleineren Bächen und Grundwasservorkommen mit positiven ökologischen Auswirkungen (Müller Ingenieure AG 2017).

Landschaftliche Auswirkungen

Der Bau einer Wasserfassung, Ansaugleitungen und eines Pumpenhauses wird gemäss Art. 24 RPG bewertet, wenn dem Zonenzweck widersprechende Bauten oder Anlagen aus technischen oder betriebswirtschaftlichen Gründen oder wegen der Bodenbeschaffenheit auf einen Standort ausserhalb der Bauzone angewiesen sind. Diese Bauten haben jedoch meist nur geringe landschaftliche Auswirkungen. Die Leitungen zu den Feldern werden beispielsweise meist unterirdisch verlegt.

In der Fallstudie Furttal wurde ein Standort für den Hochspeicher auf dem Hüttikerberg so gewählt, dass er das Landschaftsbild möglichst wenig stört.

Ökonomische Auswirkungen

Wasserentnahmen aus Speicher-Fluss-Kaskaden führen zu Transaktionskosten für die Koordination, insbesondere im Fall von Wasserknappheiten. Direkte Kosten entstehen beim Bau von Pumpen und Wasserleitungen bis zu den landwirtschaftlichen Feldern, die bewässert werden müssen. Ausserdem entsteht Mehraufwand bzw. Minderertrag, wenn zur Sicherstellung der Wassermengen im Gewässer oberliegende Speicherbetreiber Wasser abgeben müssen.

Die Kosten des Projekts im Furttal werden auf CHF 8,25 Mio. geschätzt und zu 27 % vom Bund und zu 30 % vom Kanton Zürich finanziert. Die Bewässerungsgenossenschaft Furttal übernimmt die

Restkosten von CHF 3,5 Mio. Die jährlichen Betriebskosten betragen CHF 300 000 (Agrarbericht 2019 2019). Diese Kosten können durch die Verminderung von Ertragseinbussen in trockenen Jahren kompensiert werden. Für oberliegende Speicherbetreiber fallen hierbei keine Kosten an, da sie zu keiner Abgabe verpflichtet sind. Bei Niedrigwasser werden Entnahmeinschränkungen oder –verbote durch den Kanton erteilt. In diesem Fall entstehen jedoch Ertragseinbussen für die Landwirte mit entsprechenden ökonomischen Nachteilen.

3.4 Beschneigungsteiche

In den letzten 15 Jahren hat die Anzahl an Beschneigungsteichen in den Alpen stark zugenommen (Iseli 2015). Da aufgrund des Klimawandels die Schneefallgrenze in den Alpen ansteigt, setzen immer mehr Skigebiete auf technische Beschneigung. Bis zu einem Viertel ihres gesamten Saisonumsatzes erwirtschaften Bergbahnunternehmen sowie Hotel-, Skischul- und Handelsbetriebe in Wintersportdestinationen in der Zeit zwischen Weihnachten und dem 6. Januar (Zegg 2012). Zur Sicherstellung dieser Einnahmen müssen die Schnee-Verhältnisse den Vorstellungen der Gäste entsprechen. Es werden präparierte Pisten und Loipen mit entsprechender Schneemenge erwartet, welche meist nur mit technischer Beschneigung zu erreichen sind. Der genaue Zeitpunkt der Beschneigung hängt jedoch von den Temperaturen, der Windgeschwindigkeit und der Luftfeuchtigkeit ab. Durch kontinuierliche Wetterbeobachtung und -beurteilung wird kurzfristig entschieden, wann die optimalen Bedingungen zur Beschneigung gegeben sind. Dadurch entsteht innerhalb kürzester Zeit ein Wasserbedarf, der insbesondere im Spätherbst und Winter, wenn die Bergbäche meist wenig Wasser führen, nicht aus Oberflächengewässern entnommen werden kann. Die kurzfristige Bereitstellung der benötigten grossen Wassermengen erfordert die Speicherung des Wassers in Teichen oder Becken. Beschneigungsteiche haben meist ein Volumen zwischen 2 000 und 400 000 m³. Beim Bau sind die Maschinen- und Materialtransporte aufgrund der Lage der Speicher sehr aufwendig und teilweise nur mit Helikoptern möglich. Trotz Einhaltung von Umweltauflagen stellen Beschneigungsteiche einen grossen Eingriff in Natur und Landschaft dar. Zusätzlich sind mit dem Bau weitere Infrastrukturen, wie Leitungen, Pumpen sowie Zufahrtswege nötig, und die Speicher müssen mit Folien abgedichtet werden.

Beschneigungsteiche bergen gewisse Risiken, da unterhalb der Speicher meist Pisten, Skilifte oder Siedlungen liegen. Bei einem Dammbruch könnten durch eine Flutwelle grosse Flächen vermurt und ausgeschwemmt werden. Undichte Zuleitungen, unterirdische Quellen oder die Alterung von Folien aufgrund von UV-Strahlung können mögliche Ursachen für Dammbrüche sein. Neben ökologischen Auswirkungen, welche sich bei Vegetation, Boden, Tieren und Gewässern zeigen, ist die technische Beschneigung mit einem hohen Aufwand an Energie und Wasser verbunden. Der Wasserverbrauch durch die technische Beschneigung ist bspw. in der Region Davos mit 20–35 % des gesamten Wasserverbrauchs im Verhältnis zu anderen touristischen Aktivitäten beträchtlich (Teich et al. 2007).

Beschneigungsteiche werden vereinzelt für andere Zwecke, wie Energieerzeugung oder Erholung, genutzt. So wurden im Speichersee Nagens (GR), der auch zur Energiegewinnung dient, versuchsweise Regenbogenforellen zum Angeln ausgesetzt (s. Abb. 8 links). Der Beschneigungsteich Bidmi (BE) wird auch für die Gewinnung von Energie und im Sommer als Erholungsort mit Grillplatz genutzt (s. Abb. 8 rechts). Im trockenen Sommer 2018 wurde das Wasser aus Beschneigungsteichen mittels Helikoptern zur Versorgung von Alpbetrieben verwendet (Widmer and Pastega 2018).



Abbildung 8: Wasserkraft- und Beschneiungsteiche: links: Nagens, Kanton Graubünden, rechts: Bidmi, Kanton Bern (Fotos: Elke Kellner).

Andere Beispiele zeigen, dass einige Skigebiete ihre Speicherseen für den Sommer als Naherholungsgebiet mit Sitzgelegenheiten, Spazierwegen und Kinderspielplätzen aufgewertet haben (Erhard 2016). Schwimmen ist in den meisten Teichen verboten, da beim Bau ein komplexes Dichtungssystem und spezielle Überschüttungen berücksichtigt werden müssen. Ein solches Abdichtungssystem ist eine Grundvoraussetzung für den kontinuierlichen Betrieb dieser Wasserspeicher. Aber auch die Filteranlage eines Speichersees ist ein komplexes System, da der künstlich produzierte Schnee in vielen alpinen Gebieten aus Wasser mit Trinkwasserqualität produziert werden muss. Durch eine Nutzung als Badeteich könnten sowohl Abdichtung als auch Filteranlagen beschädigt werden. Auch wäre ein Baden ohne Bademeister und Aufsicht juristisch eine Grauzone. Ein Gegenbeispiel hierfür ist der Speicher- und Badeteich Ahornsee im Tiroler Unterland bei Söll (s. Abb. 9).



Abbildung 9: Der Ahornsee (Österreich) wird in einen Badebereich und einen Regenerationsbereich unterteilt. Damit sollen die Wasserqualität und das Speichervermögen gewährleistet werden. Foto: Klenkhart & Partner Consulting ZT GmbH.

Aufgrund ihrer geografischen Lage sind Beschneiungsteiche meistens nicht für Bewässerungszwecke geeignet. Sie liegen vorwiegend in Alpweidegebieten, die nicht bewässert werden. Andere Nutzungen, wie bspw. Wassersport, bieten sich aufgrund der Höhenlage und der zu geringen Grösse des Teichs selten an. Auch darf keinesfalls die verwendete Folie beschädigt werden, da sonst das Risiko eines Dammbruchs steigt (Kellner and Weingartner 2018).

Herausforderungen bei der Koordination

Beschneiungsteiche unterliegen einer wasserrechtlichen Konzession. Wenn andere Nutzungen angestrebt werden, muss dies auch in der Konzession vereinbart sein. Beispiele in der Schweiz zeigen,

dass sich die interessierten Akteure bei den verschiedenen Wassernutzungen gut untereinander einigen können (u.a. Aussage Speicherbetreiber Nagens und Bidmi), aber eine etwaige Konzessionsanpassung zu administrativen Schwierigkeiten führt (Aussage Kanton Bern).

Ökologische Auswirkungen

Der Bau eines Speichersees für eine Beschneiungsanlage ist zwangsläufig mit einer Terrainveränderung verbunden. Beträgt deren Fläche mehr als 5 000 m², dann ist der Speichersee – unabhängig von der Grösse der Beschneiungsanlage – als UVP-Anlagentyp Nr. 60.3 der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) unterstellt. Die UVP-Pflicht deutet auf erhebliche ökologische Auswirkungen hin, da eine UVP nur bei Anlagen durchgeführt wird, welche die Umwelt erheblich belasten können.

Die ökologischen Auswirkungen des Landverbrauchs, der Baubelastung, der Plastikfolien zur Abdichtung des Speichers und der benötigten Infrastruktur (Zufahrtsstrassen, Wasserleitungen) sind bei Beschneiungsteichen ähnlich zu beurteilen wie bei Bewässerungsteichen (Kapitel 3.2). Das Zuleiten von Wasser aus kleinen Fliessgewässern, Quellen und Grundwasser kann die Wasserführung und die Ökologie zusätzlich belasten (Moser and Baulcomb 2020). Für die Beschneigung bezieht man grosse Mengen an Wasser in einem ökologisch sehr ungünstigen Zeitraum: in extrem wasserarmen Zeiten bei Temperaturen unter 0 Grad. Bei diesen Temperaturen ist in der Natur viel Wasser gefroren und Bäche und Quellen führen Niedrigwasser (Rixen et al. 2003). Dies beeinträchtigt teilweise auch die lokalen Wassernutzungen, bspw. wurde in Berggebieten die Trinkwasserversorgung in einzelnen Fällen durch hohe Entnahmemengen gefährdet (Interviewaussagen). Die „Rückgabe“ des Wassers (Schneesmelze) erfolgt im Frühjahr, wenn ohnehin Wasser im Überfluss vorhanden ist.

Bei einer entsprechenden Gestaltung können bepflanzte Regenerationsbereiche von Beschneiungsteichen aber auch Lebensräume für Insekten und Amphibien als Ausgleich bieten (Lubini V. et al. 2012).

Landschaftliche Auswirkungen

Weil die Erstellung eines künstlichen Sees in den Alpen in jedem Fall erhebliche Auswirkungen auf das Landschaftsbild hat, sind Speicherseen grundsätzlich planungspflichtig. Die Planungspflicht gründet zusätzlich auf der Tatsache, dass ein Speichersee immer Bauten und Anlagen zur technischen Beschneigung darstellen (Kanton Bern). Studien weisen darauf hin, dass die dauerhafte „Möblierung“ der Landschaft durch die Infrastruktur der Beschneiungsanlagen mit Teichen, Pumpstationen etc. sowie die Beschädigung und Einebnung der Gebirgsvegetation vor allem im Sommer negativ auffallen. Der Ausbau der Skigebiete mit Beschneiungsanlagen schadet damit dem Sommertourismus, da das Landschaftsbild stark beeinträchtigt wird (Doering and Hamberger 2007).

Ökonomische Auswirkungen

Die Kosten für den Bau von Beschneiungsanlagen inklusive eines Beschneiungsteichs können durch die touristischen Einnahmen eines Skigebiets aufgrund der angebotenen Schneesicherheit kompensiert werden.

Der Speichersee im «Scheene Bode» oberhalb der Bettmeralp beispielsweise dient der effizienteren technischen Beschneigung der Pisten auf Rieder- und Bettmeralp und kostet CHF 5,2 Mio. Der See ist 9,5 m tief, hat einen Seedamm-Durchmesser von 140 m und verfügt so über ein Fassungsvermögen von 95 000 m³. Mit dieser Menge liegt er knapp unter dem Limit für die Bewilligung durch eine kantonale Talsperrenaufsicht. Den Kosten steht die Schneesicherheit gegenüber, welche für den wirtschaftlichen Erfolg des Wintertourismus wichtig ist. Der Speichersee erhöht das Potenzial für eine effiziente

Beschneigung und ist auch deshalb betriebswirtschaftlich sinnvoll, weil sich die Pumpkosten durch den gewählten Seestandort stark reduzieren. Auch kann das Wasser für allfällige Brandbekämpfungsmassnahmen genutzt werden (1815.ch 2018).

Die Kosten des Speichersees Betelberg (93 000 m³) belaufen sich auf CHF 12,5 Mio. (Lenk Bergbahnen 2020). Auch dieser Speicher erhöht die Schneesicherheit und ermöglicht eine Beschneigung innerhalb kürzerer Zeit, was für den wirtschaftlichen Erfolg des Skitourismus bedeutsam ist.

Projekte, bei denen Leitungen von Beschneigungsteichen bis zu landwirtschaftlich genutzten Flächen für Bewässerungszwecke geplant waren, scheiterten aus wirtschaftlichen Gründen. Die Finanzierung des Leitungsnetzes kann durch höhere landwirtschaftliche Wertschöpfung nicht gedeckt werden, da in Berggebieten ertragsunabhängige Direktzahlungen einen grossen Teil des landwirtschaftlichen Einkommens ausmachen.

3.5 Änderung der Bewirtschaftung bestehender Speicher bei der Konzessionserneuerung

Alpine Wasserspeicher können in unterliegenden Gebieten Wasserknappheit mindern, falls die Gebiete über einen natürlichen Wasserlauf miteinander verbunden sind. Der Abfluss aus einzelnen Speichern kann sich wesentlich auf den Abfluss des unterliegenden Flusses auswirken, in denen das Speicherwasser abfließt. Brunner et al. (2019b) haben in ihren Studien den Beitrag aus den Speichern Mauvoisin, Grande Dixence (s. Abb. 10) und Mattmark zum Abfluss in der Rhone bei normalen und extremen Bedingungen gezeigt. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl unter heutigen wie unter zukünftigen Bedingungen regional entstehende Wasserknappheit an der Rhone über gespeichertes Wasser in oberliegenden Gebieten gedeckt werden könnte.

Das Postulat Bérod 4.0215 (Kanton Wallis) forderte zum Beispiel die Untersuchung einer erweiterten Nutzung der bestehenden Staudämme im Kanton Wallis. Eine solche Aushandlung ist Aufgabe der Kraftwerkseigentümer und der Gemeinden und Kantone. In einer aktuellen Studie zur Abschätzung des Wasserkraftpotenzials im Kanton Wallis wird explizit auf die Notwendigkeit einer integralen Planung im Hinblick auf die Mehrzwecknutzung von Kraftwerksspeichern hingewiesen (FMV SA 2020).



Abbildung 10: Grande Dixence, Kanton Wallis (Foto: Elke Kellner).

Herausforderungen bei der Koordination

Die Nutzung eines alpinen Speichers unterliegt einer Konzession. Dies ist ein Eigentumsrecht, welches an festgelegte Nutzungen und eine Nutzungsdauer gebunden ist. Konzessionen von Wasserkraftspeichern haben meist eine Dauer von 80 Jahren und die Nutzungen können während dieser Zeit verändert werden. Im Fall einer Neukonzessionierung besteht die Chance, neue Wassernutzungen der Speicher zu verhandeln.

Im Kanton Wallis bspw. hat das Departement für Volkswirtschaft, Energie und Raumentwicklung (DVER) für die in den nächsten Jahrzehnten anstehenden Heimfälle der grossen Wasserkraftanlagen ein Modell für zukünftige Wasserrechtskonzessionen entwickelt (Kanton Wallis 2015). Die im Kanton Wallis vorhandenen Produktionskapazitäten aus Wasserkraft befinden sich derzeit hauptsächlich im Besitz von ausserkantonalen Akteuren, nur rund 20% sind in Walliser Hand. Mit den Heimfällen besteht die Möglichkeit, die Versorgungssicherheit sowie die Wertschöpfung für den Kanton Wallis aus der Wasserkraft gegenüber heute zu steigern, was im Interesse der Walliser Volkswirtschaft sein dürfte. Hierfür müssen die gesetzlichen Grundlagen angepasst werden. Mit dem Modell wird die Möglichkeit geschaffen, dass einerseits immer mindestens 60% in Walliser Hand sind und andererseits die Konzessionsgemeinden mit 70% über die Anlagen verfügen können. Dieses Modell würde somit die Aushandlung von neuen Nutzungsansprüchen an die Wasserspeicher ermöglichen.

Hierbei können aber auch Nutzungskonflikte entstehen, da sich einige Wassernutzungen zeitlich konkurrenzieren. Wasserkraft ist zwar beispielsweise keine konsumtive Nutzung, das Wasser wird aber überwiegend im Winter turbinert, wenn höhere Strompreise erzielt werden können. In diesem Zeitraum gibt es aber in den unterliegenden Gebieten keinen erhöhten Wasserbedarf. Diese zeitlichen Konflikte erschweren die Koordination der verschiedenen Wassernutzungen. Eine weitere Herausforderung stellt der Wassertransfer über teilweise grosse Distanzen dar. Zusätzlich erschweren inkohärente Gesetze und Strategien die Nutzungskonflikte zwischen Mitigations- und Anpassungsmassnahmen.

Ökologische Auswirkungen

Eine veränderte Bewirtschaftung von bestehenden alpinen Speichern – hin zu einer vielfältigeren Nutzung des gespeicherten Wassers – führt zu nur unbedeutenden zusätzlichen ökologischen Auswirkungen. Die zentralen Auswirkungen (Unterbrechung des Fluss-Kontinuums, Schwall und Sunk, Restwasser) bestehen schon durch die Primärnutzung, d.h. durch die Wasserkraftproduktion. Zusätzliche Nutzungen, wie beispielsweise die kontrollierte Wasserabgabe in den Unterlauf (z.B. für Bewässerung) in trockenen Sommermonaten kann sogar positive Auswirkungen auf die Ökologie haben, da dies zu einer Abkühlung des Fliessgewässers und einer Reduktion von Niedrigwasser-Situationen beitragen kann.

Die jahreszeitlichen Pegelschwankungen von bestehenden Stauseen haben einen bedeutenden Einfluss auf die Ökologie im Uferbereich. So kann beispielsweise das Wachstum bodenlebender Algen im Uferbereich beeinträchtigt werden. Vor allem in alpinen, nährstoffarmen Speichern sind Algen für die Produktion von Biomasse und somit für die Funktion des ganzen Lebensraumes essentiell (Hirsch et al. 2017). In einem Experiment wurde gezeigt, dass der von Pegelschwankungen betroffene Uferbereich substantiell weniger Primärproduktion aufweist (Hirsch 2019). Für die vorliegende Studie kann aber festgestellt werden, dass die zusätzlichen Pegeländerungen in einem Stausee, welche durch die Mehrzwecknutzung des Wassers hervorgerufen werden, für die ökologischen Bedingungen des Uferbereichs kaum relevant sind.

Landschaftliche Auswirkungen

Die Änderung der Bewirtschaftung bestehender alpiner Speicher bei der Neukonzessionierung kann zu veränderten Pegelschwankungen führen. Dies wirkt sich wie schon vorherige Pegelschwankungen infolge der Wasserkraftproduktion auf das Landschaftsbild aus.

Im aktuellen Urteil des Bundesgerichtes zur Grimsel-Staumauer-Erhöhung wird jedoch festgehalten, dass die Grimsel-Staumauererhöhung «einen schwerwiegenden Eingriff in ein BLN-Gebiet [...] bewirkt». Als Grund hierfür werden neben ökologischen auch landschaftliche Auswirkungen genannt, da das Einstauband rund um den See, das bei tiefem Wasserstand als graue und vegetationslose Fläche sichtbar ist, durch den Höherstau markant verbreitert wird und (aufgrund des ca. 1 km längeren Seeperimeters) eine deutlich grössere Fläche als bisher umfasst.» (Swiss Federal Tribunal, of 11/4/2020). Die Pegelschwankungen könnten bei einer Mehrzwecknutzung ab- oder zunehmen.

Ökonomische Auswirkungen

Die Mehrzwecknutzung eines vormals reinen Wasserkraftspeichers schränkt die Flexibilität der Produktionsbedingungen ein und führt somit zu Einschränkungen bei der Produktion von Spitzenenergie. Die Produktion könnte sich dadurch weniger flexibel am europäischen Strommarkt ausrichten. Dies kann zu finanziellen Einbussen führen. Im Gegenzug könnten weitere Nutzungen zu alternativen Einnahmequellen in Zeiten tieferer Strompreise führen, wenn diese Nutzungen finanziell entgolten werden (Weingartner and Messerli 2017).

3.6 Neubau von alpinen Speichern

Die meisten potenziellen Standorte für grosse Speicher im Alpenraum sind bereits genutzt. Für den Bau eines neuen Speichers müsste man in schutzbedürftige Gebiete vordringen, wie beispielsweise in periglaziale Hochgebirgslandschaften. «Der Rückzug der Gletscher bietet neue Optionen für Wasserkraftanlagen, da geeignete Stausee-Standorte eisfrei werden. Basierend auf Abflussprognosen, bis zum Jahr 2100 wurden 62 potenzielle Standorte systematisch miteinander verglichen und bewertet. [...] Vielversprechende Standorte mit einem Potenzial von mehr als 100 GWh/a befinden sich u. a. am Aletschgletscher (VS), Gornergletscher (VS), Hügigletscher (UR), Roseggletscher (GR), Triftgletscher (BE) und Unteren Grindelwaldgletscher (BE). [...] Hinzu kommt, dass die aus technischer Sicht am besten geeigneten Anlagen oft in Schutzgebieten liegen. Das einzig derzeit konkret geplante neue Wasserkraftwerk am Triftsee wird mit 145 GWh/ a Energieproduktion bzw. 215 GWh Energieinhalt (85 hm³ Speicherinhalt) nur einen Bruchteil davon ausmachen» (Ehrbar et al. 2019). Eine Besonderheit am Standort Trift (s. Abb. 11) ist jedoch, dass das Projekt-Gebiet «(noch) keinen Schutz-Status hat» (Aussage KWO-Mitarbeiter) und nicht gut einsehbar ist (Aussage Stiftung Landschaftsschutz). Andere potenzielle Standorte in periglazialen Gebieten haben einen Schutzstatus («All new HPPs, apart from the reservoir at Trift Glacier, are located within protected areas and strong social opposition must be expected.» (Ehrbar et al. 2018)). Der Bau von Speichern in solchen Gebieten würde aufgrund der Auswirkungen auf Natur, Biodiversität und Landschaft voraussichtlich auf wenig Akzeptanz stossen (Kellner 2019; Ehrbar et al. 2018). Im Rahmen eines Bewilligungsverfahrens eines solchen Projektes müsste eine Gesamtinteressenabwägung durchgeführt, in welcher die Nutzungs- und Schutzinteressen gegeneinander abgewogen werden.



Abbildung 11: Triftgebiet mit Standort des potentiellen Speichersees Trift, Kanton Bern (Foto: Elke Kellner).

Neben dem Neubau von Wasserkraftanlagen wird auch die Erweiterung bestehender Wasserkraftanlagen durch Staumauererhöhungen diskutiert. Hierfür eignen sich insbesondere der Lac des Dix, Grimselsee, Lac d’Emosson, Oberaarsee, Limmerensee, Zervreilasee und der Lai di Curnera Speicherseen (Felix et al. 2020; Fuchs et al. 2019). Auf die Auswirkungen von Erweiterungen wird in diesem Projekt aus Zeitgründen nicht weiter eingegangen; sie müssten in einem Folgeprojekt untersucht werden.

Herausforderungen bei der Koordination

Unterschiedliche Akteure erheben verschiedene Ansprüche an die Nutzung des Wassers aus Speichern, die zu Konflikten führen können. Beim Neubau von Speichern beziehen sich Ansprüche jedoch nicht nur auf die Ressource Wasser, sondern auch auf weitere Aspekte wie Landnutzung, landschaftlich reizvolle oder historische Gebiete sowie auf Ökosystemdienstleistungen und Biodiversität (Kellner et al. 2019). Einige Nutzungen benötigen Ausgleichsmassnahmen im gleichen Einzugsgebiet wie die Renaturierung von Flussabschnitten, die wiederum zu Nutzungskonflikten mit der lokalen Bevölkerung führen können. Solche Ressourcen-Ansprüche konkurrenzieren sich grösstenteils und die Koordination der verschiedenen Nutzungen ist aufgrund verschiedener Faktoren, die im Folgenden beschrieben werden, erschwert.

Inkohärente Regulierungen der Ressourcen-Nutzungen und Zielkonflikte

Bei alpinen Wasserspeichern erschweren insbesondere inkohärente Regulierungen zwischen **Mitigations- und Anpassungsstrategien** an den Klimawandel die Mehrzwecknutzung. Alpine Mehrzweckspeicher können durch die Produktion von Wasserkraft sowohl zur Minderung des Klimawandels als auch zur Anpassung mit Wasserknappheits-Management beitragen. Solche Massnahmen sind in der Regel Inhalt von zwei getrennten Minderungs- und Anpassungsstrategien (Locatelli et al. 2015; Berry et al. 2015). Diese unterscheiden sich dabei häufig in Bezug auf räumliche, zeitliche, institutionelle und administrative Skalen (Hennessey et al. 2017; Shrestha and Dhakal 2019b) und sind für verschiedene Wirtschaftsbereiche relevant (Swart and Raes 2007). Nationale Klimaziele

berücksichtigen in der Regel keine Synergien und Zielkonflikte von Minderungs- und Anpassungs-Massnahmen (Leonard et al. 2016; Berry et al. 2015; Shrestha and Dhakal 2019b). Auch in der Schweiz bestehen zwei verschiedene nationale Strategien zur Minderung und Anpassung an den Klimawandel. Die Energiestrategie (d.h. Minderungsstrategie) bezweckt eine wirtschaftliche und umweltverträgliche Bereitstellung und Verteilung der Energie, eine sparsame und effiziente Energienutzung sowie eine Fokussierung auf erneuerbare Energien. Sie umfasst klar definierte quantifizierbare Ziele und Massnahmen zur finanziellen Unterstützung hinsichtlich des Ausbaus der Wasserkraft. Im Gegensatz dazu empfiehlt die nationale Anpassungsstrategie sehr allgemein die Nutzung von Wasserspeichern für mehrere Nutzungen, sieht aber keine konkreten Ziele oder finanzielle Unterstützung vor. Auch in anderen Ländern wird für Anpassungsstrategien selten eine solche Unterstützung vorgeschlagen, da die Verantwortlichkeiten und finanziellen Verpflichtungen im Zusammenhang mit Anpassungsmassnahmen meist unklar sind (Swart and Raes 2007). In der Wasserstrategie des Kantons Bern werden zwar Minderungs- und Anpassungsmassnahmen zusammen behandelt, jedoch in unterschiedlicher Quantifizierbarkeit der Ziele. Sie legt beispielsweise ein eindeutig quantifizierbares Minderungsziel fest: «Förderung der Wasserkraftnutzung an geeigneten Gewässerabschnitten. Mehrproduktion von mindestens +300 GWh/a bis 2035.» (WN-1,2). Die entsprechende Anpassungsmassnahme hingegen ist eher offen formuliert: «Es wird abgeklärt, inwiefern die Integration der Speicherseen in die Wasserbewirtschaftung während Extremsituationen (Multifunktionsnutzung bei Hochwasser bzw. Trockenheit) möglich und sinnvoll ist. Fokussiert wird auf die KWO-Speicherbecken sowie auf den Greizer- und den Schifflensee» (WN-2). Die unterschiedlichen Ansätze dieser Strategien wurden in den Entscheidungs-Prozessen des Trift-Projekts deutlich und beeinflussten die Entscheidung in Richtung eines Wasserkraftspeichers ohne Wasserknappheits-Management.

Inkohärente Regulierungen zeigen sich unter anderem auch bei **Subventionen**, die häufig nur für sektorielle Nutzungen vergeben werden, während nationale und kantonale Klima-Anpassungsstrategien, die Mehrzwecknutzung von Infrastrukturen fordern. Beim Trift-Projekt führen die Markt-Prämien und Subventionen, die zur Erreichung der Ziele der Schweizer Energiestrategie 2050 erteilt werden, zu einem grossen Anreiz für die Produktion von Wasserkraft. Solche sektoriellen Subventionsmassnahmen erschweren demzufolge die Koordination verschiedener Ressourcen-Ansprüche.

Machtverhältnisse / sektorielle wirtschaftliche Interessen

Ein Ungleichgewicht in den Machtverhältnissen und wirtschaftlichen Interessen zwischen verschiedenen Sektoren wie Wasserkraft, Landwirtschaft und Ökologie kann die Koordination der Mehrzwecknutzung eines Speichers erschweren (Kellner and Brunner 2021). Dies zeigt sich beispielsweise am Vollzug der Restwassersanierungen: «Gemäss Gewässerschutzgesetz hätten die Kantone bis Ende 2012 alle Restwasserstrecken unterhalb von Wasserentnahmen, die vor 1992 bewilligt wurden, sanieren müssen. Lediglich sieben Kantone haben bis heute die gesetzlichen Vorgaben aus dem Jahr 1992 vollständig umgesetzt. Im Interesse der Fliessgewässer und der davon abhängenden Lebensräume und -gemeinschaften fordert der Bund die zuständigen Behörden erneut auf, die Sanierungen möglichst rasch abzuschliessen.» (BAFU 2017). Während Umweltschutzverbände diese Situation so einordnen, dass wirtschaftliche Interessen der Wasserkraft höher gewichtet werden als ökologische Anliegen, argumentiert das BFE, dass dies zu einem grossen Teil mit der Komplexität der Verfahren zu tun hat. Beim Kraftwerk Trift wurde eine gesetzlich vorgesehene Schutz- und Nutzungsplanung durchgeführt. Dabei hat man sich für eine tiefere Restwassermenge zugunsten einer Mehrproduktion in der Energie entschieden. Hierfür muss andernorts ein Mehrschutz mit höheren Restwassermengen gewährleistet werden. Mit solchen Regelungen erhofft man sich positive Effekte für die Ökologie und die Wasserkraft. Diese sind jedoch bei einigen Umweltschutzverbänden umstritten und werden abgelehnt (Bütler 2018).

Erfahrungen mit Naturschutzkonflikten führten in den vergangenen Jahren jedoch dazu, dass heute meist Naturschutz-Verbände von Anfang an in die Festlegung von Restwassermengen und Ausgleichsmassnahmen einbezogen werden (Vetterli 2012; Schweizer et al. 2012; Schweizer et al. 2019b). In den letzten Jahren wurden Naturschutzanliegen bei neuen Speicherprojekten immer ernster genommen (s. Abb. 12). Man hat insbesondere von den langjährigen (und kostspieligen) Konflikten um die Erhöhung der Grimselstaumauer (Schmid 2001; Kohler 2001), aber auch von anderen Speicherprojekten schweizweit (Vetterli 2012), gelernt, dass man Umweltschutzverbände von Anfang an in die Erarbeitung der Konzession miteinbeziehen sollte (Kellner et al. 2019). Beim partizipativen Prozess zum Trift-Projekt wurden Vertreter von Umweltschutzverbänden zur Teilnahme am Prozess eingeladen. Dies führte im partizipativen Prozess zu einem starken Fokus auf die Erzielung eines Konsenses in Umweltfragen. Nicht eingeladen waren jedoch unterliegende betroffene Akteure, wie z.B. Bauernverbände. Diesen fehlt bisher jedoch das Problembewusstsein für zukünftige Trockenheiten, sie fühlen sich nicht betroffen und haben auch kein Einspracherecht wie die Umweltschutzverbände (Kellner and Brunner 2021). Betroffene Akteure haben zwar Einspracherecht, aber bisher ist eine «zukünftige Betroffenheit» noch nicht gesetzlich geregelt. Trotz des partizipativen Prozesses mit den Umweltschutzverbänden wurde von Aqua Viva und dem Grimselverein eine Einsprache «betreffend Wasserkraftkonzession Kraftwerk Trift, Gesuch um Anpassung und Ergänzung der Gesamtkonzession für die Nutzbarmachung der Wasserkräfte im Oberhasli vom 12. Januar 1962» eingereicht (Bütler 2018).

Die beschriebenen sektoriellen und geografischen Machtverhältnisse sowie wirtschaftlichen Interessen erschweren eine Koordination verschiedener Ressourcen-Ansprüche und somit eine Einigung für die Mehrzwecknutzung eines Speichers.

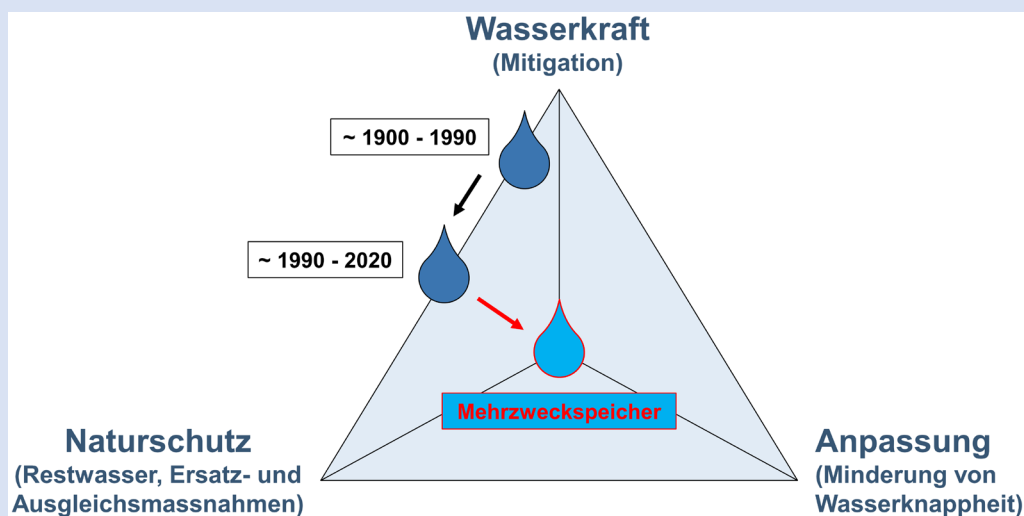


Abbildung 12: Entwicklung der letzten 120 Jahre bei der Erarbeitung von Speicherprojekten (Kellner 2020a).

Dass Umweltbedenken im Gegensatz zu potenziell flussabwärts aufkommender Wasserknappheit ernster genommen werden, zeigt auch der runde Tisch zur Wasserkraft. Dieser startete im August 2020 auf Einladung von Bundespräsidentin Simonetta Sommaruga und soll ein gemeinsames Grundverständnis für die Herausforderungen der Wasserkraft vor dem Hintergrund der Energiestrategie 2050, dem Klimaziel Netto Null, der Versorgungssicherheit und dem Erhalt der Biodiversität entwickeln (UVEK 2020). Hierbei geht es auch um den Aus- und Neubau von alpinen Wasserkraftspeichern. An den Gesprächen nehmen die Konferenz der kantonalen Energiedirektoren, die Regierungskonferenz der Gebirgskantone, die Konferenz der Bau-, Planungs- und Umweltdirektoren, Pro Natura, WWF Schweiz, die Stiftung Landschaftsschutz Schweiz, der Schweizerischer Fischerei-Verband, der Verband Schweizer Elektrizitätsunternehmen, der Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, Swiss Small

Hydro, Swisspower AG und Axpo Group teil. Der runde Tisch fokussiert auf die Versorgungssicherheit mit Energie, bezieht hierbei jedoch keine Überlegungen zu potentiellen zukünftigen unterliegenden Wasserknappheiten mit ein. Nach Aussage des BFE wäre der Anspruch, alle Aspekte einzubeziehen, in der Realität schwer erfüllbar und nicht zielführend, wenn man zu einem Resultat kommen möchte. Daher wurden auch keine Akteure einbezogen, die von zukünftigen unterliegenden Wasserknappheiten betroffen sein könnten.

Datengrundlage

Eine breit abgestützte Datengrundlage ist für die Planung und Bewirtschaftung eines Mehrzweckspeichers unerlässlich. Für die Betreuung eines reinen Wasserkraftspeichers ist die Erstellung einer guten Datengrundlage ein Standard-Prozess geworden. Eine umfangreiche Management-Studie für den Betrieb eines Mehrzweckspeichers, wie es in anderen Ländern üblich ist (Tu et al. 2003; Wheeler et al. 2018; Wu et al. 2016; You and Cai 2008), wurde für Schweizer Speicher, wie beispielsweise das Trift-Projekt, noch nie erstellt.

Eine detaillierte hydrologische und sozio-ökonomische Analyse einschliesslich ihrer systemischen Wechselwirkungen könnte die potenziellen Auswirkungen der Mehrzwecknutzung auf die Minderung von Wasserknappheit flussabwärts, die Wasserkraftproduktion sowie Kosten und Nutzen für alle Sektoren aufzeigen. Solche Informationen könnten zu grösserem Bewusstsein bezüglich der sozio-ökonomischen Folgen für eine vernachlässigte, flussabwärts gelegene Wassernutzung führen, unerwartete Lösungen für scheinbar unüberwindbare Hindernisse bieten und den Schwerpunkt in partizipativen Prozessen von den Zielen der Mitigation (Wasserkraftproduktion) etwas mehr auf die Einbeziehung von Anpassungszielen (Minderung von Wasserknappheit) verlagern.

Aktuelle politische Konstellationen

Eine aktuelle politische Situation, wie ein bevorstehender Urnengang, kann die Entscheidungsfindung bei der Planung eines Mehrzweckspeichers stark beeinflussen. Das Trift-Projekt hat gezeigt, dass die damals bevorstehende Volksabstimmung über die Schweizer Energiestrategie 2050 ein übergreifendes Ziel für alle Akteure des Partizipationsprozesses war, welches einen wichtigsten Einfluss auf die Entscheidung hatte. Die Naturschutzverbände setzen sich seit vielen Jahren für den Ausstieg aus der Kernenergie ein und unterstützen deshalb die Energiestrategie. Dies erfordert auch die Unterstützung des Ausbaus erneuerbarer Energien wie der Wasserkraft. Die Verbände wollten nicht kurz vor der Abstimmung als Verhinderer der Energiestrategie wahrgenommen werden, obwohl der Bau einer Infrastruktur in einer unverbauten Geländekammer teilweise gegen ihre Statuten verstösst. Zudem würde das Projekt Trift dem Kanton ermöglichen, einen kantonalen Beitrag zum Ziel der nationalen Energiestrategie und zu den Zielen der kantonalen Wasserstrategie zu leisten, weshalb der Bau von Kleinwasserkraftwerken mit negativeren Umweltauswirkungen gestoppt werden könnte. Dieses übergreifende Ziel zur Unterstützung der Schweizer Energiestrategie 2050 führte jedoch dazu, dass bei den Entscheidungen im Partizipationsprozess der Fokus auf der Wasserkraftproduktion und nicht der Mehrzwecknutzung lag.

Zeitliche Unstimmigkeit der Nutzungen

Wie oben bereits erwähnt, konkurrenzieren sich einige Wassernutzungen zeitlich. Wasserkraft ist zwar keine konsumtive Nutzung, das Wasser wird aber überwiegend im Winter turbinert, wenn sich höhere Strompreise erzielen lassen. Dies fällt zeitlich nicht zusammen mit dem Wasserbedarf in unterliegenden Gebieten. Diese zeitlichen Konflikte erschweren die Koordination der verschiedenen Wassernutzungen.

Einbezug aller betroffenen Akteure

Bei der Planung von Speichern werden meist nicht alle betroffenen Akteure miteinbezogen und nur solche berücksichtigt, die eine Einsprache gegen das Projekt einlegen könnten. Einspracherecht haben derzeit in der Schweiz vorwiegend Verbände mit Umweltanliegen und betroffene Gemeinden. Hierbei werden jedoch nur gegenwärtige Betroffenheiten berücksichtigt und nicht solche, die allenfalls in Zukunft entstehen. Durch die Erstellung eines alpinen Wasserkraftspeichers mit einer vorwiegenden Nutzung im Winter (Verlagerung vom Abfluss vom Sommer in den Winter) können unterliegende Landwirte negativ betroffen sein, wenn sie eine Konzession zur Entnahme von Flusswasser zu Bewässerungszecken besitzen und Entnahmeeinschränkungen oder -verbote ausgesprochen werden. Potentielle zukünftige Entnahmeeinschränkungen werden jedoch bei Einsprachen nicht berücksichtigt. Unterliegenden Landwirten ist jedoch häufig nicht bewusst, dass in Zukunft vermehrt mit Wasserknappheit in Flüssen gerechnet werden muss, und dass alpine Speicher diese Knappheit potenziell mildern könnten. Trotz der langen Konzessionsdauer von alpinen Wasserkraftspeichern werden bei der Erarbeitung nicht alle (zukünftig) betroffenen Akteure einbezogen, wodurch eine langfristige Koordination verschiedener (zukünftiger) Nutzungs-Ansprüche und somit die Mehrzwecknutzung verhindert wird.

Interessens- und Standortabwägung

Eine weitere koordinative Herausforderung ist Interessens- und Standortabwägung für einen neuen alpinen Speicher. Das Bundesgerichtsurteil zur Grimselerhöhung fordert eine stufengerechte Standortplanung von alpinen Speichern auf Richtplanebene, da es unterhalb dieser Ebene an der nötigen räumlichen Gesamtoptik fehle und keine grossflächige Suche nach Alternativstandorten gewährleistet sei. «Erst eine möglichst flächendeckende Beurteilung aller potenziellen Standorte ermögliche es, das (relative) Gewicht eines einzelnen Interesses an einem bestimmten Standort objektiv - anhand eines Vergleichs mit möglichst vielen anderen Standorten - einzuschätzen und beispielsweise beurteilen zu können, ob eine Landschaft besonders typisch oder einzigartig sei. [...] «Dank der raumplanerischen Festlegungen könnten konkreten Projekten bessere Realisierungschancen gegeben werden (a.a.O., S. 7664 zu Art. 13 E-EnG) und Kompromisse leichter erzielt werden als bei einer kleinräumigen Betrachtung (a.a.O., S. 7627).» (Swiss Federal Tribunal, of 11/4/2020). Auch hält das Urteil fest, dass der Richtplan aufzeigen muss, «wie die raumwirksamen Tätigkeiten aufeinander abgestimmt sind. Hierfür sind fundierte Aussagen über Standort und Umfang der Anlagen erforderlich, die auf einer umfassenden, stufengerechten Interessenabwägung beruhen, welche begründet und damit transparent gemacht werden muss (Urteil 1C_346/2014, a.a.O.). Zwar erfolgt die Umweltverträglichkeitsprüfung erst auf Stufe der Nutzungsplanung bzw. Konzessionserteilung; bereits auf Richtplanebene müssen jedoch Abklärungen in einer Tiefe erfolgen, die es erlaubt, Standorte auszuschliessen, die aufgrund schwerwiegender Konflikte mit Naturschutzanliegen nicht weiterverfolgt werden sollen, und unter den verbleibenden Standorten den oder die am besten geeigneten auszuwählen.» (Swiss Federal Tribunal, of 11/4/2020).

Die raumplanerische Stufenfolge erfordert, dass bei der Planung eines oder mehrerer Speicher im gleichen Gebiet oder einem Speicherausbau zuerst eine Interessenabwägung auf Stufe Richtplan, inklusive einer Auseinandersetzung mit den entgegenstehenden öffentlichen Interessen des Natur- und Landschaftsschutzes, erfolgen muss. Hierbei müsste auch eine räumliche Koordination innerhalb eines Einzugsgebiets mit Anliegen von Ober- und Unterliegern stattfinden. Dies hätte auch den Vorteil, dass alle Sektoren innerhalb eines Kantons beteiligt wären. Der kantonale Richtplan wird anschliessend vom Regierungsrat beschlossen und vom Bundesrat genehmigt (Art. 11 Abs. 1 RPG). Dies ist auch deshalb nötig, weil Schutz- und Nutzinteressen von nationaler Bedeutung aufeinandertreffen und Interessenkonflikte zwischen Bundesinteressen unter Einbezug der betroffenen Bundesstellen zu

beurteilen sind. Erst anschliessend kann das Konzessionsverfahren mit einem kantonalen Konzessionsentscheid (bspw. vom Grossen Rat im Kanton Bern) durchgeführt und beschlossen werden.

Ökologische Auswirkungen

Bezüglich der ökologischen Auswirkungen von neuen Wasserspeichern in periglazialen Gebieten muss unterschieden werden zwischen: a) Auswirkungen auf den ökologischen Zustand *vor dem Verschwinden der Gletscher*, und b) Auswirkungen auf die natürliche Entwicklung des Gletschervorfelds *nach dem Gletscherrückzug*.

a) In Bezug auf die frühere vergletscherte Situation würden sich neue Wasserspeicher wie folgt auf die unterliegenden Fliessgewässer auswirken: Einerseits verändert sich die Wasserführung von einem schnee- und gletscherschmelzdominierten Regime (mit den höchsten Abflüssen im Sommer und praktisch ohne Abfluss im Winter) zu einem Regime, das durch die Bewirtschaftung des Speichers kontrolliert ist. Für den Bereich bis zur Wasserkraftzentrale würde damit die Vernetzung der Fliessgewässer, die Wassertiefen, Fliessgeschwindigkeiten und damit auch der Geschiebetransport reduziert, und die Temperaturverhältnissen im Gewässer verändert (Eawag 2011). Wird ein solcher Speicher primär für die Wasserkraftproduktion genutzt, wirkt das Wasser im Sommer kühlend und im Winter wärmend auf das unterliegende Fliessgewässer (Fenrich 2018). Über das Jahr hinweg ist die Bilanz auf den Unterlauf leicht kühlend. Was die Mehrzwecknutzung eines solchen Speichers betrifft, könnte die Ausleitung des Speicherwassers für die Bewässerung in unterliegenden Gebieten im Sommer – wie in Kap. 3.5 dargelegt – die Wassertemperatur (unterhalb der Wasserkraftzentrale) senken, was in sehr heissen Sommern für Fische und andere aquatische Lebewesen günstig wäre.

b) Neue periglaziale Wasserspeicher verhindern, respektive schmälern ausserdem die Etablierung und Sukzession von neuen Ökosystemen auf den Gletschervorfeldern. Diese Sukzessionsprozesse beginnen natürlicherweise unmittelbar nach dem Abschmelzen des Gletschereis und benötigen Zeit (Bernasconi et al. 2011). Aus Sicht der Biodiversität haben Gletschervorfelder ein hohes Potenzial für die Etablierung von seltenen und gefährdeten Pflanzen und Lebewesen (Burga and Corrodi 2011). Im Fall des bisher einzigen konkreten Projekts für einen neuen Stausee in periglazialen Gebieten – dem Trift-Stausee – bildete sich nach dem Gletscherrückzug in den 1970-er Jahren eine alpine Aue mit einer dynamischen Wasserführung und entsprechender Pioniervegetation. Nach der natürlichen Bildung eines Sees um die Jahrtausendwende wurde der Sedimenttransport stark reduziert und eine rasche Ausbreitung an Grünerlenbeständen konnte beobachtet werden (Schweizer et al. 2019a), zum Nachteil von geschützten Arten (Sumpfglashüpfer).

Zahlreiche potenzielle Standorte für neue periglaziale Wasserspeicher befinden sich in Schutzgebieten von nationaler oder regionaler Bedeutung (Ehrbar et al. 2018). Im Kanton Wallis, beispielsweise, liegen 80% des Winterausbaupotenzials innerhalb von Schutzgebieten (elf Standorte) und 20% (acht Standorte) ausserhalb (FMV 2020).

Landschaftliche Auswirkungen

Beim Neubau von alpinen Speichern ist der individuelle Standort entscheidend für die landschaftlichen Auswirkungen. Das Trift-Projekt wurde von den am partizipativen Prozess beteiligten Umweltschutzverbänden trotz ökologischer und landschaftlicher Auswirkungen deshalb akzeptiert, weil 1) ein schon natürlich entstandener See als Grundlage dient; 2) zur Erhöhung der Stromproduktion nur eine Wasser-Zuleitung gelegt wird; 3) der natürlich vorhandene Felsriegel den Damm grösstenteils verdeckt; 4) der Damm in einer Bergregion liegt, welche von unten nicht einsehbar ist; und 5) man im Kontext der Abstimmung zur Energiestrategie und den langjährigen Konflikten um die

Grimselstaumauer-Erhöhung eine Offenheit für erneuerbare Energie-Projekte zeigen wollte (Kellner 2019).

Laut Landschaftskonzept Schweiz sind Anlagen zur Energieerzeugung und -speicherung – und somit neue Speicher – möglichst landschafts- und naturverträglich auszugestalten und sie sollen der natürlichen Dynamik Rechnung tragen (Ziel 2.A) (BAFU 2020c). Hierbei soll eine Optimierung neuer und – bei sich bietender Gelegenheit – bestehender Anlagen aus Sicht der Landschaft und Natur verfolgt werden. «Diese Optimierung beginnt bereits auf Stufe der Planung mittels Variantenausarbeitung und -vergleich. Dabei ist soweit möglich anzustreben, die Infrastrukturen zu konzentrieren beziehungsweise bestehende Infrastrukturen mitzubenutzen. Durch die Wahl der bestgeeigneten Standorte kann sichergestellt werden, dass insgesamt kleine Gebiete betroffen sind. Dem [...] kantonalen Richtplan kommen bei der Projektoptimierung und der umfassenden Interessenabwägung eine wichtige Rolle zu. Innerhalb der Projektperimeter sind zudem die Eingriffe zu minimieren, die erforderlichen Wiederherstellungs- und Ersatzmassnahmen umzusetzen und die Infrastrukturen so zu gestalten, dass sie zu einer hohen Landschaftsqualität beitragen. Bestehende Anlagen geniessen grundsätzlich Bestandesschutz gemäss geltender Gesetze. Im Rahmen der Erneuerung von Anlagen [...] ist die Optimierung der Anlagen anzustreben, so dass die Beeinträchtigung von Landschaftsqualität und Natur minimiert wird. Bei der Wasser- und Windkraft ist dabei die Standortgebundenheit zu berücksichtigen. Wird bei der Standortwahl die Naturdynamik (Erosion, Lawinen, Auen, Flüsse) einbezogen, lassen sich Schutzbauten vermeiden, die zu zusätzlichen Natur- und Landschaftsbeeinträchtigungen führen könnten. Die Richtwerte für den Ausbau der Elektrizität aus erneuerbaren Energien im Bereich Wasserkraft bedingen Neubauten an bisher ungenutzten Gewässerabschnitten. Ausgenommen sind Biotope von nationaler Bedeutung nach Artikel 18a NHG und Wasser- und Zugvogelreservate von internationaler und nationaler Bedeutung nach Artikel 11 des Jagdgesetzes sowie Moore und Moorlandschaften. In Inventaren nach Art. 5 NHG (BLN, ISOS, IVS) ist ab einer bestimmten Grösse der Anlagen eine Interessenabwägung möglich. Ebenfalls darf erwogen werden, von der ungeschmälernten Erhaltung der Objekte abzuweichen. Varianten sind einzubeziehen und es ist sicherzustellen, dass die Beeinträchtigung minimiert und die nötigen Wiederherstellungs- und Ersatzmassnahmen realisiert werden.» (BAFU 2020b).

Ein weiteres Ziel (2.B) lautet, dass Anlagen zur Energieerzeugung bundesrechtlich geschützte Landschaften und kantonale Landschaftsschutzgebiete wo möglich nicht beeinträchtigen oder sie bestmöglich schonen. «Um die vom Ziel postulierte möglichst geringe Beeinträchtigung der Landschaftsqualität durch Anlagen zur Energieerzeugung [...] zu erreichen, sind Varianten in Landschaften mit geringem Schutzstatus oder bestehender Beeinträchtigung durch Infrastrukturen Varianten in Landschaften mit höherem Schutzstatus wie z. B. Objekte der Art. 5 NHG-Inventare oder kantonale Landschaftsschutzzonen vorzuziehen. Bei der Interessenabwägung sind Alternativstandorte einzubeziehen. Objekte der Inventare nach Art. 5 NHG verdienen nach Art. 6 Abs. 1 NHG grösstmögliche Schonung. Die Beeinträchtigung durch Eingriffe sind nach Art. 6 Abs. 1 NHG mit Wiederherstellungs- und angemessenen Ersatzmassnahmen zu minimieren» (BAFU 2020b).

Wie oben erwähnt, wird im Gerichtsurteil zur Erweiterung des Grimsel-Stausees festgehalten, dass es unstrittig ist, dass die Grimsel-Staumauererhöhung «einen schwerwiegenden Eingriff in ein BLN-Gebiet [...] bewirkt» Als Grund hierfür werden neben ökologischen auch landschaftliche Auswirkungen genannt, da das Einstauband rund um den See, das bei tiefem Wasserstand als graue und vegetationslose Fläche sichtbar ist, durch den Höherstau markant verbreitert wird und (aufgrund des ca. 1 km längeren Seeperimeters) eine deutlich grössere Fläche als bisher umfasst. (Swiss Federal Tribunal, of 11/4/2020).

Die Ausführungen zeigen, dass die Beurteilung von landschaftlichen Auswirkungen von neuen alpinen Speichern sehr komplex und nicht verallgemeinerbar ist. Die Beurteilung eines Einzelprojektes steht

neben gesetzlichen Anforderungen auch im Kontext der regionalen Begebenheiten, vorherigen Konflikten (Bsp. Grimsel) oder aktuellen politischen Situationen (Bsp. Energiestrategie 2050).

Ökonomische Auswirkungen

Wie in Kapitel 3.5 erwähnt, schränkt die Mehrzwecknutzung die Flexibilität der Produktionsbedingungen für Wasserkraft ein und führt so zu finanziellen Einbussen. Die gezielte Wasserabgabe in den Unterlauf in trockenen Zeiten verringert hingegen die landwirtschaftlichen Produktions- und Einnahmeeinbussen in unterliegenden Gebieten. Vor der Erarbeitung einer Konzession müssten diese ökonomischen Auswirkungen anhand einer detaillierten, projektspezifischen Kosten-Nutzen-Berechnung analysiert werden. Vorab wäre auch zu klären, wer die Kosten für eine solche Berechnung übernimmt. Der Kanton sollte ein Interesse daran haben, die verschiedenen Energie- und Wasseransprüche ökonomisch effizient erfüllen zu können. Dass den Wasserkraftbetreibern aus einer Mehrzwecknutzung kein ökonomischer Nachteil entstehen muss, zeigen Beispiele vom Davoser See und aus Zermatt, wo Wasserkraftbetreiber aus dem Verkauf von Wasser zur Beschneigung zusätzliche Einnahmen erzielen. Für unterliegende Landwirte besteht die Gefahr finanzieller Einbussen, wenn eine fehlende Mehrzwecknutzung zu Entnahmeeinschränkungen für die Bewässerung führt. Hier müsste vom Kanton geklärt werden, wer dafür zahlt, wenn Wasserkraftbetreiber Wasser für Bewässerungszwecke zur Verfügung stellen. Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass auf dem Weg bis zu den landwirtschaftlichen Flächen ein Teil des Wassers verdunstet und versickert, insbesondere in trockenen, heissen Zeiten. So wie der Kanton teilweise Rückhaltevolumen für Hochwasser bei den Wasserkraftbetreibern «kauft», müsste man analog finanzielle Regelungen für Trockenheitssituationen ausarbeiten.

Ein Fallbeispiel zur Kosten-Nutzen-Berechnung einer Mehrzwecknutzung wird vertieft in Kapitel 4.2 beschrieben.

3.7 Zusammenfassung Chancen und Herausforderungen einzelner Speichermöglichkeiten für die Mehrzwecknutzung

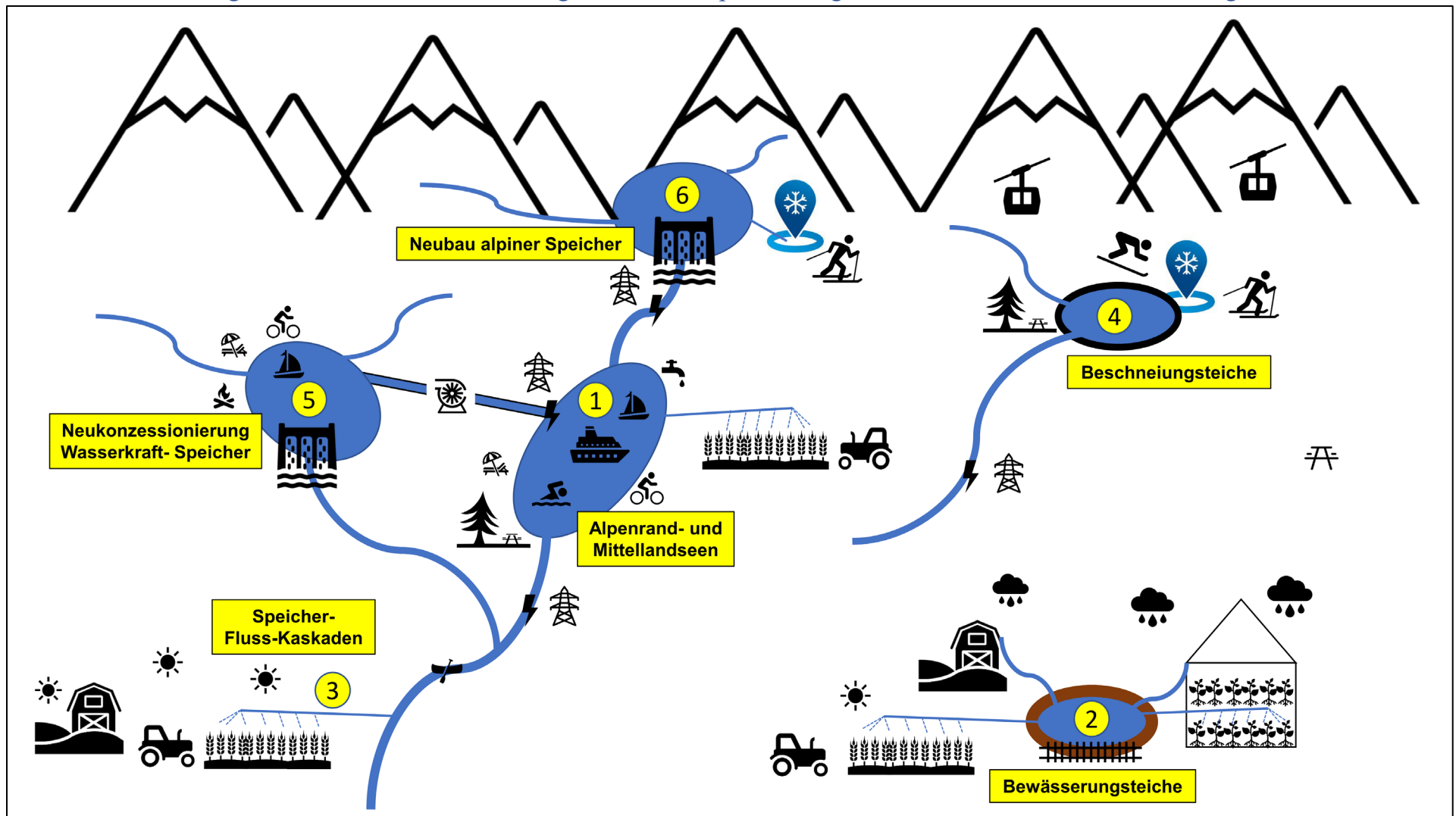


Abbildung 13: Übersicht Speichertypen, welche in den Kapiteln 3.1 bis 3.6 dargestellt werden (Kellner 2021a).

Kapitel	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
Speichertyp	Alpenrand- und Mittellandseen	Bewässerungsteiche	Speicher-Fluss-Kaskaden	Beschneigungsteiche	Konzessions-erneuerung	Neubau alpiner Speicher
Mögliche Nutzungen	• Erholung • Hochwasserschutz • Schifffahrt • Trinkwasser • Kühlung • Heizen • Bewässerung • Wasserkraft • u.a.	• Bewässerung	• Wasserkraft • Schifffahrt • Trinkwasser • Bewässerung • u.a.	• Beschneigung • Erholung • Wasserkraft • (Baden)	• Wasserkraft • Bewässerung • Beschneigung • Erhöhung Abfluss	• Wasserkraft • Bewässerung • Beschneigung • Erhöhung Abfluss
Herausforderungen Koordination	• Langwierige Prozesse zur Erarbeitung des Seereglements	• Nicht geeignet für Mehrzwecknutzung	• Ober- und unterliegende Nutzungen müssen koordiniert werden	• Verschiedene Nutzungen müssen in Konzession integriert sein	• Inkohärente Gesetze und öffentliche Politiken • Sektorielle Interessen • Zielkonflikte • Zeitlich konkurrenzierende Nutzungen • Datengrundlage	• Inkohärente Gesetze und öffentliche Politiken • Sektorielle Interessen • Zielkonflikte • Zeitlich konkurrenzierende Nutzungen • Datengrundlage • Interessens- und Standortabwägung

Speichertyp	Alpenrand- und Mittellandseen	Bewässerungsteiche	Speicher-Fluss-Kaskaden	Beschneigungsteiche	Neukonzessionierung	Neubau alpiner Speicher
Ökologische Auswirkungen	• Ökologie Uferbereich • Ufererosion • Veränderung Abfluss-dynamik im Unterlauf	• Landverbrauch • Abrieb und Auswaschung von Folienbestand-teilen • Entlastung lokale Wasservor-kommen	• Veränderung Abfluss • Entlastung kleine Bäche und Grundwasser	• Landverbrauch • Abrieb und Auswaschung von Folienbestandteilen • Wasser-entnahme zu Niedrig-wasserzeiten	• Veränderung Abfluss • Kühlung Unterlauf im Sommer	• Überschwemmung von in Sukzessionsprozessen befindlichen Ökosystemen auf Gletschervorfeldern • Veränderung Abfluss • Kühlung Unterlauf im Sommer
Landschaftliche Auswirkungen	• Veränderung Pegel-schwankungen	• Aushubmaterial wird als Damm verwendet • Meist nah an Gebäuden	• Pumpenhaus am Fluss	• Neubau führt zu erheblichen Auswirkungen auf das Landschaftsbild	• veränderte Pegel-schwankungen • Einstauband evtl. mehr sichtbar	• Neubau führt zu erheblichen Auswirkungen auf das Landschaftsbild
Ökonomische Auswirkungen	• Transaktionskosten für Koordination	• Speicherkosten können durch geringere landwirtschaftliche Ertragseinbussen kompensiert werden	• Transaktionskosten für Koordination • Kosten für den Bau von Pumpanlagen und Wasserleitungen können durch geringere landwirtschaftliche Ertragseinbussen kompensiert werden	• Schneesicherheit für Tourismus kann Beschneigungskosten kompensieren	• Einschränkung bei der Produktion von Spitzenenergie • Weitere Einnahmequelle Im Fall niedriger Strompreise • Geringeres trockenheits-bedingtes Produktions-risiko in unterliegenden Gebieten	• Einschränkung bei der Produktion von Spitzenenergie • Geringeres trockenheits-bedingtes Produktionsrisiko in unterliegenden Gebieten

Tabelle 1: Zusammenfassung Chancen und Herausforderungen einzelner Speichermöglichkeiten für die Mehrzwecknutzung. Negative Auswirkungen in roter, positive Auswirkungen in grüner Schrift.

4. Konkrete Fallbeispiele

4.1 Fallbeispiel zur Governance der Mehrzwecknutzung

4.1.1 Ziel der Fallstudie und Limitationen

In dieser Fallstudie wurden beispielhaft zwei Speicher-See-Kaskaden in den Kantonen Bern und Zürich bezüglich der Koordination verschiedener Wassernutzungen untersucht. Die erste Kaskade startet am geplanten Trift-Speicher im Berner Oberland, führt über die natürlichen Seen Briener- und Thunersee und endet im Seeland. Die zweite Kaskade startet am Sihlsee, zieht sich über den Zürichsee und endet im Furttal. In beiden Fällen befindet sich oberliegend ein Speicher, der vorwiegend zur Produktion von Wasserkraft genutzt wird, bzw. werden soll, dann folgen natürliche Seen und unterliegend entnehmen landwirtschaftliche Betriebe Bewässerungswasser aus dem Fluss, der Aare bzw. der Limmat. Bei der Kaskade im Kanton Bern befinden sich noch weitere grosse Speicherseen der KWO im Oberlauf, deren Konzessionen in den nächsten Jahren auslaufen. Es wird hier beispielhaft der Prozess zur Erarbeitung der Trift-Konzession untersucht, um aktuelle Herausforderungen bei den Aushandlungen analysieren zu können. Ausserdem wird im Seeland nicht nur aus der Aare Bewässerungswasser entnommen, sondern auch an anderen Orten wie dem Grundwasser, dem Broyekanal oder dem Murtensee. Auch sind aktuell mehrere Bewässerungsprojekte im Seeland in Planung, welche verschiedene Wasserressourcen einbeziehen. Verschiedene Interviews mit Landwirten, dem Initiant der dritten Juragewässerkorrektion und dem Inforama sowie Dokumentenanalysen haben ergeben, dass die Aare als eine Wasserentnahmestelle bei neuen Projekten eingeplant wird und man davon ausgeht, dass diese «unendlich» viel Wasser führt. Im vorliegenden Projekt wurde aus zeitlichen Gründen beispielhaft nur auf die Kaskade Trift-Aare fokussiert. In einem Folgeprojekt müsste man sowohl alle KWO-Speicher als auch die Dreiseen im Seeland als Wasserspeicher in die Überlegungen miteinbeziehen.

4.1.2 Beschreibung Fallstudien-Kaskaden A und B

Kaskade A: Trift Speicher-Brienersee-Thunersee-Seeland im Kanton Bern

Die vorliegende Fallstudie untersucht die Koordination verschiedener Wassernutzungen entlang der Kaskade Trift Speicher-Brienersee-Thunersee-Seeland im Kanton Bern (s. Abb. 14).

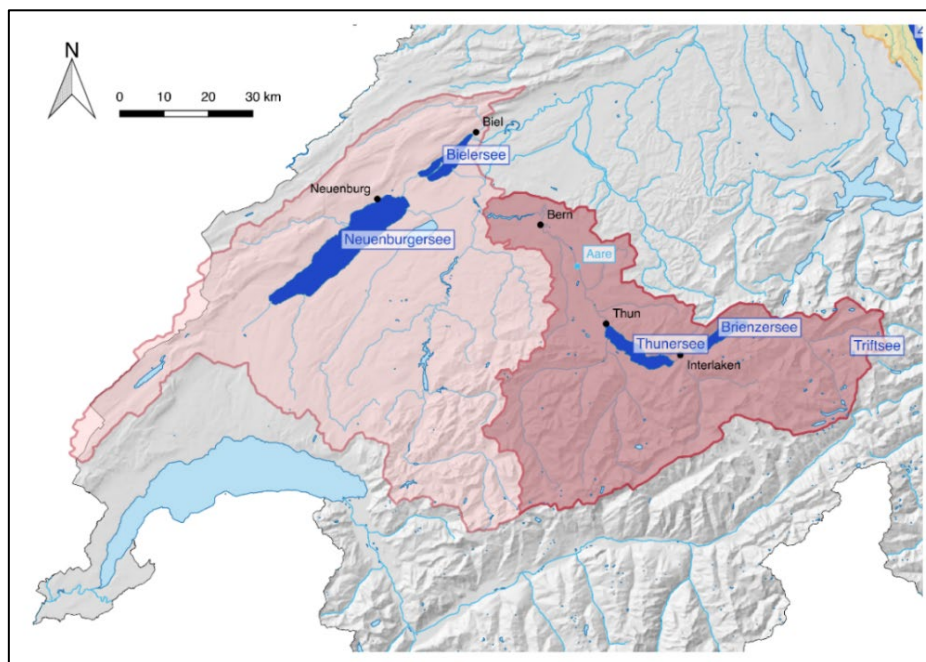


Abbildung 14: Karte der Fallstudienregion „Trift-Seeland“.

Trift Stausee

Aufgrund des durch den Klimawandel bedingten Rückzugs des Triftgletschers im Berner Oberland wurde eine Geländemulde freigelegt, in der sich ein Gletschersee bildete (Haeberli et al. 2013). Die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) haben ein Projekt erarbeitet, das an dieser Stelle einen Stausee und in der «underen Trift» ein Kraftwerk vorsieht. Der Stausee würde über ein Stauvolumen von 85 Mio. m³ verfügen, eine Leistung von 80 Megawatt und eine jährlich produzierte Energiemenge von 145 Gigawattstunden umfassen (KWO 2019). Die KWO erarbeiteten das Projekt von 2012 bis 2017 in enger Zusammenarbeit mit einer Begleitgruppe, in welcher Umweltverbände, kantonale Ämter, Politiker, Tourismusvertreter und die Bevölkerung der Region teilnehmen konnten. Das Konzessionsgesuch wurde im November 2017 eingereicht (Schweizer et al. 2019b). Im August 2020 unterstützte der Regierungsrat des Kantons Bern das Konzessionsgesuch der KWO (Regierungsrat des Kantons Bern 2020). Es wurde argumentiert, dass das geplante Kraftwerk massgeblich dazu beiträgt, dass die Ziele der Energiewende in der Schweiz erreicht werden können. Der Grosse Rat wollte in der Wintersession 2020 über das Gesuch entscheiden. Entgegen aller Erwartungen und detaillierter Vorbereitungen wurde im November 2020 die Konzessionsvergabe für den Trift-Speicher durch den Grossen Rat des Kantons Bern von der Traktandenliste des Sessionsprogramms genommen. Als Grund wurde genannt, dass ein Entscheid des Bundesgerichts zur Konzessionsanpassung bezüglich der Staumauererhöhung Grimselsee publik wurde, der auch Auswirkungen auf die Konzession Kraftwerk Trift hat (Der Grosse Rat des Kantons Bern). In diesem Entscheid des Bundesgerichts wird festgehalten, dass eine Interessensabwägung zwischen Nutz- und Schutzinteressen von nationaler Bedeutung bei der Erhöhung der Grimselstaumauer sowie eine «Abstimmung mit dem Kraftwerk Trift» erforderlich ist (Swiss Federal Tribunal, of 11/4/2020). Zudem wird im Bundesgerichtsentscheid bemängelt, dass beim Konzessionsantrag zur Grimselerweiterung die Fristen für den Beginn der Bauarbeiten und die Eröffnung des Betriebs fehlen, welche nach Art. 54 Abs. h WRG im Konzessionsantrag enthalten sein müssen. Diese Fristen fehlen auch im Konzessionsantrag des Trift-Projektes. Das Bundesgericht stellt aus den oben genannten Gründen die Frage, ob eine Interessensabwägung und eine Konzession für die Erhöhung des Grimselsees zum heutigen Zeitpunkt erteilt werden kann, wenn deren Realisierung auf unbestimmte Zeit verschoben worden ist.

Brienzer- und Thunersee

Der Brienzersee und der Thunersee sind Alpenseen am Nordrand des Berner Oberlandes (s. Abb. 15). Der Brienzersee ist ein natürlicher See, welcher auf einer Höhe von 564 Metern über Meer liegt. Der Hauptzufluss sind die Aare und Lütschine, der Hauptabfluss die Aare, welche in den Thunersee fliesst. Mit einer Länge von 14 km, einer Breite von 2,8 km und einer maximalen Tiefe von 261 m weist der Brienzersee eine Fläche von 29,8 km² und ein Volumen von 3 900 Mio. m³ auf (BAFU 2018a). Der Thunersee liegt auf einer Höhe von 558 Metern über Meer. Der Hauptzufluss und -abfluss ist die Aare mit einem jährlichen mittleren Zufluss von 60 m³/s in den Thunersee sowie die Kander und Simme mit einem jährlichen mittleren Zufluss von je 20 m³/s in den Thunersee. Mit einer Länge von 17,5 km, einer Breite von 3,5 km und einer maximalen Tiefe von 217 m weist der Thunersee eine Fläche von 48,4 km² und ein Volumen von 6 500 Mio. m³ auf (BAFU 2018b).



Abbildung 15: Brienzersee (im Vordergrund) und Thunersee (im Hintergrund) (Foto: Elke Kellner).

Aufgrund ihrer Lage mit einer eindrücklichen Bergkulisse sind die Seen sowohl zum Wohnen als auch für Ausflüge von Touristen sehr beliebt. Das Wasser der beiden Seen wird für unterschiedliche Ansprüche genutzt. Eine Vielzahl von Akteuren stellt unterschiedliche und konkurrierende Ansprüche wie Hochwasserschutz, Schifffahrt, Ökosystemdienstleistungen und Biodiversität, Wasserknappheits-Management, Laufwasserkraftwerke, Landschaft, Erholung, Landwirtschaft, Grundwasserschutz, Fischerei. Auch werden ein nicht stark schwankender Seepegel und Abfluss gewünscht. Hierbei entstehen Widersprüche zwischen Nutzungs- und Schutzinteressen. Die Wasserstände und Abflüsse des Sees werden durch verbindliche Seereglemente geregelt, die durch das kantonale Amt für Wasser und Abfall umgesetzt werden (BAFU 2018a, 2018b). Mit diesen Vorschriften sollen Hochwasserspitzen gedämpft und Niedrigwasserstände angehoben werden.

Seeland

Die Region Seeland liegt am südöstlichen Fuss der Gebirgskette des Juras. In früheren Epochen war das Seeland die Aue der Aare und damit sumpfig. Durch die erste und zweite "Juragewässerkorrektion" wurde das Gebiet entwässert und konnte dadurch verstärkt bewirtschaftet werden. Das Seeland ist eines der wichtigsten Gemüseanbaugebiete der Schweiz. Es versorgt ein Viertel der Schweizer Bevölkerung. 3 000 Hektare sind Freilandkulturen, 95 Hektare sind Gewächshäuser. Der jährliche Produktionswert liegt zwischen CHF 194 und 277 Mio. Der Gemüsesektor mit 430 Familienbetrieben ist für den Kanton Freiburg von grosser Bedeutung und stark abhängig von den Grossverteilern. Die Bauern erhalten Konzessionen für die Bewässerung gemäss der Grösse ihrer landwirtschaftlichen Fläche. Genaue Entnahmemengen sind dem Konzessionsgeber (Kanton Bern) mehrheitlich nicht bekannt, da die Konzessionen nach der Grösse des landwirtschaftlichen Betriebes vergeben wurden. Es haben sich in den letzten Jahren vielfältige Bewässerungssysteme etabliert (s. Abb. 16), für die Zukunft werden aber auch neue Lösungsmöglichkeiten angestrebt.



Abbildung 16: Mit Dieselmotoren betriebene Pumpen fördern Bewässerungswasser auf die Felder im Seeland (Fotos: Elke Kellner).

Kaskade B: Sihlsee-Zürichsee-Limmat (Furttal)

Die vorliegende Fallstudie untersucht die Koordination verschiedener Wassernutzungen entlang der Kaskade Sihlsee-Zürichsee-Limmat (Furttal) im Kanton Zürich (s. Abb. 17).

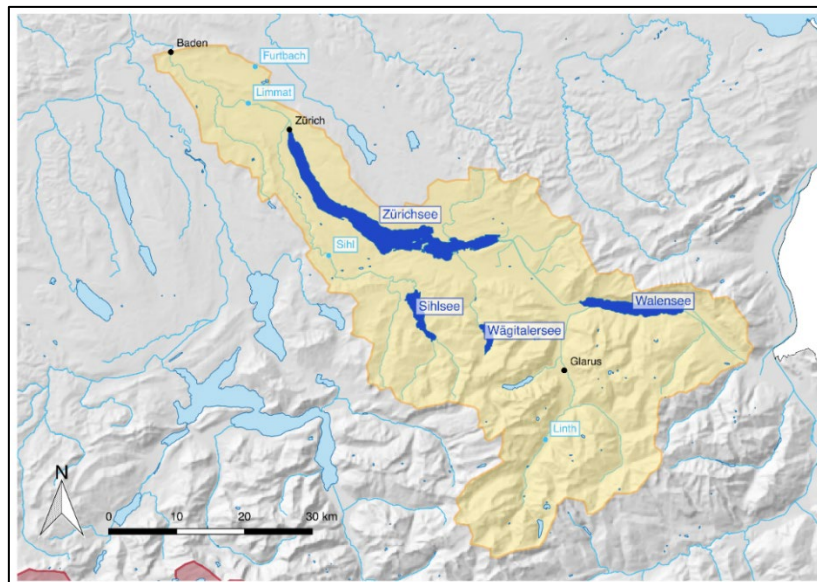


Abbildung 17: Karte des Fallstudiengiets Sihlsee-Zürichsee-Limmat (Furttal).

Sihlsee

Der Sihlsee ist ein Stausee zur Gewinnung von Wasserkraft im Bezirk Einsiedeln im Kanton Schwyz und liegt auf einer Höhe von 889 Metern über Meer. Er wird von der Sihl durchflossen, welche am Nordufer durch eine 33 m hohe und 124 m lange Staumauer gestaut wird. Mit einer maximalen Länge von 8,5 km und einer Breite von zwischen 1 km und 2,5 km weist der See eine Fläche von 10,72 km² auf und ist damit der grösste Stausee der Schweiz. Seine tiefste Stelle beträgt 23 Meter, sein Gesamtvolumen 96 Mio. m³.

Die Bewilligung zum Bau dieses Sees und der Produktion von Wasserkraft wurde 1926 an einer Gemeindeversammlung den Betreibern des Wasserkraftwerkes erteilt. Die Betreiber sind die Schweizerischen Bundesbahnen AG (SBB), die staatliche Eisenbahngesellschaft der Schweiz, welche verschiedene Wasserkraftwerke zur Gewinnung von Bahnstrom betreibt. Der Bau wurde 1932 begonnen

und das Tal wurde 1937 geflutet. Dabei wurden zahlreiche Flach- und Hochmoore, über 90 Wohnungen, Gebäude wie Sägereien und Kapellen, über 50 Bauernhöfe und deren Land überschwemmt, und über 500 Personen mussten das Gebiet verlassen.

Der Sihlsee ist durch eine Druckleitung mit dem unterliegenden Zürichsee verbunden. Das Wasserkraftwerk Etzelwerk produziert jährlich 270 GWh Bahnstrom für die SBB, indem es Wasser vom Sihlsee in den Zürichsee turbinert. Das Etzelwerk kann zur Zwischenspeicherung von Strom auch Wasser vom Zürichsee in den Sihlsee hochpumpen. Unterhalb der Staumauer fliesst die Sihl aus dem See und mündet in Zürich in die Limmat. Neben der Stromgewinnung dient der Sihlsee verschiedenen Wassersportarten, der Naherholung und dem Hochwasserschutz.

Die 80-jährige Konzession für den Sihlsee lief im Jahr 2017 aus. Aufgrund verschiedener Unstimmigkeiten wurde keine neue Konzession, sondern eine Übergangskonzession bis Dezember 2022 erstellt. Erschwerend kam bei der Neuaushandlung der Konzession dazu, dass lange nicht klar war, ob der Hochwasserschutz mit einem Ausbau der Pumpspeicherung oder mit einem Entlastungsstollen sichergestellt werden sollte. Schlussendlich hat man sich auf einen neuen Hochwasser-Entlastungsstollen in Thalwil geeinigt. Derzeit wird die neue Konzession ausgehandelt. Konzessionsgeber sind die Kantone Zug, Schwyz und Zürich sowie die Bezirke Einsiedeln und Höfe. Die vereinbarte Restwassermenge in die Sihl beträgt ca. 3.5 m³/s. Den Wasserzins erhalten die Kantone Schwyz und Zug. Die neu ausgehandelte Konzession soll für 80 Jahre gelten.

Zürichsee

Der Zürichsee ist ein natürlicher See, welcher in den Kantonen Zürich, St. Gallen und Schwyz auf einer Höhe von 406 Metern über Meer liegt. Der Hauptzufluss ist die Linth, welche in den Glarner Alpen entspringt und durch den Kanton Glarus und den Walensee fliesst. Der Hauptabfluss ist die Limmat, welche durch das Limmattal in die Aare fliesst. Mit einer Länge von 42 km, einer Breite von 3,85 km und einer mittleren Tiefe von 51,7 m (maximale Tiefe 136 m) weist der Zürichsee eine Fläche von 90,1 km² und ein Volumen von 3 900 Mio. m³ auf.

1977 wurde ein Reglement zur Seeregulierung von den Kantonen Zürich, Schwyz, St. Gallen und Aargau festgelegt, welches vom Bundesrat genehmigt wurde. Dieses macht tagesgenaue Vorgaben zum Seestand und dem Abfluss in die Limmat. Damit wird ein Jahresgang erreicht, der sowohl den natürlichen Schwankungen entspricht als auch die unterschiedlichen Bedürfnisse von See- und Limmatanliegern sowie von Fischerei, Schifffahrt, Energiegewinnung und Naturschutz am besten vereinbart (BAFU 2014b). Reguliert werden die Seestände nicht direkt beim Seeausfluss, sondern knapp zwei Kilometer limmatabwärts durch das Regulierwehr Letten.

Gleich unterhalb des Lettenwehrs mündet die Sihl in die Limmat, was auch einen Einfluss auf die Steuerung des Lettenwehrs hat, insbesondere bei starken Niederschlägen und Hochwassergefahr im unterliegenden Limmattal. Um die Hochwasserspitzen der Sihl zu dämpfen, wird einerseits bereits im Sihlsee ein Teil des Wassers zurückgehalten und andererseits reduziert das Lettenwehr den Abfluss in die Limmat. Dadurch steigt der Zürichsepegel kurzfristig an. Vergleichbare Regulierungen für den Niedrigwasserstand werden im Seereglement nicht erwähnt.

Furttal

Das Projekt im Furttal (s. Abb. 18) ist in Kapitel 3.3 beschrieben.

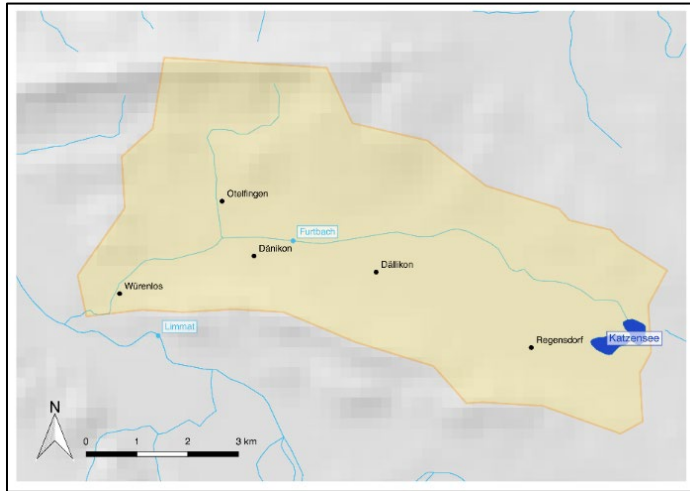


Abb. 18: Fallstudienregion Furttal.

4.1.3 Methode

Es wurde ein qualitatives Forschungsdesign verwendet. Die Datenerhebung umfasste halbstrukturierte persönliche Interviews, bei denen alle wichtigen Akteure befragt wurden, insbesondere nationale und kantonale Behörden, Wasserkraftunternehmen, Landwirte, Umweltschutz-Verbände und die jeweilige lokale Bevölkerung. Diese Experteninterviews lieferten detaillierte Informationen über spezifische Interessen der Ressourcen-Nutzung und politische Strategien sowie ein vertieftes Verständnis der Prozesse zur Erarbeitung und Beurteilung von Konzessionen. Weitere Informationsquellen waren Exkursionen, teilnehmende Beobachtung von Sitzungen, Dokumentenanalyse von rechtlichen Grundlagen (wie Gesetze, Verordnungen, Konzessionen, nationale, kantonale und regionale Strategien, Gerichts-Urteile) und die Analyse von Berichten (einschliesslich Berichten von Behörden und NGOs sowie Zeitungsartikel). Die Datenanalyse erfolgte nach den allgemeinen Prinzipien der qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring 2010).

4.1.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Analyse beider Kaskaden zeigen, dass zwischen den verschiedenen Wassernutzungen nur eine geringe Koordination besteht). Trotz der starken Verbindung durch den Wasserlauf werden die Entscheidungsprozesse zur Nutzung des Wassers nicht miteinander koordiniert. Dies bedeutet, dass zwar einzelne Wassernutzungen vom Trift-Speicher / Sihlsee, von den Seen und zur Bewässerung geregelt werden, es aber keine Koordination dieser Regelungen untereinander gibt. Somit werden in Zeiten von Wasserknappheiten oberliegende Nutzungen (ungewollt) priorisiert.

Ergebnisse Kaskade A

Die Ergebnisse zeigen, dass bei der Konzessionserarbeitung zum geplanten Trift-Speicher keine unterliegenden Wasserknappheiten berücksichtigt wurden, obwohl der jährliche Zufluss in den Speicher unterliegende Knappheiten mindern könnte (s. Abb. 19) (Kellner and Brunner 2021). Der Konzessionsentwurf zum Trift-Projekt regelt nur die Wasserkraftproduktion und die Restwassermengen.

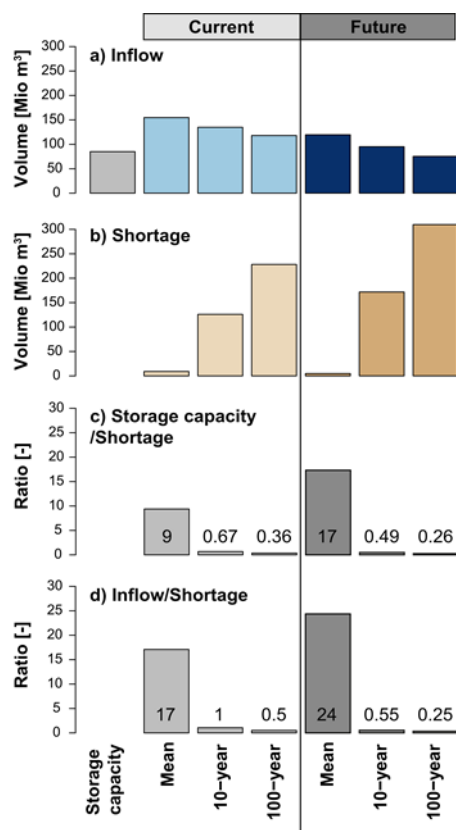


Abbildung 19: Schätzungen der Speicherkapazität, des Reservoir-Zuflusses zum geplanten Trift-Speicher und der unterliegenden Wasserknappheit und deren Beziehung. (a) Speicherung und geschätzter mittlerer und extrem niedriger jährlicher Zufluss des Trift-Reservoirs, (b) geschätzte Sommerknappheit für die stromabwärts gelegene Region unter gegenwärtigen und zukünftigen mittleren und extremen (10-jährlichen und 100-jährlichen) Knappheitsbedingungen. (c) Speicherkapazität/Knappheitsverhältnisse für gegenwärtige und zukünftige mittlere und extreme Knappheitsbedingungen. (d) Zufluss-/Knappheitsverhältnisse für mittlere und extreme Bedingungen, wenn extreme Knappheit gleichzeitig mit extrem niedrigem Zufluss auftritt (z.B. 10-jährlicher Zufluss wird mit 10-jährlichem Mangel verglichen) (Kellner and Brunner 2021).

Die Seereglemente des Brienzer- und Thunersees berücksichtigen den Hochwasserschutz für die Seen und unterliegende Gebiete, regulieren jedoch keine unterliegenden Wasserentnahmen aus der Aare für Bewässerungszwecke. Landwirtschaftliche Bewässerungsprojekte im Seeland gehen davon aus, dass «unendlich» viel Wasser aus der Aare für Bewässerungszwecke entnommen werden kann (Jordan et al. 2018).

Obwohl die Stufen der Kaskade direkte Verbindungen aufweisen, werden die Regelungen zur Wasserentnahme nicht miteinander koordiniert. Folgende Faktoren für die fehlende Koordination wurden hierbei identifiziert:

(1) Trift Projekt

Auswertungen der Prozesse zur Erarbeitung der Konzession des geplanten Trift-Speichers haben folgende Faktoren identifiziert:

a. **Starkes Interesse am Ausstieg aus der Kernenergie, an der Erhöhung der Produktion erneuerbarer Energien sowie an der Umsetzung Energiestrategie 2050**

Als Folge der Nuklearkatastrophe von Fukushima 2011 (Japan) hat der Schweizer Bundesrat 2011 begonnen, an einer neuen Energiestrategie zu arbeiten. Das "Energiegesetz" dieser Strategie zielt darauf ab, die bestehenden Kernreaktoren am Ende ihrer sicherheitstechnischen Lebensdauer abzuschalten, den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen zu senken und die Produktion erneuerbarer Energien zu erhöhen (BFE 2013). Konkret soll die Wasserkraft gegenüber 2010 um 10% gesteigert werden, um bis 2050 das maximale Wasserkraftpotenzial für die Schweiz zu erreichen (BFE 2012). Die Strategie wurde in mehreren Etappen durch Abstimmungen im Parlament und die erfolgreiche öffentliche Abstimmung im Mai 2017, kurz vor dem Ende des partizipativen Prozesses im Projekt Trift, verabschiedet.

Umweltverbände setzen sich seit vielen Jahren für den Ausstieg aus der Kernenergie ein. Sie fühlten sich deshalb kurz vor der öffentlichen Abstimmung über die neue Strategie verpflichtet, sich für

einen ökologisch vertretbaren Ausbau der Wasserkraft einzusetzen. Sie wollten nicht als Hindernis für den Übergang von nicht-erneuerbaren zu erneuerbaren Energiequellen gesehen werden. Diese Situation stellte die Wasserkrafterzeugung in den Mittelpunkt des Entscheidungsprozesses.

b. Mangel an Wissen, Bewusstsein und verfügbaren Daten über zukünftige Wasserknappheit und deren Auswirkungen flussabwärts sowie über potentielle Reservoir-Management-Optionen für eine Mehrzwecknutzung

Während Umweltbedenken ernster genommen wurden als in der Vergangenheit, vernachlässigten die Entscheidungsträger eine potenzielle flussabwärts aufkommende Wasserknappheit, die durch den Klimawandel verstärkt wird. Interviews zeigten, dass den Teilnehmenden des partizipativen Prozesses nicht bewusst war, dass unterliegende Wasserknappheiten mit KWO-Speichern gemindert werden könnten. Dies zeigt sich auch daran, dass die Behörden keine umfassende Studie über das Management und den Betrieb eines Mehrzweckspeichersystems in Auftrag gaben, wie es international bei der Erarbeitung von Speicherprojekten üblich ist (Tu et al. 2003; Wheeler et al. 2018; Wu et al. 2016; You and Cai 2008). Eine detaillierte hydrologische und sozio-ökonomische Analyse einschliesslich ihrer systemischen Wechselwirkungen könnte die potenziellen Auswirkungen der Mehrzwecknutzung auf die Minderung von Wasserknappheit flussabwärts, auf die Wasserkraftproduktion sowie die Kosten und Nutzen für alle Sektoren aufzeigen.

c. Konzentration auf die Erzielung eines Konsenses in Umweltfragen mit den NGOs im partizipativen Prozess

In den letzten Jahren wurden Naturschutzanliegen bei neuen Speicherprojekten immer ernster genommen (s. Abb. 12). Man hat insbesondere aus den langjährigen (und kostspieligen) Konflikten um die Erhöhung der Grimselstaumauer (Schmid 2001; Kohler 2001) (aber auch von anderen Speicherprojekten schweizweit (Vetterli 2012)) gelernt, dass man Umweltschutzverbände von Anfang an in die Erarbeitung der Konzession miteinbeziehen sollte (Kellner et al. 2019). Dies führte beim Trift-Projekt zu einem starken Fokus auf die Erzielung eines Konsenses in Umweltfragen mit den NGOs.

d. Keine betroffenen Akteure aus unterliegenden Gebieten am Partizipationsprozess beteiligt, nur einspracheberechtigte Akteure

Wie schon oben erwähnt, wurden Umweltschutzverbände und lokal betroffene Gemeinden zum Prozess eingeladen. Akteure aus unterliegenden Gebieten, die von zukünftiger Wasserknappheit betroffen sind, wurden nicht als «betroffene Akteure» wahrgenommen.

e. Weit verbreitetes Narrativ über die Wirkung der grossen Volumina des Brienzer- und des Thunersees als Puffer für unterliegende Wasserknappheit

Auch wenn der Brienzersee und Thunersee grosse Volumina von 3 900 Mio. m³ bzw. 6 500 Mio. m³ aufweisen, sind ihre Nutzungsmengen aufgrund ihrer Fläche und ihrer Regulierbandbreite auf 74,5 Mio. m³ bzw. 62 Mio. m³ beschränkt (BAFU 2018a, 2018b). Diese Volumina liegen in einer ähnlichen Grössenordnung wie das des Trift-Speichers mit 85 Mio. m³. Zusätzlich zeigt die Auswertung hydrologischer Daten der letzten Jahre, dass die Seen schon gegenwärtig nicht immer genug Wasser zur Deckung der gesetzlich vorgeschriebenen Restwassermengen führen (Kaderli 2020). Hydraulische Begebenheiten an den See-Ausflüssen begrenzen die Möglichkeiten der Entleerung der Seen. Für zukünftige Klima-Szenarien kann von einer Verschärfung dieser Situation ausgegangen werden. Im Gegensatz zu diesen Fakten hält sich sowohl bei den kantonalen Behörden als auch bei den Akteuren das Narrativ, dass die Seen unterliegende Wasserknappheiten kompensieren können.

Neben anderen Aspekten verhinderte dies die Berücksichtigung von unterliegenden Wasserknappheiten bei den Verhandlungen zum Trift Speicher.

f. Subventionierung von Wasserkraftprojekten zur Unterstützung der Umsetzung Energiestrategie 2050

Die Energiestrategie 2050 sieht vor, dass Zubauten im Bereich der Wasserkraft mit Beiträgen von bis zu 40 Prozent unterstützt werden. Diese Situation wurde auch mit einem parlamentarischen Vorstoss bekräftigt (Mentha et al. 2019).

g. Wirtschaftliche Interessen: zeitlich flexible, marktorientierte Produktion

Um die Rentabilität des Projekts zu gewährleisten, hat die BKW-Leitung beschlossen, dass mit dem Trift-Projekt Spitzenstrom für den europäischen und schweizerischen Energiemarkt produziert werden soll. Sie war deshalb nicht daran interessiert, die Wasserkraftproduktion einzuschränken, um andere Arten des Wasserbedarfs zu decken.

Rechtliche Grundlage: Gesamtkonzession mit Laufzeit bis 31.12.2041 plus weitere Vereinbarungen zwischen Kanton und KWO falls die Gesamtkonzession nicht verlängert wird

Konzessionär: KWO (BKW, Kanton Bern ist Mehrheitsaktionär der BKW)

(2) Seen

Der Brienzersee und Thunersee werden durch Seereglemente reguliert. Diese regulieren den Seepiegel, indem sie die Nutzungen direkt am See berücksichtigen und den Abfluss bestimmen. Unterliegende Nutzungen an der Aare werden hierbei nicht berücksichtigt. Zwei Faktoren erschweren die Koordination der Seereglemente mit unterliegenden Nutzungen:

a. Hochwasser wird reguliert

Im gegenwärtigen Seereglement wird Hochwasser am See selbst und den unterliegenden Gebieten reguliert. Diese Regulation erfolgt auch in Koordination mit den ober- und unterliegenden Seen.

b. Pegel und Abfluss wird reguliert, keine unterliegenden Nutzungen

Das Seereglement schreibt vor, dass der Seepiegel und der Abfluss reguliert wird. Unterliegende Entnahmen aus der Aare werden hierbei nicht berücksichtigt.

Rechtliche Grundlage: Seereglement ohne festgeschriebene Dauer

Konzessionär: Kanton Bern (AWA)

(3) Bewässerung im Seeland

In den Analysen haben sich drei Hauptfaktoren gezeigt, welche die Koordination der Wassernutzungen erschweren:

a. Fehlende Datengrundlage zu konzessioniertem Wasser

Ein Grundproblem für die zukünftige Planung zeigt sich in der fehlenden Kenntnis von Wassermengen bei bestehenden Konzessionen. Der Kanton Bern vergab bisher Konzessionen basierend auf der landwirtschaftlichen Fläche und nicht für bestimmte Wasservolumina.

b. Berechnungen für zukünftige Lösungen beruhen auf gegenwärtigen Mittelwerten und nicht auf zukünftigen Extremwerten

Es wird empfohlen, dass man zur Erarbeitung neuer Klimaanpassungsmassnahmen von zukünftigen Extrem- und nicht von gegenwärtigen Mittelwerten ausgeht (NCCS 2018b). Entgegen dieser Empfehlungen wird bei neuen Bewässerungsprojekten im Seeland der gegenwärtige mittlere monatliche Abfluss der Aare verwendet (Jordan et al. 2018). Da der Bewässerungsbedarf insbesondere in warmen und trockenen Zeiten stark ansteigt und die Aare in Zukunft (nach dem Schmelzen der oberliegenden Gletscher (Zappa and Kan 2007)) genau dann einen niedrigen Abfluss haben wird (Kaderli 2020), führen diese Berechnungen zu überhöhten Wasserverfügbarkeiten.

c. Bestehendes Narrativ zu unlimitierten Wasserreserven im Seeland

Ein zusätzliches Hindernis für die Koordination zukünftiger Bewässerungsprojekte zeigt sich in einem weiteren Narrativ, bei dem davon ausgegangen wird, dass 1) im Seeland unlimitierte Wasserreserven für die Bewässerung zur Verfügung stehen und 2) dass weniger als 1% des Aareabflusses ausreichen würden, um die gesamte Region zu bewässern. Dies wird in den Interviews wiederholt erwähnt, teilweise mit Bezug auf den Synthesebericht, der im Rahmen des «Förderprogramms Modellvorhaben Nachhaltige Raumentwicklung 2014-2018» im Themenbereich „Natürliche Ressourcen nachhaltig nutzen und in Wert setzen“ erstellt wurde (Jordan et al. 2018).

Rechtliche Grundlage: Konzession für landwirtschaftliche Fläche, nicht Wassermenge

Konzessionär: Landwirte, Bewässerungsgenossenschaft

Durch die fehlende Koordination der verschiedenen Wassernutzungen in der Kaskade A wird im Fall einer Wasserknappheit indirekt folgende Priorisierung der Wassernutzungen vorgenommen:

1. Priorität: Energiegewinnung; 2. Priorität: Hochwasser; 3. Priorität: Bewässerung zur Nahrungsmittelproduktion.

Ergebnisse Kaskade B

Die Ergebnisse zeigen, dass zwischen den verschiedenen Wassernutzungen nur eine geringe Koordination besteht. Obwohl die Regulierung des Sihlsees unterliegende Wasserknappheiten im Zürichsee und in der Limmat teilweise mindern könnte, wird dies bei der aktuellen Konzessionserarbeitung nicht berücksichtigt. Das Seereglement des Zürichsees berücksichtigt den Hochwasserschutz für den See und unterliegende Gebiete, ökologische Ansprüche, Seepiegel für die Schifffahrt und den Abfluss in die Limmat. Es berücksichtigt jedoch keine unterliegenden Wasserentnahmen aus der Limmat für Bewässerungszwecke. Das landwirtschaftliche Bewässerungsprojekt im Furtal entnimmt Wasser aus der Limmat und die Mitglieder der Bewässerungsgenossenschaft gehen davon aus, dass -auch in Zukunft- keine Einschränkungen der Wasserentnahme erfolgen.

Obwohl die Stufen der Kaskade direkte Verbindungen aufweisen (hellblaue Felder in Abb. 21), werden die Regelungen (rote Felder) zur Wasserentnahme (mittelblaue Felder) nicht miteinander koordiniert.

Folgende Faktoren für die fehlende Koordination wurden identifiziert:

(1) Sihlsee

Die erste Konzession für den Sihlsee ist am 12. Mai 2017 abgelaufen, weshalb bis Ende 2022 eine Übergangskonzession gilt. Bis dahin muss die SBB ein Gesuch einreichen, um eine neue Konzession zu erhalten. Ein Teil dieses Gesuchs wird verhandelt (Verhandlungsteil), der andere per Gesetz verfügt (Verfügungsteil). Die Verhandlungen für die Konzession dauerten mehr als sechs Jahre. Geregelt wird

in diesem Teil, welche Nutzungsrechte die SBB mit der neuen Konzession erhält und welche Gegenleistungen sie dafür erbringen muss. Dieses Gesamtpaket berücksichtigt die öffentlichen Interessen, bringt den Konzessionsgebern über die nächsten Jahrzehnte Einnahmen und ermöglicht der SBB, ihren Bahnstrom kostendeckend zu produzieren (Kanton Schwyz et al. 2/3/2020). In die Konzessionsverhandlungen wurde keine Koordination mit dem Zürichsee oder anderen unterliegenden Nutzungen an der Limmat einbezogen.

a. Schwieriger Prozess mit sechs Verhandlungspartnern

Die Konzessionsverhandlungen für das Etzelwerk sind im Verhältnis zu anderen Konzessionsverhandlungen erschwert, da sich sechs Verhandlungspartner (Kantone SZ, ZH, ZG, Bezirke Einsiedeln und Höfe und die SBB) einigen mussten. Diese Konstellation ist in der Schweiz einzigartig. Vielfältige Interessen mussten berücksichtigt werden, bis am Ende eine Einigung erzielt werden konnte, die die Interessen aller beteiligten Akteure widerspiegelt.

b. Druckleitung / Maschinenhaus am Zürichsee liegt im Kanton Schwyz

Das Maschinenhaus des Etzelwerks liegt im Kanton Schwyz. Daher kommt auch die einmalig fällige Konzessionsgrundgebühr von CHF 500 000 für Pumpwasser - im Gegensatz zur Konzessionsgrundgebühr von CHF 8 Mio. für Fliesswasser - vollumfänglich dem Kanton Schwyz zugute. Das Pumpspeicherkraftwerk wird zwar mit Wasser aus dem Zürichsee betrieben, aber die Rechte für Pumpwasser liegen beim Kanton Schwyz. Die Seeregulierung wird hingegen vom Kanton Zürich betrieben, welcher kein Mitspracherecht am Pumpwasser hat.

c. Flexibilität für die Produktion (erneuerbaren) Bahnstroms

Das Werk, welches zehn Prozent des Schweizer Bahnstroms liefert, ist mit seiner Lage im Grossraum Zürich von strategischer Bedeutung. Da es sich um ein Pumpspeicherkraftwerk handelt, kann man es bei schwankender Stromproduktion flexibel einsetzen. Diese Flexibilität möchte man nicht wegen anderer Nutzungen einschränken. Zudem haben die SBB das Ziel, den Bahnstrom bis 2025 zu 100 Prozent aus erneuerbarer Energie zu produzieren.

d. Keine Forderungen der Konzessionsgeber zur Berücksichtigung von Wasserknappheit / Absprache mit Zürichseeregulierung

Obwohl die alte Konzession an die gesetzlichen, wirtschaftlichen und ökologischen Bedingungen von heute angepasst und von Grund auf neu beurteilt und verhandelt wurde, stellten die Konzessionsgeber keine Forderungen zur Berücksichtigung von unterliegender Wasserknappheit auf. Die Konzessionsgeber können an die SBB nicht unbeschränkt Forderungen stellen, da das Wasserrechtsgesetz festhält, dass alle Leistungen zusammen die Nutzung der Wasserkraft nicht wesentlich erschweren dürfen.

Rechtliche Grundlage: Konzession mit Konzessionsdauer: 80 Jahre

Konzessionär: SBB

(2) Zürichsee

a. Trinkwasser-Konzession ohne Absprache mit Seereglement

Die Entnahme von Trinkwasser aus dem Zürichsee erfolgt ohne Absprache mit der regulierenden Behörde (Amt für Wasser, Energie, Luft AWEL). Die Entnahme unterliegt einer Konzession, deren festgelegte Nutzungsmenge weit über der durchschnittlichen Entnahmemenge liegt, weshalb hier keine Absprachen getroffen werden.

b. Pegel und Abfluss wird reguliert, keine unterliegenden Nutzungen

Das AWEL ist für die Regulierung des Zürichsees verantwortlich. Diese folgt dem «Reglement 1977 für die Regulierung der Wasserstände des Zürichsees» (agw 1977). Dieses Linienreglement gibt für jeden Tag im Jahr eine eindeutige Beziehung zwischen dem Seestand und dem einzustellenden Seeausfluss vor. Dadurch können Hochwasserspitzen gedämpft, Niedrigwasserspiegel angehoben und abrupte Sprünge bei Seeständen und Abflüssen verhindert werden. Da der Zürichsee im Trockenjahr 2003 so reguliert wurde, dass der Seestand eingehalten wurde, kam es in der Limmat zu extremen Niedrigwasserständen mit entsprechenden Folgen für die Ökologie. Im Jahr 2018 beschloss man daher, problematische Abflussmengen unter 30-40 m³/s in der Limmat nicht zu unterschreiten und nahm hierfür einen Seepegelstand unter dem Linienreglement in Kauf. Erschwerend kam hinzu, dass das Etzelwerk zeitgleich Wasser in den Sihlsee pumpte, um den festgelegten Mindeststand im Sihlsee und die Restwassermengen in der Sihl einzuhalten und damit Strafzahlungen zu vermeiden. Das Reglement sieht nicht vor, unterliegende Wasserentnahmen aus der Limmat bei der Regulierung zu berücksichtigen. Die Wasserentnahmemenge aus der Limmat für das Furttal wird als so unbedeutend angesehen, dass sie nicht berücksichtigt werden muss. Im Gegensatz hierzu, wird in der Furttal-Konzession verfügt: «In Notsituationen kann das AWEL eine Einschränkung der Wasserentnahme oder eine Wasserabgabe an Dritte anordnen. Bei einer Entnahmeeinschränkung besteht kein Anrecht auf Entschädigung. Eine angeordnete Wasserabgabe an Dritte ist vollständig abzugelten.» (AWEL 2019).

Rechtliche Grundlage: Seereglement ohne festgeschriebene Dauer

Regulierungsbehörde: Kanton Zürich (AWEL)

(4) Furttal

a. Bewilligung für die Wasserentnahme aus der Limmat beruht auf gegenwärtigen Limmatabflüssen statt auf zukünftigen Extremwerten sowie auf bereits bewilligten anderen Entnahmen

Die Konzession zur Bewilligung der Wasserentnahme aus der Limmat beruht auf dem gegenwärtigen Q₃₄₇ (Abflussmenge, die durchschnittlich während 347 Tagen im Jahr erreicht oder überschritten wird) und nicht auf zukünftigen Extremwerten. Auch wird die Bewilligung mit bereits genehmigten anderen Entnahmen im fraglichen Gewässersystem begründet, wodurch den neuesten Klimaszenarien (NCCS 2018a) nicht Rechnung getragen wird. Durch dieses Vorgehen wird eigentlich bestehender Koordinationsbedarf mit oberliegenden Regulierungen nicht ersichtlich.

b. Fehlendes Wissen zu zukünftigen Wasserknappheiten bei Mitgliedern der Bewässerungsgenossenschaft

Den Mitgliedern der Bewässerungsgenossenschaft ist nicht bewusst, dass die Limmat in trockenen Jahren zu wenig Wasser führt, und es zu Entnahmeeinschränkungen kommen könnte. Ihnen wurde von der Abteilung Landwirtschaft im Amt für Landschaft und Natur (ALN), Kanton Zürich, versichert, dass die Limmat immer genug Wasser führt. Im Gegensatz dazu wurde in der Konzession eine Entnahmeeinschränkung in Notsituationen vorgesehen (s. oben). Aufgrund dieser Falschinformation setzte sich die Bewässerungsgenossenschaft nicht für eine oberliegende Regulierung ihrer Nutzung ein.

Durch die vorliegende fehlende Koordination in der Kaskade B wird im Fall einer Wasserknappheit indirekt folgende Priorisierung der Wassernutzungen vorgenommen: 1. Priorität: Energiegewinnung und Trinkwasser; 2. Priorität: Bewässerung zur Nahrungsmittelproduktion.

4.1.4 Schlussfolgerungen

Die Analysen ergaben vielfältige Herausforderungen bei der Koordination verschiedener Wassernutzungen entlang einer Wasser-Kaskade (s. Abb. 20). Im vorliegenden Kapitel werden mögliche Ansätze zum Umgang mit den genannten Herausforderungen vorgeschlagen, die sich bei den Analysen als erfolgsversprechend zeigten.

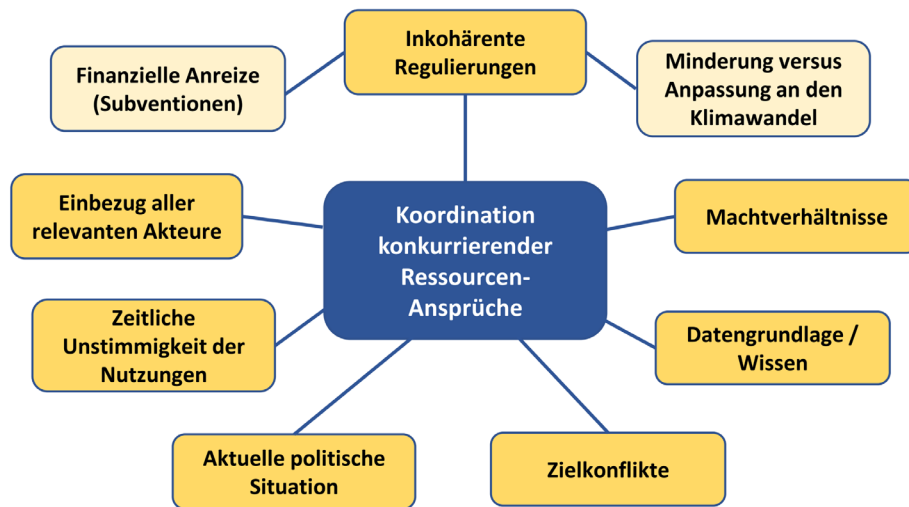


Abbildung 20: Herausforderungen bei der Koordination verschiedener Wassernutzungen entlang einer Wasser-Kaskade (hellgelb sind Beispiele inkohärenter Regulierungen).

Grosse Wasserkraftspeicher befinden sich oft nicht in Regionen, in denen Wassermangel zu erwarten ist. Der Bau von Speichern im Flachland führt hingegen zu Land-Nutzungs-Konflikten. Alternativ ist zunehmend zu beobachten, dass Bewässerungsleitungen von (alpinen) Flüssen zu landwirtschaftlichen Flächen gebaut werden. Dabei muss jedoch, insbesondere in trockenen Sommern, ein ausreichender Abfluss in den Flüssen sichergestellt werden. Dafür könnten (alpine) Speicher genutzt werden, die neben der Wasserkraftproduktion auch einen ausreichenden Abfluss in Trockenzeiten gewährleisten. Deren Bau führt jedoch zu ökologischen und landschaftlichen Konflikten in den Alpen. Beim Wassertransfer von (alpinen) Speichern in unterliegende Gebiete kann das Wasser unter Umständen weitere natürliche oder künstliche Seen passieren. Solche Speicher-See-Kaskaden, die den Transfer von Wasser aus stromaufwärts gelegenen Speichern in stromabwärts gelegene Regionen ermöglichen, sind weit verbreitet (Zhou et al. 2015; Petesse et al. 2014). Ein Beispiel dafür ist das Einzugsgebiet der Durance in Frankreich. Die Kaskade besteht aus mehreren Wasserkraftwerken und drei grossen Mehrzweckspeichern, die zur Stromerzeugung, zum Hochwasserschutz und zur Gewährleistung einer sicheren Wasserversorgung in der Region Provence-Alpes-Côte d'Azur genutzt werden (Andrew and Sauquet 2017). Ein weiteres Beispiel ist das Wassersystem des Comer Sees in Italien, das über viele Wasserkraftwerke im oberen Einzugsgebiet und einen regulierten See verfügt, der mehrere Nutzer in der stromabwärts gelegenen Region mit Wasser versorgt (Anghileri et al. 2013; Denaro et al. 2018).

In solchen Kaskaden werden oberliegende alpine Speicher so betrieben, dass die Nutzungs-Bedürfnisse unterliegender Gebiete erfüllt werden. Die Koordination der verschiedenen Ansprüche und der Betrieb solcher Mehrzweckspeicher sind oft komplex, wie das vorherige Kapitel aufgezeigt hat. Bei Kaskaden kommt hinzu, dass die Distanz zwischen dem alpinen Speicher und dem unterliegenden Gebiet häufig gross ist. Für das Trift-Projekt wurde eine hydrologische Modellsimulation für eine mögliche Speicher-See-Kaskade durchgeführt (Kellner and Brunner 2021). Die Ergebnisse zeigen, dass bei zukünftigen Speicher-Projekten in alpinen Gebieten nicht nur die direkte Mehrzwecknutzung zu prüfen ist, sondern auch potentielle Mehrzweckspeicher-Kaskaden berücksichtigt werden sollten.

Die Planung und Bewirtschaftung von Mehrzweckspeichern und Mehrzweckspeicher-Kaskaden setzt jedoch ein Bewusstsein bezüglich (zukünftiger) Wasserknappheiten bei den betroffenen Akteuren voraus (Handlungsempfehlung **(HE A1)**). Auch wird eine umfassende Datengrundlage benötigt, welche neutrale Informationen über die hydrologischen und sozio-ökonomischen Bedingungen in den betroffenen Einzugsgebieten für aktuelle und zukünftige Wasserknappheits-Szenarien und mögliche Managementoptionen für den Speicher bereitstellt (**HE A2**). Die Datengrundlage und -analyse sollten nicht durch individuelle oder finanzielle Interessen oder Anreize, wie Subventionen oder sektorielle Strategie-Ziele, eingeschränkt werden. Ein nationales Inventar über alle Speicher, analog dem Inventar für Wasserkraftspeicher (Art. 31 Abs. 1 WRG), würde die Planung von Mehrzweckspeichern zusätzlich erleichtern (**HE A3**).

Wie das Fallbeispiel zeigt, werden noch heute Konzessionen für 80 Jahre vergeben. Für den Sihlsee wurde eine 80-jährige Konzession beantragt, und beim Trift-Speicher wurden zusammen mit dem Kanton Vereinbarungen getroffen, falls die in 2041 auslaufende Gesamtkonzession nicht verlängert wird. Zwar legt das Gesetz lediglich eine maximale Konzessionsdauer von 80 Jahren fest (Art. 58 WRG; SR 721.80), die gegenwärtige Praxis orientiert sich aber trotz Klimawandels und zu erwartender sozio-ökonomischer Veränderungen noch immer an dieser Maximaldauer. Das verliehene Nutzungsrecht kann zwar nachträglich zurückgezogen oder geschmälert werden, jedoch «nur aus Gründen des öffentlichen Wohles und gegen volle Entschädigung» (Art. 43 WRG). Es wird daher empfohlen, die Konzessionsdauer unter Berücksichtigung allfälliger Investitionskosten angemessen an die gesellschaftlichen und klimatischen Veränderungen zu reduzieren (**HE B1**). Wie die Ergebnisse der Kaskade A zeigen, erwarten die Konzessionäre des Trift-Speichers Subventionen aus den Massnahmen der Energiestrategie in Höhe von 40% der Baukosten. Wäre die Vergabe von Subventionen an Auflagen zur Untersuchung und Umsetzung der Minderung von (zukünftiger) Wasserknappheit geknüpft, hätte die KWO hierzu vorgängig umfassende Studien durchführen lassen. Es wird daher empfohlen, dass Subventionen für den Neubau oder die Erweiterung von Speichern sowie für den Bau von neuen Wasserleitungen an Auflagen zur Untersuchung und Umsetzung der Minderung von (zukünftiger) Wasserknappheit geknüpft werden (**HE B2**). Auch ist zu überlegen, ob analog einer gesetzlich geregelten Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) eine Wasserknappheits-Management-Prüfung für unterliegende Einzugsgebiete beim Neubau, der Erweiterung oder der Neu-Konzessionierung von alpinen Speichern gesetzlich eingeführt werden soll (**HE B3**).

Auf Basis einer breiten und ausgewogenen Datengrundlage sollte eine grossräumige Abwägung aller Schutz- und Nutzungsinteressen sowie eine Standortabwägung auf Stufe Richtplan erfolgen. Anlagen mit gewichtigen Auswirkungen auf Raum und Umwelt unterstehen dem Richtplanvorbehalt (Art. 8 Abs. 2 RPG; SR 700.00). Diese Anlagen bedürfen vor der Konzessionserteilung einer Grundlage im Richtplan («Festsetzung»). Der Richtplan ist behördenverbindlich (Art. 9 RPG). Wenn gewisse Vorgaben oder strategische Ziele zur Wasserspeicherung in alpinen Speicherseen im Richtplan festgesetzt sind, müssen diese bei der Konzessionserteilung berücksichtigt werden. Neue Speicherseen, aber auch die Erweiterung bestehender Speicher unterstehen in den allermeisten Fällen dem Richtplanvorbehalt, wie das Bundesgerichtsurteil bestätigt (Swiss Federal Tribunal, of 11/4/2020). Um ökologische, landschaftliche und ökonomische Auswirkungen zu minimieren und um langjährige kostspielige Verzögerungen beim Neubau oder der Erweiterung von Speichern zu vermeiden, wird daher empfohlen, dass die gesetzlich festgelegten Prozesse zur Interessens- und Standortabwägung auf Stufe Richtplan (RPG) umgesetzt werden (**HE B4**).

Der geplante Trift-Speicher in Kaskade A würde zwar in einem (noch) nicht geschützten Gebiet gebaut werden, weitere potentielle Speicherstandorte in der Schweiz liegen jedoch alle in geschützten Gebieten (Ehrbar et al. 2018). Um in einem geschützten Gebiet einen Mehrzweckspeicher zu bauen, müsste er einem nationalen Interesse entsprechen, damit eine Interessensabwägung zwischen Schutz- und

Nutzungsinteressen möglich wäre. Im Energiegesetz (EnG; SR 730.0) ist die Nutzung erneuerbarer Energien und ihr Ausbau als nationales Interesse deklariert (Art. 12 Abs. 1 EnG). Einzelne Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien, namentlich auch Speicherkraftwerke, sind ab einer bestimmten Grösse und Bedeutung von nationalem Interesse (Abs. 2). Der Bundesrat legt für die Wasserkraftanlagen die erforderliche Grösse und Bedeutung fest, und zwar sowohl für neue Anlagen als auch für Erweiterungen und Erneuerungen bestehender Anlagen (Abs. 4), unter Berücksichtigung von Kriterien wie Leistung oder Produktion sowie der Fähigkeit, zeitlich flexibel und marktorientiert zu produzieren (Abs. 5). Für eine Mehrzwecknutzung würde letztere eingeschränkt und somit würde sich unter Umständen auch das nationale Interesse verringern. Dies steht im Konflikt zu den Massnahmen bezüglich einer Mehrzwecknutzung der nationalen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz, Aktionsplan 2020–2025 (BAFU 2020a). Es sollte daher geklärt werden, ob Wasserkraftspeicher, die auch der Bewässerung dienen und somit in Flexibilität und Marktorientierung bei der Energiegewinnung eingeschränkt sind, nationales Interesse erfüllen (**HE B5**). Auch ist zu überlegen, ob gesetzlich festgelegt werden soll, dass alpine Speicher, die vorwiegend der Minderung von unterliegender Wasserknappheit dienen, ein nationales Interesse erfüllen (**HE B5**).

Kaskade A und B haben gezeigt, dass die Seeregulierung unterliegende Wasserentnahmen zur Bewässerung nicht berücksichtigt. Im Fall von niedrigen Restwassermengen kann daher die Entnahme eingeschränkt oder verboten werden. Es wird daher empfohlen, dass die Kantone aufzeigen, wie sie mit ihren Seereglementen nicht nur zur Minderung von Hochwasser, sondern auch von Niedrigwasser beitragen, insbesondere im Fall von unterliegenden Wasserentnahmen (**HE B6**).

Die Fallbeispiele haben gezeigt, dass zwar sektorielle Gesetze bei der Aushandlung von Wassernutzungsrechten berücksichtigt werden, jedoch die nationalen und kantonalen Klimaanpassungsstrategien tendenziell weniger relevant sind. Es wird daher empfohlen, dass der Bund die Berücksichtigung von nationalen und kantonalen Strategien zur Klimaanpassung fördert und unterstützt und die Kantone diese berücksichtigen (**HE B7**).

Um die Ressourcen-Ansprüche verschiedener Akteure zu koordinieren und die Koexistenz konkurrierender Ressourcennutzungen zu gewährleisten, sollte ein partizipativer Prozess zur gemeinsamen Erarbeitung eines Konzessions-Vorschlags durchgeführt werden. Die Art der Gestaltung des Prozesses ist besonders wichtig für den Erfolg. Folgende Punkte sollten hierbei berücksichtigt werden (**HE C1 – C5**): (1) Der Partizipations-Prozess sollte bereits zu Projektbeginn starten, damit die Koordination der Ressourcenansprüche von Anfang an zwischen den verschiedenen Akteuren angestrebt werden kann. Auf jeden Fall sollte der Prozess vor dem formalen Verfahren zur Konzessionserteilung stattfinden, damit nicht schon formale Tatsachen geschaffen werden und dadurch das Konfliktpotential erhöht wird. (2) Die Zusammensetzung der teilnehmenden Gruppe sollte sich nicht auf Akteure mit Einspracherecht gegen das Projekt beschränken. Auch Vertreter von Akteuren, die stromabwärts von (zukünftiger) Wasserknappheit betroffen sind und kein Einspracherecht besitzen, sollten in den Prozess einbezogen werden. Dies wird bereits bei Absprachen mit Akteuren unterliegender Länder praktiziert, wie beispielsweise mit Frankreich. Darüber hinaus sollte die Zusammensetzung gewährleisten, dass lokales Wissen berücksichtigt wird sowie die Rechtskonformität des neu ausgehandelten Konzessionsentwurfs gegeben ist. (3) Der Prozess sollte unter Beteiligung verschiedener Gruppen mit unterschiedlichen Nutzungsinteressen gestaltet werden. Dies ermöglicht den Teilnehmenden, sich mit unterschiedlichen Interessen, Wissen und Werten auseinanderzusetzen, und die Probleme der anderen Akteure besser zu verstehen. (4) Der Prozess sollte hierbei auch Zeit und Handlungsspielraum bieten, um das gegenseitige Vertrauen zwischen den Teilnehmenden aufzubauen, insbesondere zwischen Akteuren und Gruppen mit unterschiedlichen Nutzungsinteressen und Werten. Vertrauen ist eine wichtige Grundlage für erfolgreiche Verhandlungen über die Koordination von Ressourcenansprüchen, insbesondere, wenn Regulierungen noch nicht formalisiert sind. (5) Zu Beginn

des Prozesses sollte ein gemeinsames Ziel oder eine gemeinsame Vision für das Projekt entwickelt werden. Teilnehmende koordinieren ihre Ressourcenansprüche am besten, wenn ein gemeinsames übergeordnetes Ziel vorhanden ist, da dadurch auch ein gemeinsames Problemverständnis entsteht.

4.2 Fallbeispiel zur Kosten-Nutzen Berechnung einer Mehrzwecknutzung

Zwischen 1999 und 2019 betrug der durchschnittliche jährliche Produktionswert der Landwirtschaft im Kanton Bern ca. CHF 1.7 Mrd. (BFS 2020a). Im gleichen Zeitraum entfielen schweizweit durchschnittlich 42% des Produktionswerts auf die pflanzliche und 48% auf die tierische Erzeugung (BFS 2020b). Trockenheit betrifft hauptsächlich die pflanzliche Erzeugung, im Kanton Bern somit jährlich einen durchschnittlichen Produktionswert von CHF 706 Mio. Im Trockenjahr 2003, kam es zu Ernterückgängen von durchschnittlich bis zu 20% (Keller and Fuhrer 2004). Für den Produktionswert der pflanzlichen Erzeugung im Kanton Bern bedeutet dies einen Rückgang von ca. CHF 141 Mio. Um den durchschnittlich erwarteten jährlichen Schaden eines solchen Ereignisses zu berechnen, benötigt man Informationen zur Eintrittswahrscheinlichkeit des Ereignisses. Eine Eintrittswahrscheinlichkeit von beispielsweise 0.01 bedeutet, dass ein bestimmter Ernterückgang einmal in einhundert Jahren erwartet wird. Übertragen auf die Ernteeinbussen von 20% bedeutet das, einen erwarteten jährlichen Schaden von CHF 1,41 Mio., wenn das Jahr 2003 als einmaliges Extremereignis in hundert Jahren angenommen wird.

Unter der Annahme, dass die negativen Auswirkungen der Trockenheit durch die Mehrzwecknutzung des Triftspeichers zu vermeiden sind, können die reduzierten erwarteten Schäden den Kosten für die Bereitstellung des Bewässerungswassers durch die Mehrzwecknutzung gegenübergestellt werden. Die Baukosten des Triftspeichers belaufen sich auf ca. CHF 400 Mio. (KWO 2019). Bei einer angenommenen Betriebsdauer von 80 Jahren (Piot 2018) ergeben sich jährliche fixe Abschreibungskosten von ca. CHF 5 Mio. Wird Wasser für die Bewässerung bereitgestellt, kann es nicht flexibel zum optimalen Zeitpunkt, d.h., in Monaten und Stunden hoher Stromnachfrage, turbinieren werden. Die Differenz zwischen dem höheren Strompreis und dem tatsächlich realisierten stellt für Stromproduzenten variable Opportunitätskosten der Mehrzwecknutzung dar. Im Jahr 2003 betrug der saisonale Bewässerungsbedarf im Kanton Bern ca. 92 Mio. m³ (Fuhrer 2010). Wird angenommen, dass die Hälfte des Bewässerungsbedarfs (46 Mio. m³; ohne Versickerungsverluste) aus dem Triftspeicher stammt, so könnten damit ca. 167'000 MWh Strom erzeugt werden. Wird weiter angenommen, dass der durchschnittliche Preis zum optimalen Zeitpunkt der Stromproduktion CHF 90/MWh ist und dass der durchschnittliche Strompreis bei der Mehrzwecknutzung CHF 20/MWh beträgt, so führt die Differenz von CHF 70/MWh zu jährlichen Ausfällen von ca. CHF 8,2 Mio. Gemeinsam mit den fixen Abschreibungskosten von CHF 5 Mio. führt dies zu jährlichen Kosten von ca. CHF 13.2 Mio. Personalaufwand und sonstige Betriebskosten sind dabei nicht erfasst, da angenommen wird, dass sie auch ohne Mehrzwecknutzung anfallen würden. In einer detaillierteren Analyse könnten einerseits die Abschreibungs- und Betriebskosten den verschiedenen Mehrzwecknutzungen zugerechnet und andererseits die Wasserverteilungskosten der landwirtschaftlichen Nutzer (z.B. für Leitungen und Pumpen) einbezogen werden.

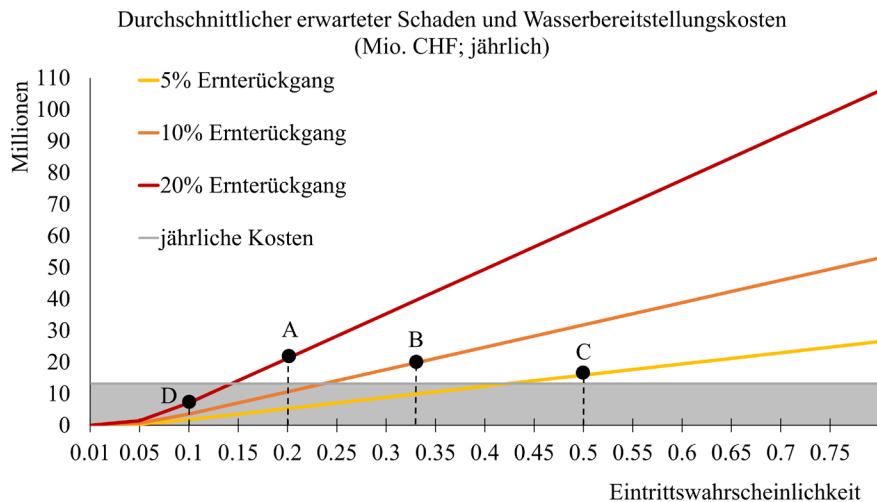


Abbildung 21: Durchschnittlich erwarteter jährlicher Schaden eines Ernterückganges und die Kosten der Wasserbereitstellung mittels Mehrzwecknutzung eines Speicherkraftwerks.

Basierend auf den beschriebenen Annahmen zeigt Abbildung 21 den durchschnittlichen jährlichen Schaden durch Ernterückgänge von 5%, 10% und 20% in Abhängigkeit von deren Eintrittswahrscheinlichkeit. Demgegenüber stehen die jährlichen Kosten für die Bereitstellung des benötigten Bewässerungswassers mittels Mehrzwecknutzung. Für alle Punkte, die über der horizontalen Linie (jährliche Kosten) liegen, übersteigt der erwartete vermiedene jährliche Schaden die Kosten der Wasserbereitstellung. Ist also alle 5 Jahre mit einem trockenheitsbedingten Ernteausfall von 20% zu rechnen (Punkt A), könnte eine Mehrzwecknutzung ökonomisch sinnvoll sein.

Abbildung 21 veranschaulicht den Einfluss von Anpassungsmassnahmen. Klimaangepasster Ackerbau und eine Anpassung der Bewirtschaftungsweisen führen zu einer Abnahme des durchschnittlich erwarteten jährlichen Schadens. Entweder durch eine geringere Eintrittswahrscheinlichkeit (z.B. von A nach D) oder wegen eines verringerten Ernteverlustes von 20% auf 10% oder 5% (z.B. von A nach B oder C). Diese Effekte sind in der Realität nicht klar voneinander zu trennen, beeinflussen aber Kosten und Nutzen der Mehrzwecknutzung. In Punkt D ist die Mehrzwecknutzung ökonomisch nicht mehr sinnvoll.

Die Berechnung der jährlichen Kosten der Mehrzwecknutzung geht mit hohen Unsicherheiten einher. Dies gilt vor allem hinsichtlich der Strompreisentwicklung. Speicherkraftwerke produzieren primär zu Zeiten hoher Stromnachfrage und hoher Strompreise. Der angenommene durchschnittliche Strompreis von CHF 90/MWh und die Differenz von CHF 70/MWh könnten daher zu niedrig sein bzw. sich über die Zeit ändern. Vor allem der Effekt des wachsenden Marktanteils erneuerbarer Energien und die Auswirkungen des Klimawandels auf die Stromnachfrage (z.B. höhere Stromnachfrage im Sommer zur Kühlung) führen zu Unsicherheiten. Auch die Kosten für Installation und Betrieb der Bewässerungsinfrastruktur werden in Abb. 21 nicht berücksichtigt und stellen zusätzliche Unsicherheiten dar.

Weiter führen auch verschiedene mögliche Erhebungsmodalitäten zu Unsicherheiten. Die jährlichen fixen Abschreibungskosten könnten beispielsweise zwischen den verschiedenen Nutzungsformen (Stromerzeugung, Hochwasserschutz und Wasserknappheits-Management) geteilt werden. In Regionen, wo Speicher bereits existieren, könnten die jährlichen Abschreibungskosten ganz entfallen. Bei den jährlichen variablen (Opportunitäts-)Kosten wäre es möglich, Zahlungen nur dann zu leisten, wenn

tatsächlich Wasser benötigt wird (anstelle einer fixen Jahresgebühr). Beide Änderungen würden zu einer Senkung der jährlichen Kosten führen.

Das in Abbildung 21 veranschaulichte Kalkül ist flexibel anwendbar und kann auch auf andere Formen des Wasserknappheits-Management übertragen werden. Anstatt der Mehrzwecknutzung eines Speicherkraftwerks könnten z.B. Bewässerungsteiche oder Bewässerungssilos das benötigte Wasser sammeln und bereitstellen. Die jährlichen fixen Abschreibungskosten sind dann abhängig von deren Baukosten. So kostet der Bau eines Speicherteichs mit 6500m³ Fassungsvermögen ca. CHF 160'000. Flexible Stahlsilos mit ca. 400 m³ kosten rund CHF 20'000. Werden Bewässerungsteiche oder Silos nur mit Regenwasser gespeist, entstehen keine variablen Kosten für die Wassernutzung. Dies wäre aber dann der Fall, wenn sie mit Grundwasser, aus Oberflächengewässern oder aus dem öffentlichen Wassernetz gespeist werden.

Das in Abbildung 21 abgebildete Kalkül wiederholt sich bei der Kosten-Nutzen-Analyse zu jedem Zeitschritt. Wie bereits beschrieben, kann sich der durchschnittlich erwartete jährliche Schaden über die Zeit ändern. So ist es beispielsweise möglich, dass momentan eine Mehrzwecknutzung ökonomisch nicht sinnvoll ist (Punkt D). Erhöht sich aufgrund fortschreitenden Klimawandels die Eintrittswahrscheinlichkeit eines trockenheitsbedingten Ernteausfalls (Punkt A), wird die Mehrzwecknutzung ökonomisch sinnvoll. Beginnt die Landwirtschaft, sich an die ändernden klimatischen Bedingungen anzupassen, könnten sich die Ernterückgänge auf 10% und 5% reduzieren. Im Zeitverlauf entspricht dies einer Bewegung von A über B in Richtung C. Zu jedem Zeitschritt (z.B. jährlich) sind die Kosten und Nutzen zu bestimmen und mittels Abzinsung in den heutigen Wert umzurechnen.

4.3 Fallbeispiele zu Mehrzweckspeichern im Kanton Graubünden und Wallis

Das Thema Mehrzwecknutzung tangiert in Alpenkantonen insbesondere die Wasserkraft. Dieses Kapitel fasst die Ergebnisse von drei Masterarbeiten zum Thema Mehrzwecknutzung zusammen, welche im Rahmen dieses Projektes durchgeführt wurden. Zuerst werden die gegenwärtigen Mehrzwecknutzungen der zehn grössten Kraftwerksgruppen im Kanton Graubünden und die damit verbundenen Herausforderungen und Lösungsansätze beschrieben (Roth 2019). Anschliessend folgt die Darstellung zweier zukunftsgerichteter Untersuchungen im Kanton Wallis (Jossen 2017; Maurer 2020; Jossen and Bjørnsen Gurung 2018).

Wie die Inventarisierung von Roth (2019) deutlich machte, unterstützen die meisten Wasserkraftanlagen im Kanton Graubünden neben der Energieversorgung auch andere Nutzungen, insbesondere touristische Nutzungen und die Fischerei, aber auch die gesetzlich vorgeschriebene Löschwasserversorgung. Auch konkurrierende Nutzungen für die Bewässerung, die Beschneidung oder die Trinkwasserversorgung werden integriert, wenn auch seltener (Tabelle 2).

	Bewässerung	Löschwasser- versorgung	Trinkwasser- versorgung	Künstliche Beschneigung	Hochwasser- schutz	Tourismus	Fischerei	Ökologie	PV-Anlagen
Bergeller Kraftwerke									
Engadiner Kraftwerke									
Kraftwerke Hinterrhein									
Kraftwerke Mittelbünden									
Kraftwerke Zervreila									
Kraftwerksgruppe Misox									
Kraftwerksgruppe Prättigau/Davos									
Kraftwerksgruppe Puschlav									
Kraftwerksgruppe Vorderrhein									
Albula Landwasser Kraftwerke									

	MZN vorhanden
	MZN in Planung
	MZN in Abklärung
	MZN möglich aber nicht genutzt
	MZN eingestellt
	Keine MZN

Tabelle 2: Inventar der Mehrzwecknutzungen (MZN) aller untersuchten Kraftwerksgruppen im Kanton Graubünden. Bei den ökologischen Massnahmen wurden ausschliesslich solche als Mehrzwecknutzung erfasst, die über die gesetzlichen Vorschriften hinausgehen. (Roth 2019).

Im Kanton Graubünden befinden sich derzeit verschiedene Mehrzweckspeicher-Projekte in der Umsetzung. Das Projekt «Tourismuszukunft Rheinwald – Teilprojekt Sufnersee» hat zum Ziel, den Stausee Sufnersee für Einheimische und Gäste zugänglicher zu machen und so die Attraktivität der Region zu steigern. Im Domleschg plant der örtliche Bauernverband, ihre Bewässerungssysteme in Zukunft mit dem Druckwasserstollen der EWZ-Kraftwerke zu vernetzen. Die Konzessionsanpassung dafür ist bereits erfolgt. Die Albula Landwasserkraftwerke geben seit ein paar Jahren während der Wintermonate Wasser an die Skigebiete Davos/Klosters und Bergün ab. Mit den Savogniner Bergbahnen sind sie im Gespräch, um Teile des Skigebiets zukünftig mit Triebwasser der Kraftwerke zu beschneien. Durch Nachträge in der Konzession besteht die Möglichkeit, neue Nutzungsansprüche zu implementieren, wovon auch Gebrauch gemacht wird. Ein Nachtrag ist jedoch mit einem grossen administrativen Aufwand und hohen Kosten verbunden, auch die Gemeinde muss den Nachtrag genehmigen, er ist aber theoretisch möglich (Roth 2019).

Entgegen der nationalen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel (BAFU 2014a, 2020a) wird die Mehrzwecknutzung als Instrument zur Anpassung an den Klimawandel in der Klimastrategie des Kantons nicht berücksichtigt, selbst bei den aktuell grösseren Ausbau- und Erneuerungsprojekten nicht.

Eine Mehrzwecknutzung alpiner Speicher kann auch durch technische, physikalische oder chemische Faktoren eingeschränkt oder verunmöglicht werden. Eine Wasserentnahme kann direkt aus den Speicherseen erfolgen, aber auch an den Wasserfassungen oder den unterliegenden Druckwasserstollen, Fensterstollen oder Ausgleichsbecken (s. Abb. 22). Wird Wasser aus den Druckwasserstollen entnommen, ist zu beachten, dass dieses aufgrund des grossen Gefälles zwischen Speichersee und Turbine unter hohem Druck steht. Um es verfügbar zu machen, muss dieses vorgängig durch Druckentspanner auf einen niedrigen Druck gebracht werden, was jedoch - zur Minderung des Verschleisses - einen geringen Sedimentgehalt des Triebwassers voraussetzt. Eine Trinkwassernutzung aus Druckwasserstollen ist aufgrund des hohen Mineralisierungsgrades ohne eine vorangehende Aufbereitung des Wassers in der Regel nicht möglich. Trinkwasser wird daher meist direkt aus den Wasserfassungen oberhalb bezogen.

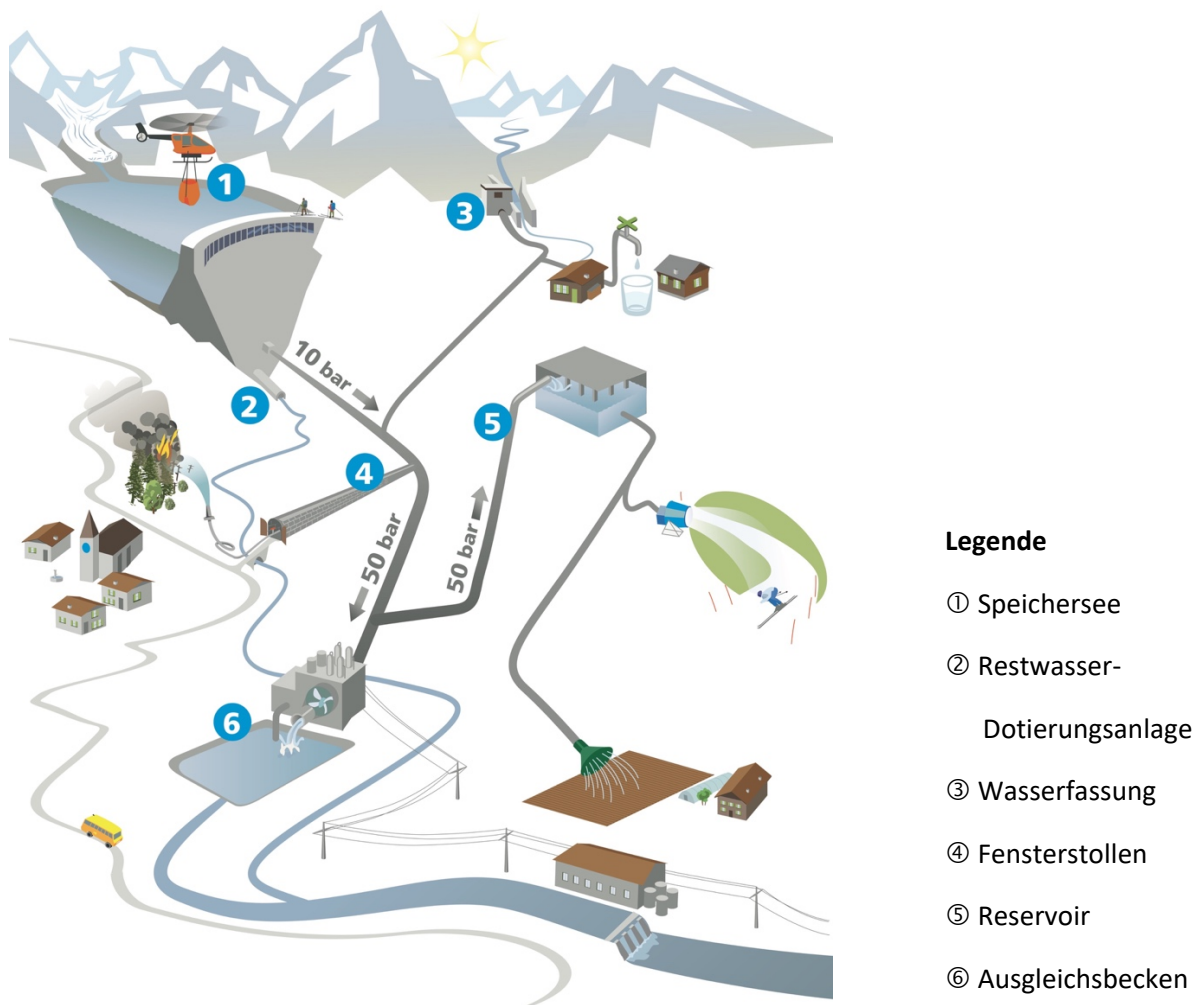


Abbildung 22: Darstellung potenzieller Wasserentnahmestellen aus einem Speicherkraftwerkssystem (Roth and Björnsen Gurung 2020).

Jossen (2017) untersuchte in der Region Siders-Crans-Montana (Kanton Wallis) die Frage, inwiefern eine verstärkte Mehrzwecknutzung die regionale Resilienz gegenüber Trockenheit erhöhen könnte. Mittels elf Experteninterviews erfasste sie die Wahrnehmung und Perspektiven verschiedener Sektoren, die auch indirekt von der Mehrzwecknutzung profitieren könnten (bspw. der Tourismussektor durch die Erhöhung der Schneesicherheit). Im Gegensatz zur Studie von Roth et al. (2020) werden in dieser Walliser Region grössere Wasserkraft-Reservoirs kaum mehrzweck genutzt und die Bereitschaft der Kraftwerkbetreiber, die Nutzung ihrer Speicher zu erweitern, wurde wegen der erwarteten Produktions- und Flexibilitätseinbussen als relativ gering eingestuft (Jossen and Björnsen Gurung 2018). Ein ähnliches Bild ergibt sich aus der Studie im Oberwallis (Maurer 2020), wo verschiedene Stakeholder einer verstärkten Mehrzwecknutzung im Sinne einer Klimaanpassung eher kritisch gegenüberstanden. Durch die alpine Lage und das gegenwärtig hohe Vorkommen an Gletscherschmelzwasser sahen die siebzehn Interviewpartner der Studie keinen Diskussions- oder Handlungsbedarf zur Sicherung der zukünftigen Wasserversorgung. Grundsätzlich war man dem Thema nicht abgeneigt, weil die interviewten Personen vermuteten, dass durch die Mehrzwecknutzung für einzelne Nutzer Bau- und Betriebskosten reduziert werden können. Trotz Chancen überwogen bei den Befragten aber die Bedenken: Für die Kompromissfindung bei einer Umnutzung und die Priorisierung einzelner Nutzungen befürchteten viele einen grossen Mehraufwand und Konfliktpotenzial. Hinzu kommen Entschädigungsfragen für zusätzliche Nutzungen. Es wurde auch befürchtet, dass bei neuen Projekten der Landschafts- und Naturschutz eine grosse Hürde darstellen könnte (Maurer 2020).

5 Zusammenfassung einzelner Aspekte der Mehrzwecknutzung

5.1. Governance

Die Analysen zeigen, dass Speicher das Potenzial zur Minderung von saisonaler und regionaler Wasserknappheit haben. Dies können natürliche Seen im Mittelland, Bewässerungsteiche in landwirtschaftlichen Gebieten, aber auch die Mehrzwecknutzung oder der Neubau alpiner Speicher mit einem gezielten Management des Abflusses sein. Vielversprechend sind hierbei Mehrzweckspeicher-Kaskaden, bei denen der Abfluss grosser natürlicher Seen oder alpiner Speicher an den unterliegenden Nutzungsbedürfnissen ausgerichtet wird. So könnten landwirtschaftliche Betriebe auf den Bau von Bewässerungsteichen auf ertragreichem landwirtschaftlichen Land und auf Entnahmen aus kleineren Bächen verzichten und ihr Bewässerungswasser aus grösseren Flüssen entnehmen. Hierfür sollte rechtzeitig mit der Planung und Schaffung von Datengrundlagen begonnen werden, da die Konzession vieler alpiner Speicher in den nächsten Jahrzehnten auslaufen und neue Nutzungen rechtzeitig in die Konzessionsverhandlungen einbezogen werden sollten. Die Aushandlung neuer Konzessionen beginnt mindestens 15 Jahre vor Konzessionsende. Auch die Anpassungen von bestehenden Seereglementen sind langjährige Prozesse, weshalb diese Prozesse gut aufeinander abgestimmt und zukünftige Entwicklungen bestmöglich integriert werden müssten.

Der Neubau von Speichern und die Neuverhandlung von Speichernutzungen stossen jedoch auf verschiedene Herausforderungen, wie fehlendes Bewusstsein über (zukünftige) saisonale und regionale Wasserknappheiten, mangelnde Datengrundlagen zu hydrologischen und sozio-ökonomischen Auswirkungen einer Mehrzwecknutzung, Koordinationsschwierigkeiten verschiedener Wassernutzungen eines Speichers aufgrund sektorieller Interessen und inkohärenter rechtlicher Regulierungen, ungeklärte Zielkonflikte zwischen Schutz- und Nutzungsinteressen sowie zwischen Mitigation (Wasserkraft) und Anpassung (Bewässerung, Ökologie) an den Klimawandel.

Die Analysen zeigen verschiedene Ansätze im Umgang mit den genannten Herausforderungen auf, unter anderem: Erhöhung des Bewusstseins bezüglich Wasserknappheiten; Erarbeitung von Datengrundlagen; Reduktion der Konzessionsdauer von Wassernutzungen; Verknüpfung von Auflagen bezüglich Mehrzwecknutzung an Subventionen; Einführung einer Wasserknappheits-Management-Prüfung; striktere Umsetzung der Interessens- und Standortabwägung; Abklärung des nationalen Interesses von alpinen Speichern bei der Mehrzwecknutzung; Anpassung der Seeregulierung an Wasserknappheits-Situationen; verstärkte Berücksichtigung von Strategien zur Anpassung an den Klimawandel; sowie die Einhaltung von bestimmten Design-Kriterien bei partizipativen Prozessen zur Erarbeitung einer Mehrzwecknutzung.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Mehrzweckspeicher-Kaskaden eine vielversprechende Lösung zur Minderung von Sommerwasserknappheit darstellen und im Einzelfall geprüft werden sollten. Sie sind jedoch mit einem hohen Koordinations- und Abstimmungsbedarf verbunden.

5.2 Ökologische Auswirkungen

Die aktive Bewirtschaftung von Seen und künstlichen Wasserspeichern stellt einen starken Eingriff in die natürliche Gewässerökologie dar. Bestehende Studien beziehen sich jedoch meistens nur auf die Wasserkraftproduktion durch Stauseen. Die grosse Herausforderung einer zukünftig verstärkten Mehrzwecknutzung von Wasserspeichern liegt darin, diese bereits bestehenden ökologischen Auswirkungen nicht zu verstärken, sondern bestenfalls zu mindern. Wie in Kapitel 2 und 3, dargelegt gibt es durchaus Optionen für eine verstärkte Mehrzwecknutzung, die – aus ökologischer Sicht – den aktuellen Zustand nur unwesentlich verschlechtern oder sogar eine Verbesserung ermöglichen.

Insbesondere der Neubau von künstlichen Wasserspeichern bedeutet einen Eingriff in einen bestehenden geo-ökologischen Raum – sei es im ruralen Mittelland, in intensiv genutzten Tourismusregionen oder in entlegenen periglazialen Gebieten. Die Ergebnisse von Studien zum ökologischen Wert betroffener Gebiete gehen jedoch meist weit auseinander.

Was die ökologischen Auswirkungen einer verstärkten/geänderten Seeregulierung und Speicherbewirtschaftung (hin zu einer verstärkten Mehrzwecknutzung) betrifft, deuten Studien und eingegangene Expertenmeinungen darauf hin, dass dies im Einzelfall geprüft werden muss. Beispielsweise ist der Schutz der Flachmoore an Seen hoch und prioritär. Veränderungen am Pegelregime sind daher aufgrund des absoluten Schutzes der Moore (Beispiel Sarnersee) fast unmöglich. Eine zusätzliche Absenkung der natürlichen Seen, welche empfindliche Uferzonen noch stärker belastet, stellt eine weitere Schwierigkeit dar. Andererseits werden auch positive ökologische Auswirkungen bei einer geänderten Seeregulierung und Speicherbewirtschaftung genannt, insbesondere im Unterlauf der Seen und Speicher: Hier kann ein verstärkter Abfluss bei grosser Trockenheit zu einer Abkühlung und zu einer Reduktion des kritischen Niedrigabflusses führen, was Fische, Auen und die Ökologie von Fluss-/Bachufern begünstigt. Eine Änderung der See- und Speicherbewirtschaftung hin zu einer erhöhten Wasserspeicherung im Sommer (als Reserve für potentielle Trockenheit) erhöht jedoch auch die Hochwassergefahr für Anlieger sowohl am Speicher/See als auch am Unterlauf. Während dies für ufernahe Siedlungen und wirtschaftliche Nutzungen mit Schäden und wirtschaftlichen Einbussen verbunden sein kann, ergeben sich aus ökologischer Sicht auch positive Effekte, da eine gelegentliche Überflutung der Ufer und Auen ein natürlicher Prozess ist, der der Ufervegetation und -fauna zugutekommt.

Das vorliegende Projekt hat zu den ökologischen Auswirkungen keine neuen Grundlagen erarbeitet, sondern bestehende Erkenntnisse zusammengefasst. Aus dieser Zusammenstellung ergeben sich keine generell gültigen Aussagen zu den ökologischen Auswirkungen der Mehrzwecknutzung von Speichern.

5.3 Landschaftliche Auswirkungen

Zu den landschaftlichen Auswirkungen von Wasserspeichern zählen der Speicher selbst sowie die Pegelschwankungen. Aber auch damit verbundene Infrastrukturelemente wie oberirdische Druckrohrleitungen, Pumpwerke, Kasernen, Zufahrtsstrassen oder Seilbahnen gehören dazu. Diese sollten im Zusammenhang mit Mehrzwecknutzungen, welche allenfalls zusätzliche Infrastrukturen bedingen, in die Gesamtbetrachtung einfließen.

Künstliche Bauwerke wirken sich nicht ausschliesslich negativ auf die Wahrnehmung von Landschaft aus. Vereinzelt zeigen Forschungsarbeiten, dass künstliche und naturnahe Seen und Teiche auch als eine Bereicherung wahrgenommen werden können (Loloum 2016; Daus et al. 2019; Rodriguez 2012). Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der Bau eines Speichers die Erschliessung einer attraktiven Gebirgsregion erst ermöglicht. Ferner können ältere Talsperren als Werke der Ingenieurskunst auch Symbolcharakter haben und Träger der Zeitgeschichte einer Talschaft sein (Rodriguez 2012). Durch die Schaffung von Nationalparks und Naturreservaten wurde jedoch die touristische Anziehungskraft mancher Regionen in den letzten Jahrzehnten zusätzlich erhöht, was den kritischen Stimmen aus Landschafts- und Naturschutz wiederum Vorschub leistete (Rodriguez 2012). Im Schweizer Umfeld stösst die Planung von neuen Speichern und Staudämmen gegenwärtig auf geringe Akzeptanz bezüglich der landschaftlichen Auswirkungen (Kellner 2019).

Ähnlich wie bei den ökologischen Auswirkungen, können keine generellen Aussagen zu den landschaftlichen Auswirkungen der Mehrzwecknutzung von Speichern getroffen werden, da diese stark vom lokalen Kontext abhängig sind.

5.4 Sozio-ökonomische Auswirkungen

Bei der Analyse der Kosten und Nutzen der Mehrzwecknutzung von Speicherseen zur Minderung des Wasserknappheitsrisikos besteht die erste Herausforderung in der Festlegung der Systemgrenzen. Die zu berücksichtigenden Nutzungskonflikte, sowie die Sektoren, in denen die Kosten und Nutzen anfallen, werden dadurch eingegrenzt. Es gilt, die Kosten und Nutzen auf der Ebene zu analysieren, die schlussendlich relevant für die Entscheidungsfindung ist.

Lokale Lösungen, wie z.B. Bewässerungs- oder Beschneigungsteiche, speichern Niederschläge und Überschusswasser, ohne dabei das Abflussregime im Unterlauf zu beeinflussen. Die Systemgrenze für die Analyse der Kosten und Nutzen der Mehrzwecknutzung ist daher lokal zu verorten. Je nach Grösse des Bewässerungsteiches und der Organisationsform kann hierzu z.B. die Gemeinde zählen, in der das Projekt verwirklicht wird. Unter den Nutzern des Bewässerungsteiches kann es zu Nutzungskonflikten hinsichtlich der Aufteilung des Bewässerungswassers kommen, beispielsweise, wenn bei Beschneigungsteichen eine Mehrzwecknutzung (z.B. Trinkwasserversorgung oder Minderung sommerlicher Wasserknappheit) angedacht ist. Bei lokalen Systemen sind die Eigentumsrechte meist klar verteilt und die Wirkungsketten überschaubar. Nutzungs- und Zielkonflikte sind räumlich und zeitlich augenscheinlich und können vertraglich über das Festsetzen eines Wasserpreises oder –quoten gelöst werden.

Grössere Projekte, bei denen die Bewirtschaftung das Abflussregime im Unterlauf beeinflusst, sind schwieriger zu beurteilen. Auswirkungen sind hier im gesamten Einzugsgebiet zu erwarten. Die Systemgrenze muss daher auf die regionale oder überregionale Ebene erweitert werden. Damit wird die Analyse der Kosten und Nutzen für die in der Region angesiedelten Sektoren und Betriebe ebenfalls umfangreicher. Die Wirkungsketten werden länger und Nutzungskonflikte können zeitlich und räumlich getrennt auftreten. Zusätzlich erstrecken sich regionale Lösungen oftmals über Gemeinde- und Kantons Grenzen hinweg. Dies erschwert die Koordination. Auch im Falle eines positiven Nettoeffekts der Mehrzwecknutzung, können die Kosten und Nutzen sehr ungleich auf die einzelnen Sektoren verteilt sein. Szenarien können hier helfen, die Zusammenhänge zwischen den Sektoren aufzuzeigen und fallspezifische Evaluationskriterien zu finden. Mögliche Kriterien können z.B. der grösste regionale Gesamtnettonutzen oder eine möglichst kleine Varianz der Nettonutzen über die Sektoren hinweg sein. Im Rahmen einer multikriteriellen Analyse können die einzelnen Kriterien dann gewichtet in eine Gesamtbeurteilung einfließen (BAFU 2007). Tabelle 3 zeigt einen Überblick über die Faktoren, die bei einer Kosten-Nutzen-Analyse zu berücksichtigen sind.

Die Art der Kosten und Nutzen, die in die Analyse einfließen, ist grundsätzlich unabhängig von der Systemgrenze. Positive Umweltauswirkungen, die sich durch die Mehrzwecknutzung ergeben, werden als Nutzen erfasst. Gleiches gilt für alle positiven Auswirkungen, die sich für Betriebe und Sektoren ergeben, die Wasser als Produktionsfaktor nutzen. Dem gegenüber stehen die Kosten für den Bau und den Betrieb sowie die Instandhaltung der Infrastruktur, die die Mehrzwecknutzung ermöglicht. Diese entstehen sowohl für Staumauern und Regulierungsinfrastruktur, als auch für Bewässerungsteiche und die Bewässerungsinfrastruktur, die z.B. Landwirte benötigen, um ihre Kulturen zu bewässern. Schränkt die Mehrzwecknutzung den Betrieb des Stromproduzenten ein, führt dies ebenfalls zu Kosten. Wird z.B. ein alpiner Speicher mehrzweckgenutzt, kann es sein, dass der Betreiber im Sommer Wasser turbinieren muss, damit im Unterlauf genügend Wasser zur Deckung des Bewässerungsbedarfs vorhanden ist. Dabei wird zwar auch Strom produziert, womöglich aber zu einem geringen als dem höchstmöglichen Strompreis zu einem anderen Zeitpunkt. Dies führt zu Opportunitätskosten, die bei der Analyse berücksichtigt werden müssen.

Um die Kosten und Nutzen in den einzelnen Sektoren zu bestimmen, können Marktpreise und Szenarien für deren Entwicklung (z.B. Strompreisszenarien) verwendet werden. Umweltauswirkungen, für die es

keine Marktpreise gibt (z.B. Auswirkung auf die Biodiversität), können in die Kosten-Nutzen-Analyse in qualitativer Form integriert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, diese Auswirkungen mittels geeigneter Bewertungsmethoden (z.B. Choice Experimente) in Form von Zahlungsbereitschaften monetär zu bewerten und dann in der Kosten-Nutzen-Analyse zu berücksichtigen.

Da die Kosten und Nutzen der Mehrzwecknutzung vor allem in der Zukunft anfallen, sollte der Umgang mit Unsicherheiten und deren Kommunikation ein zentraler Teil der Kosten-Nutzen-Analyse sein. Aus naturwissenschaftlicher Sicht bestehen die Unsicherheiten vor allem hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels auf den hydrologischen Kreislauf (das Wasserdargebot) und auf den Wasserbedarf der Landwirtschaft. Letzterer variiert stark mit dem Bodentyp und der Art der landwirtschaftlichen Nutzung. Den sich ändernden klimatischen Bedingungen kann durch einen klimaangepassten Anbau Rechnung getragen werden. In diesem Zusammenhang tragen auch sozioökonomische Faktoren erheblich zu den Unsicherheiten bei der Kosten- und Nutzenberechnung bei. Inwieweit die Landwirtschaft eine klimaangepasste Bewirtschaftung umsetzt, hängt einerseits von den Preisen ab, die sie für die verschiedenen Ackerkulturen erwartet und realisieren kann und andererseits von den Kosten, die durch die Bewässerung entstehen. Um die Unsicherheiten, die sich aus verschiedenen Klimaszenarien und variierenden sozioökonomischen Bedingungen ergeben, besser zu erkennen und einzugrenzen, empfiehlt sich ein szenario-basiertes Vorgehen. So kann das Zusammenspiel der verschiedenen Faktoren besser untersucht und die Ergebnisse verschiedener Szenarien leichter verglichen werden. Dies erlaubt es schlussendlich, diejenigen Massnahmen auszuwählen, die unter Effizienzgesichtspunkten am vorteilhaftesten sind.

	Regionale bzw. überregionale Systemgrenze	Lokale Systemgrenze
Mehrzweck-speichertyp	(3.1) Alpenrand- und Mittellandseen; (3.3) Wasserentnahme aus Speicher-Fluss-Kaskaden; (3.5) Änderung der Bewirtschaftung alpiner Speicher bei Neukonzessionierung; (3.6) Neubau von alpinen Speichern.	(3.2) Neubau von Bewässerungsteichen; (3.4) Beschneigungsteiche
Nutzungs-konflikte	lange Wirkungsketten; Nutzungs- und Zielkonflikte entstehen räumlich getrennt.	kurze Wirkungsketten; Nutzungs- und Zielkonflikte auf gleicher räumlicher Ebene.
Nutzen	Ergeben sich für Sektoren und Betriebe entlang des Unterlaufes, die Wasser als Produktionsfaktor nutzen. Auch positive Umweltauswirkungen sind möglich.	Ergeben sich für Sektoren und Betriebe, die Wasser lokal als Produktionsfaktor nutzen. Auch positive Umweltauswirkungen sind möglich.
Kosten	Bau-, Betriebs- und Instandhaltungskosten (auch seitens der landwirtschaftlichen Nutzer); Einschränkungen im Betrieb (z.B. Stromproduzenten); Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Gewässerökologie; Auswirkungen auf die Schifffahrt.	Bau-, Betriebs- und Instandhaltungskosten (auch seitens der landwirtschaftlichen Nutzer); Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Gewässerökologie
Bewertung	Direkte monetäre Bestimmung der Nutzen und Kosten über Marktpreise und Produktionsmengen; Choice Experimente für die Bewertung ökologischer und landschaftlicher Auswirkungen.	
Unsicherheiten	Zukünftige Abflussmengen; zukünftiger Wasserbedarf; zukünftige Preise; Auswirkung von Anpassungsmassnahmen.	
Empfehlung	Unsicherheiten sowie Nutzungs- und Zielkonflikte können mittels Szenarien identifiziert und dargestellt werden. Multikriterielle Analyse kann rein monetäre Betrachtung ergänzen.	

Tabelle 3: Übersicht der Faktoren, die bei der Kosten-Nutzen-Analyse zu berücksichtigen sind.

6 Schlussfolgerungen und Herausforderungen

Die Mehrzwecknutzung von Speichern zur Minderung von Wasserknappheit ist in der Schweiz im Gegensatz zu anderen Ländern noch wenig verbreitet. Dies liegt unter anderem daran, dass in der Schweiz bisher -bis auf wenige Ausnahmen- genug Wasser für verschiedene Nutzungen vorhanden und keine Koordination nötig war. Wie Ereignisse in den letzten Jahren verdeutlichen, kann das Wasser aufgrund des Klimawandels und den damit einhergehenden Folgen wie der Gletscherschmelze zukünftig regional sowie saisonal knapp werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Mehrzwecknutzung von Speichern sowie Mehrzweckspeicher-Kaskaden im Einzelfall eine vielversprechende Lösung zur Minderung von Sommerwasserknappheit darstellen kann. Diese Lösungen stossen jedoch auf verschiedene Herausforderungen im Bereich der Governance sowie der ökologischen, landschaftlichen und ökonomischen Auswirkungen.

Die Analysen im Bereich der **Governance** zeigen u.a. Nutzungs- und Schutzkonflikte, Landnutzungskonflikte, Koordinationsschwierigkeiten der verschiedenen Wassernutzungen aufgrund sektorieller Interessen und inkohärenter rechtlicher Regulierungen, fehlende Datengrundlagen und schwierige politische Konstellationen. Folgende Ansätze im Umgang mit den Herausforderungen werden aufgezeigt: (1) Früher Start eines Partizipations-Prozesses, (2) Einbezug aller betroffenen Akteure (3) Entwicklung eines gemeinsamen Problemverständnisses, (4) Aufbau von Vertrauen, (5) Entwicklung einer gemeinsamen Vision, (6) Verkürzung der Konzessionsdauer, (7) Kopplung der Subventionen für Wasserkraftspeicher an Klimaanpassungsmassnahmen, (8) Einführung einer Wasserknappheits-Management-Prüfung für unterliegende Einzugsgebiete, (9) frühzeitige Interessens- und Standortabwägung und (10) Abklärung des nationalen Interesses von alpinen Speichern bei Mehrzwecknutzung.

Eine Literaturrecherche zu den **ökologischen Auswirkungen** hat gezeigt, dass Forschungsergebnisse zur Mehrzwecknutzung weitestgehend fehlen und dass die Auswirkungen sehr fallspezifisch sind. Auch Gewichtungen der vielfältigen Auswirkungen im Speicher und im Unterlauf werden unterschiedlich vorgenommen. Trotzdem kann festgehalten werden, dass im Verhältnis zu den ökologischen Auswirkungen, die durch die aktuelle Regulierung der Seen und Speicher verursacht werden, eine neue oder verstärkte Mehrzwecknutzung meist nur zu geringen Zusatzbelastungen führen dürfte – und in gewissen Fällen sogar einen ökologischen Mehrwert erbringen kann. Insbesondere ein erhöhter Abfluss aus alpinen Stauseen und Alpenrandseen in trockenen Sommern zur Bereitstellung von Wasser in unterliegenden Regionen mit Wasserknappheit könnte die Gewässerraumökologie der Fliessgewässer mindestens bis zu den unterliegenden Entnahmestellen positiv beeinflussen.

Die **landschaftlichen Auswirkungen** beziehen sich auf den Speicher selbst sowie auf mögliche Pegelschwankungen im Speicher. Bei alpinen Speichern können die Auswirkungen aufgrund der Auswahl des Standorts minimiert werden: keine Sicht auf den Damm von unterliegenden Gebieten, natürliche Felsformationen, die den Damm teilweise verdecken, Nutzung von be- oder entstehenden natürlichen Seen. Bei kleineren Speichern kann der Aushub als Damm verwendet werden und mit einer angemessenen Bepflanzung verdeckt werden.

Die durchgeführte **ökonomische Betrachtung** hat gezeigt, dass Kosten und Nutzen je nach betrachtetem Sektor und regionalen Gegebenheiten stark variieren. Hierbei stellen der Klimawandel und sozioökonomische Entwicklungen zusätzliche Unsicherheiten dar. Eine allgemeine Kosten-Nutzen-Analyse ist daher nicht zielführend. Sie sollte kontextspezifisch und auf der Ebene durchgeführt werden, auf der auch die Entscheidungen getroffen werden. Idealerweise wird ein einzugsgebietsübergreifender Ansatz verfolgt. So können Nutzen und Kosten der Mehrzwecknutzung für die bestehenden Sektoren klar identifiziert werden. Auch die sich aus Klimawandel, sozioökonomischer Entwicklung und den verfügbaren Anpassungsmassnahmen ergebenden Unsicherheiten können im Rahmen von Fallstudien und Szenarien besser berücksichtigt und kommuniziert werden.

Herausforderungen

Die vorliegende Studie zeigt, dass die folgenden Herausforderungen für die Mehrzwecknutzung von Speichern und Speicherkaskaden in der Schweiz von besonderer Bedeutung sind:

- Mangelnde **Datengrundlage** zu hydrologischen, sozio-ökonomischen und ökologischen Auswirkungen einer Mehrzwecknutzung (beim Neubau, der Erweiterung oder der Neukonzessionierung eines Speichers)
- Mangelndes **Bewusstsein** bezüglich (zukünftiger) saisonaler und regionaler Wasserknappheiten
- Ungenügende **prozessuale und rechtliche Koordination** verschiedener Nutzungen auch über Kaskaden hinweg
- Mangelnde **Strategien zum Umgang mit Wasserknappheit** in Speicher-Fluss-Kaskaden
- Mangelnde **Anpassungsfähigkeit** an Klimawandel und sozio-ökonomische Veränderungen bei Gesetzen und Konzessionen
- Gesellschaftlich ungeklärte **Zielkonflikte**
 - zwischen **Schutz- und Nutzungsinteressen** beim Neubau oder der Erweiterung von Speichern (als Grundlage für die im Richtplan vorgesehene Interessensabwägung)
 - zwischen **Mitigation** (Wasserkraft) und **Anpassung** (Bewässerung, Ökologie) an den Klimawandel (bei der Nutzung des Wassers in einem Speicher)

Um die Wasserversorgung in der Schweiz weiterhin in gewohnter Qualität und Zuverlässigkeit für verschiedene Wassernutzungen gewährleisten zu können, sollten diese Herausforderungen angegangen werden. Nachfolgend werden hierzu konkrete Handlungsempfehlungen gegeben.



Abbildung 23: Beispiele für Zielkonflikte zwischen Schutz- und Nutzungsinteressen. Links: Protest gegen Grimselerhöhung (Foto: Whatsalp); rechts: Protestcamp Trift (Foto: <https://rettet-die-trift.ch>).

7 Handlungsempfehlungen

Mit den folgenden Handlungsempfehlungen können die wichtigsten identifizierten Herausforderungen zielführend angegangen werden. Der Bund sollte die Voraussetzungen für die Realisierung dieser Empfehlungen schaffen. Die konkrete Umsetzung liegt hingegen primär bei konkreten Speicherprojekten und somit bei den Kantonen.

A Datengrundlage und Bewusstsein zu Wasserknappheiten

Zur Planung und Bewirtschaftung von Mehrzweckspeichern und Mehrzweckspeicher-Kaskaden ist ein Bewusstsein bezüglich (zukünftiger) Wasserknappheiten sowie eine hochwertige Datengrundlage nötig.

A1. Bewusstsein zu Wasserknappheiten

Bund
Der Bund untersucht, warum bei kantonalen Behörden teilweise wenig Bewusstsein hinsichtlich (zukünftigen) Wasserknappheiten besteht. Basierend auf den Erkenntnissen ergreift er Massnahmen zur Verbesserung des Bewusstseins.

A2. Hydrologische und sozio-ökonomische Datengrundlage

Eine Datengrundlage sollte neutrale Informationen über die hydrologischen und sozio-ökonomischen Bedingungen in den betroffenen Einzugsgebieten für aktuelle und zukünftige Wasserknappheits-Szenarien und mögliche Managementoptionen für die Mehrzwecknutzung eines Speichers oder einer Speicher-Kaskade bereitstellen. Hierbei sollten insbesondere auch sozio-ökonomische Auswirkungen von Wasserknappheiten bei unterliegenden Wirtschaftszweigen einbezogen werden.

Bund	Kanton
Der Bund legt Grundsätze fest, die gewährleisten, wie vor der Planung von Speichern und Speicher-Kaskaden eine ausreichende Datengrundlage erstellt wird, welche nicht nur die Restwassermenge (inkl. Ökologie, Trinkwasser) berücksichtigt, sondern auch die Ernährungssicherheit (Bewässerung) und Energiesicherheit (Wasserkraftproduktion).	Der Kanton setzt diese Forderung um. Er sorgt für die Erstellung einer umfassenden Datengrundlage und trägt zu einem offenen, harmonisierten Daten- und Informationsaustausch bei.

A3. Inventarisierung Speicher

Analog zum Inventar von Wasserkraftspeichern sollte zur Sicherstellung und Vernetzung verschiedener Wassernutzungen ein nationales Inventar von allen Wasserspeichern erstellt werden.

Bund	Kanton
Der Bund fördert die Inventarisierung bestehender Speicher mit Angaben zu Nutzungen, Volumina und Abflussmengen.	Der Kanton sorgt für die Erstellung kantonaler Inventare von Speichern.

B Empfehlungen für die öffentliche Politik und Gesetze

Um die Koordination verschiedener Wassernutzungen und die Anpassungsfähigkeit der Wasserrechte zu erhöhen, sollten Anpassungen bei den öffentlichen Politiken und Rechtsgrundlagen geprüft und umgesetzt werden.

B1. Konzessionsdauer von Wassernutzungen

Die Dauer der Konzessionen für Wassernutzungen sollte unter Berücksichtigung allfälliger Investitionskosten den gesellschaftlichen und klimatischen Veränderungen angemessen reduziert werden. Dies ist gesetzlich möglich, da nur eine Maximaldauer vorgeschrieben ist (Art. 58 WRG). Optionen zu Verlängerungen könnten integriert werden.

Bund
Der Bund erarbeitet eine Übersicht über die Dauer vergebener Konzessionen und deren Begründungen in den letzten 10 Jahren.
Basierend auf den Erkenntnissen der Übersicht setzt sich der Bund unter Berücksichtigung allfälliger Investitionskosten und Amortisationsdauern für die Vergabe von Konzessionen mit kürzerer Dauer ein, die den gesellschaftlichen und klimatischen Veränderungen angemessen sind.

B2. Subventionen an Mehrzwecknutzung knüpfen

Subventionen für den Neubau oder die Erweiterung von Speichern sowie den Bau von neuen Wasserleitungen sollten an kantonale Auflagen zur Untersuchung und Umsetzung der Minderung von (zukünftiger) Wasserknappheit geknüpft werden.

Bund
Der Bund regelt die Koordination unter den Bundesämtern bezüglich der Subventionierung von Wasserspeichern oder -Leitungen zur Minderung von (zukünftiger) Wasserknappheit als (zusätzliche) Nutzung.

B3. Wasserknappheits-Management-Prüfung

Analog einer gesetzlich geregelten Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) sollte eine Wasserknappheits-Management-Prüfung für unterliegende Einzugsgebiete beim Neubau, der Erweiterung oder der Neu-Konzessionierung von alpinen Speichern eingeführt werden, die der Kanton durchführt.

Bund
Der Bund prüft die Einführung einer gesetzlich geregelten Wasserknappheits-Management-Prüfung analog der Umweltverträglichkeitsprüfung beim Neubau oder der Neu-Konzessionierung von alpinen Speichern. Diese Prüfung müsste vom Kanton durchgeführt werden und bei den Konzessionsverhandlungen eingebracht werden.

B4. Interessens- und Standortabwägung nach RPG umsetzen

Um ökologische, landschaftliche und ökonomische Auswirkungen zu minimieren und um langjährige kostspielige Verzögerungen beim Neubau oder der Erweiterung von Speichern zu vermeiden, sollten die gesetzlich festgelegten Prozesse zur Interessens- und Standortabwägung auf Stufe Richtplan (RPG) umgesetzt werden.

Bund	Kanton
Der Bund fördert und unterstützt die Erarbeitung kantonaler und interkantonaler Interessens- und Standortabwägungen beim Neubau oder der Erweiterung von Speichern auf Stufe Richtplan.	Der Kanton setzt beim Neubau oder der Erweiterung von Speichern kantonale oder interkantonale Interessens- und Standortabwägungen auf Stufe Richtplan um.

B5. Abklärung des nationalen Interesses von alpinen Speichern bei Mehrzwecknutzung

Es sollte überprüft werden, ob die Mehrzwecknutzung von alpinen Wasserkraftspeichern das nationale Interesse einschränkt, da das Energiegesetz (EnG) eine flexible und marktorientierte Produktion als Grundlage hierfür fordert (Art. 12 Abs. 5 EnG). Zusätzlich wird angeregt sich zu überlegen, ob gesetzlich festgelegt werden soll, dass Speicher, die vorwiegend der Minderung von Wasserknappheit dienen, ein nationales Interesse erfüllen.

Bund
Der Bund prüft rechtliche Grundlagen für die Mehrzwecknutzung von alpinen Wasserkraftspeichern – insbesondere für die Minderung von Wasserknappheit - ohne dass deren nationales Interesse eingeschränkt wird.
Der Bund startet einen Prozess zur Klärung, ob alpine Speicher, die vorwiegend der Minderung von Wasserknappheit dienen, ein gesetzlich festgelegtes nationales Interesse erfüllen sollen.

B6. Seeregulierung

Bund und Kanton
Die Kantone werden dazu aufgefordert aufzuzeigen, wie sie mit ihren Seereglementen zur Minderung von Niedrigwasser beitragen, insbesondere auch bei unterliegenden Wasserentnahmen. Der Bund unterstützt neue Regelungen zur Minderung von Niedrigwasser in dem er:
- Grundlagen zur Verfügung stellt - subventionierte Projekte betreut - Reglemente genehmigt

B7. Berücksichtigung von Strategien zur Anpassung an den Klimawandel

Bei Verhandlungen und Konzessionsvergaben von Speichern sollten nicht nur rechtlich verbindliche Gesetze, sondern auch nationale und kantonale Strategien zum Klimawandel berücksichtigt werden.

Bund	Kanton
Der Bund untersucht, warum bei Konzessionsverhandlungen Strategien zur Anpassung an den Klimawandel wenig berücksichtigt werden.	
Basierend auf den Erkenntnissen der Untersuchung fördert und unterstützt der Bund die Berücksichtigung von nationalen und kantonalen Strategien zur Klimaanpassung.	Der Kanton berücksichtigt nationale und kantonale Strategien zur Klimaanpassung bei der Erarbeitung und Erteilung von Konzessionen.

C Grundsätze für die Durchführung von Partizipationsprozessen

Wenn ein Speicher gewichtige Auswirkungen auf Raum und Umwelt hat, untersteht er dem Richtplanvorbehalt (Art. 8 Abs. 2 RPG), bei dem eine grossräumige Abwägung aller Schutz- und Nutzungsinteressen sowie eine Standortabwägung erfolgen muss. Zur Koordination verschiedener Ressourcen-Ansprüche sollte auf Basis einer breiten und ausgewogenen Datengrundlage ein partizipativer Prozess zur gemeinsamen Erarbeitung eines Konzessions-Vorschlags durchgeführt werden, um die Koexistenz konkurrierender Ressourcen-Nutzungen zu gewährleisten. Die Art der Gestaltung des Prozesses ist besonders wichtig für den Erfolg.

Bund	Kanton
Der Bund erarbeitet zuhanden der Kantone Grundsätze für die Durchführung von Partizipationsprozessen zur Planung von Mehrzweckspeichern und Mehrzweckspeicher-Kaskaden.	Der Kanton berücksichtigt die vom Bund erarbeitete Grundsätze bei Partizipationsprozessen zur Planung von Mehrzweckspeichern und Mehrzweckspeicher-Kaskaden.

Folgende Punkte sollten hierbei berücksichtigt werden:

C1. Früher Start eines Partizipations-Prozesses

Ein Partizipations-Prozess sollte von Projektbeginn an starten, damit die Koordination der Ressourcen-Ansprüche von Anfang an zwischen den verschiedenen Akteuren angestrebt werden kann. Auf jeden Fall sollte der Prozess vor dem formalen Verfahren zur Konzessionserteilung stattfinden, damit nicht schon formale Tatsachen geschaffen werden und dadurch das Konfliktpotential erhöht wird.

C2. Einbezug aller betroffenen Akteure, nicht nur einspracheberechtigte Organisationen

Die Zusammensetzung der Teilnehmenden sollte sich nicht auf Akteure mit Einspracherecht gegen das Projekt beschränken. Auch Vertreter von Akteuren, die stromabwärts von (zukünftiger) Wasserknappheit betroffen sind und kein Einspracherecht besitzen, sollten in den Prozess einbezogen werden. Darüber hinaus sollte die Zusammensetzung gewährleisten, dass lokales Wissen berücksichtigt wird sowie die Rechtskonformität des neu ausgehandelten Konzessionsentwurfs gegeben ist.

C3. Entwicklung eines gemeinsamen Problemverständnisses

Der Prozess sollte mit Hilfe von verschiedenen Gruppen mit unterschiedlichen Nutzungs-Interessen gestaltet werden. Dies ermöglicht den Teilnehmenden, sich mit unterschiedlichen Interessen, Wissen und Werten auseinanderzusetzen, und die Probleme der anderen Akteure besser zu verstehen.

C4. Vertrauen aufbauen

Der Prozess sollte hierbei auch Zeit und Handlungsspielraum bieten, um das gegenseitige Vertrauen zwischen den Teilnehmenden aufzubauen, insbesondere zwischen Akteuren und Gruppen mit unterschiedlichen Nutzungsinteressen und Werten. Vertrauen ist eine wichtige Grundlage für erfolgreiche Verhandlungen über die Koordination von Ressourcen-Ansprüchen, insbesondere, wenn Regulierungen noch nicht formalisiert sind.

C5. Entwicklung einer gemeinsamen Vision

Zu Beginn des Prozesses sollte ein gemeinsames Ziel oder eine gemeinsame Vision für das Projekt entwickelt werden. Teilnehmende koordinieren ihre Ressourcen-Ansprüche am besten, wenn ein gemeinsames übergeordnetes Ziel vorhanden ist, da dadurch auch ein gemeinsames Problemverständnis entsteht.

8 Forschungsbedarf

Im Folgenden werden drei Forschungsansätze vorgeschlagen, deren Ergebnisse die Umsetzung der Mehrzwecknutzung bei Speichern und Speicher-Kaskaden unterstützen. Sie sind von den Handlungsempfehlungen abgeleitet. Aufgrund ihrer inhaltlichen Überschneidungen lassen sie sich auch in ein gemeinsames Projekt zusammenfassen, damit Synergien optimal genutzt werden können.

1) Bewusstsein zu Wasserknappheiten (HE A1)

In diesem Forschungsprojekt könnten die Ursachen für das fehlende Bewusstsein hinsichtlich (zukünftigen) Wasserknappheiten bei kantonalen Vertretern untersucht werden. Basierend auf den Erkenntnissen könnten Massnahmen zur Verbesserung des Bewusstseins erarbeitet und zusammen mit kantonalen Vertretern umgesetzt werden.

Ziel: Bewusstsein hinsichtlich (zukünftigen) Wasserknappheiten bei kantonalen Vertretern erhöhen; Ergebnisse aus dem Hydro-CH2018-Projekt bei kantonalen Vertretern verankern.

2) Konzessionsdauer von Wassernutzungen (HE B1)

In diesem Forschungsprojekt könnte eine Übersicht über die Dauer vergebener Konzessionen und deren Begründungen in den letzten Jahren erarbeitet werden. Basierend auf den Erkenntnissen der Übersicht könnten Vorschläge erarbeitet werden, wie zukünftig Konzessionen sowohl allfällige Investitionskosten als auch gesellschaftliche und klimatische Veränderungen angemessen berücksichtigen.

Ziel: Konzessionsdauern zukünftig besser an gesellschaftliche und klimatische Veränderungen anpassen.

3) Berücksichtigung Strategien zur Anpassung an den Klimawandel (HE B7)

In diesem Forschungsprojekt könnten die Ursachen für die geringe Berücksichtigung der nationalen und kantonalen Strategien zur Anpassung an den Klimawandel bei Konzessionsverhandlungen erforscht werden. Basierend auf den Erkenntnissen könnten Massnahmen zur Verbesserung der Integration erarbeitet und umgesetzt werden.

Ziel: Verstärkte Berücksichtigung nationaler und kantonaler Strategien zur Anpassung an den Klimawandel bei der Erarbeitung und Erteilung von Konzessionen.

Zusätzlich wird vorgeschlagen, dass ein Nachfolgeprojekt des National Centre for Climate Services NCCS Lösungsmöglichkeiten im Umgang mit den Auswirkungen des Klimawandels aus einer systemischen Perspektive betrachtet. Dieser Ansatz erlaubt es, wichtige Zusammenhänge nicht nur lokal und sektoriell, sondern in einem grösseren Rahmen aufzuzeigen. Dies ermöglicht eine verbesserte Erkenntnis von übergeordneten Hebelwirkungen. Dadurch können wirkungsvolle Interventionen entwickelt werden, welche das gesamte System nachhaltig transformieren. Wirkungen für den Umweltschutz, die soziale Gerechtigkeit und die wirtschaftliche Entwicklung lassen sich so auf eine effiziente Weise erzielen.

Literaturverzeichnis

1815.ch (2018): Mehr Schlagkraft für Beschneigung. Available online at

<https://www.1815.ch/news/newsletter/wb/speichersee/>, checked on 12/4/2020.

Agrarbericht 2019 (2019): Bewässerungsprojekt Furttal. Edited by Agrarbericht 2019. Bern, Schweiz.

Andrew, John; Sauquet, Eric (2017): Climate change impacts and water management adaptation in two mediterranean-climate watersheds: learning from the durance and sacramento rivers. In *Water* 9 (2), p. 126. DOI: 10.3390/w9020126.

Anghileri, Daniela; Castelletti, Andrea; Francesca Pianosi, Francesca; Rodolfo Soncini-Sessa, Rodolfo; Weber, Enrico (2013): Optimizing watershed management by coordinated operation of storing facilities. In *Journal of Water Resources Planning and Management* 139 (5), pp. 492–500.

AWEL (2019): Wasserrechtliche Konzession. Wasserentnahme aus der Limmat für Bewässerungszwecke im Furttal. Erteilung der wasserrechtlichen Konzession und der Bewilligungen., revised Referenz-Nr.: AWEL 17-0206, WR n0078, G 3 n.

BAFU (2012a): Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder. Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012. Edited by Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern.

BAFU (2012b): Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Edited by Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern (Umwelt-Wissen Nr. 1217).

BAFU (2014a): Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2014–2019. Zweiter Teil der Strategie des Bundesrates vom 9. April 2014. Edited by Strategie des Bundesrates, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern.

BAFU (2014b): Regulierung Zürichsee. Edited by Bundesamt für Umwelt, Abteilung Gefahrenprävention. Bern, Schweiz. Available online at www.bafu.admin.ch/publikationen/index.html?lang=de.

BAFU (2015): Interessenkonflikte. Edited by Bundesamt für Umwelt (BAFU). Available online at <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/naturgefahren/dossiers/seeregulierung/interessenkonflikte.html>, checked on 4/12/2021.

BAFU (2016a): Hitze und Trockenheit im Sommer 2015. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Edited by Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern (Umwelt-Zustand, 1629).

BAFU (2017): Stand Restwasser 2016: Ein Viertel der Wasserfassungen noch immer nicht saniert. Edited by Bundesamt für Umwelt (BAFU). Available online at <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/mitteilungen.msg-id-66879.html>, checked on 4/11/2021.

BAFU (2018a): Regulierung Brienzersee. Edited by Bundesamt für Umwelt, Abteilung Gefahrenprävention. Bern, Schweiz.

BAFU (2018b): Regulierung Thunersee. Edited by Bundesamt für Umwelt, Abteilung Gefahrenprävention. Bern, Schweiz.

BAFU (2019a): Hitze und Trockenheit im Sommer 2018. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Edited by Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern, Schweiz (Umwelt-Zustand, 1909).

BAFU (2020a): Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2020–2025. Edited by Strategie des Bundesrates, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern, Schweiz.

BAFU (2020b): Erläuterungsbericht Landschaftskonzept Schweiz. Landschaft und Natur in den Politikbereichen des Bundes. Edited by Bundesamt für Umwelt (BAFU).

BAFU (2020c): Landschaftskonzept Schweiz. Landschaft und Natur in den Politikbereichen des Bundes. Edited by Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern, Schweiz (Umwelt-Info Nr. 2011).

BAFU (2021): Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer. Hydrologie, Gewässerökologie und Wasserwirtschaft. Edited by Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern, Schweiz (Umwelt-Wissen Nr. 2101).

BAFU, Bundesamt für Umwelt (2007): VOB - Volkswirtschaftliche Beurteilung von Umweltmassnahmen. Leitfaden. In *Bern* vollständig überarbeitet 2020, basierend auf Ecoplan 2006. Available online at https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wirtschaft-konsum/fachinfo-daten/leitfaden_volkswirtschaftlichebeurteilungvonumweltmassnahmenvobu.pdf.download.pdf/leitfaden_volkswirtschaftlichebeurteilungvonumweltmassnahmenvobu.pdf.

BAFU, Bundesamt für Umwelt (2016b): Hitze und Trockenheit im Sommer 2015. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. In *Bern*. Available online at https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wasser/externe-studien-berichte/hitze-trockenheit-sommer-herbst-2015.pdf.download.pdf/Hitze-und-Trockenheit_2015.pdf.

BAFU, Bundesamt für Umwelt (2019b): Hitze und Trockenheit im Sommer 2018. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. In *Bern*. Available online at <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/publikationen-studien/publikationen/hitze-und-trockenheit.html>.

Baudirektion Kanton Zürich (2008): Wasserentnahmen im Furttal. Sicherung ausreichender Restwassermengen und Massnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität. Edited by Baudirektion Kanton Zürich, AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (Zürcher Umweltpraxis).

Baudraz, M. (2018): Effets de la Régulation du Lac sur la Faune et la Flore de la Grande Caricaie.

Beniston, Martin; Farinotti, Daniel; Stoffel, Markus; Andreassen, Liss M.; Coppola, Erika; Eckert, Nicolas et al. (2018): The European mountain cryosphere. A review of its current state, trends, and future challenges. In *The Cryosphere* 12 (2), pp. 759–794. DOI: 10.5194/tc-12-759-2018.

Bernasconi, Stefano M.; Bauder, Andreas; Bourdon, Bernard; Brunner, Ivano; Bünemann, Else; Chris, Iso et al. (2011): Chemical and Biological Gradients along the Damma Glacier Soil Chronosequence, Switzerland. In *Vadose Zone Journal* 10 (3), pp. 867–883. DOI: 10.2136/vzj2010.0129.

Berry, Pam M.; Brown, Sally; Chen, Minpeng; Kontogianni, Areti; Rowlands, Olwen; Simpson, Gillian; Skourtos, Michalis (2015): Cross-sectoral interactions of adaptation and mitigation measures. In *Climatic Change* 128 (3-4), pp. 381–393. DOI: 10.1007/s10584-014-1214-0.

BFE (2012): Wasserkraftpotenzial der Schweiz. Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050. Bundesamt für Energie (BFE). Bern, Switzerland.

BFE (2013): Botschaft zum ersten Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 (Revision des Energierechts) und zur Volksinitiative «Für den geordneten Ausstieg aus der Atomenergie (Atomausstiegsinitiative)». Bundesamt für Energie (BFE). Bern, Switzerland.

BFS (2020a): Landwirtschaftliche Gesamtrechnung: Produktionswert der Landwirtschaft: historische Zeitreihen. Edited by Landwirtschaftliche Gesamtrechnung: Produktionswert der Landwirtschaft: Historische Zeitreihen. Available online at <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/je-d-07.04.02.08>, checked on 1/18/2021.

BFS (2020b): Regionale Landwirtschaftliche Gesamtrechnung, pro Kanton und pro landwirtschaftliche Region: von der Produktion zum Einkommen. Edited by Bundesamt Für Statistik Land-und Forstwirtschaft. Available online at <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/aktuell/covid-19.assetdetail.14839852.html>, checked on 1/18/2021.

BLW, Bundesamt für Landwirtschaft (2011): Klimastrategie Landwirtschaft. Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel für eine nachhaltige Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft.

Brunner, Manuela; Björnsen Gurung, Astrid; Speerli, Jürg; Kytzia, Susanne; Bieler, Sara; Schwere, Dominik; Stähli, Manfred (2019a): Welchen Beitrag können Speicher zur Verminderung zukünftiger Wasserknappheit leisten? In *Wasser Energie Luft* 111 (3), pp. 169–176.

Brunner, Manuela I.; Björnsen Gurung, Astrid; Speerli, Jürg; Kytzia, Susanne; Bieler, Sara; Schwere, Dominik; Stähli, Manfred (2019b): Hydro-CH2018 Wasserspeicher. Welchen Beitrag leisten Mehrzweckspeicher zur Verminderung zukünftiger Wasserknappheit? Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern, Schweiz.

Brunner, Manuela I.; Björnsen Gurung, Astrid; Zappa, Massimiliano; Zekollari, Harry; Farinotti, Daniel; Stähli, Manfred (2019c): Present and future water scarcity in Switzerland: Potential for alleviation through reservoirs and lakes. In *Science of The Total Environment* 666, pp. 1033–1047. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.169.

Bryner, Andri; Angst, Mario; Fischer, Manuel; Vollenweider, Stefan (2020): Wasserpolitischer Jahresrückblick 2019. In *AQUA & GAS* (5), pp. 58–63.

Burga, C. A.; Corrodi, D. (2011): Primärsukzessionsprozesse, Bodenbildung, Tourismus und Naturschutz am Beispiel der Gletschervorfelder von Morteratsch und Aletsch (Graubünden/ Wallis, Schweiz).

Bütler, Michael (2018): Einsprache Projekt Trift. With assistance of aqua viva, Grimselverein. Zurich, Switzerland. Available online at https://www.aquaviva.ch/images/Politik/Stellungnahmen/Stellungnahmen_2018/20180205_Einsprache%20KW%20Trift_RA%20Btler%20fr%20AV%20u.%20Grimselv_def.pdf, checked on 7/10/2019.

BUWAL, BWG, MeteoSchweiz (2004): Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Edited by Schriftenreihe Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern (369).

Daus, Milan; Koberger, Katharina; Gnutzmann, Nele; Hertrich, Tobias; Glaser, Rüdiger (2019): Transferring Water While Transforming Landscape: New Societal Implications, Perceptions and Challenges of Management in the Reservoir System Franconian Lake District. In *Water* 11 (12), p. 2469. DOI: 10.3390/w11122469.

Denaro, Simona; Castelletti, Andrea; Giuliani, Matteo; Characklis, Gregory W. (2018): Fostering cooperation in power asymmetrical water systems by the use of direct release rules and index-based insurance schemes. In *Advances in Water Resources* 115, pp. 301–314. DOI: 10.1016/j.advwatres.2017.09.021.

Der Grosse Rat des Kantons Bern.

Deter, Alfons; Eghbal, Reyhaneh (2020): Wasserspeicher sichern die Gemüseernte. Sammeln in Zeiten der Fülle. In *bioland-Fachmagazin für ökologischen Landbau*.

Doering, Acel; Hamberger, Sylvia (2007): Der künstliche Winter. Mit Schneekanonen gegen den Klimawandel: Salto Mortale in die Vergangenheit. Edited by Bund Naturschutz in Bayern e.V.

Eawag (2011): Wasserkraft und Ökologie – Faktenblatt. Edited by Eawag. Available online at https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Beratung/Beratung_Wissenstransfer/Publ_Praxis/Faktenblaetter/fb_Wasserkraft_und_Oekologie_Sept2011.pdf.

- Ebner, M.; Fontana, M.; Schirpke, U.; Tappeiner, U.; Ohndorf, M.; Kurmayer, R. (2020): Exploring mountain lakes' contribution to people: First findings of an integrative Ecosystem Service valuation approach. Edited by 3rd Austrian Forum on Biodiversity and Ecosystem Services.
- Ehrbar, Daniel; Schmocker, Lukas; Vetsch, David; Boes, Robert (2018): Hydropower Potential in the Periglacial Environment of Switzerland under Climate Change. In *Sustainability* 10 (8), p. 2794. DOI: 10.3390/su10082794.
- Ehrbar, Daniel; Schmocker, Lukas; Vetsch, David; Boes, Robert (2019): Wasserkraftpotenzial in Gletscherrückzugsgebieten der Schweiz. In *Wasser Energie Luft* 111 (4), pp. 205–212.
- Ehsani, Nima; Vörösmarty, Charles J.; Fekete, Balázs M.; Stakhiv, Eugene Z. (2017): Reservoir operations under climate change: Storage capacity options to mitigate risk. In *Journal of Hydrology* 555, pp. 435–446. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.09.008.
- EPCN (2010): Das Kleingewässer-Manifest. Available online at <http://www.europeanponds.org>.
- Eppenberger, David (2020): Eigenes Bewässerungswasser als Option. Available online at <https://www.eppenberger-media.ch/eigenes-bewaesserungswasser-als-option/>, checked on 12/3/2020.
- Erhard, Kristina (2016): Ein Speichersee wird zum Naherholungsgebiet. - mountain-talk.com. Available online at <https://www.mountain-talk.com/news-trends/ein-speichersee-wird-zum-naherholungsgebiet/>, updated on 1/14/2021.
- Farinotti, Daniel; Pistocchi, Alberto; Huss, Matthias (2016): From dwindling ice to headwater lakes: could dams replace glaciers in the European Alps? In *Environmental Research Letters* 11 (5), p. 54022. DOI: 10.1088/1748-9326/11/5/054022.
- Felix, David; Müller-Hagmann, Michelle; Boes, Robert (2020): Ausbaupotenzial der bestehenden Speicherseen in der Schweiz. In *Wasser Energie Luft* 112 (1), pp. 1–10.
- Fenrich, Eva Katrin (2018): Entwicklung eines ökologisch-ökonomischen Vernetzungsmodells für Wasserkraftanlagen und Mehrzweckspeicher. With assistance of Universität Stuttgart.
- FMV (2020): Grundlagenstudie zum Potenzial der Wasserkraft im Wallis. Edited by FMV, Kanton Wallis. Available online at https://www.fmv.ch/fileadmin/user_upload/Grundlagenstudie_zum_Potenzial_der_Wasserkraft_im_Wallis_-_FMV_20201027.pdf.
- FMV SA (2020): Etude de base sur le potentiel de la Force Hydraulique en Valais. Available online at https://www.fmv.ch/fileadmin/user_upload/Etude_de_base_sur_le_potentiel_de_la_Force_Hydraulique_en_Valais_-_FMV_20201027.pdf, checked on 1/4/2021.
- Fuchs, Helge; Felix, David; Müller-Hagmann, Michelle; Boes, Robert (2019): Bewertung von Talsperren-Erhöhungsoptionen in der Schweiz. In *WasserWirtschaft* (5), pp. 146–149.
- Fuhrer, Björn; Babbi, Manuel; Krüsi, Bertil O. (2019): Seespiegeldynamik und Vegetation in einem Feuchtgebiet im Bielersee (Schweiz). Veränderungen zwischen 1976 und 2017. In *Naturschutz und Landschaftsplanung* 51 (9), pp. 420–427.
- Fuhrer, Jürg (2010): Abschätzung des Bewässerungsbedarfs in der Schweizer Landwirtschaft. In *Abschlussbericht*.
- Gerber, Jean-David; Knoepfel, Peter; Nahrath, Stéphane; Varone, Frédéric (2009): Institutional Resource Regimes: Towards sustainability through the combination of property-rights theory and policy analysis. In *Ecological Economics* 68 (3), pp. 798–809. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.06.013.
- Glaser, Florian; Mungenast, Franz; Sonntag, Hermann (2003): Bewässerungsteiche als Lebensräume für Amphibien und Libellen am Beispiel der Trams bei Landeck (Tirol, Österreich) - Artenbestand,

naturschutzfachliche Bedeutung, Schutz und Erhaltung. In *Ber. nat.-med. Verein Innsbruck* (90), pp. 165–206. Available online at https://www.zobodat.at/pdf/BERI_90_0165-0206.pdf.

Gupta, Joyeeta; Pahl-Wostl, Claudia; Zondervan, Ruben (2013): ‘Glocal’ water governance: a multi-level challenge in the anthropocene. In *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5 (6), pp. 573–580. DOI: 10.1016/j.cosust.2013.09.003.

Haeberli, Wilfried; Bütler, Michael; Huggel, Christian; Müller, Hansruedi; Schleiss, Anton (2013): Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge - Chancen und Risiken. Forschungsbericht NFP 61. Zurich, Switzerland.

Hennessey, Ryan; Pittman, Jeremy; Morand, Annette; Douglas, Allan (2017): Co-benefits of integrating climate change adaptation and mitigation in the Canadian energy sector. In *Energy Policy* 111, pp. 214–221. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.09.025.

Hill, Margot (2013): Adaptive capacity of water governance. Cases from the Alps and the Andes. In *Mountain Research and Development* 33 (3), pp. 248–259. DOI: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-12-00106.1.

Hirsch, Philipp (2019): Wasserstandsschwankungen verhindern das Wachstum bodenlebender Algen in Stauseen. In *Regio Basiliensis* 60 (2), pp. 131–137.

Hirsch, Philipp E.; Eloranta, Antti P.; Amundsen, Per-Arne; Brabrand, Åge; Charmasson, Julie; Helland, Ingeborg P. et al. (2017): Effects of water level regulation in alpine hydropower reservoirs: an ecosystem perspective with a special emphasis on fish. In *Hydrobiologia* 794 (1), pp. 287–301. DOI: 10.1007/s10750-017-3105-7.

Hunziker, Marcel; Heusser, Thomas; Graf, Carmen (2012): Die Grimsellandschaft aus der Sicht der Touristen und ihre Beurteilung der geplanten Vergrößerung des Grimselsees. Eine Studie im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG (KWO). Edited by Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.

Hurlbert, Margot; Montana, Elma (2015): Dimensions of adaptive water governance and drought in Argentina and Canada. In *Journal of Sustainable Development* 8 (1), p120. DOI: 10.5539/jsd.v8n1p120.

Huss, Matthias (2011): Present and future contribution of glacier storage change to runoff from macroscale drainage basins in Europe. In *Water Resour. Res.* 47 (7), p. 469. DOI: 10.1029/2010WR010299.

Iseli, Gabriela (2015): Künstliche Beschneidung in der Schweiz: Ausmass und Auswirkungen. Eine Forschungsarbeit durchgeführt im Rahmen des Praktikums Nachhaltige Entwicklung. Edited by Universität Bern.

Jenicek, Michal; Seibert, Jan; Staudinger, Maria (2018): Modeling of future changes in seasonal snowpack and impacts on summer low flows in alpine catchments. In *Water Resour. Res.* (54), pp. 538–556. DOI: 10.1002/2017WR021648.

Jordan, Frédéric; Diebold, Marc; Ménétreay, Frédéric; Stegmann, Robert; Sydler, Pierre-Alain (2018): Integrales Wassermanagement in der Region Broye und Seeland. Synthesebericht. Le Mont-sur-Lausanne.

Jossen, Leonie (2017): Grenzen und Möglichkeiten von Mehrzweckspeichern in der Schweiz und ihr Beitrag zur regionalen Resilienz. Masterarbeit. Edited by Universität Zürich Geographisches Institut.

Jossen, Leonie; Björnsen Gurung, Astrid (2018): Möglichkeiten und Grenzen von Mehrzweckspeichern in der Schweiz und ihr Beitrag zur regionalen Resilienz. In *Wasser Energie Luft* 110 (2), 108–112.

- Kaderli, Roland (2020): Regulation Policies for the Future. The regulated lakes of Brienz and Thun under climate change. Edited by Master Thesis.
- Kanton Bern: Durchführung einer UVP bei technischer Beschneidung und Terrainveränderungen für Schneesportanlagen. M-UVp-18. Available online at https://www.vol.be.ch/vol/de/index/umwelt/umweltvertraeglichkeit_uvp/richtlinien_merkblaetter.asset/ref/dam/documents/VOL/AUE/de/umb/aue_um_uvp_mb_18_d.pdf.
- Kanton Schwyz; Kanton Zürich; Kanton Zug; Bezirk Einsiedeln; Bezirk Höfe; SBB (2/3/2020): Konzessionserneuerung Etzelwerk: FAQ. Available online at https://www.sz.ch/public/upload/assets/44959/Etzelwerk_FAQ_Verhandlungsl%C3%B6sung.pdf, checked on 10/20/2020.
- Kanton Wallis (2015): Strategie Wasserkraft Kanton Wallis. Medienmitteilung. Edited by Präsidium des Staatsrates, Information (IVS).
- Kanton Wallis: Erweiterung der Nutzung unserer Staudämme hinsichtlich einer grösstmöglichen Aufwertung der hauptsächlichlichen natürlichen Ressource des Wallis. Nummer 4.0215.
- Keller, Franziska; Fuhrer, Jürg (2004): Die Landwirtschaft und der Hitzesommer 2003. In *AGRARForschung* 11 (9), pp. 403–410.
- Kellner, Elke (2019): Social acceptance of a multi-purpose reservoir in a recently deglaciated landscape in the Swiss Alps. In *Sustainability* 11 (14), p. 3819. DOI: 10.3390/su11143819.
- Kellner, Elke (2020a): Mehrzweckspeicher. Vortrag zum Pilotprogramm Mehrzweckspeicher Fuorcla / Nagens. Laax, 2020.
- Kellner, Elke (2020b): Mehrzweckspeicher zur Minderung von Wasserknappheit im Sommer. In Emmanuel Reynard, Alain Dubois, Muriel Borgeat Theler (Eds.): *Le Rhône. Territoire, ressource et culture*. With assistance of Cahiers de Vallesia. 33rd ed. Sion: Cahiers de Vallesia, 177-184.
- Kellner, Elke (2021a): Governance von Mehrzweckspeichern. Workshop mit den Bundesämtern für Umwelt, Energie und Landwirtschaft. online, 2021.
- Kellner, Elke (2021b): The controversial debate on the role of water reservoirs in reducing water scarcity. In *WIREs Water*, e1514. DOI: 10.1002/WAT2.1514.
- Kellner, Elke; Brunner, Manuela I. (2021): Reservoir Governance in World's Water Towers Needs to Anticipate Multi-purpose Use. In *Earth's Future* 9, e2020EF001643. DOI: 10.1029/2020EF001643.
- Kellner, Elke; Oberlack, Christoph; Gerber, Jean-David (2019): Polycentric governance compensates for incoherence of resource regimes: The case of water uses under climate change in Oberhasli, Switzerland. In *Environmental science & policy* 100, pp. 126–135. DOI: 10.1016/j.envsci.2019.06.008.
- Kellner, Elke; Weingartner, Rolf (2018): Chancen und Herausforderungen von Mehrzweckspeichern als Anpassung an den Klimawandel. In *Wasser Energie Luft* 110 (2), pp. 101–107. Available online at [http://refhub.elsevier.com/S0048-9697\(19\)30657-6/rf0225](http://refhub.elsevier.com/S0048-9697(19)30657-6/rf0225).
- Kohler, Beat (2001): Verhärtete Fronten lösen sich etwas auf. In *Jungfrau Zeitung*, 8/30/2001.
- Kummer, C. (2021): Potential of a hypothetical multi-purpose reservoir in the upper catchment area of the Alptal. Master thesis. Edited by University of Bern.
- KWO (2019): Neubau Speichersee und Kraftwerk Trift. Edited by Kraftwerke Oberhasli AG. Innertkirchen, Switzerland. Available online at <https://www.grimselstrom.ch/wp-content/uploads/trift-projekt-2019.pdf>, checked on 12/28/2019.

- Lenk Bergbahnen (2020): Speichersee und Beschneigung Betelberg. Available online at <https://lenk-bergbahnen.ch/speichersee-beschneigung-betelberg/>, checked on 1/16/2021.
- Leonard, Stephen; Locatelli, Bruno; Murdiyarso, Daniel; Martius, Christopher; Quina, Margaretha; Baral, Himlal (2016): A match made in Paris: Adaptation-mitigation synergies in the land sector (137), pp. 1–4. DOI: 10.17528/cifor/006106.
- Locatelli, Bruno; Pavageau, Charlotte; Pramova, Emilia; Di Gregorio, Monica (2015): Integrating climate change mitigation and adaptation in agriculture and forestry: opportunities and trade-offs. In *WIREs Clim Change* 6 (6), pp. 585–598. DOI: 10.1002/wcc.357.
- Loloum, Tristan (2016): La vie touristique des grands barrages hydroélectriques. In *tourisme* (12). DOI: 10.4000/tourisme.1360.
- Lubini V.; Knispel S.; Sartori M.; Vicentini H.; Wagner A. (2012): Rote Listen Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen. Edited by Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Schweizer Zentrum für die Kartografie der Fauna SZKF/CSCF. Bern, Schweiz (Umwelt-Vollzug Nr. 1212).
- Marty, Christoph; Tilg, Anna-Maria; Jonas, Tobias (2017): Recent Evidence of Large-Scale Receding Snow Water Equivalents in the European Alps. In *J. Hydrometeor.* 18 (4), pp. 1021–1031. DOI: 10.1175/JHM-D-16-0188.1.
- Maurer, Laura (2020): Mehrzwecknutzung von Wasserspeichern im Oberwallis: Eine sinnvolle Klimaanpassungsmassnahme? Masterarbeit. Edited by Geographisches Institut der Universität Zürich/WSL.
- Mayring, Philipp (2010): Qualitative Inhaltsanalyse. In Günter Mey, Katja Mruck (Eds.): *Handbuch qualitative Forschung in der Psychologie*. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, pp. 601–613.
- Mentha, Luc; Flück, Peter; Aeschlimann, Martin; Baumann, Kilian; Frutiger, Ueli; Rüeeggsegger, Hans Jörg (2019): Dringend notwendige Investition in die Wasserkraft. Vorstoss-Nr. 051-2019. Motion.
- Moser, Deyshawn J.; Baulcomb, Corinne (2020): Social perspectives on climate change adaptation, sustainable development, and artificial snow production: A Swiss case study using Q methodology. In *Environmental science & policy* 104 (3/4), pp. 98–106. DOI: 10.1016/j.envsci.2019.10.001.
- Mountain Agenda (1998): Mountains of the world. Water towers for the 21st century, prepared for the United Nations commission on sustainable development. With assistance of Institute of Geography, University of Berne (Centre for Development and Environment and Group for Hydrology) and Swiss Agency for Development and Cooperation. Edited by Paul Haupt Publishers. Bern, Switzerland.
- Müller Ingenieure AG (2017): Wasserentnahme aus der Limmat mit Fassung und Pumpwerk Hauptleitungen mit Hochspeicher zur Bewässerung im Furttal. Bericht zum Konzessionsgesuch und zum Bauprojekt. Im Auftrag des Amtes für Landschaft und Natur, Abteilung Landwirtschaft und der Bewässerungsgenossenschaft Furttal (BGF).
- NCCS (2018a): CH2018 - Climate scenarios for Switzerland. Edited by National Centre for Climate Services NCCS. Zurich, Switzerland.
- NCCS (2018b): Hydro-CH2018 Forschungsprojekte. Edited by National Centre for Climate Services NCCS. Bern, Schweiz. Available online at <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/das-nccs/themenschwerpunkte/hydro-ch2018/hydro-ch2018-forschungsprojekte.html>.
- Oberlack, Christoph; Eisenack, Klaus (2018): Archetypical barriers to adapting water governance in river basins to climate change. In *Journal of Institutional Economics* 14 (3), pp. 527–555. DOI: 10.1017/S1744137417000509.

- Ostrom, Elinor (1999): Coping with Tragedies of the Commons. In *Annu. Rev. Polit. Sci.* 2 (1), pp. 493–535. DOI: 10.1146/annurev.polisci.2.1.493.
- Pettesse, Maria Letizia; Petrere Jr, Miguel; Agostinho, Ângelo Antonio (2014): Defining a fish bio-assessment tool to monitoring the biological condition of a cascade reservoirs system in tropical area. In *Ecological Engineering* 69, pp. 139–150. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.03.070.
- Piot, Michel (2018): Ersatzinvestitionen in die Schweizer Wasserkraft. In *Wasser Energie Luft* 110 (2), pp. 85–92, checked on 1/18/2021.
- ProClim (2005): Hitzesommer 2003. Synthesebericht. In *Bern*.
- Regierungsrat des Kantons Bern (2020): Regierungsrat befürwortet Konzession für Kraftwerk Trift. Edited by Kanton Bern. Available online at https://www.be.ch/portal/de/index/mediencenter/medienmitteilungen.meldungNeu.html/portal/de/meldungen/mm/2020/08/20200819_1024_regierungsrat_befuerwortetkonzessionfuerkraftwerktrift?utm_source=rss&utm_medium=Medienmitteilungen&utm_campaign=Regierungsrat+bef%C3%BCrwortet+Konzession+f%C3%BCr+Kraftwerk+Trift#, checked on 10/14/2020.
- Rixen, Christian; Stoeckli, Veronika; Ammann, Walter (2003): Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review. In *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 5 (4), pp. 219–230. DOI: 10.1078/1433-8319-00036.
- Rodriguez, Jean-François (2012): Paysages de l’hydroélectricité et développement touristique dans les Pyrénées. In *rga* (100-2). DOI: 10.4000/rga.1805.
- Roth, Philippe (2019): Mehrzwecknutzung von Grosswasserkraftwerken im Kanton Graubünden heute und in Zukunft. Masterarbeit. Edited by Universität Zürich. Available online at https://www.wsl.ch/fileadmin/user_upload/WSL/Ueber_die_WSL/Forschungsprogramme_Initiativen/Energy_Chance_Impact/PhilippeRoth_MA_Final.pdf, checked on 1/4/2021.
- Roth, Philippe; Björnson Gurung, Astrid (2020): Die Mehrzwecknutzung von Grosswasserkraftwerken im Kanton Graubünden heute und in Zukunft. In *Wasser Energie Luft* 112 (2), pp. 71–75.
- Schmid, P. (2001): KWO und Umweltverbände suchen Konsens. In *Berner Oberland News*, 3/15/2001.
- Schweizer, Steffen; Niedermayr, Andreas; Roulier, Christian; Döring, Michael; Meyer, Matthias; Schläppi, Sandro et al. (2019a): Entwicklungsszenarien einer alpinen Aue bei einem natürlichen Geschiebedefizit – die Triftaue im Oberhasli. In *Wasser Energie Luft* 111 (4), pp. 223–228.
- Schweizer, Steffen; Schwegler, benno; Rohrer, Magdalena; Meyer, Matthias; Schläppi, Sandro; Baumgartner, Jan et al. (2019b): Das Triftprojekt – ein Überblick zu Projekt, Ökologie und Partizipation. In *Wasser Energie Luft* 111 (4), pp. 213–221.
- Schweizer, Steffen; Zeh Weissmann, Heiko; Ursin, Max (2012): Der Begleitgruppenprozess zu den Ausbauprojekten und zur Restwassersanierung im Oberhasli. In *Wasser Energie Luft* 104 (1), pp. 11–17.
- Schweizer Hagel (2018): Trockenheitsschäden an Ackerkulturen und Grasland sind versicherbar. Available online at <https://www.hagel.ch/de/medien/trockenheitsschaeden-an-ackerkulturen-und-grasland-sind-versicherbar/>, checked on 11/23/2020.
- Shrestha, Subina; Dhakal, Shobhakar (2019a): An assessment of potential synergies and trade-offs between climate mitigation and adaptation policies of Nepal. In *Journal of Environmental Management* 235, pp. 535–545. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.01.035.

- Shrestha, Subina; Dhakal, Shobhakar (2019b): An assessment of potential synergies and trade-offs between climate mitigation and adaptation policies of Nepal. In *Journal of Environmental Management* 235, pp. 535–545. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.01.035.
- Sosa, Laura L. de; Williams, A. Prysor; Orr, Harriet G.; Jones, Davey L. (2018): Riparian research and legislation, are they working towards the same common goals? A UK case study. In *Environmental science & policy* 82, pp. 126–135. DOI: 10.1016/j.envsci.2018.01.023.
- SRF (2019): An 25 Zentimetern scheiden sich die Geister. Wasserpegel des Lago Maggiore. Edited by SRF. Available online at <https://www.srf.ch/news/schweiz/wasserpegel-des-lago-maggiore-an-25-zentimetern-scheiden-sich-die-geister>, checked on 12/22/2020.
- Swart, Rob; Raes, F. (2007): Making integration of adaptation and mitigation work: mainstreaming into sustainable development policies? In *Climate Policy* 7 (4), pp. 288–303. DOI: 10.1080/14693062.2007.9685657.
- Swiss Federal Tribunal, of 11/4/2020, case number 1C_356/2019.
- Swissinfo (2019): Ein grenzüberschreitender See sorgt für Zwietracht. Edited by Swissinfo. Available online at https://www.swissinfo.ch/ger/streit-um-wasserpegel_ein-grenzueberschreitender-see-sorgt-fuer-zwietracht/44856480.
- Teich, M.; Lardelli, C.; Bebi, P.; Gallati, D.; Kytzia, S.; Pohl, M. et al. (2007): Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung. Edited by Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Birmensdorf.
- Thür, Angela; Björnsen Gurung, Astrid; Stähli, Manfred (2020): Mehrzwecknutzung von Wasserspeichern in der Schweiz: Ökologische Auswirkungen. Interner Bericht. Edited by Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Birmensdorf.
- Tu, Ming-Yen; Hsu, Nien-Sheng; Yeh, William W.-G. (2003): Optimization of reservoir management and operation with hedging rules. In *J. Water Resour. Plann. Manage.* 129 (2), pp. 86–97. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2003)129:2(86).
- UVEK (2020): Runder Tisch zur Wasserkraft. Edited by Generalsekretariat UVEK. Available online at <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-80102.html>, updated on 8/18/2020, checked on 9/3/2020.
- van Loon, Anne F. (2015): Hydrological drought explained. In *WIREs Water* 2 (4), pp. 359–392. DOI: 10.1002/wat2.1085.
- Vetterli, Luca (2012): Konzessionsverfahren beschleunigen dank Zusammenarbeit. In *Thema Umwelt: Die Rolle der Wasserkraft in der Energiestrategie 2050* (1), pp. 22–23.
- Viviroli, Daniel; Dürr, Hans H.; Messerli, Bruno; Meybeck, Michel; Weingartner, Rolf (2007): Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance. In *Water Resour. Res.* 43 (7), 14,827. DOI: 10.1029/2006WR005653.
- Viviroli, Daniel; Kummu, Matti; Meybeck, Michel; Kallio, Marko; Wada, Yoshihide (2020): Increasing dependence of lowland populations on mountain water resources. In *Nat Sustain* 6, p. 175. DOI: 10.1038/s41893-020-0559-9.
- Wanders, N.; Wada, Y. (2015): Human and climate impacts on the 21st century hydrological drought. In *Journal of Hydrology* 526, pp. 208–220. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.10.047.
- Weingartner, Rolf; Messerli, Paul (2017): Die Verflüssigung des alpinen Wasserhaushaltes und die Rolle von Mehrzweckspeichern. In *Montagna - die Zeitschrift für das Berggebiet* 28 (4), pp. 12–13.

Weingartner, Rolf; Schädler, Bruno; Reynard, Emmanuel; Bonriposi, Mariano; Graefe, Olivier; Herweg, Karl et al. (2014): MontanAqua: Wasserbewirtschaftung in Zeiten von Knappheit und globalem Wandel. Wasserbewirtschaftungsoptionen für die Region Crans-Montana-Sierre im Wallis. Edited by Forschungsbericht des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61. Bern.

Wheeler, Kevin G.; Hall, Jim W.; Abdo, Gamal M.; Dadson, Simon J.; Kasprzyk, Joseph R.; Smith, Rebecca; Zagana, Edith A. (2018): Exploring cooperative transboundary river management strategies for the eastern Nile Basin. In *Water resources research* 54 (11), pp. 9224–9254. DOI: 10.1029/2017WR022149.

Widmer, Simon; Pastega, Nadja (2018): Die Situation ist schlimmer als im Rekordsommer 2003. In *Tages-Anzeiger*, 8/5/2018. Available online at <https://www.tagesanzeiger.ch/sonntagszeitung/schlimmer-als-2003/story/17867602>, checked on 11/10/2020.

Wu, Xinyu; Cheng, Chuntian; Zeng, Yun; Lund, Jay R. (2016): Centralized versus distributed cooperative operating rules for multiple cascaded hydropower reservoirs. In *J. Water Resour. Plann. Manage.* 142 (11), p. 5016008. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000685.

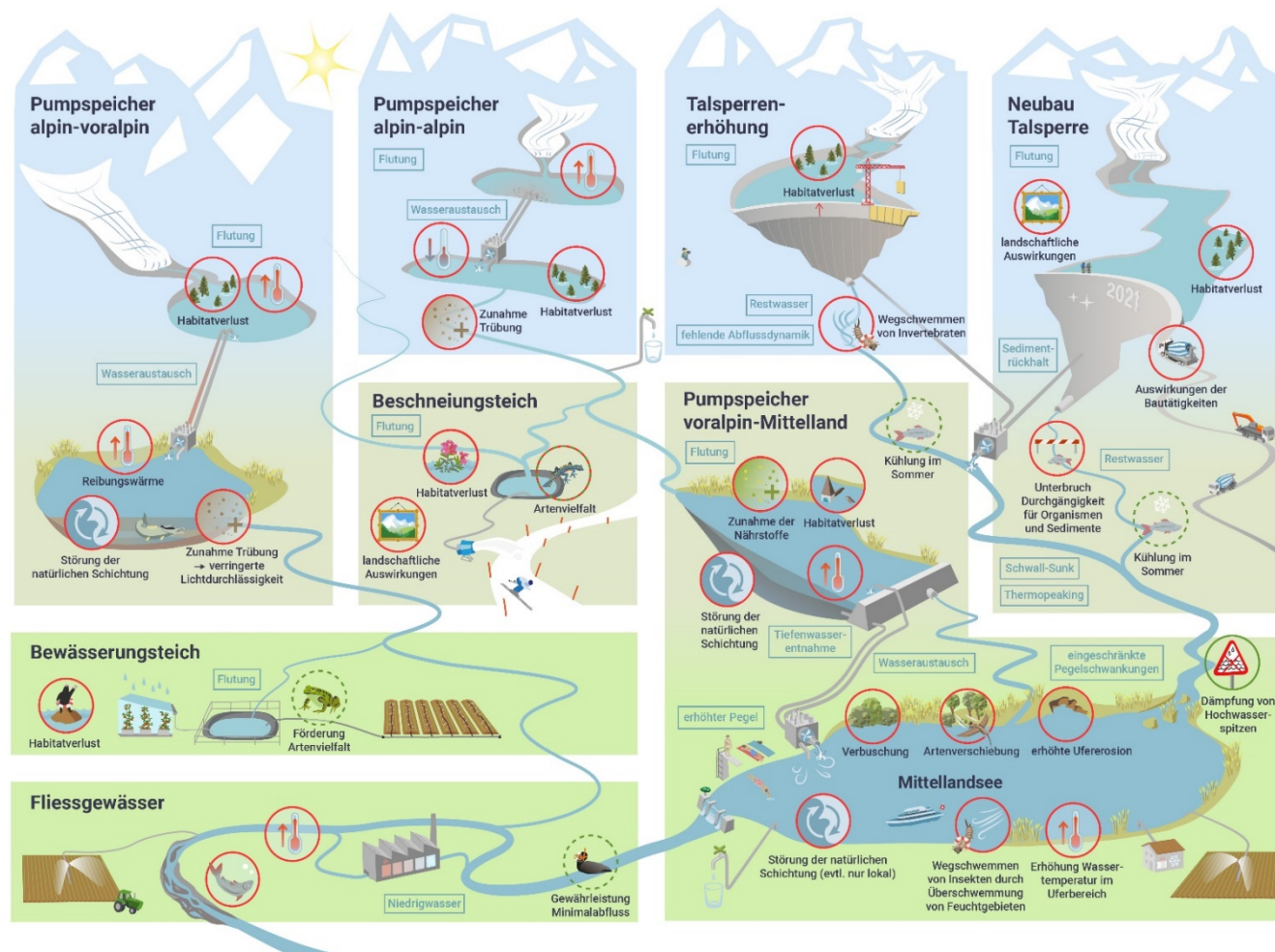
You, Jiing-Yun; Cai, Ximing (2008): Hedging rule for reservoir operations: 1. A theoretical analysis. In *Water Resour. Res.* 44 (1), p. 713. DOI: 10.1029/2006WR005481.

Zappa, Massimiliano; Kan, C. (2007): Extreme heat and runoff extremes in the Swiss Alps. In *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 7 (3), pp. 375–389. DOI: 10.5194/nhess-7-375-2007.

Zegg, Roland (2012): Sind Beschneiungsanlagen die umweltfreundlichen Stromerzeuger von morgen?

Zhou, Yanlai; Guo, Shenglian; Xu, Chong-Yu; Liu, Pan; Qin, Hui (2015): Deriving joint optimal refill rules for cascade reservoirs with multi-objective evaluation. In *Journal of Hydrology* 524 (524), pp. 166–181. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.02.034.

Anhang 1



Wasserspeichertypen der Schweiz mit möglichen Auswirkungen (grün - positiv, rot - negativ) auf Lebensräume und Organismen. Diese werden hauptsächlich verursacht durch Eingriffe ins natürliche Abfluss- und Pegelregime (blaue Beschriftung) (Quelle: Angela Thür und Astrid Björnsen Gurung in Zusammenarbeit mit Valentin Rüegg).