Chancen und Herausforderungen von Mehrzweckspeichern als Anpassung an den Klimawandel

Autor(en): **Kellner, Elke / Weingartner, Rolf**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **110 (2018)**

Heft 2

PDF erstellt am: **03.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-941580

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Chancen und Herausforderungen von Mehrzweckspeichern als Anpassung an den Klimawandel

Elke Kellner, Rolf Weingartner

Zusammenfassung

Laut Studien hat der Klimawandel Auswirkungen auf die Hydrologie der Schweiz. Mehrzweckspeicher (Mehrfachnutzung von bestehenden und neuen Speichern) stellen eine mögliche Anpassungsmassnahme hierfür dar. Im Rahmen der Dissertation «Mehrzweckspeicher als Schlüssel für eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung in der Schweiz» am Oeschger Center der Universität Bern wurden anhand von vier aktuellen Projekten in den Kantonen Bern, Zürich und Graubünden, bei denen die Prüfung einer Mehrzwecknutzung erfolgte, die Chancen und Herausforderungen von Mehrzweckspeichern untersucht. Erste Ergebnisse zeigen, dass eine optimale Lösung nicht in jedem Fall zwingend ein Mehrzweckspeicher ist, sondern in erster Linie sind multifunktionale Nutzungen im Zusammenspiel des vernetzten Wassersystems zu suchen. Hierbei kann mit intelligent konzipierten Wasserfassungen, Verbindungsleitungen und Speichern auch die Beeinträchtigung der Fliessgewässer auf ein Minimum reduziert werden.

1. Einleitung

Die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Hydrologie in der Schweiz wurden in den letzten rund 30 Jahren in verschiedenen, teils sehr umfangreichen Studien untersucht, im Rahmen von Nationalfond-Projekten (NFP 31 und 61), beim CCHydro-Projekt (*BAFU* 2012b), CCWasserkraft (SGHL und CHy 2011) und bei den CH2014-Impacts (CH2014-Impacts 2014). Die Ergebnisse dieser Studien zeigen, dass das jährliche Wasserdargebot in etwa gleich bleibt, im Sommer jedoch zurückgeht und im Winter tendenziell zunimmt. Verantwortlich dafür sind einerseits die ansteigende Temperatur sowie eine bedeutende Abnahme der Niederschläge im Sommer und andererseits der Rückgang der natürlichen, temporären Speicher Schnee und Gletscher. All dies führt dazu, dass die Abflüsse im Sommer stark zurückgehen werden. Die Mehrfachnutzung von bestehenden und neuen Speichern (im Folgenden «Mehrzweckspeicher») stellen eine mögliche Anpassungsmassnahme für die Schweiz dar. Nutzungen von Mehrzweckspeichern können Energieerzeugung, Systemdienstleistungen, Sedimentrückhalt, Hochwasserschutz, Beschneiung, 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 für verschiedene Zwecke genutzt werden, kommt die Mehrzwecknutzung in der Schweiz noch kaum vor. Der Diskurs über Mehrzweckspeicher in der Schweiz hat in den letzten Jahren jedoch deutlich zugenommen (*Weingartner,* 2016; *Thut et al.* 2016; *Schleiss,* 2016; *Ho et al.,* 2017). So haben bspw. *Thut et al.* (2016) die Bedeutung von Mehrzweckspeichern untersucht und kommen zum Schluss, dass diese in Zukunft einen wichtigen Beitrag für die Verfügbarkeit von Wasser leisten werden, da sie die fehlenden Gletscher und abnehmenden Schneemengen kompensieren können. Auch in verschiedenen nationalen Strategien und Dokumenten finden sich Hinweise oder konkrete Massnahmen zu Mehrzweckspeichern (*BAFU,* 2012a, 2014; *BG Ingenieure und Berater* 2014; *Hunziker Betatech AG et al.,* 2017). Mehrzweckspeicher sind zusätzlich im Aktionsplan der nationalen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel als Massnahme aufgeführt (*BAFU,* 2012a, 2014).

Der vorliegende Artikel hat daher das Ziel, die möglichen Nutzungen von Speichern darzustellen, anhand von vier konkreten Speicherprojekten die Herausforderungen einer Mehrzwecknutzung aufzuzeigen und mögliche Zukunftsoptionen zu diskutieren.

2. Speicher und ihre verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten

Während Wasserspeicher in der Schweiz eher selten für mehrere Nutzungen eingesetzt werden, entstehen Neubauten von künstlichen Speichern mit einer einfachen Nutzung wie der Beschneiung in alpinen Regionen oder zu Bewässerungszwecken im Mittelland in den letzten Jahren häufiger. Im Folgenden werden verschiedene Nutzungen von Wasserspeichern und die Herausforderungen bei deren Betrieb als Mehrzweckspeicher vorgestellt.

2.1 Speicher zur Energieerzeugung

In der Schweiz werden Speicherseen seit den 1920er-Jahren gebaut und dienten bis anhin vorwiegend der Energieerzeugung. Zusätzlich förderten sie die wirtschaftliche Entwicklung in strukturschwachen Alpenregionen. Damit wurden viele Randgebiete mit Zufahrtsstrassen erschlossen sowie Arbeitsplätze beim Bau und Betrieb von Wasserkraftwerken geschaffen, und die Gemeinden, bzw. Kantone konnten durch die Abgabe von Wasserzinsen und Konzessionsgebühren zusätzliche Einnahmen generieren. Seit dem Bau von Atomkraftwerken steigerten Wasserkraftwerke ihren Gewinn zusätzlich, indem sie mit Strom aus AKW in Zeiten geringer Stromnachfrage Pumpspeicherseen füllten. Bei Stromspitzen im europäischen Versorgungsnetz liess sich der damit produzierte Strom zu höheren Preisen verkaufen. Während es in der Schweiz bisher vorwiegend um die Stromgewinnung und wirtschaftliche Entwicklung ging, erfährt in den letzten 15 Jahren die Wasserkraft als erneuerbare Energie und somit als Massnahme zur Mitigation des Klimawandels eine neue Bedeutung. Ausserdem dienen die Speicher zunehmend auch der Umlagerung von überschüssiger

Wind- und Sonnenenergie zur Sicherstellung der Stabilität des Stromnetzes (Systemdienstleistung). Diese Nutzung wird zukünftig beim Ausbau von erneuerbaren Energien in Europa noch zunehmen.

Alpine Wasserkraftspeicher dienen somit der Energieerzeugung und der Sicherstellung von Systemdienstleistungen mit sogenannter Regelenergie. Ausserdem halten sie Sedimente vom Abschmelzen der Gletscher, insbesondere bei Murgängen, die aufgrund des Klimawandels (Auftauen des Permafrosts) vermehrt auftreten werden, zurück. Daneben sollten sie zukünftig vermehrt zur Speisung der Oberflächengewässer in lang andauernden Trockenperioden sowie zum Hochwasserschutz beitragen (*Schleiss,* 2016). Wo es sich vom Standort her anbietet, werden Wasserkraftspeicher auch zur Beschneiung genutzt. So werden bspw. in Zermatt die Beschneiungsanlagen fast ausschliesslich von Speicherseen und Wasserfassungen des Elektrizitätswerks Zmutt und der Grande Dixence gespiesen (*Perren,* 2012). Die Nutzung von alpinen Wasserkraftspeichern zu Bewässerungszwecken kennt man bisher vorwiegend im Wallis und bietet sich aufgrund des Standorts meist nicht an. Dennoch kann ein alpiner Wasserkraftspeicher mit den oben genannten möglichen Nutzungen als Mehrzweckspeicher betrieben werden.

2.2 Speicher als Hochwasserschutz

Speicherseen, insbesondere im alpinen Gebiet, können einen Beitrag zum Hochwasserschutz leisten, wenn sie bei entsprechenden meteorologischen Bedingungen rechtzeitig abgesenkt und damit zusätzliche Aufnahmekapazität geschaffen sowie Abflussspitzen gebrochen werden. Ihr Beitrag zum Hochwasserschutz hängt von der Grösse des Einzugsgebiets, des Stausees, des auftretenden Hochwassers und von dessen Vorhersage ab. Auch wenn der Hochwasserschutz in der Schweiz stetig verbessert wurde, besteht ein Potenzial von Speicherseen für das Management von Hochwasserereignissen. Beispiele für ein solches Management gibt es im Wallis beim Mattmark-Stausee im Saastal. Dort kauften Kanton und Bund eine Rückhaltekapazität von 3.6 Millionen Kubikmetern, welche die Betreiberin Axpo seither als Hochwasserreserve freihalten muss. Sie wurde dafür mit einer Pauschale von 6 Millionen Franken entschädigt, von denen der Bund 4 Millionen übernahm. Im Kanton Zürich einigte man sich beim Sihlsee auf eine andere Lösung. Dort kann der Kanton Zürich gegen eine finanzielle Entschädigung bei der Betreiberin SBB im akuten Fall eine Absenkung des Sees verlangen.

Aktuell wird jedoch eine nationale Lösung angestrebt, mit deren Ausgestaltung der Bundesrat das BAFU beauftragt hat. Der Bund will die Kraftwerksunternehmen für einen Beitrag zum Hochwasserschutz finanziell entschädigen. Auch die Stauseebetreiber sind daran interessiert, da dies eine alternative Einnahmequelle in Zeiten von niedrigen Strompreisen ist.

Bild 1. Bau des Beschneiungsteichs Valos, Lenzerheide, Kanton Graubünden, 110000 m³, (Quelle: FHP, Bauingenieure AG).

2.3 Speicher als Ausgleich der steigenden Schneefallgrenze: Beschneiungsteiche

Die Anzahl an Beschneiungsteichen nahm in den Alpen über die letzten 15 Jahren stark zu (*Iseli,* 2015). Der Klimawandel bewirkt in den Alpen einen Anstieg der Schneefallgrenze, weshalb immer mehr Skigebiete auf technische Beschneiung setzen. In der Zeit zwischen Weihnachten und dem 6. Januar erwirtschaften die Bergbahnunternehmen sowie Hotel-, Skischul- und Handelsbetriebe in Wintersportdestinationen bis zu einem Viertel des ganzen Saisonumsatzes (*Zegg,* 2012). Um diese Einnahmen generieren zu können, müssen die Verhältnisse den Vorstellungen der Gäste hinsichtlich Wintersport entsprechen. Dazu sind in dieser Zeit präparierte Pisten und Loipen usw. erforderlich, was in den meisten Skigebieten nur mit technischer Beschneiung zu erreichen ist. Wann genau beschneit werden kann, hängt jedoch von den Temperaturen, der Windgeschwindigkeit und der Luftfeuchtigkeit ab. Durch konstante Wetterbeobachtung und -beurteilung wird kurzfristig entschieden, wann die optimalen Bedingungen zur Beschneiung gegeben sind. Dann entsteht innerhalb kürzester Zeit ein enormer Wasserbedarf, der insbesondere im Spätherbst und Winter, wenn die Bergbäche wenig Wasser führen, nicht aus Oberflächengewässern entnommen werden kann. Die kurzfristige Bereitstellung von solch grossen Wassermengen erfordert die Rückhaltung des Wassers in Speicherbecken. Beschneiungsteiche haben meist ein Volumen zwischen 2000 und 400 000 m³. Beim Bau sind Maschinen- und Materialtransporte in die entsprechenden Gebiete sehr aufwendig und manchmal nur mittels Helikopter möglich. Trotz Einhaltung von Umweltauflagen stellen sie einen grossen Eingriff in Natur und Landschaft dar, da der Bau mit weiteren Infrastrukturen wie Leitungen, Pumpen sowie Zufahrtswegen verbunden ist und die Speicher mit Folien abgedichtet werden.

Auch sind sie mit einem gewissen Risiko behaftet, da unterhalb der Speicher meist Pisten, Skilifte oder Siedlungen liegen. Bei einem Dammbruch könnten durch eine Flutwelle grosse Flächen vermurt und ausgeschwemmt werden. Ursachen dafür können undichte Zuleitungen, unterirdische Quellen oder die Alterung von Folien aufgrund von UV-Strahlung sein. Neben ökologischen Auswirkungen, welche sich bei Vegetation, Boden, Tieren und Gewässern zeigen, ist die technische Beschneiung mit einem Aufwand an Energie und

Wasser verbunden. Der Wasserverbrauch durch die technische Beschneiung ist mit 20–35 % des gesamten Wasserverbrauchs der Region Davos beispielsweise im Verhältnis zu anderen touristischen Aktivitäten beträchtlich (*Teich et al.*, 2007).

Vereinzelt werden Beschneiungsteiche auch für andere Zwecke wie Energieerzeugung oder Erholung genutzt. So wurden im Speichersee Nagens (GR) versuchsweise Regenbogenforellen zum Angeln ausgesetzt. Für Bewässerungszwecke sind Beschneiungsteiche aufgrund ihrer geografischen Lage meistens nicht geeignet. Sie liegen vorwiegend in Alpweidegebieten, die nicht bewässert werden. Projekte, bei denen Leitungen vom Teich 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. Weitere Nutzungen für den Wassersport bieten sich aufgrund der Höhenlage und der zu geringen Grösse des Teichs selten an. Ausserdem darf die verwendete Folie wegen des Risikos eines Dammbruchs nicht zerstört werden.

2.4 Speicher als Ausgleich von Trockenzeiten: Bewässerungsteiche

In Trockenphasen werden zunehmende Einschränkungen oder Verbote bezüglich Wasserentnahmen aus Oberflächengewässern oder Grundwasser verfügt. Genau dann wird jedoch Bewässerungswasser für Landwirtschaft und Freizeitaktivitäten (z. B. Golf) benötigt. Bewässerungsteiche speichern Oberflächen- oder Niederschlagswasser für Trockenzeiten. Trotz des derzeitigen Abschmelzens der Gletscher und somit eines erhöhten Abflusses wurden in Hitzesommern wie 2003 und 2015 Entnahme-Einschränkungen ausgesprochen. Diese führten teilweise zu Konflikten zwischen kantonalen Behörden und Landwirtschaft (*BUWAL, BWG, MeteoSchweiz,* 2004; *BAFU,* 2016). Im Wallis baut man Bewässerungsteiche im Gegensatz zu anderen Gebieten der Schweiz schon seit längerer Zeit. Golfplätze haben oftmals eigene Bewässerungsteiche, die Teil der Golfanlage sind (z. B. Golfplatz Winterberg).

Ein Bewässerungsteich wird entweder ganz in den Boden versenkt oder die Aushuberde als Damm rund um den Teich aufgeschüttet, was zu landschaftlichen Eingriffen führt. Der Boden ist meist mit Folie ausgelegt und der Teich aus Sicherheitsgründen eingezäunt. Teilweise werden über die Folie spezielle Netze gelegt, welche es Kleinlebewesen ermöglichen, sich daran festzuhalten und bei Bedarf auszusteigen.

Bild 2. Bewässerungsteich (3000 m³) auf der Jucker Farm (Kanton Zürich), (Quelle: Jucker Farm AG).

In den letzten Jahren ist eine Zunahme an Bewässerungsteichen zu beobachten, so hat 2011 beispielsweise der Kehlhof in Berg (TG) einen Regenwasserteich mit 4500 m³ Inhalt für 20 ha Obst- und Gemüsekulturen angelegt. 2012 haben Gemüsebauern einen 3500-m³-Teich als Speicher für Wasser aus dem Biberenbach (SO) angelegt. 2013 legte die Juckerfarm (ZH) einen Regenwasserspeicher mit 3000 m³ Volumen für Heidelbeeren an. Diese und weitere Beispiele zeigen, dass die Landwirtschaft auf den Klimawandel und damit einhergehende Trockenzeiten reagiert. Der Bewässerungsdruck wird jedoch auch durch eine intensivere Anbauweise gefördert. Im Vertragsanbau für Konservengemüse wird sogar die Möglichkeit zur Bewässerung vom Abnehmer vertraglich verlangt.

Eine Mehrzwecknutzung solcher Teiche ist schwierig, da sich landwirtschaftlich intensiv genutzte Gebiete eher in Regionen ohne Gefälle befinden, weshalb sich keine Wasserkraftnutzung anbietet. Weitere Nutzungen als Wassersport- oder Erholungsort sind wegen der hygienischen Anforderungen an das Bewässerungswasser sowie der verwendeten Folien, die nicht beschädigt werden dürfen, ungeeignet. Ausserdem konkurrenzieren sich diese Nutzungen insbesondere in heissen und trockenen Sommern. Die Verwendung zur Beschneiung ist aufgrund der zu weit auseinanderliegenden Standorte nicht realistisch.

2.5 Weitere Nutzungen von Speicherseen

Neben den oben erwähnten Nutzungen wie Energieerzeugung, Systemdienstleistungen, Sedimentrückhalt, Hochwasserschutz, Speisung von Oberflächengewässern in lang andauernden Trockenperioden, Beschneiung und Bewässerung, kann ein Speichersee auch als Löschwasserreserve und zur thermischen Nutzung verwendet werden. Ein Pilotprojekt im Wallis wird nächstes Jahr auf dem gestauten Lac des Toules ein schwimmendes Solarkraftwerk installieren, eine weitere interessante Nutzung, deren Machbarkeit und auch Akzeptanz erst geprüft werden muss. Die KWO zeigt im Berner Oberland beispielhaft, wie die Wasserkraft auch für den Tourismus genutzt werden kann. Dazu gehören die Gelmerbahn – mit 106 % Steigung die steilste Standseilbahn der Welt – Kraftwerksbesichtigungen, die Hängeseilbrücke im Triftgebiet und das traditionelle Grimsel-Hospiz am Grimselstausee aus der Gründerzeit der KWO.

Im Folgenden wird auf vier aktuelle Speicherprojekte und deren Herausforderungen als Mehrzweckspeicher eingegangen.

3. Vier aktuelle (Mehrzweck-) Speicherprojekte

3.1 Speichersee Trift

Aufgrund des durch den Klimawandel bedingten Rückzugs des Triftgletschers im Berner Oberland wurde eine Gelän-

demulde freigelegt, in der sich ein Gletschersee bildete. Die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) hat ein Projekt erarbeitet, das an dieser Stelle einen Stausee und in der «unteren Trift» ein Kraftwerk vorsieht. Der Stausee würde über ein Stauvolumen von 85 Mio. m^3 verfügen, eine Leistung von 80 Megawatt und eine jährlich produzierte Energiemenge von 145 Gigawattstunden umfassen. Die KWO erarbeiteten das Projekt von 2012 bis 2017 in enger Zusammenarbeit mit einer Begleitgruppe, in der Umweltverbände, kantonale Ämter, Politiker, Tourismusvertreter und die Bevölkerung der Region teilnehmen konnten. Geleitet wurde die Begleitgruppe von der Regierungsrätin des Kantons Bern, *Barbara Egger*. Das Konzessionsgesuch wurde im November 2017 eingereicht. Parallel zum Begleitgruppenprozess gab die kantonale Verwaltung des Kantons Bern eine Studie in Auftrag, welche die Möglichkeiten und Grenzen der Bewirtschaftung der Speicherseen im Oberhasli als Mehrzweckspeicher erarbeitete (*geo7 AG,* 2017). Die Ergebnisse sollen als Diskussionsgrundlage im Regierungsrat und eventuell auch im Grossen Rat dienen. Die Studie behandelt neben der Energieerzeugung die Nutzungen für Hochwasserschutz und den Ausgleich von Trockenheiten im Zusammenhang mit dem Klimawandel. Die Analysen berücksichtigen, dass das Ziel der KWO die Stromproduktion ist, sollen aber Handlungsoptionen für den Kanton aufzeigen.

Die Studie kommt zum Schluss, dass «die Speicherseen (der KWO) das Potenzial [hätten], einen Teil der Funktion der Schnee- und Gletscherspeicher, die als Folge des Klimawandels teilweise oder ganz wegfallen wird, zu übernehmen, indem sie das anfallende Wasser verzögert und gezielt an die Unterlieger abgeben können. Mit einer Fokussierung auf diese Funktion würde jedoch die wichtige Aufgabe bei der Netzstabilisierung und generell eine wirtschaftliche Stromproduktion in Frage gestellt.» In Bezug auf Hochwasserschutz wird festgestellt, dass die Speicherseen im Oberhasli einen «wesentlichen Beitrag zur Reduktion der Überflutungsgefährdung im Gebiet zwischen Meiringen und Brienzersee» leisten. «Eine Vergrösserung des freien Speichervolumens in den Speicherseen des Grimselgebietes bringt keine weitere Reduktion der Hochwassergefährdung. Mit dem Bau des Triftsees könnte jedoch eine weitere Verbesserung im Hochwasserschutz bis Brienzwiler erreicht werden, da bisher im Hochwasserfall im Sustengebiet kein substanzieller Wasserrückhalt möglich ist.»

Die Gebiete des Kantons Bern, die von Trockenheit besonders betroffen sind, liegen «zu weit von den Speicherbecken der KWO entfernt [...], als dass sie einen massgebenden Beitrag zum Trockenheitsmanagement leisten könnten. Ein gewisser Beitrag ist allenfalls im Gebiet zwischen Meiringen und Brienzersee möglich [...]. Doch gibt es hier, wie auch in den unterliegenden Gebieten, effiziente Massnahmen, um die Trockenheitsproblematik abzupuffern.» Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass der Brienzer- und Thunersee eine wesentlich bedeutendere Wirkung auf Hochwasserschutz und Trockenheit unterhalb des Thunersees haben als die Speicherseen der KWO.

3.2 Hochwasserschutz an Sihl, Zürichsee und Limmat

In der Schweiz konnten in den letzten 30 Jahren auffällig viele Extremwetterlagen und Hochwasser beobachtet werden. Man geht aufgrund des Klimawandels davon aus, dass diese noch häufiger und intensiver auftreten werden. Somit ist auch die Wahrscheinlichkeit eines Extremhochwassers erhöht. Ein Teil des Stadtgebiets von Zürich und des Limmattals liegt auf dem Schwemmkegel der Sihl, einem natürlichen Überschwemmungsgebiet. 2005 entging die Stadt Zürich nur knapp grossen Hochwasserschäden, da das damalige Niederschlagszentrum über dem Berner Oberland und nicht über dem Einzugsgebiet der Sihl lag. Aufgrund dieses Ereignisses hat der Kanton Zürich den Hochwasserschutz zunehmend verbessert. Ausserdem wurden in einem breit abgestützten Planungsprozess «Hochwasserschutz Sihl, Zürichsee, Limmat» zwischen 2009 und 2017 mögliche langfristige Lösung erarbeitet (*AWEL,* 2015). Dabei entstanden 35 Lösungsansätze, die an mehreren Workshops mit Experten und einer breit abgestützten Begleitgruppe diskutiert und zu fünf Varianten kombiniert wurden. Im weiteren Verlauf des Prozesses ergaben sich daraus zwei Konzepte für den langfristigen Hochwasserschutz: (1) «Kombilösung Energie»: Erneu-

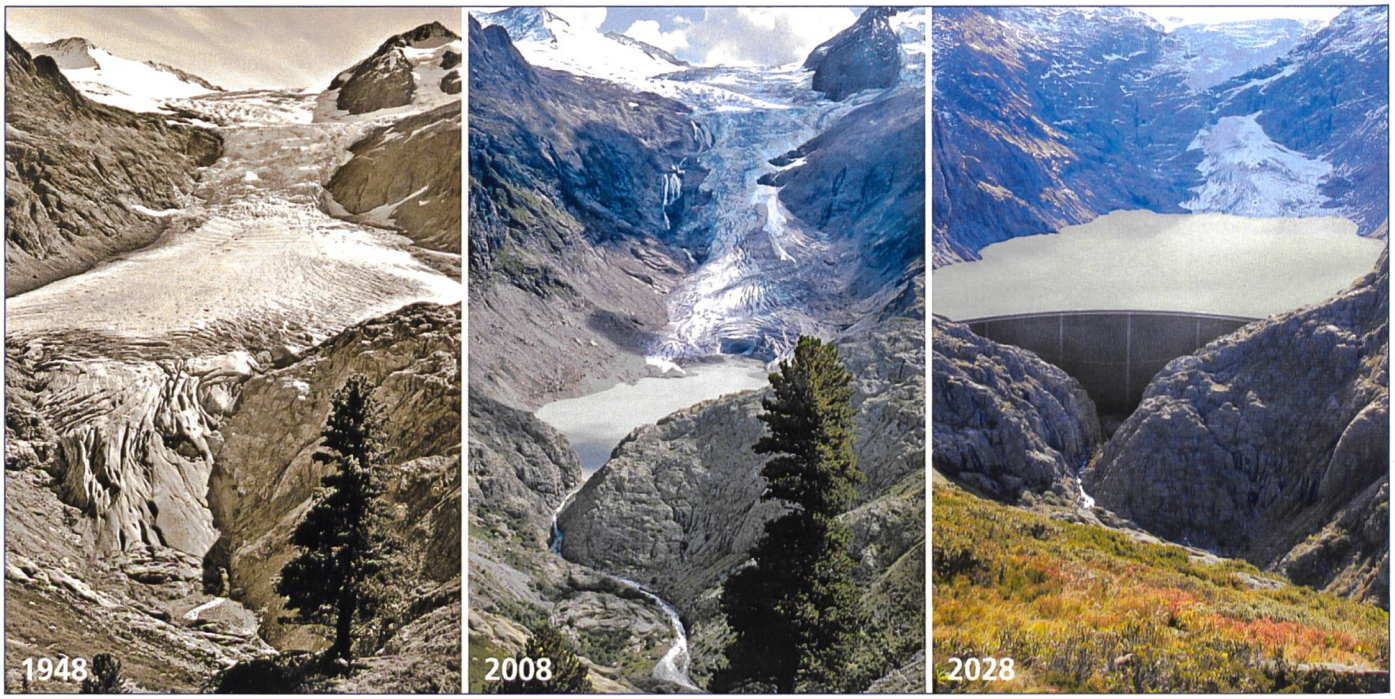

Bild 3. Geplanter Speichersee und Kraftwerk Trift (Kanton Bern), (Quelle: Kraftwerke Oberhasli AG).

erung Etzel-Pumpspeicherkraftwerk der SBB mit Energieerzeugung und Hochwasserableitung vom Sihlsee via Druckstollen in den oberen Zürichsee und (2) Entlastungsstollen zur Hochwasserableitung von der Sihl oberhalb von Langnau am Albis in den Zürichsee bei Thalwil.

Bei Konzept (1), «Kombilösung Energie», würde der Sihlsee als Mehrzweckspeicher verwendet und das Kraftwerk mit dem Wasserweg noch weiter ausgebaut werden. Der Sihlsee entstand durch die Flutung des Tals im Jahr 1937 mit dem Zweck der Energieerzeugung und ist der grösste Stausee der Schweiz. Mittlerweile ist er ein Mehrzweckspeicher, da er neben der Wasserkraftnutzung und Pumpspeicherung auch für den Tourismus (Boote, Segeln, Schwimmen, Schifffahrten usw.) genutzt wird, zum Landschaftsbild der Region gehört und der See als Retentionsbecken dem Hochwasserschutz des Sihltals und der Stadt Zürich dient.

Die beiden erarbeiteten Konzepte wurden von Fachleuten bezüglich Funktionsgrad, Wirkung (Risikominderung), Wirtschaftlichkeit, Einsatzzeitpunkt, (politische) Umsetzbarkeit und ökologische Auswirkungen auf die Sihl sowie auf den Sihl- und Zürichsee beurteilt. Hierbei schnitt Konzept (2) «Entlastungsstollen Thalwil» besser ab, weshalb im Oktober 2017 der Zürcher Regierungsrat den Konzeptentscheid zugunsten dieser Lösung fällte (*AWEL,* 2017). Bei dieser Gesamtbeurteilung standen Gründe auf zwei verschiedenen Ebenen im Vordergrund: Einerseits eher technischer Art, da der Entlastungsstollen einen höheren Funktionsgrad und ein besseres Kosten/Nutzen-Verhältnis aufweist, andererseits eher politische Gründe, da eine Abhängigkeit vom Terminplan der Neukonzessionierung (lange und diverse Verhandlungs- und Entscheidungswege) besteht und anschliessend zwischen Konzessionsgebern, Kanton Zürich und Betreiber des Etzelwerks komplexe Verträge nötig wären, die die jeweiligen Verantwortlichkeiten der verschiedenen Akteure regeln. Beispielsweise müsste festgelegt werden, wenn bei einem prognostizierten Hochwasserfall, bei dem auf Anweisung des Kantons Zürich der Sihlsee vorab gesenkt wird, aber kein Hochwasser eintritt und der Kanton Zürich das Etzelwerk für die entgangene Energiegewinnung entschädigt, wer den Kantonen Schwyz und Zug den entgangenen Wasserzins zahlt. An diesem Beispiel wird die komplexe Situation zwischen dem nationalen Kraftwerksbetreiber SBB, dem für den Hochwasserschutz Zürich verantwortlichen Kanton Zürich, den Wasserzins erhaltenden Kantonen Schwyz und Zug und den Konzessionsgebern der Kantone Zug, Schwyz und Zürich, Bezirke Einsiedeln und Höfe, deutlich.

3.3 Bewässerungsprojekt Furttal

Die Landwirtschaft im Furttal benötigt wegen Spezialkulturen (v. a. Gemüse) im Freiland und in Gewächshäusern oder aufgrund von Abnehmerverträgen im Fall von Vertragsanbau für Konservengemüse Bewässerungswasser (Müller Ingenieure AG, 2017). Dieses wird derzeit hauptsächlich aus dem Furtbach und seinen Seitenbächen entnommen. Dazu bestehen 12 Konzessionen für eine mögliche Nutzung von insgesamt ca. 7500 l/min. Auch der Golfplatz Otelfingen besitzt eine Konzession. Ausserdem wird an einigen Stellen auch das oberflächennahe Grundwasser (1870 l/min) sowie Quellwasser aus den Talflanken (160 l/min) für Bewässerungszwecke genutzt (*Baudirektion Kanton Zürich,* 2008). Das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) möchte die vorhandenen Konzessionen im Furttal neu regeln, aus qualitativen sowie aus quantitativen Gründen, da insbesondere in trockenen Sommern der Furtbachabfluss auf Werte unter 250 l/s absinkt. Das AWEL möchte daher bei der Erteilung von Konzessionen neben verschiedenen anderen Veränderungen auch eine selbstverantwortliche und optimierte Verteilung des Wasserkontingents durch bzw. auf die Wasserbezüger (z. B. mittels Bewässerungsgenossenschaft) erreichen.

2014 wurde daher die Bewässerungsgenossenschaft Furttal (BGF) gegründet. Diese hat den Zweck, die Erstellung und den Betrieb eines Bewässerungsnetzes, inklusive der dazugehörigen Anlagen wie Pumpwerke, Hochspeicher und Verbindungsleitungen, zu erstellen und zu betreiben, um die landwirtschaftlichen Flächen im Furttal zu bewässern. Ausserdem tritt sie als Konzessionsnehmerin auf und verwaltet alle vom AWEL erteilten Konzessionen zur Nutzung von Bewässerungswasser im Perimeter (*Müller Ingenieure AG,* 2017). Die Genossenschaft hat zusammen mit dem Amt für Landschaft und Natur (ALN) prüfen lassen, ob Wasser aus der Limmat zu kostendeckenden Preisen zur Bewässerung im Furttal eingesetzt werden kann. Hierbei würde das Wasser aus der Limmat bei Oetwil mit einem Pumpwerk in einen Hochspeicher auf den Hüttikerberg gepumpt und von dort im freien Gefälle ins Bewässerungsnetz eingespeist werden. Der Speicher hat ein Volumen von 500 m^3 und dient als Ausgleichsspeicher zur Stabilisierung des Netzes. Im Rahmen des Projekts wurde auch geprüft, ob das Wasser zusätzlich zur Gewinnung von Energie genutzt werden kann. Die Höhendifferenz erwies sich jedoch als zu gering für eine wirtschaftliche Produktion. Das formelle Bewilligungs-Verfahren ist derzeit im Gange. Es wurde ein Konzessionsantrag gestellt, der die Wasserentnahme aus der Limmat, samt Fassung und Pumpwerk sowie ein Meliorationsverfahren für die Transitleitung von Oetwil a. L. mit Hochspeicher auf dem Hüttikerberg und Hauptleitungen im Furttal beinhaltet.

3.4 Sinfonia d'aua

In Flims existieren zahlreiche Bachläufe und vier verschiedene Grundwassersysteme. Aufgrund der geologischen Verhältnisse hat sich dabei über Jahrtausende ein weitverzweigtes Karstgebiet gebildet. Das Projekt Sinfonia d'aua nutzt diesen Wasserreichtum zur Generierung eines zusammenhängenden künstlichen Wassersystems, welches die gesamte Region umfasst – vom tiefsten Punkt in der Ruinaulta bis zu den Gipfeln des UNESCO-Weltnaturerbes, der «Tektonikarena Sardona». Das Wassersystem besteht aus Wasserfassungen, Quellfassungen, Wasserleitungen, Trinkwasserreservoirs, Speicherseen und Kraftwerken. Durch diese Vernetzung kann das Wasser für folgende Nutzungen verwendet werden: Stromgewinnung, Trinkwasserversorgung, technische Beschneiung, indirekte Speisung des Karstsystems und zur Wärmegewinnung mittels Anergienetz. Dieses System zeichnet sich dadurch aus, dass Wasser multifunktional verwendet wird und dank intelligent konzipierten Wasserfassungen, Verbindungsleitungen und Speichern die Beeinträchtigung der Fliessgewässer und der Stromverbrauch bei der Beschneiung auf ein Minimum reduziert werden kann. Zusätzlich wurde ein Besucherzentrum erstellt, in welchem die Natur im Zusammenhang mit den menschlichen und technischen Einflüssen erklärt und erlebbar wird, weshalb es auch der touristischen bzw. pädagogischen Nutzung für Schulen, Firmen und Verbände dient. Das Projekt Sinfonia d'aua wird stetig erweitert. Aktuell erfolgt die Realisierung eines Anergienetzes, welches die aus dem Karst- und Bachwasser gewonnene thermische Energie für Heiz- und Kühlzwecke im neu entstehenden STENNA-Center und für weitere Grossbezüger in Flims nutzbar macht. Ausserdem ist ein weiterer Mehrzweckspeicher

	Hindernisse für die Umsetzung einer Mehrzweckspeicher-Nutzung	Eigentümerschaft / Konzessionsgeber (lokal/kantonal/national)
Trift	• Natürliche Bedingungen • Priorisierung auf Stromproduktion und Netzstabilität • Wirtschaftlichkeit der Stromproduktion	• Kraftwerke Oberhasli: Kanton Bern Mehrheitsaktionär (kantonal) • Hochwasserschutz: Kanton Bern (kantonal) • Konzessionsgeber: Kanton Bern (kantonal)
Sihlsee	• Natürliche Bedingungen • Abhängigkeit des Kantons Zürich von SBB bei Terminplan Neukonzessionierung, Bauprojekt und Betreiber Etzelwerk • Intensive politische Verhandlungen nötig • Kosten-Nutzen-Verhältnis • Abhängigkeit von Wetterprognosen und menschlichen Entscheiden • Ökologische Nachteile	• Etzelwerk: SBB (national) • Hochwasserschutz für Zürich: Kanton Zürich (kantonal) • Konzessionsgeber: Kantone Zug, Schwyz und Zürich, Bezirke Einsiedeln und Höfe
Furttal	• Natürliche Bedingungen	• Bewässerungsgenossenschaft Furttal (lokal) • Konzessionsgeber: Kanton Zürich (kantonal)
Sinfonia d'aua	Keine Hindernisse Mehrzweck-System-Nutzung	• Flims Electric: Gemeinde Flims (lokal) • Trinkwasser, Beschneiung, thermische Nutzung: lokal • Konzessionsgeber: Gemeinde Flims, Laax, Falera (lokal), Genehmigung durch den Kanton

Tabelle 1. Zusammenfassung der Hindernisse für die Umsetzung einer Mehrzweckspeicher-Nutzung und der Eigentümerschaft/Konzessionsgeber bei den vier Fallstudien.

als Teil des Wassersystems in Planung, der als Ersatzspeicher für die schmelzenden Vorab- und Segnasgletscher und dem Hochwasserschutz dienen soll.

Sinfonia d'aua ist somit kein Beispiel für einen reinen Mehrzweckspeicher, sondern für ein ganzes Mehrzwecksystem. Das Projekt wird von der Flims Electric AG geleitet und entstand in enger Zusammenarbeit mit der Gemeinde Flims und der Weissen Arena Bergbahnen AG.

4. Schlussfolgerungen

Die Fallstudien zeigen, dass verschiedene Hindernisse für die Umsetzung einer Mehrzweckspeicher-Nutzung bestehen (siehe *Tabelle 1*). Teilweise verhindern natürliche Bedingungen die Implementierung eines Mehrzweckspeichers. Beim Trift-Projekt reduziert das verhältnismässig kleine Volumen des geplanten Trift-Speichers (85 Mio. m^3) im Vergleich zum Brienzer- (5200 Mio. m^3) und Thunersee (6500 Mio. m^3) dessen Bedeutung für Hochwasserschutz und als Ausgleich von Trockenzeiten unterhalb der Seen neben der Energieerzeugung.

Der Sihlsee fängt nur Niederschlag aus dem Sihlsee-Einzugsgebiet ab (nicht von Alp und Biber), so dass die dämpfende Wirkung des Sees nicht vollständig zum Tragen kommt. Dem Bewässerungsspeicher im Furttal fehlt eine ausreichende Höhendifferenz, welche die Energieerzeugung erfordert. Aber auch andere Gründe wie eine Priorisierung auf Netzstabilisierung und eine wirtschaftliche Stromgewinnung beim Trift-Projekt oder unerwünschte Abhängigkeiten und komplizierte Verträge zwischen den Kantonen, der SBB und dem Betreiber des Kraftwerkes beim Sihlsee sind Hindernisse. Auch intensive und lang dauernde politische Verhandlungen, die Abhängigkeit von Wetterprognosen und ökologische Nachteile werden beim Sihlsee als Hindernisse genannt (*AWEL*, 2017b).

Ein weiterer Aspekt, der bei der Umsetzung verschiedener Nutzungen förderlich bzw. hinderlich sein kann, ist der Grad der Übereinstimmung der Akteure, die an den verschiedenen Nutzungen Interesse haben, und den Konzessionsgebern (siehe *Tabelle 1*). Beim Trift-Projekt ist der Kanton Bern gleichzeitig Hauptaktionär des Kraftwerk-Unternehmens, Verantwortlicher für den Hochwasserschutz sowie Konzessionsgeber. Beim Sihlsee haben mehrere Akteure auf unterschiedlichen Ebenen, national, kantonal und regional, Nutzungsinteressen, die gegenseitige Abhängigkeiten vermeiden wollen. Die Konzession erteilen drei Kantone und zwei Bezirke. An den Projekten im Furttal sowie in Flims beteiligen sich dagegen nur lokale Akteure, die bereits in anderen Vorhaben zusammengearbeitet haben und gemeinsame Lösungen als Win-win-Situation wahrnehmen. Im Furttal erteilt der Kanton Zürich, welcher zur Entlastung des Furtbachs grosses Interesse an dem Projekt hat, die Konzession. Die Sinfonia d'aua basiert auf einer Zusammenarbeit der Gemeinde Flims als 100 %iger Aktionär von Flims Electric und der Finanz Infra AG, einer Gesellschaft, welche zur Erstellung und Finanzierung der Grundinfrastruktur für Skipisten und Beschneiungsanlagen von den Gemeinden Flims, Laax, Falera gemeinsam mit der Weissen Arena AG gegründet wurde. Die Konzessionen liegen in der Kompetenz der Gemeinden mit Genehmigung durch den Kanton.

5. Fazit

Die dargestellten Ergebnisse zeigen Chancen, aber auch Herausforderungen von Mehrzweckspeichern auf. Diese unterscheiden sich nach ihrer geografischen Lage (alpine Gebiete oder Mittelland) sowie dem regionalen Wasserdargebot und den vorhandenen Nutzungsbedürfnissen. Ob ein Mehrzweckspeicher für eine Region die richtige Lösung ist, muss im Einzelfall geprüft werden. Die dargestellten Chancen und positiven Nebeneffekte zeigen jedoch, dass bei der Planung eines Speichers eine mögliche Mehrfachnutzung auf jeden Fall miteinbezogen werden sollte. Dies kann positive wirtschaftliche (z. B. Finanzierung breiter abgestützt), ökologische (z. B. weniger Landverbrauch für Infrastrukturen) und auch gesellschaftliche (z. B. verbesserte regionale Zusammenarbeit) Auswirkungen für alle Beteiligten haben.

Eine Herausforderung von Mehrzweckspeichern stellen die verschiedenen Nutzungen mit Zielen auf verschiedenen Ebenen dar. Während Wasserkraft unter anderem der Mitigation des Klimawandels dient und ein globales Ziel mit globalen Auswirkungen verfolgt, stellen die übrigen Nutzungen Anpassungsmassnahmen dar, von denen vorwiegend die Region profitiert, in der sich der Speicher befindet. Der Ausgleich der Interessen von solch unterschiedlichen Ebenen bezüglich der Zielerreichung sowie der Betroffenheit der Beteiligten ist teilweise schwer erreichbar, da somit auch unterschiedlichste Akteure an der Projektgestaltung, den Bewilligungsverfahren und dem Betrieb von Speichern beteiligt sind.

Die dargestellten Fallstudien zeigen jedoch auch, dass eine sinnvolle Lösung verschiedener Wassernutzungen von den regionalen Verhältnissen und natürlichen Bedingungen abhängt. Die opti-

male Lösung ist nicht in jedem Fall zwingend ein Mehrzweckspeicher, sondern in erster Linie sind intelligente Lösungen im Zusammenspiel des vernetzten Wassersystems zu suchen. Solche Systeme beinhalten natürliche Wasservorkommen wie Seen, Flüsse und Grundwasser in Verbindung mit künstlichen Infrastrukturen wie Wasserfassungen, Verbindungsleitungen und Speichern sowie andere Infrastrukturen wie Stromnetze und Zufahrtsstrassen. Dadurch kann auch die Beeinträchtigung der Fliessgewässer auf ein Minimum reduziert werden. Gleichzeitig sollten gegenseitige Abhängigkeiten der Nutzenden trotz schwieriger Verfahrensprozesse nicht als Hindernis, sondern als Gewinn einer sinn- und wertvollen Zusammenarbeit wahrgenommen und als eine solche auch zusammen gestaltet werden. Hierfür benötigt es Zeit, gegenseitiges Verständnis und Geduld, Kompromissbereitschaft und den Willen, eine gemeinsame Lösung zu finden.

Erst mit einer konstruktiven Zusammenarbeit, einer gemeinsamen Planung und intelligenten Vernetzung der Wassersysteme lassen sich nachhaltige und wirkungsvolle Mehrzwecknutzungen für unterschiedliche Bedürfnisse und auch künftige Generationen realisieren.

Das Projekt des Oeschger Centers untersucht daher Governance-Modelle, die sich an neue Bedingungen des Klimawandels besser anpassen können. Hierbei werden auch bestehende Machtpositionen im Wassermanagement hinterfragt und Mechanismen aufgezeigt, die zu (nicht) nachhaltigen Nutzungen führen. Zukünftig wird eine integrierte Governance von Wasser und anderen betroffenen Ressourcen benötigt, die es erlaubt, verschiedene, teilweise konkurrenzierende Nutzungen miteinander zu koordinieren.

Literatur

AWEL (2015): Hochwasserschutz an Sihl, Zürichsee und Limmat. Synthesebericht der vertieften Untersuchungen. Hg. v. AWEL, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Wasserbau, Sektion Bau. Zürich.

AWEL (2017): Hochwasserschutz an Sihl, Zürichsee und Limmat. Konzeptentscheid «Entlastungsstollen Thalwil». Hg. v. AWEL, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Wasserbau, Sektion Bau. Zürich.

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

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

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

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

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

BG Ingenieure und Berater (2014): Grundlagen für die Wasserversorgung 2025. Risiken, Herausforderungen und Empfehlungen. Hg. v. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern (Umwelt-Wissen Nr. 1404).

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

CH2014-Impacts (2014): Toward quantitative scenarios of climate change impacts in Switzerland. summary. Hg. v. FOEN OCCR und MeteoSwiss, Agroscope, ProClim.

geo7 AG (2017): Multifunktionsspeicher im Oberhasli. Bericht. Hg. v. Amt für Wasser und Abfall (AWA) des Kantons Bern. Bern, Switzerland.

Ho, Michelle, Lall, Upmanu, Allaire, Maura, Devineni, Naresh Kwon, Hyun Han Pal, Indrani et al. (2017): The future role of dams in the United States of America. In: Water Resour. Res. 52 (8), S. 250. DOI: 10.1002/2016WR019905.

Hunziker Betatech AG; INTEGRALIA AG; emac AG; Meylan, B. (2017): Erarbeitung von Massnahmen zur langfristigen Sicherstellung der Wasserressourcen. Ein Vorgehen, gestützt auf bestehende Planungsinstrumente. Hg. v. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern.

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

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).

Schleiss, Anton (2016): Talsperren und Speicher als lebenswichtige Infrastrukturanlagen für den weltweiten Wohlstand. In: WasserWirtschaft (6), S. 12–15.

SGHL; CHy (2011): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung. Synthesebericht. Nr. 38. Hg. v. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz. Bern.

Teich, M., Lardelli, C., Bebi, P., Gallati, D., Kytzia, S., Pohl, M. et al. (2007): Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneiung. Hg. v. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Birmensdorf.

Thut, Walter K., Weingartner, Rolf, Schädler, Bruno (2016): Zur Bedeutung von Mehrzweckspeichern in der Schweiz. Anpassung an den Klimawandel. In: «Wasser Energie Luft» 108 (3), S. 187–194.

Weingartner, Rolf (2016): Auswirkungen des Klimawandels auf Hydrologie und Wasserwirtschaft im Alpenraum. In: Wasser Energie Luft 108 (4), 273-275.

Perren, Valérie (2012): Schneien auf Knopfdruck? Harte Arbeit und viel Fleiss: ein Blick hinter die Kulissen. Zermatt Inside.

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

Anschrift der Verfasser
Elke Kellner
Universität Bern, Geografisches Institut und Oeschger-Center für Klimaforschung
Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern
elke.kellner@giub.unibe.ch