Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 108 (2016)
Heft: 3

Artikel: Alpine Pumpspeicherung : Quo vadis?
Autor: Björnsen, Astrid / Borsdorf, Axel / Füreder, Leopold
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939524

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

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

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

Download PDF: 10.02.2026

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

Alpine Pumpspeicherung – Quo vadis?

Astrid Björnsen Gurung, Axel Borsdorf, Leopold Füreder, Felix Kienast, Peter Matt, Christoph Scheidegger, Lukas Schmocker, Massimiliano Zappa, Kathrin Volkart

Zusammenfassung

Für die Erreichung ihrer Klima- und Energieziele haben die Alpenländer einen klaren Standortvorteil: Neben dem überdurchschnittlich hohen Potenzial für Wind- und Sonnenenergie profitiert das Wasserschloss Europas von der flexiblen, CO_2-armen Stromproduktion durch Wasserkraft. Zukünftig werden die Wasserspeicher noch weitere Funktionen übernehmen und eine zentrale Rolle spielen, wenn es darum geht, einen flexiblen Ausgleich für die stark schwankende Stromproduktion aus Wind und Sonne zu liefern. Ebenso wichtig ist die umfangreiche Speichermöglichkeit zur Überbrückung tageszeitlicher und saisonaler Engpässe. Damit erneuerbare Energieträger überhaupt genutzt und in das Energiesystem integriert werden können, bedarf es grosskalibriger Speichertechnologien, die derzeit nur in Form von Pumpspeicherwerken (PSW) vorliegen. Trotz dem offensichtlichen Bedarf ist die Diskussion rund um den Ausbau der Wasserkraft, insbesondere auch der PSW, sehr kontrovers. Anhand zweier Alpenländer, der Schweiz und Österreich, diskutiert dieser Beitrag die Wasserkraftnutzung und Energiespeicherung mithilfe eines Systemansatzes, analysiert vorhandene Bewertungssysteme und schält die Aspekte heraus, die in einem neuen Instrument für die Nachhaltigkeitsbewertung für PSW integriert werden müssen. Zukünftige Instrumente sollen des Weiteren als Grundlage dienen, um mit unterschiedlichen Interessengruppen ins Gespräch zu kommen und damit die gesellschaftliche Akzeptanz zu erhöhen.

1. Die Energiewende in den Alpen

Eigentlich scheint man sich einig: Der Klimaschutz, die zunehmende Verknappung fossiler Energieträger sowie die Abkehr von der Atomenergie machen einen radikalen Umbau des heutigen Energiesystems unumgänglich. Dieser Umbau ist nicht bloss eine Option, sondern eine zwingende Notwendigkeit. Konkret handelt es sich dabei um Richtlinien und Strukturanpassungen zur Dekarbonisierung der Wirtschaft, welche von Frankreich, Deutschland und dem Vereinigten Königreich als erste europäische Länder umgesetzt wurden. Österreich und die Schweiz folgten später. Mit der «Energiestrategie Österreich» (BMWFJ und BMLFUW 2010) hält sich unser Nachbarstaat an die für 2020 gesteckten Zielvorgaben der Europäischen Energie- und Klimapolitik (European Parliament 2008). Der Schweizerische Bundesrat und das Parlament sprachen sich 2011 für den Ausstieg aus der Kernenergie aus und verabschiedeten zwei Jahre später das erste Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 (Bundesrat 2013). Obwohl man sich über die Dringlichkeit der Klima- und Energiefrage weitgehend einig ist, streiten sich Akteure aus Politik und Gesellschaft über den geeigneten Pfad und das Tempo der sogenannten «Energiewende». Obwohl die erneuerbaren Energien grundsätzlich positiv wahrgenommen werden, bleibt die Wasserkraft, einschliesslich der Pumpspeicherwerke (PSW), ein umstrittenes Thema.

Was die Produktion und Speicherung von erneuerbarer Energie betrifft, haben die Alpenländer einen klaren Standortvorteil. Ihre Reservoire und Wasserkraftanlagen stellen einen höchst flexiblen Baustein in der sich stark veränderten Energielandschaft zur Verfügung: Ist die Nachfrage gross, können die Anlagen fast augenblicklich Elektrizität ins Netz liefern. Sinkt die Nachfrage, wird die Produktion eingestellt und überschüssige Energie kann von PSW absorbiert und zwischengespeichert werden. Gegenwärtig stellen Wasserkraftanlagen die einzige Speichertechnologie dar, die nicht nur mit den starken Produktionsschwankungen von Wind- und Sonne, sondern auch mit den jahreszeitlichen Fluktuationen in der Energienachfrage umgehen kann. Wie in den windreichen Ländern Irland, Portugal und dem Vereinigten Königreich bereits zu beobachten ist, werden mit dem Ausbau der Erneuerbaren europäische PSW an Bedeutung gewinnen. Werden zudem immer mehr Kernkraftwerke stillgelegt, wird sich das neue Energiesystem umso stärker auf die regulierende Leistung von PSW verlassen müssen (*Hildmann et al* 2014).

Mit solchen Aussichten müssten PSW für Investoren eine höchst attraktive Option darstellen. In Wirklichkeit scheuen sich aktuell Wasserkraftunternehmen vor weiteren Investitionen wegen Unsicherheiten bezüglich Strommarktliberalisierung, Netznutzungsgebühren, Auswirkungen von Subventionen auf den Strommarkt und, im Fall der Schweiz, wegen ungünstiger Wechselkurse (*BFE* 2013a; *Österreichs Energie,* 2015).

Seit einigen Jahren kämpfen die Betreiber von Wasserkraftanlagen zudem mit fallenden Strompreisen, die mitunter durch den Überschuss von billigem Strom aus Wind und Sonne, aber auch aus Braunkohle verursacht wurden. Auslöser für die zugrunde liegende Überschussproduktion waren die massive Entwertung der CO_2-Zertifikate und die starke Subventionierung der neuen Erneuerbaren. Darüber hinaus können auch die Auswirkungen des Klimawandels auf die zukünftige Wasserverfügbarkeit den Anreiz für weitere Investitionen mindern. Wie es mit der Pumpspeicherkraft weitergeht, hängt stark von der konkreten Umsetzung der Energiewende auf nationaler Ebene, aber auch von der Akzeptanz in der Bevölkerung ab, welche Vorhaben beschleunigen, aber auch vollständig verhindern kann. Daher ist der Dialog mit der Öffentlichkeit, in welchem Kosten und Nutzen von verschiedenen Lösungen aufgezeigt werden, umso wichtiger.

Vor dem Hintergrund der Energiewende bildet dieser Artikel eine mögliche Basis für die Meinungs- und Konsensbildung bezüglich Wasserkraft im Alpenraum. Ausgehend von bereits vorhandenen Instrumenten zur Nachhaltigkeitsbewertung von Kraftwerken, analysiert die vorliegende Arbeit die Auswirkungen des «Systems Pumpspeicherkraft» auf Umwelt, Wirtschaft, Gesellschaft und Landschaft und

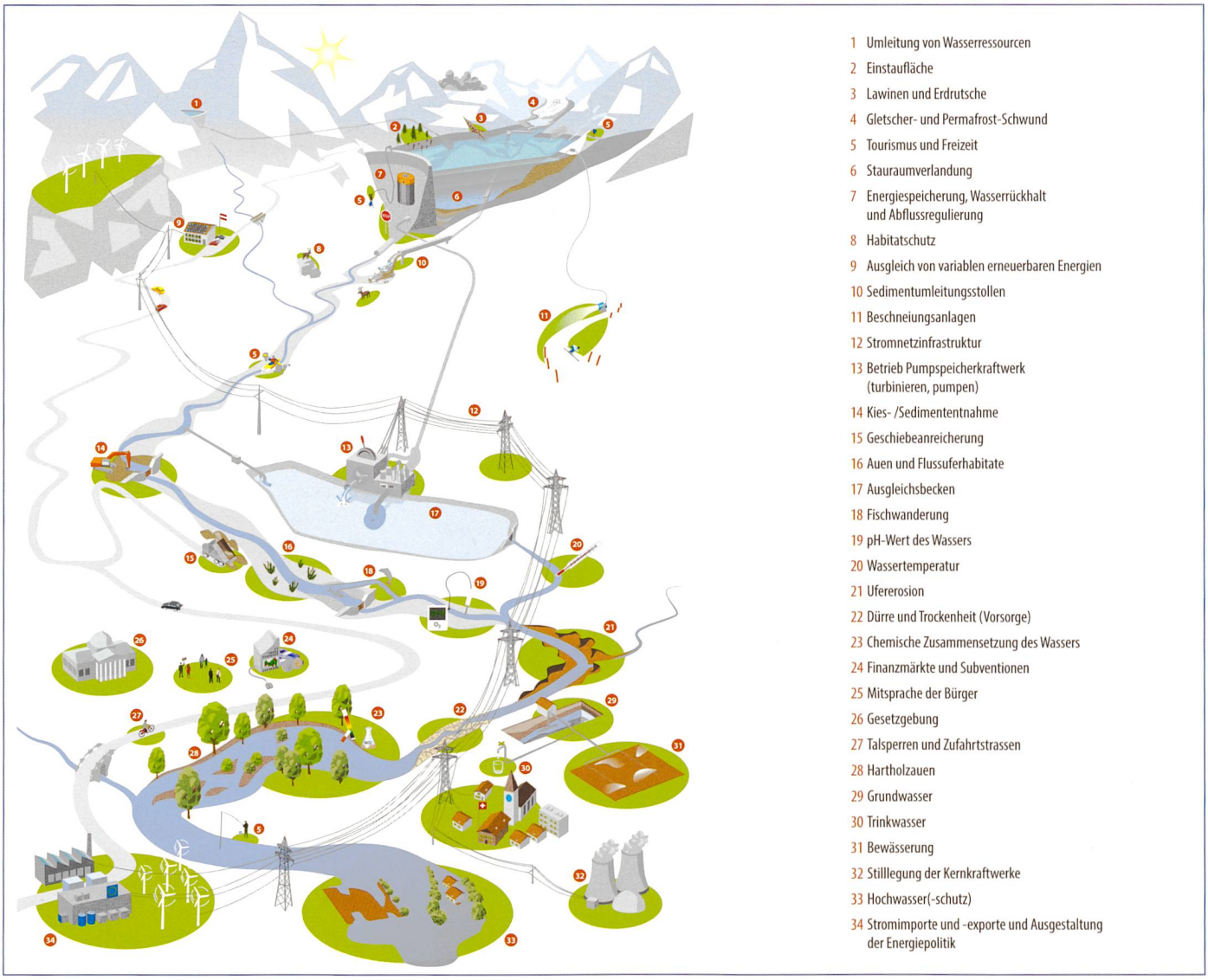


Bild 1. Wechselwirkungen der Pumpspeicherkraft mit Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft (Grafik von Valentin Rüegg und Astrid Björnsen Gurung mit Beiträgen der Workshop-Teilnehmer).

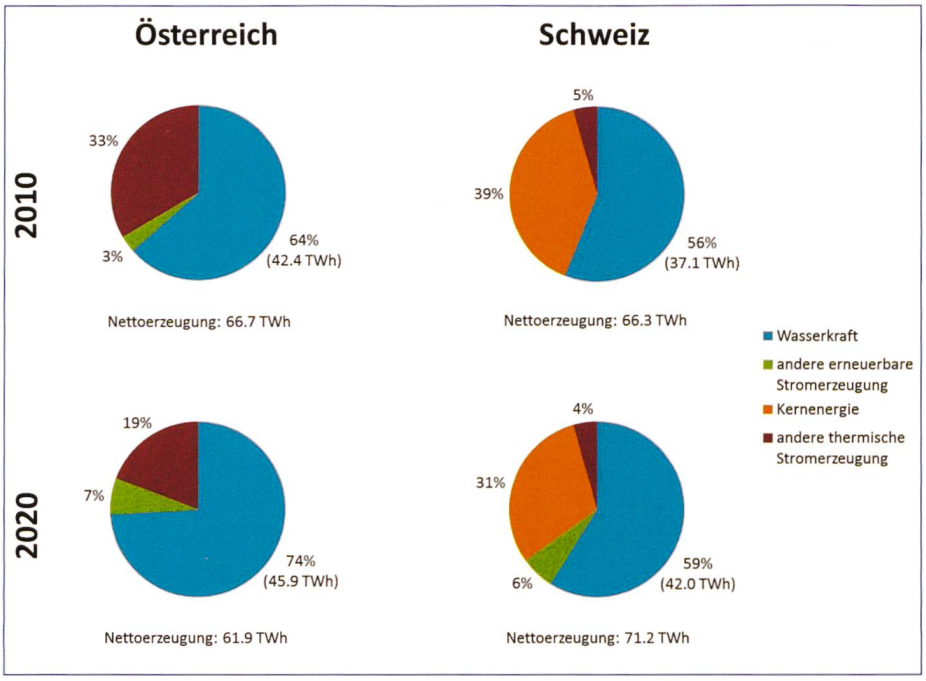


Bild 2. Jährliche Netto-Stromerzeugung in der Schweiz und in Österreich für das Jahr 2010 mit einem Szenario für 2020. (Quellen: BFE 2011; BMWFJ 2010; BFE 2013b Szenario POM/Fossil-zentralisiert und erneuerbare Energie C&E).

legt ein besonderes Augenmerk auf die Ressourcenverfügbarkeit *(Bild 1)*. Dabei greift sie auf die Expertise von Forschenden und Praxisvertretern zurück, die sich im Februar 2015 am Workshop «Nachhaltigkeitsbewertung von PSW in der Schweiz und Österreich» in Bregenz eingebracht haben. Der Anlass wurde durch das WSL-Eawag-Forschungsprogramm «Energy Change Impact» angestossen und in Partnerschaft mit der Schweizerisch-Österreichischen Allianz für Gebirgsforschung, dem SCCER Supply of Electricity und den Vorarlberger Kraftwerken AG organisiert. Das Treffen hatte zum Ziel, Ideen für eine kluge Nachrüstung bestehender Bewertungsinstrumente für das «System Pumpspeicherkraft» zusammenzutragen.

2. Pumpspeicherkraft in Österreich und in der Schweiz

Die Schweiz wie auch Österreich haben sich für eine Energiewende ausgesprochen. Die beiden Nachbarländer haben

viele Gemeinsamkeiten: die hohe Wirtschaftskraft und Technologieentwicklung, die Topographie und die damit verbundene Wasserverfügbarkeit und eine ähnlich hohe Stromproduktion. Beide Länder wollen den Anteil der Erneuerbaren in der nahen Zukunft stark erhöhen (BMWFJ und BMLFUW 2010; BFE 2013b; Bundesrat 2013). Im Strommix unterscheiden sie sich aber wesentlich *(Bild 2)*: Österreichs Strom stammt zu 64 % aus Wasserkraft, ein Anteil, der auf 74 % ansteigen soll. Mit einem Drittel anderer thermischer Stromerzeugung ist der verbleibende Beitrag der Erneuerbaren sehr gering. In der Schweiz hat der Entscheid zum Ausstieg aus der Kernenergie bis 2034 der Energiewende Auftrieb verliehen. Gegenwärtig trägt die Kernkraft rund zwei Fünftel zur Stromproduktion bei. Die Wasserkraft liefert gut die Hälfte, ein Anteil, der sich gemäss Energiestrategie 2050 mittels neuer Anlagen und Verbesserungen an bestehenden Infrastrukturen geringfügig erhöhen dürfte (Bundesrat 2013). Dazu beitragen sollen neue PSW (z. B. Grimsel 3, Etzelwerk), die die 19 bestehenden Anlagen mit einer Gesamtkapazität von 1383 MW ergänzen sollen (*BFE* 2015). Drei davon (Linth-Limmern, Nant de Drance, und PSHP Veytaux FMHL+) sollen 2017 ans Netz gehen (*Piot* 2014).

Für die Schweiz und Österreich sind der Neubau von PSW und die Vergrösserung der Speicherkapazitäten für eine erfolgreiche Energiewende zwingend notwendig, stellen sie doch die einzige, grossskalige Speichermöglichkeit für tages- und jahreszeitliche Produktionsschwankungen dar (*Österreichs E-Wirtschaft* 2013; *Hildmann et al* 2014; *BSMWMET* 2015). Dennoch fliessen immer weniger Gelder in den Wasserkraftsektor und Ausbaupläne geraten ins Stocken *(Tabelle 1)*. Das ungünstige Marktumfeld, insbesondere die Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Differenz zwischen den Stromverkaufspreisen und den Pumpkosten sowie die politischen Entscheidungen zum Thema Netznutzungsgebühr für PSW führte zum Aufschub mehrerer Bauvorhaben in den beiden Nachbarstaaten.

Lange vor der Energiewende schöpften die Betreiber von PSW hohe Gewinne ab, indem sie über Mittag teuren Strom verkauften und nachts mit Billigstrom ihre Reservoirs wieder füllten, so das gängige Geschäftsmodell. Inzwischen hat sich das Blatt gewendet: Der überschüssige Strom aus subventionierten neuen Erneuerbaren drückt tagsüber die Elektrizitätspreise. Pumpspeicher dienen heute vornehmlich der Regulierung der Netzspannung. Gemäss verschiedener Modellrechnungen reicht der gegenwärtige Umfang dieser flexiblen Stromproduktion für die Schweiz und Österreich aus, um die zusätzliche Einspeisung aus erneuerbaren Energiequellen ins Netz bis Mitte Jahrhundert zu regulieren. Danach, je nach Szenario, sind zusätzliche Speicher-

Pumpspeicherkraftwerke > 50MW	Derzeitige Produktionskapazität MW	Im Bau MW	In Planung MW
Österreich	3700	400	2000-3000
Schweiz	1400	2100	1500
Deutschland	6500	-	-

Tabelle 1. Gegenwärtige und zukünftige Kapazität von PSW >50 MW in Österreich, der Schweiz und in Deutschland (Quellen: Schweiz: BFE 2015, Piot 2014; Österreich und Deutschland: Datenzusammenstellung von Pumpspeicherbetreibern durch Markus Aufleger, Innsbruck Universität, Österreich).

Werkzeug	Kriterien und Zweck	Berücksichtigte Aspekte	Einschränkungen
Nachhaltigkeitsrichtlinien der International Hydropower Association IHA	24 Kriterien zur Erstellung von Nachhaltigkeitsprofilen für Wasserkraftprojekte Deckt die 4 wichtigsten Phasen von Wasserkraftprojekten ab: • Anfangsstadium • Vorbereitung • Umsetzung • Betrieb	• Technologie • Umwelt • Gesellschaft • Wirtschaft und Finanzen	• Kein Standard; kein Ersatz für nationale oder lokale Regulierungsanforderungen • Keine Gesamtbewertung • Raumplanung nicht berücksichtigt
Österreichischer Wasserkatalog	16 Bewertungskriterien für die Nachhaltigkeit von Wasserkraftprojekten	• Energiewirtschaft • Umwelt • Weitere spezifische Wasserkraftthemen	• Keine Gesamtbewertung • Nicht rechtsverbindlich • Sozioökonomische Aspekte nicht berücksichtigt
Wasserkraft in Tirol - Kriterienkatalog	46 strategische Bewertungskriterien für den Ausbau der Tiroler Wasserkraft	• Energiewirtschaft • Raumplanung • Ökologie • Naturschutz • Weitere spezifische Wasserkraftthemen	• Keine Gesamtbewertung • Nicht rechtsverbindlich • Soziale Aspekte nicht berücksichtigt

Tabelle 2. Bewertungsinstrumente für Wasserkraftprojekte (Quellen: IHA 2011; Tiroler Landesregierung 2011; BMLFUW 2012).

Tool	Kriterien und Zweck	Berücksichtigte Aspekte	Schwächen
Umweltverträglichkeitsprüfung UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung für Grossprojekte sowie Zu- und Umbauten Ausdrückliche Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten Pflichtbestandteil im Prozess der Baugenehmigung	• Luft • Wasser • Boden • Flora und Fauna • Wald • Landschaft • Energie • Lärm • Erschütterungen • Strahlung • Andere Berücksichtigte Aspekte sind abhängig vom Projektumfang	• Mangelnde Klarheit über die Auswirkungen während der frühen Planungsstadien • Fixe Grenzwerte, welche zur Folge haben, dass Projekte trotz beträchtlicher Auswirkungen von der UVP befreit werden
Ökobilanz	Umfassende, ISO-standardisierte Bewertung von Auswirkungen auf die Umwelt und Gesundheit über den gesamten Lebensweg einer Technologie oder eines Prozesses Anzahl untersuchter Kriterien wird durch den Anwender bestimmt Gesamtbewertung von verschiedenen Optionen möglich, aber nicht empfohlen	• Umwelt • Gesundheit • Ressourcen	• Bewertung von alten und zukünftigen Anlagen wegen mangelnder Datengrundlage schwierig • Wirtschaftliche Aspekte nicht berücksichtigt • Energiesystemaspekte nicht berücksichtigt • Unfälle nicht berücksichtigt, nur Normalbetrieb
Multikriterielle Entscheidungsanalyse	Umfassende Nachhaltigkeitsbewertung für Probleme, die zahlreiche Interessensgruppen und Kriterien betreffen Anwender bestimmt die Anzahl untersuchter Kriterien Präferenzen der Beteiligten werden explizit berücksichtigt Gesamtbewertung der verschiedenen Optionen	• Umwelt • Wirtschaft • Gesellschaft	• Subjektive Auswahl von Optionen, Kriterien und Normierungs- und Aggregationsalgorithmen • Explorativer Charakter, keine abschliessenden Antworten

Tabelle 3. Allgemeine Instrumente zur Nachhaltigkeitsbewertung (Quellen: Bauer et al 2012; BAFU 2009; Flury und Frischknecht 2012; UBA 2012; Treyer und Bauer 2013; UNECE 2015).

und/oder Pumpkapazitäten notwendig, um auch die Einbindung in den internationalen Strommarkt sicherzustellen (*Kirchner* 2012; *Zach et al.* 2013; *Hildmann et al.* 2014; *Moser* 2014). Durch die enge Verzahnung von Schweizer und Österreicher PSW mit dem europäischen Strommarkt ist deren Flexibilität wie auch deren Speicherfähigkeit nicht nur regional, sondern auch international bedeutend.

3. Bewertungsinstrumente für PSW

Vor dem Bau eines neuen PSW müssen die möglichen ökologischen und sozialen Auswirkungen sowie die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens geprüft werden. Dazu liegen verschiedene Instrumente vor, entweder zur spezifischen Prüfung von Wasserkraftprojekten *(Tabelle 2)* oder zur Bewertung der Nachhaltigkeit allgemein *(Tabelle 3)*. Will man PSW ebenso bewerten, ergibt sich die Schwierigkeit, dass diese nicht primär der Stromproduktion dienen, sondern der Speicherung und Regulierung. Damit können die Leistung, respektive die Auswirkungen von PSW nicht direkt mit anderen Stromerzeugungsanlagen verglichen werden.

4. Ökologische, wirtschaftliche und soziale Auswirkungen: Ein Systemansatz

4.1 Umweltveränderungen

Die Nachhaltigkeit der Stromerzeugung aus Wasserkraft und der Klimawandel sind eng miteinander verknüpft. Neuste, hochaufgelöste Beurteilungen zu den klimabedingten Auswirkungen auf die natürlichen Abflüsse stützen sich auch auf hydraulische Modelle und detaillierte Betriebspläne von Wasserkraftanlagen, da auch diese ins Gewicht fallen. Einfache Algorithmen ergänzen die Modelle, damit auch Umleitungen von Wasser, die jahreszeitliche Speicherung oder durch die Stromnachfrage bedingter Schwall und Sunk entsprechend abgebildet werden können (*Fatichi et al.* 2015). Und auch umgekehrt: Möchte man den Einfluss eines PSW auf die Gewässer erfassen, bedingt dies den Einbezug von Informationen zur Gletscher- und Schneeschmelze, zum Schwund von Permafrost, zu Abflussregimes und den damit verbundenen Unsicherheiten. Klare Hinweise auf Veränderungen des Wasserhaushalts, die nach 2050 zu erwarten sind, wie ein erhöhter Abfluss im Winter und tiefere Pegelstände im Sommer, liegen bereits vor (*SGHL* and *CHy* 2011; *Addor et al.* 2014). Während Laufwasserkraftwerke vom Klimawandel eher profitieren dürften, müssen alpine Wasserkraftanlagen vor allem mit negativen Auswirkungen rechnen (z. B. *Fatichi et al.* 2015). Der Rückzug der Gletscher setzt vermehrt leicht erodierbare Sedimente frei, die die Stauseen verlanden und entsprechend die Stromproduktion reduzieren (*Boes* und *Hagmann* 2015; *Raymond Pralong et al.* 2015) *(Bild 3)*. Erhöhte Sedimentfrachten beschleunigen den Verschleiss der Turbinen und anderer Hydraulikteile, was Effizienz- und Gewinnverluste zur Folge hat. Potenzielle Lawinenniedergänge, Eisbrüche, Steinschläge oder Erdrutsche in Speicherseen oder neu entstehende Gletscherseen bergen das Risiko von Impuls- und Flutwellen. Davon abgesehen, verschärft sich die Ressourcenkonkurrenz durch den wachsenden Wasserbedarf in Wintertourismusdestinationen (z. B. *Weingartner et al.* 2014).

Wesentlich für die Nachhaltigkeitsbewertung von PSW ist der Faktor Zeit. Modelle und Szenarien zu zukünftigen Umweltveränderungen können Energieversorger darin unterstützen, geeignete Standorte für neue Anlagen zu identifizieren. Während Vorhersagen für den Zeitraum von mehreren Tagen den Betreibern bereits heute eine Optimierung der Wassernutzung erlauben, könnten Prognosen über ein Jahrzehnt eine geeignete Weiterentwicklung von glaziohydrologischen Simulationen sein (*Farinotti et al.* 2012). Technologien zur Verminderung der Stauraumverlandung (z. B. Sedimentumleitstollen oder Spülungen) oder zur Reduktion des Verschleisses an Turbinen werden derzeit intensiv erforscht und im Feld erprobt (z. B. *Boes et al.* 2014). Hier bedarf es neuer technischer wie auch betrieblicher Lösungen, die den Umweltnormen entsprechen und so den nachhaltigen Betrieb gewährleisten, aber gleichfalls die Effizienz und Flexibilität des Anlagenbetriebes erhöhen.

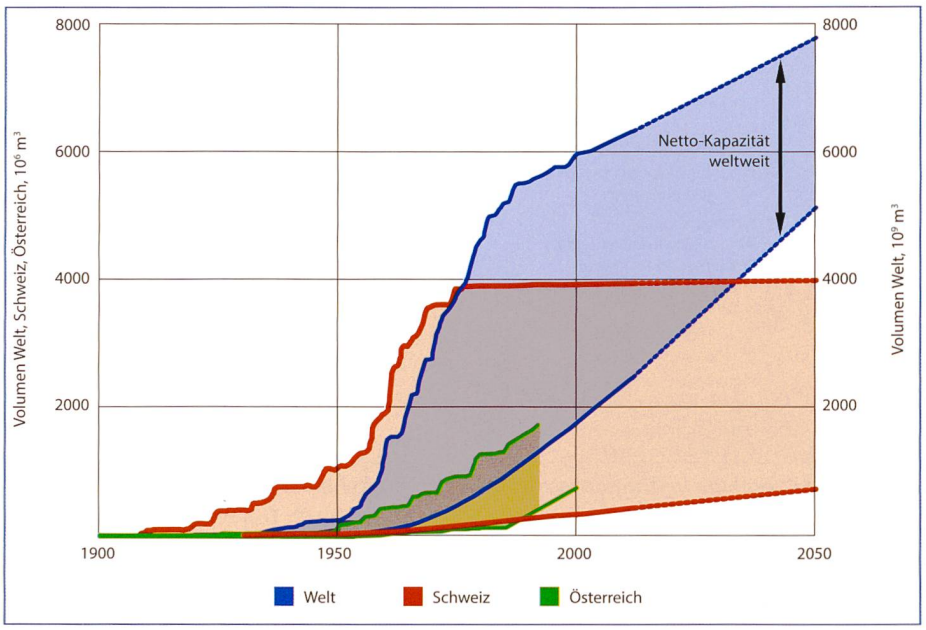


Bild 3. Produktionskapazität der Wasserkraft in der Schweiz, in Österreich und weltweit und die Reduktion durch die Stauraumverlandung. Die obere Linie entspricht jeweils der Kapazität, die untere der Sedimentation (Quelle: Boes und Hagmann 2015:195).

4.2 Umweltauswirkungen

Gebirgsflüsse sind sehr dynamische Ökosysteme, deren Zustand stark von der ökologischen Vernetzung entlang des Flusslaufes, aber auch derjenigen quer und senkrecht zum Flussbett und nicht zuletzt von den natürlichen Abflussschwankungen abhängt. Diese vier Dimensionen sind für die Ausbreitung von Tier-, Pflanzen- und Pilzgemeinschaften in den Alpenflüssen bestimmend.

Heute sind nur noch wenige alpine Fliessstrecken in ihrem natürlichen Zustand. Die meisten sind durch Schwellen, Begradigungen, geringe Restwassermengen oder Sunk und Schwall beeinträchtigt. Ebenso wirken sich Hochwasserschutzmassnahmen, Flussregulierungen, die Landwirtschaft, die Siedlungsentwicklung oder die Bodenversiegelung auf die Gewässer aus. In der Schweiz sind inzwischen fast die Hälfte der Wasserläufe künstlich vertieft, befestigt, gestaut oder begradigt (*Peter et al.* 2005). Die Wasserkraftbauten des letzten Jahrhunderts führten zum Verlust von 70 % aller Auenwälder (*Fischer et al.* 2015). In Österreich wurden 97–99 % aller mäandrierenden und verzweigten Flussläufe in ihrer Hydromorphologie verändert, mit den entsprechenden Auswirkungen auf deren Ökologie (*Muhar et al.* 2000). In Einzugsgebieten von mehr als 10 km² wur-

den insgesamt 32 000 Hindernisse für die Fischwanderung gezählt, wovon 11 % der Wasserkraft zuzuschreiben sind. Schwall und Sunk beeinflussen nur 2.4 % (779 km) des österreichischen Gewässernetzes und sind daher von untergeordneter Bedeutung (*BMLFUW* 2014).

Nicht nur der aquatische Lebensraum ist betroffen. Fehlen die Abflussdynamik und der Geschiebetransport, beeinträchtigt dies auch terrestrische Ökosysteme, die von wiederkehrenden Störungen profitieren. Zu den wichtigsten Auswirkungen von PSW auf die unterliegenden Flusslandschaften gehört der veränderte Geschiebetransport, der Wasserentzug in der Restwasserstrecke sowie Schwall und Sunk.

Die Auswirkungen auf die Ökologie erkennt man anhand von Mustern (z. B. Artenverteilung und -zusammensetzung, Populationsgrössen) oder Prozessen (Populationsdynamik, Wechselwirkungen zwischen Arten und Strukturen, Ökosystemdienstleistungen). Die Vorkommen der Deutschen Tamariske (*Myricaria germanica*), eines auf Kiesbänke spezialisierten Strauches, wurden während der letzten 150 Jahren wegen der veränderten Wasserführung in beiden Ländern dramatisch reduziert. Der Bestand bleibt bedroht (z. B. *Werth* und *Scheidegger* 2014). Im Gegenzug können Stauseen dazu beitragen, den Basisabfluss im Winter oder während Trockenperioden zu erhöhen oder die Hochwassergefahr stromabwärts zu mindern. Künstliche Seen schränken ferner den Transport von Samen ein und damit einhergehend die räumliche Ausbreitung gewisser Pflanzen. Der Abfluss wird heute vornehmlich durch das übergeordnete und stets komplexer werdende Energiesystem gesteuert sowie durch die gesteigerte Turbinenleistung und den Anlagenbetrieb (*Pfaundler* und *Keusen* 2007).

Obwohl zahlreiche ökologische Auswirkungen von Wasserkraftanlagen bekannt sind, fehlen in den gängigen Bewertungsinstrumenten wesentliche Grössen. Die Biodiversität und abiotische Faktoren wie die Wasserqualität und -quantität, die Flussmorphologie, Dämme und die daraus resultierende Fragmentierung aquatischer und terrestrischer Lebensräume werden unzureichend erfasst, ebenso komplexe Wechselwirkungen verschiedenster Faktoren in Flusssystemen. Eine Verträglichkeitsprüfung muss also hydrologische mit ökologischen Aspekten verbinden, wie das *Junker et al.* (2015) für die Klimaauswirkungen auf die Wasserressourcen, die Sedimentfrachten und Fischhabitate gemacht hat. Idealerweise sollten die Wirkungen der Wasserkraft von anderen anthropogenen Belastungen getrennt betrachtet werden.

4.3 Sozioökonomische Auswirkungen

Die Akzeptanz neuer Wasserkraftanlagen hängt von den wirtschaftlichen Vorteilen während der Bau- und Betriebsphase ab. Gemäss *Ribi et al.* (2012) bleiben bei grossen Kraftwerkprojekten lediglich 25 % der Bruttowertschöpfung in der Region. Und doch war es insbesondere die Wasserkraftindustrie, die im letzten Jahrhundert die Entwicklung in entlegenen Alpentälern massgeblich vorangetrieben hat, in dem Arbeitsplätze geschaffen, Zugänge erstellt und erhebliche Geldmittel in Talschaften flossen, in denen alternative Entwicklungsmöglichkeiten sehr beschränkt waren. Die anstehende Energiewende bietet vergleichbare Möglichkeiten für die lokale und regionale Wirtschaft.

Die Auswirkungen der Wasserkraft auf die Wirtschaft und Gesellschaft beschränken sich nicht auf den Ort der Stromproduktion, sondern reichen weit über die Landesgrenzen hinaus. Entsprechend sollten Bewertungsinstrumente für PSW ihren Mehrfachnutzen über weite Distanzen, wie zum Beispiel den Beitrag zur Netzstabilität und damit der Versorgungssicherheit, oder den Hochwasserschutz berücksichtigen. Zudem wird diskutiert, ob Reservoire anstelle der Gletscher zukünftig Trink- und Bewässerungswasser liefern müssen. Solche zahlreicher werdenden Nutzungsansprüche bergen zwar Konfliktpotenzial, deuten aber auch auf das Sektoren übergreifende Interesse an der Ressource Wasser hin (*Weingartner et al.* 2014). Bis anhin gibt es kein Instrument, welches den Wert dieser zusätzlichen Nutzung von Speicherseen gegen die Kosten der Wasserkraft abzuwägen vermag.

Eingebettet im nationalen und internationalen Energiesystem, sind PSW-Betreiber als wichtige Akteure der Energiewende zu betrachten, welche aber zwingendermassen auf den Strommarkt, den Ölpreis und das Marktumfeld, wie zum Beispiel Einspeisevergütungen, reagieren müssen. Zwar haben die Klimaziele und die Endlichkeit fossiler Brennstoffe den Druck auf die Umsetzung der Energieziele massiv erhöht, doch fehlt es auch heute an marktreifen Speichertechnologien, um Strom aus Erneuerbaren im grossen Stil zu integrieren. Vorerst muss die Wende mit bewährten Technologien eingeleitet werden, die heute verfügbar sind. Einzig die PSW leisten diesen Dienst.

4.4 Visuelle Beeinträchtigung

Im Gegensatz zu Wasserkraftanlagen im Unterlauf beeinträchtigen solche im Gebirge relativ kleine Flächen. Die hohen Talsperren in der Schweiz und in Österreich stauen kleinflächig relativ grosse Volumen, welche gut in den Talschaften versteckt sind und die Landschaft kaum beeinträchtigen. Streitigkeiten entstehen vorwiegend in Strassen- oder Siedlungsnähe und in Tourismusregionen, weniger in entlegenen Gebieten. Ob eine Landschaftsveränderung durch eine Anlage akzeptiert wird, hängt mitunter auch davon ab, ob Wasserkraft vom Betrachter als «grüne Energie» wahrgenommen wird. Im Gegensatz zu den neuen Erneuerbaren wird die Wasserkraft nicht uneingeschränkt als geeignetes Mittel für die Energiewende akzeptiert (*Hunziker et al.* 2014). Touristen, welche das Grimselgebiet im Berner Oberland besuchten, gruppierten die Wasserkraft eher mit Gas und Kohle als mit erneuerbaren Energien. Das gilt es ernst zu nehmen, denn Konflikte, die im Zusammenhang mit dem Ausbau der Erneuerbaren entstehen und zur Ablehnung von neuen Projekten führen, könnten das gesamtschweizerische Potenzial für erneuerbare Energien um 20–80 % reduzieren (*Kienast et al.* 2014).

Konnotationsforschung kann helfen, solche Verluste zu verringern. Dazu gehört die Frage, ob eine von Energieanlagen beeinflusste Region als Symbol der Nachhaltigkeit wahrgenommen wird, sozusagen als «Energielandschaft», oder eher als ein dem technischen Fortschritt geopferter Landstrich. Diese Wahrnehmung kann sich ändern, allerdings meist nur über längere Zeiträume. Der Schlüssel für die Akzeptanz neuer Energieinfrastrukturprojekte liegt wohl im frühzeitigen und gut geplanten Einbezug der Bevölkerung (Partizipation). Die gemeinsame Entwicklung von Indikatoren zur Bewertung von landschaftlichen Beeinträchtigungen könnte ein mögliches Werkzeug für die nötige Konsensfindung darstellen.

4.5 Schlussfolgerungen

Der vorliegende Artikel beschäftigte sich mit der Frage, wie eine Systemsicht auf PSW, welche die Auswirkungen auf die Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft transparent macht, die Energiewende unterstützen könnte. Obwohl noch kein endgültiges Bewertungsinstrument vorliegt, hat die Gesamtschau auf die Wasserkraft einige blinde Flecken, Schwachpunkte und Erfordernisse an die Forschung aufgedeckt, welche in der Weiterentwicklung aufgegriffen werden sollten:

- Umweltindikatoren: Biodiversität, Wasserqualität und -quantität, Morphologie und Lebensraumvernetzung entlang von Flussgebieten sollten adäquat bewertet werden.
- Kumulative Effekte: Wie in den Wasserrichtlinien der EU (*WFD* 2012) vermerkt, sind die kumulativen Auswirkungen verschiedener Kraftwerkstypen (z. B. Schwall und Sunk, Geschieberückhalt, Temperaturveränderungen, Hindernisse für die Fortbewegung von Arten) wichtig und sollten in der Bewertung berücksichtigt werden.
- Zeit: Speichervolumen, Naturgefahren und Abflussregimes verändern sich über die Zeit. Ebenso beeinflussen sich wandelnde Managementansätze und Technologien die Energieproduktion, -effizienz, -versorgungssicherheit und die Kosten. Zeit ist damit ein wesentlicher Faktor im Bewertungssystem.
- Wirtschaftliche Vorteile: Der Bau und Betrieb von Kraftwerken ist mit einem finanziellen Nutzen unterschiedlichen Ausmasses für die regionale, nationale und internationale Wirtschaft verbunden. Die Bewertung muss daher den entsprechenden Anteil an der Bruttowertschöpfung explizit und transparent machen.
- Verschiedene Dienste und Wassernutzungen: Neben der Stromproduktion müssen Dienstleistungen zugunsten des Energiesystems bewertet werden, mitunter auch als Beitrag an die 20-20-20-Ziele der europäischen Klimapolitik (*Council of the European Union* 2008). Ebenfalls sollten die zahlreichen und weitreichenden, wirtschaftlichen und sozialen Leistungen, wie z. B. die Prävention von Naturgefahren oder die Wasserversorgung, gegen die lokalen Umweltauswirkungen abgewogen werden.
- Landschaft: Zur Abschätzung des ästhetischen Einflusses von PSW auf die Landschaft eignen sich zwei Methoden: der ökologische Fussabdruck auf Stufe Landschaftsbild, der auch soziokulturelle Informationen beinhaltet, sowie die Analyse der Zahlungsbereitschaft, die Vorlieben oder Abneigungen in der Landschaftsentwicklung sichtbar macht.
- Partizipation: Eine Bewertung muss dazu genutzt werden, die lokale Bevölkerung vor dem Bau und auch während des Betriebs gründlich zu informieren und damit in den Prozess einzubinden.

Um wirklich zu greifen, müsste ein integrales Bewertungssystem mehrere Indikatoren einbeziehen und den Dialog mit der Öffentlichkeit wie auch mit Experten ermöglichen. Auch muss anerkannt werden, dass es keinen absolut richtigen oder falschen Ansatz gibt. Die der Wasserkraft innewohnenden Zielkonflikte und deren Gewichtung wurden mit dem Instrument der multikriteriellen Entscheidungsanalyse bereits erfolgreich erfasst (*Tabelle 3* in diesem Beitrag).

Aufbauend auf der Expertise von Forschenden und Wasserkraftbetreibern mit unterschiedlichen Hintergründen, erfasst die vorliegende Analyse das System der PSW aus einer interdisziplinären Perspektive. Forschung trägt zum Bemühen bei, Managementansätze und Infrastrukturen so zu verbessern, dass damit Natur und Gesellschaft nicht nur geschützt werden, sondern, dass Letztere auch von den neuen Anlagen profitieren können. Für komplexe Systeme wie Wasserkraftanlagen sind Simulationsmodelle und die Generierung von kollektivem Wissen mit Beiträgen von Wissenschaftlern, Betreibern, Behörden und Politikern unerlässlich. Um nun die Auswirkungen der Energiewende zu untersuchen, reicht die Antwort auf die Frage «Was passiert, wenn ...?» nicht aus. Viel eher muss die Forschung der Frage nachgehen: «Was soll passieren?» oder «Wie sollen unsere Energiezukunft und der entsprechende Lebensstil aussehen?». Ein solcher Ansatz erfordert die Fähigkeit, einen gesellschaftlichen Konsens über die Kompromisse zu finden, die wir einzugehen bereit sind, sofern Synergien nicht möglich sind. Ein integriertes Bewertungssystem wäre ein Mittel dazu.

Dank

Der vorliegende Artikel wurde ermöglicht durch die Unterstützung der Schweizerisch-Österreichischen Allianz für Gebirgsforschung, der Eidg. Forschungsanstalt WSL, dem Kompetenzzentrum SCCER-SoE und den Vorarlberger Kraftwerken.

Literatur

Addor N, Rössler O, Köplin N, Huss M, Weingartner R, Seibert J. 2014. Robust changes and sources of uncertainty in the projected hydrological regimes of Swiss catchments. Water Resources Research 50(10):7541–7562.

BAFU [Bundesamt für Umwelt]. 2009. UVP Handbuch. Richtlinie des Bundes für die Umweltverträglichkeitsprüfung. Umwelt-Vollzug Nr. 0923. Bern, Switzerland: BAFU.

Bauer C, Frischknecht R, Eckle P, Flury K, Neal T, Papp K, Schori S, Simons A, Stucki M, Treyer K. 2012. Umweltauswirkungen der Stromerzeugung in der Schweiz. Uster, Switzerland: ESU-services GmbH; Villigen, Switzerland: Paul Scherrer Institut.

BFE [Bundesamt für Energie]. 2011. Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2010. Bern, Switzerland: BFE.

BFE [Bundesamt für Energie]. 2013a. Perspektiven für die Grosswasserkraft in der Schweiz. Bern, Switzerland: BFE.

BFE [Bundesamt für Energie]. 2013b. Energieperspektiven 2050 – Zusammenfassung. Bern, Switzerland: BFE.

BFE [Bundesamt für Energie]. 2015. Statistik der Wasserkraftanlagen 2014. Bern, Switzerland: BFE.

BMLFUW [Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft]. 2012. Österreichischer Wasserkatalog. Wasser Schützen–Wasser nutzen. Kriterien zur Beurteilung einer nachhaltigen Wassernutzung. Vienna, Austria: BMLFUW.

BMLFUW [Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft]. 2014. EU-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG. Österreichischer Bericht der Ist-Bestandsanalyse 2013. Vienna, Austria: BMLFUW.

BMWFJ [Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend], BMLFUW [Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft]. 2010. Energiestrategie Österreich: Massnahmenvorschläge. Vienna, Austria: BMLFUW.

Boes R.M, Auel C, Hagmann M, Albayrak I. 2014. Sediment bypass tunnels to mitigate reservoir sedimentation and restore sediment continuity. In: Schleiss AJ, De Cesare G, Franca MJ, Pfister M, editors. Reservoir Sedimentation. Leiden, Netherlands: CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, pp 221–228.

Boes R., M, Hagmann M. 2015. Sedimentation countermeasures–examples from Switzerland. In: Boes RM, editor. 1st International Workshop on Sediment Bypass Tunnels. Proceedings, VAW-Mitteilungen 232. Zurich, Switzerland: Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology, ETH Zürich, pp 193–210.

BSMWMET [Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie]. 2015. Energiedialog Bayern. Dialogpapiere, Massnahmen und Schlussfolgerungen. Munich, Germany: BSMWMET.

Bundesrat, 2013. Botschaft zum 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050. Bern, Switzerland: Bundesrat.

Council of the European Union. 2008. Energy/Climate Change: Elements of the Final Compromise. Brussels, Belgium: Council of the European Union.

European Parliament, 2008. EP seals Climate Change Package. Brussels: European Parliament.

Farinotti D, Usselmann S, Huss M, Bauder A, Funk M. 2012. The run-off evolution in the Swiss Alps: Projections for selected high-alpine catchments based on ENSEMBLES scenarios. Hydrological Processes 26(13):1909–1924.
Fatichi S, Rimkus S, Burlando P, Bordoy R, Molnar P. 2015. High-resolution distributed analysis of climate and anthropogenic changes on the hydrology of an Alpine catchment. Journal of Hydrology 525:362–382.
Fischer M, Altermatt F, Arlettaz R, Bartha B, Baur B, Bergamini A, Bersier LF, Birrer S, Braunisch V, Dollinger P, Eggenberg S, Gonseth Y, Guisan A, Guntern J, Gutscher H et al. 2015. Zustand der Biodiversität in der Schweiz 2014. Bern, Switzerland: Forum Biodiversität Schweiz.
Flury K, Frischknecht R. 2012. Life Cycle Inventories of Hydroelectric Power Generation. Uster, Switzerland: Öko-Institute.
Hildmann M, Pirker B, Schaffner C, Spreng D, Ulbig A. 2014. Pumpspeicher im Trilateralen Umfeld Deutschland, Österreich und Schweiz. Zürich, Schweiz: Energy Science Center ETH Zürich; Freiburg, Germany: Universität Freiburg.
Hunziker M, Michel A, Buchecker M. 2014. Landschaftsveränderungen durch erneuerbare Energien aus Sicht der Bevölkerung. In: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, editor. Forum für Wissen 2014: Landschaft und Energiewende. Der Einfluss erneuerbarer Energien auf die Landschaft. WSL Berichte 21. Birmensdorf, Schweiz: Forschungsanstalt WSL:43–50.
IHA [International Hydropower Association]. 2011. Hydropower Sustainability Assessment Protocol. London, United Kingdom: IHA.
Junker J, Heimann FUM, Hauer C, Turowski JM, Rickenmann D, Zappa M, Peter A. 2015. Assessing the impact of climate change on brown trout (Salmo trutta fario) recruitment. Hydrobiologia 751:1–21.
Kienast F, Hersperger A, Hergert R, Segura Moran L. 2014. Landschaftskonflikte durch erneuerbare Energien. In: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, editor. Forum für Wissen 2014: Landschaft und Energiewende. Der Einfluss erneuerbarer Energien auf die Landschaft. WSL Berichte 21. Birmensdorf, Schweiz: Forschungsanstalt WSL:69–74.
Kirchner A. 2012. Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000–2050. Ergebnisse der Modellrechnungen für das Energiesystem. Bern, Switzerland: Prognose im Auftrag für das Bundesamt für Energie.
Moser A. 2014. Bewertung des Beitrags von Speichern und Pumpspeichern in der Schweiz, Österreich und Deutschland zur elektrischen Energieversorgung. Wissenschaftliche Studie im Auftrag des österreichischen Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend. Aachen, Germany: Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft.
Muhar S, Schwarz M, Schmutz S, Jungwirth M. 2000. Identification of rivers with high and good habitat quality: Methodological approach and application in Austria. Hydrobiologia 422/423:343–358.
Österreichs Energie, 2015. Verschiebung von Wasserkraftprojekten gefährdet Erneuerbaren-Ziele. Vienna, Austria: Österreichs E-Wirtschaft.
Österreichs E-Wirtschaft, 2013. Energie-Initiative der Alpenländer D–A–CH Deutschland Österreich Schweiz. Vienna, Austria: Österreichs E-Wirtschaft.
Peter A, Kienast F, Woolsey S. 2005. River rehabilitation in Switzerland: Scope, challenges and research. Archiv für Hydrobiologie Supplement 155:643–656.
Pfaundler M, Keusen M. 2007. Veränderungen von Schwall-Sunk. Hydrologische Datenanalyse zur Charakterisierung von Schwall-Sunk-Phänomenen in der Schweiz. «Wasser Energie Luft» 1: 25–30.
Piot M. 2014. Bedeutung der Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke für die Energiestrategie 2050 der Schweiz. «Wasser Energie Luft» 4: 259–265.
Raymond Pralong M, Turowski JM, Rickenmann D, Zappa M. 2015. Climate change impacts on bedload transport in alpine drainage basins with hydropower exploitation. Earth Surface Processes and Landforms 40(12):1587–1599.
Ribi F, Buser B, von Felten N, Walther R, Bernath K. 2012. Regionalökonomische Potenziale und Erfolgsfaktoren für den Aufbau und Betrieb von Energieregionen. Bern, Switzerland: Regiosuisse.
SGHL [Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie], CHy [Hydrologische Kommission], editors. 2011. Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung – Synthesebericht. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz 38. Bern, Switzerland: SGHL and CHy.
Tiroler Landesregierung, 2011. Wasserkraft in Tirol – Kriterienkatalog. Kriterien für die weitere Nutzung der Wasserkraft in Tirol. Version 3.0. Innsbruck, Austria: Tiroler Landesregierung.
Treyer K, Bauer C. 2013. Life cycle inventories of electricity generation and power supply in version 3 of the ecoinvent database – Part I: Electricity generation. International Journal of Life Cycle Assessment.
UBA [Umweltbundesamt]. 2012. UVE-Leitfaden – Eine Information zur Umweltverträglichkeitserklärung. Überarbeitete Fassung 2012. Vienna, Austria: UBA.
UNECE [United Nations Economic Commission for Europe]. 2015. Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context, ESPOO Convention.
WFD [Water Framework Directive]. 2012. Report from the Commission tot he European Parliament and the Council on the Implementation oft he Water Framework Directive (2000/60/EC) River Basin Management Plans. Brussels, Belgium: European Commission.
Weingartner R, Schädler B, Reynard E, Bonriposi M, Graefe O, Herweg K, Homewood C, Huss M, Kauzlaric M, Liniger HP, Rey E, Rist S, Schneider F. 2014. Montanaqua: Wasserbewirtschaftung in Zeiten von Knappheit und globalem Wandel – Wasserbewirtschaftungsoptionen für die Region Crans-Montana-Sierre im Wallis. Research Report of the National Research Program 61 «Sustainable Water Management». Bern, Switzerland: Swiss National Science Foundation.
Werth S, Scheidegger C. 2014. Gene flow within and between catchments in the threatened riparian plant Myricaria germanica. PLoS ONE 9(7): e103669.
Zach K, Auer H, Lettner G, Weiss T. 2013. Abschätzung des zukünftigen Energiespeicherbedarfs in Österreich zur Integration variabler erneuerbarer Stromerzeugung.Wien, Österreich: Energy Economics Group, Technische Universität Wien.

Hinweis

Die englische Originalversion des Beitrags und die vollständige Referenzliste wurde im Mai 2016 unter dem Titel «Rethinking Pumped Storage Hydropower in the European Alps» in der Zeitschrift Mountain Research and Development 36(2) publiziert. DOI: http://dx.doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-15-00069.1

Anschrif der Verfasser

Astrid Björnsen Gurung, Felix Kienast, Christoph Scheidegger, Massimiliano Zappa*
Eidg. Forschungsanstalt WSL, Zürcherstr. 111, CH-8903 Birmensdorf,
*Hauptautorin: astrid.bjoernsen@wsl.ch
Axel Borsdorf, Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Technikerstrasse 21a, AT-6020 Innsbruck
Leopold Füreder, Flussökologie und Naturschutzforschung, Institut für Ökologie, Universität Innsbruck, Technikerstrasse 25, AT-6020 Innsbruck,
Peter Matt, Vorarlberger Illwerke AG, Anton-Amman-Str. 12, AT-6773 Vandans
Lukas Schmocker, ETH Zürich, Swiss Competence Center for Energy Research – Supply of Electricity, Wolfgang-Pauli-Strasse 27, CH-8093 Zürich
Kathrin Volkart, Paul Scherrer Institut, OHSA/E03, CH-5232 Villigen PSI

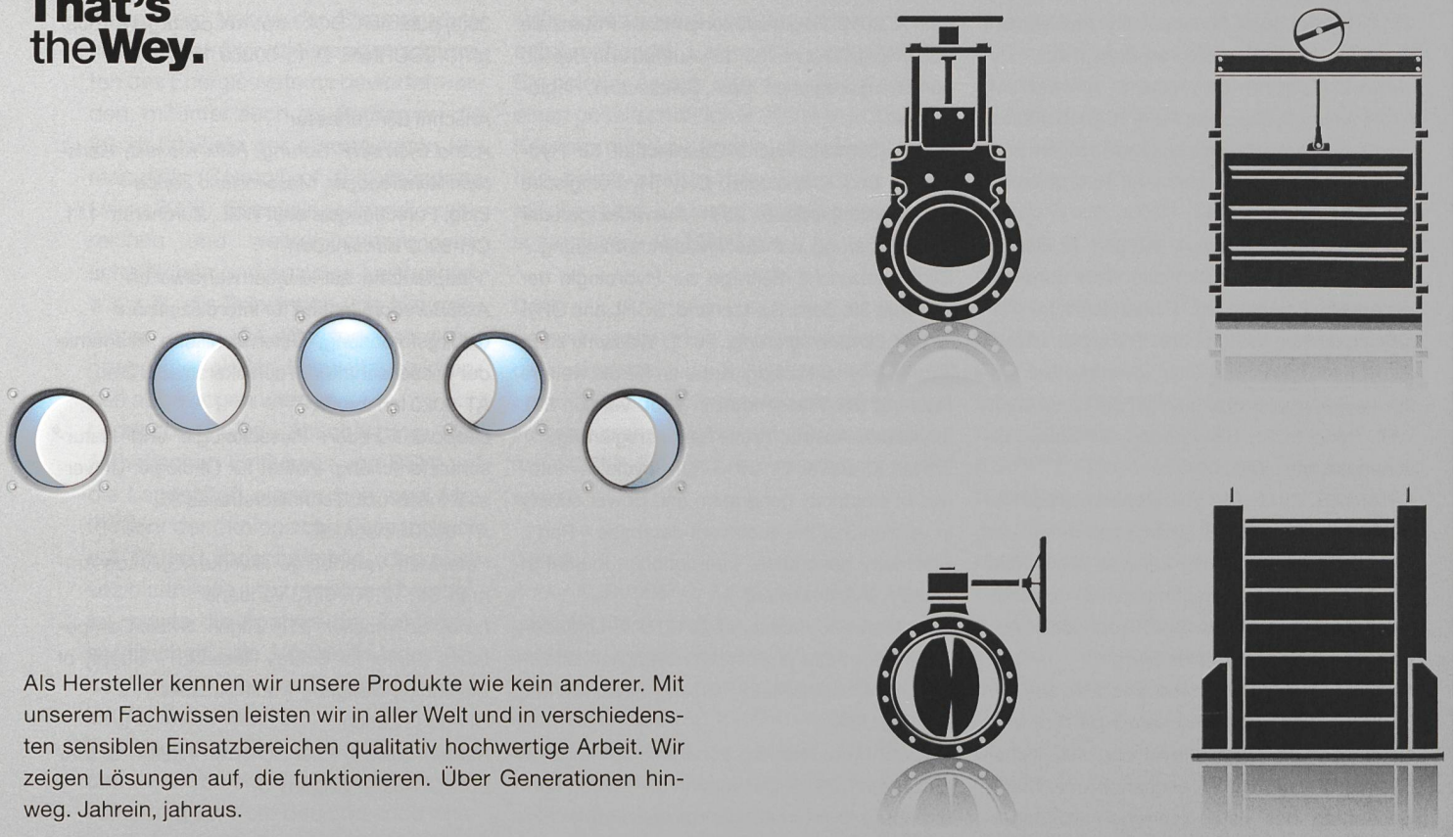
terra vermessungen

Unsere **Referenz** – Rundum **zufriedene Kund**

terra vermessungen ag
Tel.: 043 500 10 77
terra@terra.ch
www.terra.ch

HYDROGRAPHIE | STRÖMUNGSMESSUNG | SEEGRUNDKARTIERU

That's the Wey.



Als Hersteller kennen wir unsere Produkte wie kein anderer. Mit unserem Fachwissen leisten wir in aller Welt und in verschiedensten sensiblen Einsatzbereichen qualitativ hochwertige Arbeit. Wir zeigen Lösungen auf, die funktionieren. Über Generationen hinweg. Jahrein, jahraus.

Auf Wey Produkte und Dienstleistungen ist Verlass. Jahrein, jahraus.

wey®
VALVE INNOVATION_MANAGEMENT

SWISS PERFORM

SISTAG AG, Alte Kantonsstrasse 7, 6274 Eschenbach, Switzerland, Telefon +41 41 449 9944, weyvalve.ch