

Anton Schleiss

Talsperren und Speicher als lebenswichtige Infrastrukturanlagen für den weltweiten Wohlstand

Hydraulische Infrastrukturanlagen und insbesondere Talsperren sowie Speicher sind seit jeher die Grundlage für die wirtschaftliche Gesundheit sowie die soziale Wohlfahrt einer jeden Gesellschaft. Sie werden im Hinblick auf den Klimawandel noch eine bedeutendere Rolle spielen sowohl zur Verminderung möglicher Auswirkungen als auch zu ihrer Bewältigung. Ein Hauptproblem in diesem Jahrhundert wird es sein, die Menschheit mit umweltfreundlicher, erneuerbarer Energie sowie mit Wasser in ausreichender Qualität und Quantität zu versorgen, für einen erfolgreichen Kampf gegen Hunger, Armut und Krankheit.

1 Wirtschaftliche Entwicklung dank Talsperren und Speicher

Wer auf die Börsen blickt, könnte den Eindruck bekommen, dass die Weltwirtschaft vorwiegend durch finanzielle Spekulationen angetrieben wird. Es sollte aber nicht vergessen werden, dass eine gesunde Weltwirtschaft vor allem von Investitionen in den Erhalt von bestehenden und in den Bau von neuen Infrastrukturanlagen abhängt. Dabei spielen hydraulische Bauwerke und Wasserinfrastrukturanlagen eine besonders wichtige Rolle. Seit mehreren Tausend Jahren hat die Menschheit Techniken entwickelt und perfektioniert, welche es erlauben, Wasser zu nutzen oder sich davor zu schützen [1]. Zum Nutzwas-

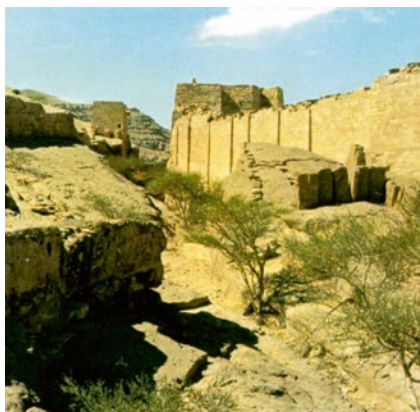


Bild 1: Ruinen der Einlaufbauwerke des historischen Staudammes Marib in Yemen (Quelle: [2])

serbau zählt man die Wasserversorgung, die Bewässerung, die Wasserkraft sowie die Schifffahrt. Unter den Schutzwasserbau fallen gemeinhin die Abwasserentsorgung, die Entwässerung, der Hochwasserschutz sowie der Erosionsschutz. Dabei haben Talsperren und die zugehörigen Stauseen eine Schlüsselstellung inne, sowohl im Nutz- wie auch im Schutzwasserbau. Die Geschichte lehrt uns dabei, dass die wirtschaftliche Gesundheit sowie die soziale Wohlfahrt jeder Gesellschaft immer sehr stark mit dem Grad der Entwicklung der hydraulischen Infrastrukturanlagen und insbesondere der Talsperren und Speicher verknüpft waren.

Ein eindruckliches Beispiel ist die Talsperre Marib in Yemen. Der Bau des 20 m hohen und 700 m langen Erdschüttdammes wurde im Jahre 519 v. Chr. unter dem Königreich von Saba begonnen [2]. Dadurch wurde ein Stausee mit einem Speichervolumen von 30 Mio. m³ geschaffen, welcher es erlaubte rund 15 % des jährlichen Zuflusses in der Regenzeit zurückzuhalten. Der Damm und der Speicher waren die wirtschaftliche Grundlage für den Erfolg des Königreiches, da dank ihnen mehr als 110 km² Landwirtschaftsflächen bewässert werden konnten. Neben Nahrungsmitteln wurden auch Gewürze und Duftstoffe, insbesondere Weihrauch und Myrrhe, produziert, welche zu einem blühenden Handel in der Region von Südarabien bis zum Mittelmeer und somit zum Wohlstand des Königreiches von Saba bei-

trugen. Der Staudamm mit seinen eindrucklichen Bewässerungsanlagen mit Kanälen und Stollen garantierte die Vorherrschaft des Königreiches und die Lebensgrundlage in der Wüste um die Stadt Ma'rib im antiken Südarabien während nahezu 1 300 Jahren (**Bild 1**) [2]. Der Staudamm galt als das größte technische Bauwerk der Antike. Dank gutem Unterhalt konnten mehrere große Hochwasser erfolgreich überstanden und die Schäden immer wieder ausgebessert werden. Als der Damm schlussendlich um die Jahre 570 nach Chr. vollständig brach, vermutlich wegen vernachlässigtem Unterhalt und einem Extremhochwasser, fiel auch die blühende Wirtschaft in der Region zusammen und mehr als 50 000 Personen mussten die Region verlassen, da das Kulturland schnell versteppte und Ma'rib endgültig aufgegeben wurde.

Dieses historische Beispiel zeigt deutlich, dass die Wohlfahrt einer jeder Gesellschaft immer stark mit Wasserinfrastrukturanlagen verknüpft ist und war. Im Jahre 1986 wurde mit der Unterstützung von Abu Dhabi drei Kilometer oberhalb der Ruinen des alten Damms ein neuer 39 m hoher Staudamm errichtet (**Bild 2**) [2]. Während der Militärintervention im Yemen 2015 scheint die Ruine des historischen Staudamms nach lokalen Nachrichtenberichten und Angaben archäologischer Experten bei einem Luftangriff in der Nacht des 31. Mai 2015 leider beschädigt worden zu sein.

2 Weltweite Bedeutung von Talsperren und Speicher

Gemäß dem ICOLD-Talsperrenverzeichnis gibt es heute weltweit mehr als 58 000 Talsperren, welche oft auch als nützliche Pyramiden bezeichnet werden [3]. Diese Talsperren tragen wesentlich zum weltweiten Bedarf an Wasser, Energie und Nahrung sowie zum Hochwasserschutz bei. Der gesamte Speicherinhalt aller im genannten ICOLD-Verzeichnis enthaltenen Stauseen beträgt rund 6 700 km³ wovon rund 4 000 km³ direkt nutzbar sind. Vergleicht man dieses nutzbare Volumen mit dem in allen Flüssen gespeicherten Wasser von etwa 1 000 bis 2 000 km³, so erkennt man klar, dass die Stauseen weltweit einen erheblichen Einfluss auf den Wasserkreislauf haben, was insbesondere für die überlebenswichtige Nahrungsmittelproduktion von größter Bedeutung ist.

Gemäß **Bild 3** ist die Zahl der im Bau befindlichen großen Talsperren seit 15 Jahren nahezu unverändert; jedes Jahr befinden sich zwischen 320 und 370 Talsperren höher als 60 m im Bau; davon sind 30 bis 60 Talsperren höher als 150 m [4]. Man beachte, dass kein direkter Einfluss der Weltwirtschaftskrise sichtbar ist. Dies deutet darauf hin, dass Talsperren als lebenswichtige Infrastrukturanlagen und auch als Basis für eine gesunde Wirtschaft immer benötigt werden.

Talsperren und Wasserkraft sind eng miteinander verknüpft. Die Wasserkraft ist in einem freien Markt immer noch die günstigste und flexibelste erneuerbare Energie mit einem noch beträchtlichen Ausbaupotenzial weltweit. Tatsache ist, dass heute erst knapp ein Viertel des technisch nutzbaren Wasserkraftpotenzials von etwa 16 000 TWh/a ausgebaut ist [4]. Im weltwirtschaftlich aufstrebenden Asien mit einem gewaltigen Wachstum seines Energiebedarfes werden gar nur etwa ein Fünftel des technisch nutzbaren



Bild 2: Neuer Staudamm Ma'rib in Yemen (Quelle: [2])

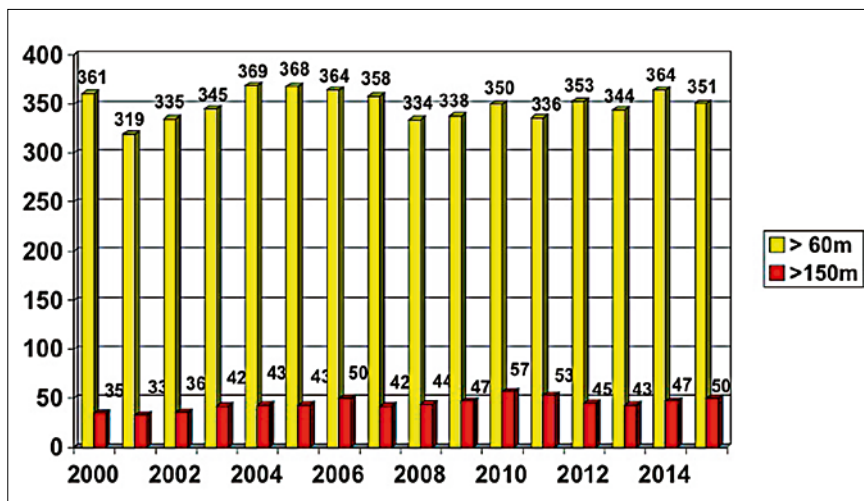


Bild 3: Entwicklung im weltweiten Bau von großen Talsperren seit 2000 (Quelle: [3])

Potenziales genutzt. Unbestritten ist auch, dass eines der Hauptprobleme der Menschheit auch in diesem Jahrhundert immer noch die Versorgung mit umweltfreundlicher, erneuerbarer Energie sowie mit Wasser in ausreichender Qualität und Quantität sein wird, um den Kampf gegen Hunger, Armut und Krankheit erfolgreich führen zu können. Bereits heute leidet 2/3 der Menschheit an Wassermangel; in vielen Ländern, insbesondere in Afrika, hemmt die Energieunterversorgung die wirtschaftliche Entwicklung.

Die Wasserkraft ist mit Abstand die nachhaltigste Energieerzeugungsart bezüglich der Energiebilanz im Lebenszyklus einer Anlage. Die Wasserkraft ist unschlagbar hinsichtlich des sogenannten Erntefaktors oder der Energierückzahlungsrate der primären Energie. Dieser ergibt sich aus dem Vergleich zwischen der während der Lebensdauer erzeugten Energie und dem totalen Verbrauch von direkter oder nicht indirekter Energie zum Bau, Betrieb und Unterhalt der Anlage. Für Speicherkraftwerke in der Schweiz liegt dieser Erntefaktor zwischen 205 und 280 und für Laufwasserkraftwerke zwischen 170 und 270 [1]. Diese Werte sind deutlich höher als für andere erneuerbaren Energien, wie Photovoltaik (3 bis 6) und Windräder (18 bis 34). Deren Erntefaktoren sind nicht zuletzt wegen dem relativ geringen Wirkungsgrad sowie der kürzeren Lebensdauer weit unter den Werten der Wasserkraft. Technische Fortschritte, insbesondere bei der Sonnenenergie, werden in Zukunft diese Erntefaktoren sicher verbessern.

Im Weiteren haben Lebenszyklusanalysen ergeben, dass der weltweite Ausbau

der Wasserkraft einen erheblichen Beitrag zur Verminderung der Treibhausgasemissionen leisten kann und dies selbst wenn nur ein Teil des verbleibenden und zurzeit wirtschaftlichen Potenzials von etwa 9 500 TWh/a ausgebaut wird. Eine Studie in der Schweiz hat ergeben, dass der äquivalente CO₂-Ausstoß für die Treibhausgase bei der Wasserkraft im Vergleich zu allen anderen Energieerzeugungsarten am tiefsten ist und sich im Wesentlichen auf den Materialaufwand beim Bau und Unterhalt beschränkt [5]. Laufwasserkraftwerke erzeugen 3,6 g CO₂-Äquivalent/kWh und Speicherkraftwerke 5,5 bis 10,7 g/kWh. Bei der Kernenergie sind es 5,2 bis 10,5 g/kWh (Druck- bzw. Siedewasserreaktor). Bei neuen erneuerbaren Energien, wie Wind und Sonne ergeben sich 17,2 g/kWh beziehungsweise 81,6 g/kWh (Photovoltaik). Biogasanlagen mit Wärmekraftkopplung erzeugen 77 g/kWh. Diese Werte sind jedoch immer noch gering im Vergleich zum Ausstoß von Gaskraftwerken (585 g/kWh), geschweige denn im Vergleich zu Kohlekraftwerken (1 093 g/kWh).

3 Gesamtheitlicher Ansatz bei der Planung von großen Wasserinfrastrukturprojekten – Rolle des ICOLD

Trotz dieser unbestrittenen Vorteile von Talsperren und Wasserkraftanlagen verursachen Großprojekte weltweit kontroverse Diskussionen. Damit diese großen Wasserinfrastrukturprojekte auf eine breite Akzeptanz stoßen, ist es heute unabdingbar, sie als Mehrzweckprojekte zu

realisieren, welche eine Win-Win-Situation zwischen allen Beteiligten und Betroffenen erzeugen können. Im Hinblick auf eine umfassende und ausgewogene, nachhaltige Entwicklung, sollten bei Mehrzweckanlagen folgende wasserwirtschaftliche Bereiche abgedeckt werden: Energieerzeugung, Bewässerung, Wasserversorgung, Hochwasserschutz, Verbesserung des Abflussregimes sowie Schaffung von Naturschutzreservaten und von touristischen Zonen. Durch einen optimalen Kompromiss zwischen verschiedenen Zwecken und Bedürfnissen können Synergien und somit ein Mehrwert des Projektes erzielt werden. Solche wasserwirtschaftlichen Mehrzweckanlagen haben einen bedeutenden Einfluss auf Umwelt, Landschaft, Wirtschaft sowie Gesellschaft und müssen deshalb mit einem multidisziplinären Ansatz entworfen werden, um wie erwähnt die Bedürfnisse aller Aspekte und Akteure befriedigen zu können. Die Konzeption einer wasserwirtschaftlichen Mehrzweckanlage ist jedoch eine äußerst komplexe Problematik, welche von vielen schwer zu vergleichenden und stark interaktiven Parametern beeinflusst wird. Die optimale Auslegung eines komplexen Systems ist nicht von vornherein gegeben, und es müssen neue Methoden bei der gesamtheitlichen Optimierung angewandt werden. Neben fundiertem technischen Wissen ist deshalb mehr und mehr eine gesamtheitliche Ingenieur- und Planerkompetenz gefragt.

Hier kann die Internationale Kommission für große Talsperren (ICOLD) eine wesentliche Rolle spielen. ICOLD wurde 1928 als Nichtregierungsorganisation mit dem Ziele gegründet, die technische Ingenieurexzellenz im Talsperrenbau zu fördern und aufrechtzuerhalten. Heute ist die Mission von ICOLD viel weiter gefasst. ICOLD leitet die Talsperrenfachleute, indem es die nötigen Standards und Richtlinien definiert, welche es erlauben sollen, Talsperren sicher zu bauen sowie effizient, ökonomisch, umweltfreundlich, nachhaltig und sozialverträglich zu betreiben. ICOLD unterstützt die nahezu 100 Mitgliedsländer sowie die mehr als 10 000 Mitgliedsfachleute dabei, eine der wichtigsten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts zu bewältigen, nämlich die Entwicklung der weltweiten Wasser- und Wasserkraftressourcen. Durch die ausgezeichnete Arbeit seiner 26 technischen Komitees verfolgt ICOLD das globale Ziel bessere Talsperren für eine bessere Welt zu bauen [4].

Die Arbeitsbereiche der technischen Komitees decken das weite komplexe Problemfeld der Talsperren und Speicher ab.

Die gemäß Pflichtenheft erarbeiteten Ergebnisse dieser technischen Komitees werden regelmäßig, etwa alle 4 bis 5 Jahre, in sogenannten Bulletins in englischer und französischer Sprache veröffentlicht. Übersetzungen in andere Sprachen werden auf Initiative von den Mitgliedsländern unternommen. Bis heute wurden 156 Bulletins veröffentlicht, welche einen reichen Wissensschatz umfassen und so die beste Praxis im weltweiten Talsperrenbau wiedergeben. Zudem werden anlässlich des alle drei Jahre stattfindenden Talsperrenkongresses jeweils drei aktuelle Fragen beziehungsweise Themengebiete behandelt, zu denen jedes Mitgliedsland eine begrenzte Anzahl von Beiträgen seiner Mitglieder einreichen kann. Diese Beiträge werden am Kongress präsentiert und diskutiert sowie in Kongressbänden veröffentlicht. Letztere geben jeweils den aktuellen Stand des Wissen zu den behandelten Themengebieten wider. Zusätzlich werden anlässlich der Jahrestreffen mit Hauptversammlung auch Symposien und Workshops zu bestimmten Fragestellungen durchgeführt. Dadurch ergibt sich ein wertvoller Erfahrungsaustausch zwischen den Talsperrenfachleuten weltweit. Weitere Veranstaltungen werden von den einzelnen Mitgliedsländern sowie durch die regionalen Klubs (Europa, Asien-Pazifik, Afrika, Amerika) durchgeführt. Bei ICOLD besteht seit mehreren Jahren ein Forum für junge Talsperreningenieure, welche anlässlich der Kongresse und der Jahresversammlungen spezielle Aktivitäten durchführen. Inzwischen sind auch mehrere Ableger in verschiedenen Mitgliedsländern entstanden. Damit unterstützt ICOLD aktiv den Nachwuchs von Talsperrenfachleuten, welcher die Herausforderungen im weltweiten Aufbau der Wasserinfrastrukturen in Zukunft wahrnehmen kann.

4 Herausforderungen des Klimawandels

Durch die Nutzung des wirtschaftlichen Wasserkraftpotenzials mit Hilfe von Talsperren und Speicher kann, wie bereits erwähnt, ein bedeutender Beitrag zur Verminderung der Treibhausgasemissionen und somit zu den Klimazielen geleistet werden. Zusätzliche Talsperren und Spei-



Bild 4: Fotomontage des geplanten Speichers Trift im Grimselgebiet (Schweiz), Bogenstaumauer mit gefülltem zukünftigen Stausee (Quelle: Fotomontage KWO)

cher als Anpassungsmaßnahme werden aber in vielen Regionen auch überlebenswichtig sein, um den durch den Klimawandel gestörten Wasserhaushalt auszugleichen und so den Bedarf an Wasser, Nahrung und Energie sowie den nötigen Schutz vor Hochwasser zu gewährleisten. Der Klimawandel wird aber auch die bestehenden Speicher gefährden, indem zu erwarten ist, dass die Sedimentzufuhr zu den Stauseen und somit deren Verlandung sehr stark zunehmen wird. Der weltweite jährliche mittlere Verlust an Speichervolumen durch Verlandung übertrifft bereits heute die jährliche Volumenzunahme durch den Bau von neuen Stauseen für die Bewässerung, die Trinkwasserversorgung und die Wasserkraftnutzung [6]. In Asien beispielsweise werden bis 2035 rund 80 % der Speicher verlandet sein. Die Auswirkungen der Klimaänderungen werden die Verlandungsproblematik deutlich verschärfen. In diesem Jahrhundert wird es also eine Hauptaufgabe der Planer und Betreiber von Speichern sein, mit effizienten Maßnahmen diesem schleichenden Prozess entgegen zu wirken [7]. Die Ersatzinvestition der weltweit jährlich verloren gegangenen Speicherkapazität von 0,8 % kostet im Mittel etwa zwischen 13 Billionen \$/a und 19 Billionen \$/a. Dies entspricht etwa einem Drittel der Aufwendungen für den Betrieb und Unterhalt der bestehenden Stauanlagen [8].

Die Bedeutung von neuen Speichern als Klimawandelanpassungsmaßnahme kann selbst am Beispiel der Schweiz gezeigt werden, obwohl sie mit reichen Wasserressourcen gesegnet ist. Mit dem Rückzug der Gletscher sind die Zuflüsse zu den Stauseen seit etwa 30 bis 40 Jahren angewachsen. Dieser Trend wird dank der Gletscherschmelze je nach Klimaszenarien die nächsten 20 bis 40 Jahre noch anhalten. Anschließend werden mit dem fast vollständigen Verschwinden der Gletscher

die Zuflüsse wieder stark abnehmen. Dabei entstehen neue Seen, welche höher als die bestehenden Stauseen liegen und vielerorts sehr gefährlich sein können [9], [10]. Falls sie bei den Endmoränen überlaufen, können sie sich unkontrolliert sehr schnell entleeren. Deshalb müssen diese neuen Gletscherseen mit Staumauern gesichert werden. Dadurch kann auch das Volumen dieser Gletscherseen vergrößert und zur Produktion von Spitzenergie, aber auch zu Pumpspeicherung von überflüssiger Wind- und Sonnenenergie verwendet werden. Diese zukünftigen Stauseen eröffnen somit für die Wasserkraft in den nächsten Jahrzehnten neue Möglichkeiten um nicht zuletzt die Produktionsverluste infolge Klimawandel zu ersetzen. Sie sind aber auch für den Wasserhaushalt in der Schweiz von größter Bedeutung, da diese nach dem Abschmelzen der Gletscher deren Speicherfunktion übernehmen müssen. Neben der sicheren Stromversorgung werden die Stauseen zukünftig vermehrt zur Anreicherung der Gewässer in lang andauernden Trockenperioden sowie zum Hochwasserschutz beitragen müssen. In diesem Sinne werden die neuen Stauseen Mehrzweck- und Synergieprojekte sein (**Bild 4**). Nicht zuletzt müssen die neuen Stauseen so konzipiert sein, dass sie auch die verstärkte Sedimentzufuhr nach Abschmelzen der Gletscher mit entsprechenden Spülvorrichtungen beherrschen können.

5 Schlussfolgerungen

Talsperren und Speicher waren und sind seit jeher die Grundlage für die wirtschaftliche Entwicklung und den Wohlstand einer jeden Gesellschaft. Als lebenswichtige Infrastrukturanalagen tragen sie wesentlich zur Deckung des weltweiten Bedarfs an Wasser, erneuerbarer Energie und Nahrung sowie zum Hochwasserschutz bei. Mit fortschreitendem Klimawandel werden Speicher noch eine bedeutendere Rolle haben, da sie nicht die einschneidenden Auswirkungen auf das Wasserangebot vermindern, aber auch bewältigen können. Allerdings wird die Stauraumverlandung die nachhaltige Nutzung der Speicher stark einschränken, wenn nicht frühzeitig Gegenmaßnahmen getroffen werden und insbesondere neue Projekte entsprechend ausgelegt werden. ICOLD unterstützt die nahezu 100 Mitgliedsländer sowie die mehr als 10 000 Mitgliedsfachleute in den Bestrebungen, Tal-

sperrern sicher zu bauen sowie effizient, ökonomisch, umweltfreundlich, nachhaltig und sozialverträglich zu betreiben. Das globale Ziel ist schlussendlich, bessere Talsperren für eine bessere Welt zu bauen.

Autor

Prof. Dr. Anton J. Schleiss

Präsident der Int. Kommission für grosse Talsperren (ICOLD)
Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH)
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)
Station 18, LCH – IIC – ENAC – EPFL
1015 Lausanne, Schweiz
anton.schleiss@epfl.ch

Literatur

- [1] Schleiss, A. J.: The importance of hydraulic schemes for sustainable development in the 21st century. In: *Hydropower & Dams* (2000), Nr. 1, S. 19-24.
- [2] Schleiss, A. J.; Pougatsch, H.: Barrages – Du projet à la mise en service. In: *Traité de Génie Civil*. Lausanne: Presse polytechnique et universitaire romande (2011), Volume 17.
- [3] Schnitter, N. J.: A history of dams- the useful pyramids. Rotterdam: Balkema, 1994.
- [4] Schleiss, A. J.: Hydropower and dams: vital water infrastructures as a basis for worldwide economic prosperity. In: *World Atlas & Industry Guide 2015*, Aqua Media Int., S. 8-9.
- [5] Frischknecht, R.; Itten, R.; Flury, K.: Treibhausgas-Emissionen der Schweizer Strommixe. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), 2012.
- [6] Schleiss A.; Oehy, Ch.: Verlandung von Stauseen und Nachhaltigkeit. In: *Wasser Energie Luft* 94 (2002), Heft 7/8, S. 227-234.
- [7] Schleiss, A.; De Cesare, G.; Jenzer Althaus, J.: Verlandung der Stauseen gefährdet die nachhaltige Nutzung der Wasserkraft. In: *Wasser Energie Luft* 102 (2010), Heft 1, S. 31-40
- [8] Palmieri, A.; Shah, F.; Dinar, A.: Economics of reservoir sedimentation and sustainable management of dams. In: *Journal of Environmental Management* 61 (2001), Nr. 2.
- [9] Haeberli, W.; Schleiss, A.; Linsbauer, A.; Künzler, M.; Bütler, M.: Gletscherschwund und neue Seen in den Schweizer Alpen. In: *Wasser Energie Luft* 104 (2012), Heft 2, S. 93-102.
- [10] Haeberli, W.; Bütler, M.; Huggel, C.; Müller, H.; Schleiss, A.: Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge : Chancen und Risiken. Nationales Forschungsprogramm « Nachhaltige Wassernutzung » (NFP 61), Forschungsbericht, 2013.

Anton Schleiss

Dams and Reservoirs as Vital Water Infrastructures Ensuring Worldwide Economic Prosperity

History shows that the economic prosperity of a society and its cultural wealth was always closely related to the level of the development of the hydraulic schemes, including dams and reservoirs. In view of climate change, dams and reservoirs will and have to play an even more important role as mitigation and adaptation infrastructures in order to satisfy the vital needs in water, renewable energy and food in the different continents worldwide. To gain wide acceptance and to obtain a win-win situation between all stakeholders, such large water infrastructures projects have to be designed as multi-purpose projects by multidisciplinary teams with a complex system approach. This needs excellence in engineering sciences and management. Through the excellent work of his technical committees, ICOLD is contributing to the worldwide vision "better dams for a better world".



Weitere Empfehlungen aus www.springerprofessional.de:

Talsperre

Bar, J.: Wassermanagement an den grenzüberschreitenden Flusssystemen Amu Darja/Syr Darja und Tigris/Euphrat. In: *Wasserproblematik im Kontext regionaler Stabilitätsrisiken*. 1. Auflage. Wiesbaden: Springer VS, 2015.
www.springerprofessional.de/link/4324756

Heiland, M.: Talsperren sichern Zukunft. In: *WasserWirtschaft*, Ausgabe 05/2013. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013.
www.springerprofessional.de/link/3417290