



## **Tagungsbericht Schwall und Sunk**

### **Zusammenfassung der Fachtagung vom 9.3.2009 in Solothurn**

Auftraggeber:

Wasser-Agenda 21  
Forum Chriesbach  
Überlandstrasse 133  
8600 Dübendorf

Bearbeitung:

Peter Baumann, Limnex AG

Zürich, 3.7.2009 / 1911

## Einleitung

Am 9.3.2009 fand im Landhaus Solothurn eine Fachtagung statt zum Thema

### „Schwall und Sunk – im Spannungsfeld von Energiewirtschaft und Ökologie“

An diesem ganztägigen Anlass wurde in insgesamt 12 Fachreferaten über die Problematik und die gewässerökologischen Auswirkungen des Schwallbetriebes aus Wasserkraftwerken, über den Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse und der gesetzlichen Regelung, über Lösungsansätze und Beispiele für konkrete schwalldämpfende Massnahmen aus der Schweiz und anderen europäischen Staaten sowie über die betriebs- und energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen informiert. Es war v.a. der letztgenannte Aspekt, der unter den mehr als 150 Teilnehmern zu lebhaften Diskussionen führte.

Alle Fachreferate sind verfügbar unter [www.wa21.ch](http://www.wa21.ch)

Im vorliegenden Tagungsbericht sollen nochmals einige wesentliche Schlussfolgerungen aus den Fachreferaten hervorgehoben und miteinander verknüpft werden. Die Auswahl der Aussagen und Illustrationen ist dabei subjektiv und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Der Bericht ist nach folgenden grundlegenden Feststellungen gegliedert:

1. Wir wissen genug, um das Problem ernst zu nehmen und zu handeln.
2. An den Lösungen wird auch in der Schweiz schon intensiv gearbeitet.
3. Die Kosten für schwalldämpfende Massnahmen hängen ab von deren Art und Umfang.
4. Schwalldämpfende Massnahmen wirken und können in mehrfacher Hinsicht interessant sein.

### Die hauptsächlichlichen Schwall- und Sunkstrecken der Schweiz

In der Schweiz zeigen ca. 30% der eidgenössischen Abfluss-Messstationen für das jeweilige Gewässer einen eindeutigen Einfluss durch den Schwall/Sunk-Betrieb oder kurz Schwallbetrieb aus hydroelektrischen Speicherkraftwerken an. Die meisten dieser schwallbeeinflussten Stellen liegen an den alpinen und voralpinen Hauptflüssen oder an deren grösseren, direkten Zuflüssen:

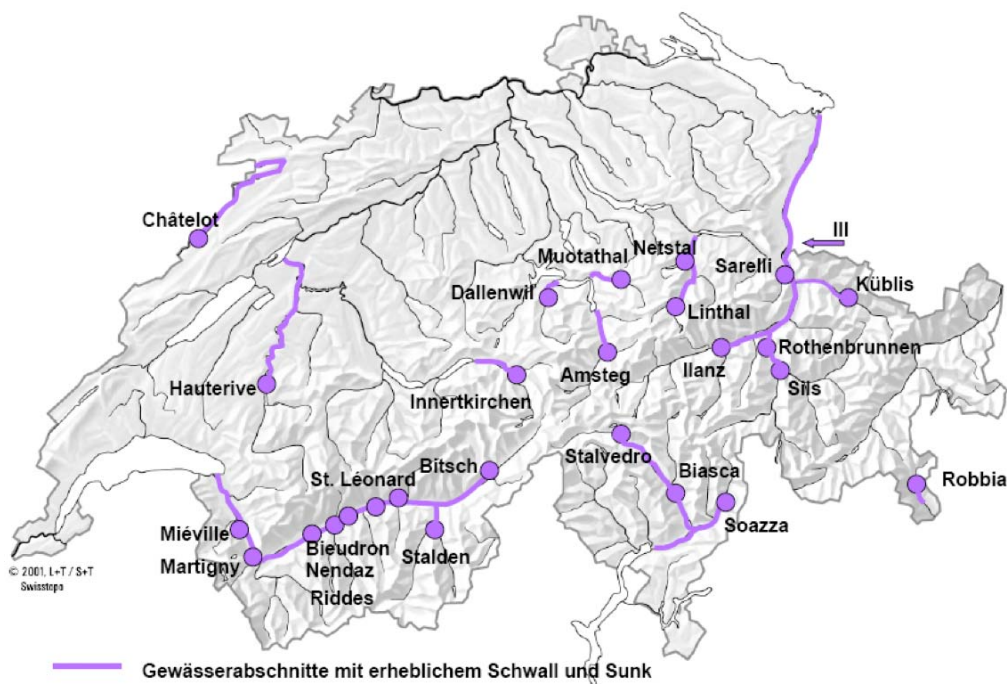


Abbildung 1: Die hauptsächlichlichen Schwall- und Sunkstrecken der Schweiz. Darstellung aus dem Referat von Walter Hauenstein an der Fachtagung in Solothurn. Die Schwallstrecken an kleineren bis mittleren Gewässern sind nicht dargestellt (z.B. jene an der Aubonne im Kanton Waadt).

## 1. Wir wissen genug, um das Problem ernst zu nehmen und zu handeln

### **Bekannte Auswirkungen des Schwallbetriebes**

Es ist seit längerem bekannt, dass der Schwallbetrieb ökologisch relevante Auswirkungen auf jene Fließgewässer hat, in welche das abgearbeitete Betriebswasser zurückgegeben wird. Es liegen heute schon zahlreiche Forschungsarbeiten oder angewandte Studien vor zum Einfluss dieser schwallbedingten Abflussschwankungen auf den Lebensraum und die Lebensgemeinschaft in Fließgewässern. Ein beträchtlicher Teil davon ist in den letzten 15 bis 20 Jahren in europäischen Ländern durchgeführt worden, in denen die Wasserkraft einen hohen Anteil an der gesamten Stromproduktion hat. An der Tagung wurden viele Beispiele für gewässerökologische Untersuchungen an Schwallstrecken in Österreich (Bregenzerach, Drau), Frankreich (Dordogne, Maronne), Norwegen (Nidelva, Vallårai) und in der Schweiz (Rhone, Urner Reuss, Hasliaare, Glarner Linth) präsentiert.

### **Die Schwerpunkte der Schwall-Untersuchungen**

Die Schwerpunkte der bisherigen und einiger erst geplanter Untersuchungen zu den gewässerökologischen Auswirkungen des Schwallbetriebes liegen dabei auf

- dem Bestand (Artenspektrum, Besiedlungsdichte, Altersstruktur), dem Lebensraum (Habitatsangebot und –wahl), dem Verhalten (natürliche Reproduktion, Ausweichbewegungen, Wanderungen) und dem Stranden (Trockenfallen) der Fische;
- dem Bestand (Artenvielfalt, Besiedlungsdichte, Biomasse), der Abschwemmung (Drift) und dem Stranden des Makrozoobenthos;
- den Breiten-, Tiefen- und Strömungsverhältnissen als Grundlage für die Modellierung des Habitatsangebotes für verschiedene Indikatorarten bei unterschiedlichen Schwall/Sunk-Szenarien.
- den Veränderungen der Wassertemperatur und –trübung (Schwebstoff-Konzentration).

Der aktuelle Wissensstand zu den schwallbedingten Einflüssen auf die Gewässerökologie ist in mehreren Literatur-Reviews und Synthese-Berichten zum Thema Schwall/Sunk zusammengefasst worden.

***Es ist heute allgemein anerkannt, dass der Schwallbetrieb aus Wasserkraftwerken in den betroffenen Fließgewässern eines der vordringlichen Probleme darstellt. Dieses zu vermindern oder zu lösen, ist eine Aufgabe des quantitativen Gewässerschutzes, die erst seit relativ kurzer Zeit angemessen beachtet wird. Der Schwallbetrieb sollte insbesondere***

- *möglichst schnell gesetzlich geregelt werden;*
- *mit baulichen oder betrieblichen Massnahmen schon heute weit möglichst gedämpft werden, auch wenn die wissenschaftlichen Grundlagen dazu noch nicht vollständig verfügbar sind.*

### **Fragestellungen für zukünftige Forschungsprojekte**

Als hauptsächliche Fragestellungen für zukünftige Forschungsprojekte im Bereich Schwall/Sunk sind im Referat von Armin Peter vorgeschlagen worden:

- Bedeutung der Gewässermorphologie in Schwall-Sunk-Strecken plus Grenzwerte Schwall : Sunk (Wechselseitiger Zusammenhang zwischen Morphologie und Hydrologie. Kann das Problem mit morphologischen Verbesserungen angegangen werden?).
- Auswirkungen von Schwall-Sunk auf die Kolmation der Flusssohle.
- Wirksamkeit schwalldämpfender Massnahmen.
- Verhalten der aquatischen Fauna:
  - energetische Aspekte bei Fischen
  - Sensibilität gewisser Arten (z.B. Äsche)
  - Stranden von Fischen
  - Drift und Katastrophendrift Benthos.

## 2. An den Lösungen wird auch in der Schweiz schon intensiv gearbeitet

### Schwalldämpfende Massnahmen in der Schweiz

In der Schweiz ist mit dem Ausgleichsbecken der Zentrale Linthal im Kanton Glarus schon 1964 eine erste grössere, schwalldämpfende Massnahme umgesetzt worden (wenn auch nicht aus ökologischen Gründen). In jüngerer Zeit sind etliche (nunmehr ökologisch motivierte), bauliche und betriebliche Dämpfungsmassnahmen hinzugekommen, und weitere sind schon geplant:

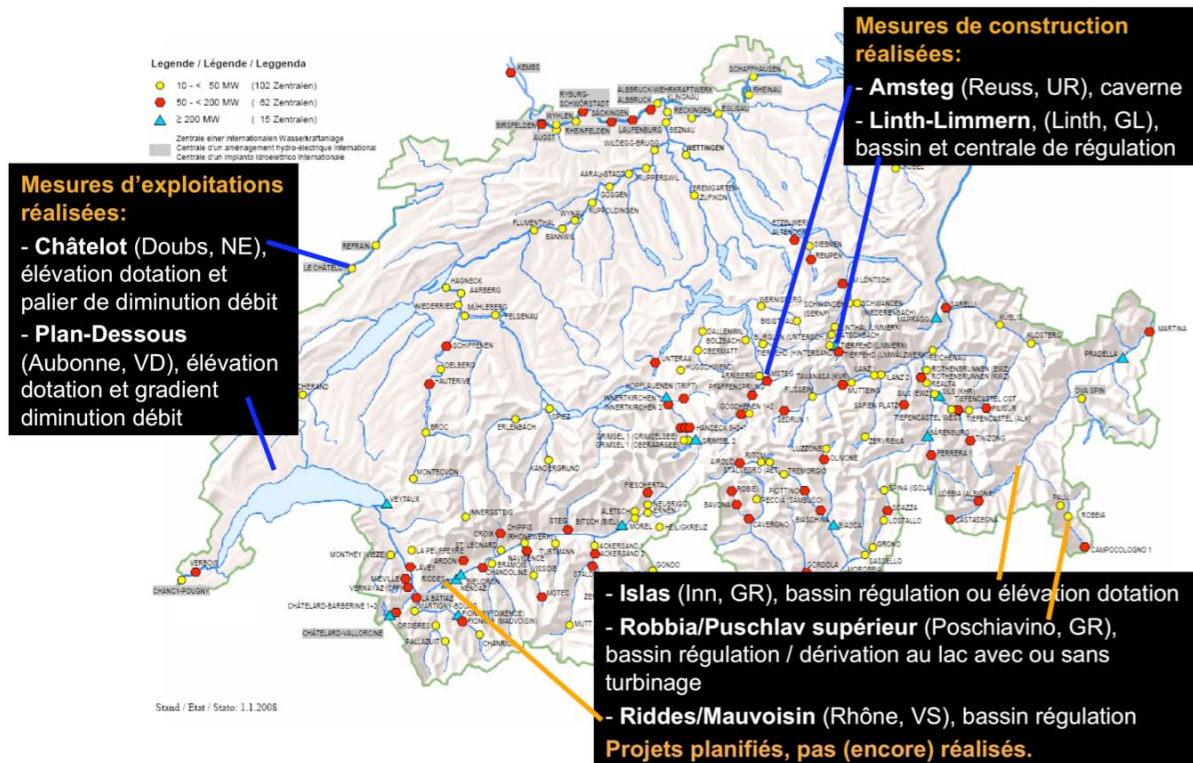


Abbildung 2: Bestehende und geplante schwalldämpfende Massnahmen bei schweizerischen Wasserkraftwerken. Darstellung aus dem Referat von Rémy Estoppey an der Fachtagung in Solothurn.

### Politische Aktivitäten in der Schweiz

Auf Bundesebene sind gleich zwei Vorstösse hängig, welche neben anderen Anliegen des Gewässerschutzes auch eine gesetzliche Regelung des Schwallbetriebes zum Ziel haben: die Volksinitiative „Lebendiges Wasser“ des Schweizerischen Fischereiverbandes und, als indirekter Gegenvorschlag dazu, die parlamentarische Initiative „Schutz und Nutzung der Gewässer“ der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Ständerates. Der Gegenvorschlag enthält schon konkrete gesetzliche Bestimmungen dazu, welche Kraftwerksbedingten Abflussschwankungen verhindert oder beseitigt werden müssen und wie die notwendigen schwalldämpfenden Massnahmen festzulegen sind. Für neue und für bestehende Anlagen würden dabei dieselben ökologischen Anforderungen gelten, und bestehende Anlagen müssten – unabhängig von der noch verbleibenden Konzessionsdauer – innert 20 Jahren nach Inkrafttreten der Bestimmungen entsprechend saniert werden.



**Voraussetzungen für die Umsetzung in die Praxis**

Die Schweiz ist somit auf gutem Weg zu einer ökologisch fundierten gesetzlichen Regelung der Schwallproblematik. Für die Umsetzung dieser Bestimmungen in die Praxis müssen die bestehenden gewässerökologischen Kriterien, Anforderungen und Richtwerte noch genauer festgelegt und an konkreten Gewässern beispielhaft bestimmt werden. Dies ist eines der Ziele, die bei verschiedenen aktuellen, d.h. schon laufenden oder kurz bevorstehenden Projekten an stark schwallbeeinflussten Alpenflüssen verfolgt werden:

**Projets de recherche sur les grands cours d'eau des Alpes :**  
 - Rhin alpin  
 - Rhône  
 - Aar  
 - Ticino

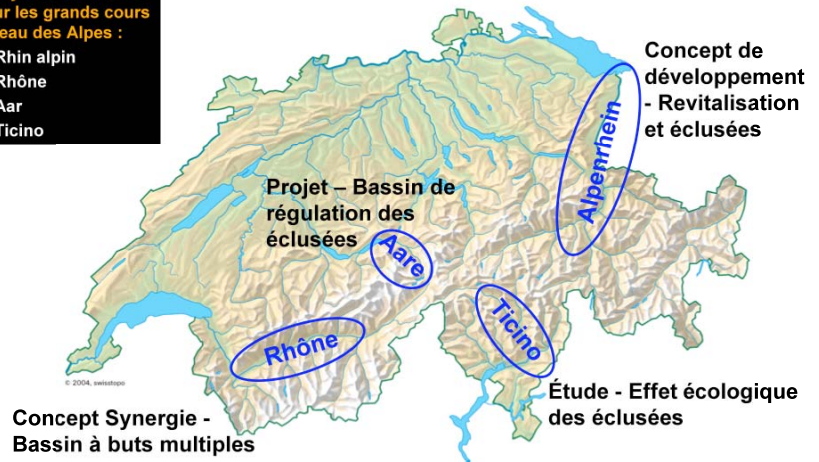


Abbildung 3: Aktuelle Projekte in verschiedenen alpinen Einzugsgebieten der Schweiz zur Ermittlung von konkreten gewässerökologischen Anforderungen an die schwallbedingten Abflussschwankungen. Darstellung aus dem Referat von Rémy Estoppey an der Fachtagung in Solothurn.

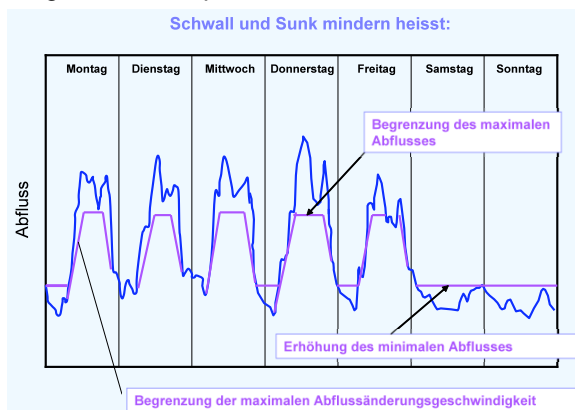
3. Die Kosten für schwalldämpfende Massnahmen hängen ab von deren Art und Umfang

**Abwägung von Schutz- und Nutzungsinteressen**

Der Schwallbetrieb aus Wasserkraftwerken ist zwar ökologisch problematisch, aus energiewirtschaftlicher Sicht ist er jedoch eine unvermeidbare Folge der bedarfsgerechten Stromproduktion. Dass schwalldämpfende Massnahmen in vielen Fällen notwendig sind, ist im Grundsatz unbestritten. Bei der Planung (und Finanzierung) dieser Massnahmen müssen aber sowohl die Schutz- und Nutzungsinteressen berücksichtigt und gegeneinander abgewogen werden.

**Ansatzpunkte und Massnahmen zur Schwallminderung**

Mögliche Ansatzpunkte und Massnahmen zur Schwallminderung sind:



	Bauliche Massnahmen:	Betriebliche Massnahmen:
Turbiniertes Wasser nicht in Fluss einleiten	1) Direkte Seeeinleitung 2) Getrenntes Rückgabefliessgewässer	---
Turbiniertes Wasser gedämpft in Fluss einleiten, Abflussregime verbessern (Annäherung an natürlichen Zustand)	3) Ausgleichsbecken 4) Turbinieren in den Stauraum eines Ausgleichskraftwerks oder in ein Becken einer wasserwirtschaftlichen Mehrzweckanlage	5) Beschränkung der Leistung ( $Q_{max}$ ) 6) Erhöhung des Minimalabflusses ( $Q_{min}$ ) 7) Stufenweises An-/Zurückfahren der Turbinen 8) Antizyklischer Betrieb mehrerer Zentralen
In betroffenen Gewässerzonen Auswirkungen minimieren	9) Verbesserung der Gewässermorphologie 10) Rückzugsmöglichkeiten für aquatische Lebewesen	---

Abbildung 4: Ansatzpunkte (links) und mögliche Massnahmen (rechts) zur Verminderung der schwallbedingten Abflussschwankungen. Darstellungen aus den Referaten von Walter Hauenstein (links) und Anton Schleiss (rechts) an der Fachtagung in Solothurn.

**Betriebliche Massnahmen** zur Schwalldämpfung stellen einen direkten Eingriff in die Produktionsweise dar. Sie bedingen, dass die Stromerzeugung teilweise von den Spitzen- auf die Schwachlastzeiten verlagert würde. Als Folge davon könnten die bestehenden Kapazitäten nur mehr eingeschränkt zur Abdeckung des Spitzenbedarfes und zum Ausgleich von kurzfristigen Netzschwankungen verwendet werden. Die entstehenden Engpässe müssten heute noch durch den zusätzlichen Einsatz von (ökologisch ebenfalls nicht erwünschter) thermisch produzierter Energie überbrückt werden. Dieser Zukauf von Spitzen- und Regelleistung sowie der Ertragsausfall durch die Verlagerung der Produktion auf finanziell weniger lukrative Zeiten würde gesamtschweizerisch Kosten von 3 bis 6 Milliarden Franken verursachen.

Als **bauliche Massnahmen** zur Schwalldämpfung werden in erster Linie Rückregulierungs- bzw. Ausgleichsbecken verstanden, welche das schwallartig anfallende Betriebswasser nach dem Durchlaufen der Turbinen aufnehmen und dosiert an die unterliegenden Fliessgewässer abgeben. Auf diese Weise kann der Schwallbetrieb gedämpft werden, ohne in die Stromproduktion eingreifen zu müssen. Ausgleichsbecken benötigen jedoch, sofern sie oberirdisch erstellt werden, viel (und oft hochwertiges) Land, das im Umkreis der schwallerzeugenden Zentralen nicht beliebig zur Verfügung steht. Je grösser ein Ausgleichsbecken ist, desto eher führt es auch zu Konflikten mit anderen Nutzungs- und mit Schutzinteressen (Landwirtschaft, Natur- und Landschaftsschutz). Als möglicher Ausweg kann das benötigte Ausgleichsvolumen, wie etwa beim Kraftwerk Amsteg der SBB, auch in unterirdische Kavernen verlegt werden. Andere Alternativen wie Flussaufweitungen oder eine Direktableitung des turbinieren Wassers in den nächsten See werden nur in Einzelfällen als realisierbar eingestuft.

#### **Kosten und Finanzierungsmöglichkeiten von Massnahmen**

Bauliche Massnahmen zur Schwalldämpfung sind wirtschaftlich wesentlich günstiger als betriebliche. Dennoch müssten in der Schweiz schätzungsweise für 1 bis 1.5 Milliarden Franken Ausgleichsbecken gebaut werden, um einige pauschale, gewässerökologisch begründete Anforderungen an die Wasserführung in den Rückgabegewässern landesweit einhalten zu können. Derart hohe Zusatzkosten werden von den Betreibern für Kraftwerke mit laufender Konzession als wirtschaftlich nicht tragbar angesehen. Sollen bestehende schwallerzeugende Zentralen innert einer bestimmten Sanierungsfrist gesetzlich zu schwalldämpfenden Massnahmen verpflichtet werden, so müssen dafür andere Finanzierungsmöglichkeiten gesucht werden. Die breiteste Zustimmung findet gegenwärtig der Vorschlag, während der vorgesehenen Sanierungsfrist, d.h. über 20 Jahre hinweg, eine Abgabe auf den Übertragungskosten der Hochspannungsnetze mit einem geschätzten Ertrag von jährlich ca. 50 Millionen Franken zu erheben.

#### 4. Schwalldämpfende Massnahmen wirken und können in mehrfacher Hinsicht interessant sein

##### Erfolgskontrollen und Wirksamkeit von schwalldämpfenden Massnahmen

Um die Wirksamkeit von schwalldämpfenden Massnahmen festzustellen, bieten sich verschiedene Methoden an, für die an der Tagung einige Beispiele präsentiert wurden:

Art der Wirkungs-/Erfolgskontrolle	Ziel der Erfolgskontrolle	Einsatzbereich	Anwendungsbeispiele
Aufnahme und Vergleich Gewässerzustand mit <-> ohne Massnahmen	Dokumentation und Beurteilung der realen (auch längerfristigen) Auswirkungen auf Lebensraum und -gemeinschaft	Bereits realisierte Massnahmen Voraussetzung: Vorher-Daten müssen vorhanden sein	Bregenzer Ache (A-VBG)
			Urner Reuss (CH-UR)
			Aubonne (CH-VD)
Aufnahme Gewässerzustand mit Massnahmen	Überprüfung anhand Zielzustand (z.B. CH-GSchG, EU-WRRL)	Bereits realisierte Massnahmen (auch ohne Vorher-Daten)	Mur (A-SBG)
Schwallversuche (Nachbildung von Abfl uss-Szenarien im Gewässer)	Dokumentation und Beurteilung der realen (aber nur kurzfristigen) Auswirkungen	Prognose / Evaluation geplanter oder Nachkontrolle bestehender Massnahmen	Linth (CH-GL)
			Hasliaare (CH-BE)
Modellierung (rechnerische Nachbildung von Abfl uss-Szenarien)	Simulation von Auswirkungen (langfristig) auf Lebensraum und -gemeinschaft	Prognose / Evaluation geplanter Massnahmen auch für komplexe Randbedingungen (verschiedene Morphologien / Zentralen)	Linth (CH-GL)
			Rhone (CH-VS)
			Alpenrhein (CH-GR / SG, FL, A-VBG)

*Tabelle 1: Verschiedene Arten, Zielsetzungen und Einsatzbereiche von Wirkungs- oder Erfolgskontrollen für schwalldämpfende Massnahmen. Darstellung aus dem Referat von Peter Baumann an der Fachtagung in Solothurn.*

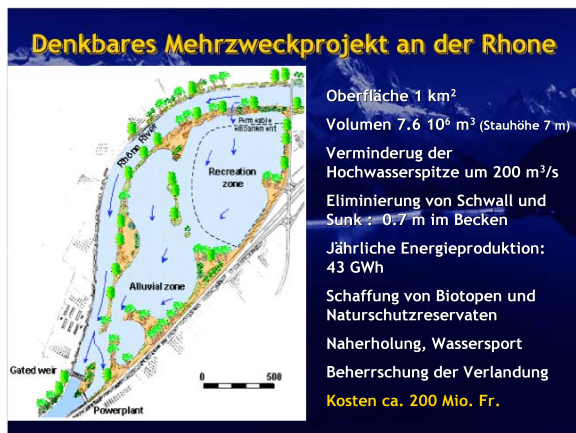
Derartige Wirkungs- oder Erfolgskontrollen sind bisher erst vereinzelt durchgeführt worden. Das vorläufige Fazit aus diesen Erfahrungen lautet:

- Die bisher untersuchten schwalldämpfenden Massnahmen haben sich grundsätzlich **als wirksam erwiesen**. Die Auswirkungen des Schwallbetriebes auf Lebensraum und –gemeinschaft der Gewässer lassen sich durch geeignete Massnahmen also in vielen Fällen effektiv vermindern, aber kaum je beseitigen
- Um die schwallbedingten Auswirkungen auf das Gewässer zu vermindern, kann bei verschiedenen **Schwall-Kennwerten** angesetzt werden (z.B. Schwall- und Sunkhöhe, Anstiegs- und Rückgangrate). Welche Kombination von Ansätzen bzw. Massnahmen am wirkungsvollsten ist, muss jeweils im Einzelfall untersucht werden.
- Eine **naturnahe Flussmorphologie** kann in etlichen der bisher untersuchten Fälle die Schwallauswirkungen bis zu einem gewissen Grad dämpfen. Die Renaturierung von Gewässern sollte bauliche oder betriebliche Massnahmen von Seiten des Kraftwerkes zur Schwalldämpfung jedoch keinesfalls ersetzen, sondern höchstens ergänzen.
- Die **Nachbildung von Abflussszenarien** mittels Schwallversuchen oder Modellen wird die Planung von schwalldämpfenden Massnahmen immer wichtiger. Um die längerfristige Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen zu überprüfen, bleibt aber auch weiterhin die Gewässer-Entwicklung nach deren Realisierung zu verfolgen (Erfolgskontrolle *in situ*).

##### Erfolgskontrollen und Wirksamkeit von schwalldämpfenden Massnahmen

Bei der Optimierung von bestehenden Konzepten für schwalldämpfende Massnahmen und auf der Suche nach neuartigen Massnahmen sind in den letzten Jahren gerade auch in der Schweiz etliche innovative Ansätze entwickelt worden. Diese zeigen, dass die Schwalldämpfung nicht nur Zusatzkosten verursachen muss, sondern auch Möglichkeiten für zusätzliche Energiegewinnung und andere Nutzungen eröffnen kann. Die Ausgleichskaverne der Zentrale Amsteg verfügt bereits heute über ein Regulierkraftwerk, das die (gedämpfte) Wasserrückgabe an die Reuss energetisch nochmals nutzen

kann. Eine zusätzliche Stromproduktion wäre auch beim Auslauf eines Mehrzweckbeckens an der Rhone bei Riddes sowie eines Beruhigungsbeckens bei der Zentrale Innertkirchen der Kraftwerke Oberhasli (KWO) vorgesehen:



### Einsatz von Siphon- bzw. Mikroturbinen

Speziell geeigneter Turbinentyp für kleine und stark variable Fallhöhen entwickelt von Grimselhydro, MHyLab und groupe-e

- Einsatz von 25 Mikroturbinen
- Feinsteuerung der Wasserrückgabe
- Senkung der Schwallraten
- Reduktion der Fließgeschwindigkeit bei der Wasserrückgabe
- Effiziente Schwallreduktion auch bei kleinem Beckenvolumen

**Zusätzlicher Energiegewinn 2 GWh/a**

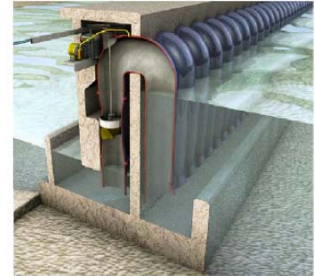


Abbildung 5: Mögliche zusätzliche Stromproduktion im Auslauf eines Mehrzweckbeckens an der Rhone bei Riddes (links) und eines Beruhigungsbeckens bei der Zentrale Innertkirchen der KWO (rechts), die in erster Linie zur Schwalldämpfung dienen. Darstellungen aus den Referaten von Anton Schleiss (links) und Steffen Schweizer (rechts) an der Fachtagung in Solothurn.

Ein Mehrzweckbecken, wie es vom Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH) der EPF Lausanne am Beispiel der Walliser Rhone entwickelt worden ist, kann im Idealfall neben dem Hochwasser- und Schwall-Rückhalt sowie der Stromproduktion noch weitere Schutz- und Nutzungsfunktionen erfüllen. Seine optimale Wirkung würde es für die Wirbellosen-Fauna und für die Fische in der Rhone dann entfalten, wenn es mit morphologischen Auswertungsmassnahmen wie etwa Flussaufweitungen kombiniert werden könnte.

### Ausblick

Weitere innovative Lösungsansätze für die Schwallproblematik werden hoffentlich auch zukünftige Projekte aus der Forschung und dem angewandten Gewässerschutz hervorbringen. Von zweien dieser Forschungsprojekte mit starkem Praxisbezug, die an der Schwalltagung in Solothurn ebenfalls vorgestellt worden sind, können schon bald die ersten konkreten Resultate erwartet werden:

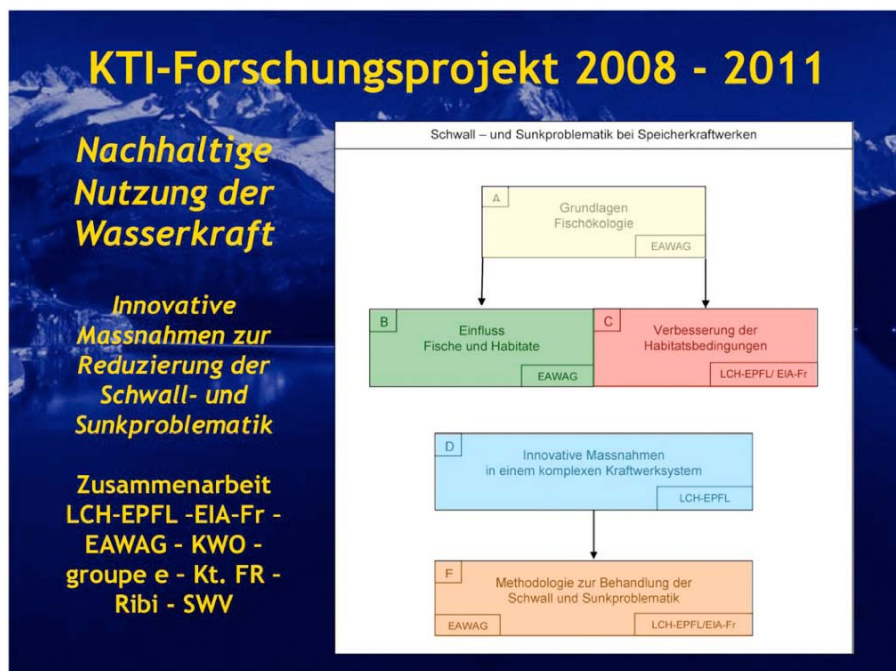


Abbildung 6: Beispiel für ein laufendes Forschungsprojekt mit der expliziten Zielsetzung, Grundlagen und mögliche Lösungsansätze für die Schwallproblematik an einem konkreten Fallbeispiel zu erarbeiten. Darstellung aus dem Referat von Anton Schleiss an der Fachtagung in Solothurn.



Abbildung 7: Beispiel für ein kurz bevorstehendes Forschungsprojekt mit der expliziten Zielsetzung, Grundlagen und mögliche Lösungsansätze für die Schwallproblematik an einem konkreten Fallbeispiel zu erarbeiten. Darstellung aus dem Referat von Klaus Michor an der Fachtagung in Solothurn.

