



Fachtagung vom 9.3.2009, Landhaus Solothurn

# SCHWALL UND SUNK

## IM SPANNUNGSFELD VON ENERGIEWIRTSCHAFT UND ÖKOLOGIE

Problematik, Massnahmen, Erfahrungen



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Energie BFE**



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Umwelt BAFU**

**eawag**  
aquatic research 

Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzämter der Schweiz  
Conférence des chefs des services et offices de la protection de l'environnement de Suisse  
Conferenza dei capi dei servizi per la protezione dell'ambiente della Svizzera

**pro natura** 



**Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband**  
**Association suisse pour l'aménagement des eaux**  
**Associazione svizzera di economia delle acque**



**Veranstalter / Organisateur:**

Wasser-Agenda 21  
Forum Chriesbach  
Überlandstrasse 133  
8600 Dübendorf

**Redaktion / Rédaction:**

Hauptredaktion: Stefan Vollenweider  
Layout: Daniel Angst  
Druck: ADAG Copy AG, Zürich

**Impressum:**

Herausgeberin / Editeur: Wasser-Agenda 21,  
Forum Chriesbach, Überlandstrasse 133,  
8600 Dübendorf.

© Wasser-Agenda 21, Februar 2009

Mit Dank an die Mitgliedern der Wasser-Agenda 21, die Referentinnen und Referenten, den Helfern und die TeilnehmerInnen für die Unterstützung der Veranstaltung.



## HINTERGRUND

Der Betrieb der Speicherkraftwerke richtet sich nach dem Elektrizitätsverbrauch. Wenn Turbinen der Kraftwerke ihren Betrieb aufnehmen, wird die natürliche Wasserführung im Fließgewässer erhöht. Sinkt der Strombedarf, werden die Turbinen gedrosselt oder ganz abgestellt und die Wassermenge nimmt ab. Diese kraftwerksbedingten Abflussschwankungen werden mit Schwall und Sunk bezeichnet. Dabei kann der Maximalabfluss (Schwall) 5 bis 40 Mal grösser sein als der Minimalabfluss (Sunk).

Zu den wichtigsten Einflussfaktoren für die ökologische Qualität und Funktionsfähigkeit eines Fließgewässers gehören der Abfluss und dessen zeitliche Veränderung. Für den Lebensraum und die Lebensgemeinschaft im Gewässer stellen diese kurzfristigen Abflussschwankungen eine Störung dar, wie er natürlicherweise nicht auftreten würde.

In der Schweiz sind diverse Fließgewässerstrecken von Schwall und Sunk beeinträchtigt. Dafür verantwortlich sind schätzungsweise 130 Speicherkraftwerke.

Die negativen Auswirkungen lassen sich durch verschiedene Massnahmen minimieren. Dazu zählen betrieblich und bauliche Massnahmen oder Eingriffe in die Flussmorphologie. Solche Massnahmen werden heute zum Teil bei Neukonzessionen, bzw. Konzessionserneuerungen angeordnet (gestützt auf das Bundesgesetz vom 21. Juni 1991 über die Fischerei). Bis heute haben nur wenige Speicherkraftwerke wirksame Massnahmen zur Minderung von Schwall und Sunk umgesetzt. Weitere Projekte sind in Planung. Eine präzisierende und zielorientierte rechtliche Regelung wird momentan im Rahmen verschiedener politischer Bestrebungen (Initiative „Lebendiges Wasser“ und indirekter Gegenentwurf „Schutz und Nutzung der Gewässer“) diskutiert.

## CONTEXTE

Les centrales hydroélectriques à accumulation sont gérées de façon à pouvoir répondre à la demande en électricité. Leur fonctionnement par écluées provoque en aval une alternance de phases de fort débit dû au turbinage des eaux en période de forte demande et de phases de faible débit causé par leur stockage en période creuse. Ces variations artificielles et subites de débit sont appelées effets d'écluées ou marnage. Le débit de turbinage peut être de 5 à 40 fois supérieur au débit de rétention.

Le débit, et son évolution dans le temps, est l'un des principaux facteurs conditionnant la qualité écologique et la capacité de fonctionnement d'un cours d'eau. Les fluctuations artificielles et subites de débit causées par les écluées hydroélectriques représentent pour les habitats et les communautés biotiques une perturbation qu'ils ne connaîtraient pas naturellement.

En Suisse, de nombreux secteurs de cours d'eau subissent les effets d'écluées hydroélectriques provoquées par un total de près de 130 centrales d'accumulation.

Les perturbations peuvent être atténuées par différents types de mesures allant de l'adaptation du fonctionnement ou de la conception technique des centrales à l'aménagement morphologique des cours d'eau. Ces mesures sont aujourd'hui souvent exigées pour l'octroi ou le renouvellement des concessions (en s'appuyant sur la loi fédérale sur la pêche du 21 juin 1991). Jusqu'à présent, des mesures efficaces d'atténuation du marnage n'ont été mises en œuvre que par un petit nombre de centrales d'accumulation mais d'autres projets sont à l'étude. Au niveau politique, divers acteurs débattent actuellement de la définition d'une réglementation claire et précise en matière d'écluées (Initiative „Eaux vivantes“ et son contre-projet indirect „Protection et utilisation des eaux“).



# INHALTSVERZEICHNIS

Programm	4
Netzwerk Wasser-Agenda 21	6
Vision Wasser-Agenda 21	8
„Exploitation hydroélectrique par éclusées: aperçu de la situation en Suisse“ von Remy Estoppey, BAFU (Folien/Zusammenfassung)	11
<b>BLOCK 1: MASSNAHMEN, PROJEKTE UND AKTIVITÄTEN IN DER SCHWEIZ /</b>	
<hr/>	
„Technische Massnahmen zur Verminderung der Auswirkungen von Schwall und Sunk in Fließgewässern“ von Anton Schleiss, EPF Lausanne (Folien/Zusammenfassung)	17
„Umgang mit Schwall/Sunk bei der Erneuerung des Kraftwerks Amsteg“ von Thomas Burri, SBB (Folien)	31
„Trotz Ausbau der Kraftwerksleistung – deutlich geringere Pegelschwankungen in der Hasliaare“ von Steffen Schweizer, KWO (Artikel)	39
„Schwall-Sunk am Alpenrhein – Vorstellung der geplanten Untersuchungen“ von Klaus Michor, Büro REVITAL, (A) Nussdorf-Debant (Zusammenfassung)	47
<b>BLOCK II: MASSNAHMEN, PROJEKTE UND AKTIVITÄTEN IM AUSLAND /</b>	
<hr/>	
„Erfahrungen zur Schwallproblematik aus Österreich“ von Stefan Schmutz, BOKU Wien (Folien auf Englisch)	55
„Hydropeaking in Noway: Economy and ecology“ von Jan Heggenes, Norwegen (Folien auf Englisch)	63
„Quels leviers pour limiter l'impact des éclusées sur les rivières? Démarche mise en œuvre par EDF“ von Agnès Barillier, EDF, Frankreich (Folien/Zusammenfassung)	71
„Pour une conciliation de l'hydroélectricité et des milieux aquatiques, l'exemple du bassin Adour- Garonne“ von Jean-François Moor, Agence de l'eau Adour-Garonne, Frankreich (Folien/Zusammenfassung)	79
<b>BLOCK III: FAZIT UND AUSBLICK</b>	
<hr/>	
„Wirksamkeit schwalldämpfender Massnahmen, illustriert an verschiedenen Beispielen“ von Peter Baumann, Limnex (Folien/Tabelle)	89
„Fazit aus energiewirtschaftlicher Sicht und Überlegungen zu den ökonomischen Konsequenzen“ von Walter Hauenstein, Schweizer Wasserwirtschaftsverband (Folien)	99
„Fazit aus wissenschaftlicher Sicht und Ausblick auf zukünftige Untersuchungen“ von Armin Peter, Eawag (Folien/Zusammenfassung)	107
Teilnehmerliste	117



## SOMMAIRE

Programme	5
Réseau Agenda 21 pour l'eau	7
Vision Agenda 21 pour l'eau	9
„Exploitation hydroélectrique par éclusées: aperçu de la situation en Suisse“ von Remy Estoppey, OFEV (Diapositives/Résumé)	11
<b>BLOC I: MESURES, PROJETS ET ACTIVITES EN SUISSE</b>	
<hr/>	
„ Solutions techniques d'atténuation des effets des éclusées hydroélectriques dans les cours d'eau“ par Anton Schleiss, EPF Lausanne (Diapositives/Résumé)	17
„La gestion du problème des effets d'éclusées dans le cadre de la transformation de la centrale d'Amsteg“ par Thomas Burri, CFF(Diapositives)	31
„Trotz Ausbau der Kraftwerksleistung – deutlich geringere Pegelschwankungen in der Hasliaare“ par Steffen Schweizer, KWO (Article en allemand)	39
„Effets d'éclusées sur le Rhin alpin: présentation des études prévues“ par Klaus Michor, Bureau REVITAL, (A) Nussdorf-Debant (Résumé)	47
<b>BLOC II: MESURES, PROJETS ET ACTIVITES A L'ETRANGER</b>	
<hr/>	
„ Expérience de l'Autriche en matière d'effets d'éclusées“ par Stefan Schmutz, BOKU Wien (Diapositives en Anglais)	55
„Hydropeaking in Norway: Economy and ecology“ par Jan Heggnes, Norvège (Diapositives en Anglais)	63
„Quels leviers pour limiter l'impact des éclusées sur les rivières? Démarche mise en œuvre par EDF“ par Agnès Barillier, EDF, France (Diapositives/Résumé)	71
„Pour une conciliation de l'hydroélectricité et des milieux aquatiques, l'exemple du bassin Adour- Garonne“ par Jean-François Moor, Agence de l'eau Adour-Garonne, France (Diapositives/Résumé)	79
<b>BLOC III: CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</b>	
<hr/>	
„Efficacité des mesures d'atténuation du marnage vue à travers divers exemples“ par Peter Baumann, Limnex (Diapositives/Tableau)	89
„ Conclusion du point de vue de la production d'énergie et réflexions sur les conséquences économiques“ par Walter Hauenstein, Associations suisse pour l'aménagement des eaux (Résumé)	99
„Conclusions du point de vue scientifique et perspectives de recherche“ par Armin Peter, Eawag (Résumé)	107
Liste des participants	117



# PROGRAMM

## ERÖFFNUNG

- ab 9.00 Registrierung und Begrüssungskaffee  
9.30 Begrüssung und Eröffnung

**Stephan Müller,**  
BAFU und Wasser-Agenda 21

**Moderation: Stephan Müller**

9.35 - 9.55

## EINFÜHRUNG

Exploitation hydroélectrique par éclusées:  
aperçu de la situation en Suisse (Referat in Französisch)

**Remy Estoppey,**  
BAFU

9.55 - 12.00

## BLOCK I: MASSNAHMEN, PROJEKTE UND AKTIVITÄTEN IN DER SCHWEIZ

Technische Massnahmen zur Verminderung der Auswirkungen von  
Schwall und Sunk in Fließgewässern

**Anton Schleiss,**  
EPF Lausanne

Umgang mit Schwall/Sunk bei der Erneuerung des Kraftwerks  
Amsteg

**Thomas Burri,**  
SBB

10.35 - 11.00

### Kaffeepause

Trotz Ausbau der Kraftwerksleistung - deutlich geringere  
Pegelschwankungen in der Hasliaare

**Steffen Schweizer,**  
KWO

Schwall-Sunk am Alpenrhein - Vorstellung der geplanten  
Untersuchungen

**Klaus Michor,**  
Büro REVITAL, (A) Nussdorf-Debant

11.40 - 12.00

### Fragen und Diskussion

12.00 - 13.20

### Stehlunch

**Moderation: Stefan Vollenweider**

13.20 - 15.05

## BLOCK II: MASSNAHMEN, PROJEKTE UND AKTIVITÄTEN IM AUSLAND

Erfahrungen zur Schwallproblematik aus Österreich

**Stefan Schmutz,**  
BOKU Wien

Hydropeaking in Norway: Economy and ecology  
(Referat in Englisch)

**Jan Heggernes,**  
Norwegen

Quels leviers pour limiter l'impact des éclusées sur les rivières?  
Démarche mise en œuvre par EDF (Referat in Französisch)

**Agnès Barillier,**  
EDF, Frankreich

Pour une conciliation de l'hydroélectricité et des milieux aquatiques,  
l'exemple du bassin Adour-Garonne (Referat in Französisch)

**Jean-François Moor,**  
Agence de l'eau Adour-Garonne, Frankreich

14.30 - 14.45

### Fragen und Diskussion

14.45 - 15.05

### Kaffeepause

15.05 - 16.30

## BLOCK III: FAZIT UND AUSBLICK

Wirksamkeit schwalldämpfender Massnahmen, illustriert an  
verschiedenen Beispielen

**Peter Baumann,**  
Limnex

Fazit aus energiewirtschaftlicher Sicht und Überlegungen zu den  
ökonomischen Konsequenzen

**Walter Hauenstein,**  
Schweizer Wasserwirtschaftsverband

Fazit aus wissenschaftlicher Sicht und Ausblick auf zukünftige  
Untersuchungen

**Armin Peter,**  
Eawag

16.00 - 16.15

### Fragen und Diskussion

Fazit aus Bundessicht und Tagungsabschluss

**Stephan Müller,**  
BAFU

16.30 Ende der Tagung



## PROGRAMME

### ACCUEIL ET SÉANCE D'OUVERTURE

- à partir de 9.00 Enregistrement et collation de bienvenue
- 9.30 Allocution de bienvenue et ouverture du colloque **Stephan Müller**,  
OFEV et Agenda 21 pour l'eau

#### Présentation et débat: Stephan Müller

### 9.35 – 9.55 INTRODUCTION

- Exploitation hydroélectrique par éclusées:  
aperçu de la situation en Suisse **Remy Estoppey**,  
OFEV

### 9.55 - 12.00 BLOC I: MESURES, PROJETS ET ACTIVITES EN SUISSE

- Solutions techniques d'atténuation des effets des éclusées  
hydroélectriques dans les cours d'eau (en allemand) **Anton Schleiss**,  
EPF Lausanne

- La gestion du problème des effets d'éclusées dans le cadre de la  
transformation de la centrale d'Amsteg (en allemand) **Thomas Burri**,  
CFF

#### 10.35 - 11.00 Pause café

- Présentation des études projetées sur l'Hasliaare (en allemand) **Steffen Schweizer**,  
KWO

- Effets d'éclusées sur le Rhin alpin: présentation des études prévues  
(en allemand) **Klaus Michor**,  
Bureau REVITAL, (A) Nussdorf-Debant

#### 11.40 - 12.00 Questions et discussion

#### 12.00 - 13.20 Buffet

#### Présentation et débat: Stefan Vollenweider

### 13.20 - 15.05 BLOC II: MESURES, PROJETS ET ACTIVITES A L'ETRANGER

- Expérience de l'Autriche en matière d'effets d'éclusées  
(en allemand) **Stefan Schmutz**,  
BOKU Wien

- Hydropeaking in Norway: Economy and ecology  
(en anglais) **Jan Heggenes**,  
Norvège

- Quels leviers pour limiter l'impact des éclusées sur les rivières?  
Démarche mise en œuvre par EDF **Agnès Barillier**,  
EDF, France

- Pour une conciliation de l'hydroélectricité et des milieux aquatiques,  
l'exemple du bassin Adour-Garonne **Jean-François Moor**,  
Agence de l'eau Adour-Garonne, France

#### 14.30 - 14.45 Questions et discussion

#### 14.45 - 15.05 Pause café

### 15.05 - 16.30 BLOC III: CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- Efficacité des mesures d'atténuation du marnage vue à travers  
divers exemples (en allemand) **Peter Baumann**,  
Limnex

- Conclusion du point de vue de la production d'énergie et réflexions  
sur les conséquences économiques (en allemand) **Walter Hauenstein**,  
Associations suisse pour l'aménagement des eaux

- Conclusions du point de vue scientifique et perspectives de  
recherche (en allemand) **Armin Peter**,  
Eawag

#### 16.00 - 16.15 Questions et discussion

- Conclusions du point de vue de l'administration fédérale et clôture du  
colloque (en allemand) **Stephan Müller**,  
OFEV

16.30 Clôture du séminaire



## NETZWERK WASSER-AGENDA 21

**Wichtige Akteure der schweizerischen Wasserwirtschaft sind in der „Wasser-Agenda 21“ zusammengeschlossen. Wasser-Agenda 21 bezweckt die Unterstützung der Akteure in der Weiterentwicklung der schweizerischen Wasserwirtschaft. Das Netzwerk strebt eine Wasserwirtschaft an, die sich an den Grundsätzen der nachhaltigen Entwicklung orientiert (vgl. Vision in der Beilage).**

Die einzelnen Sektoren der schweizerischen Wasserwirtschaft – Wasserkraftnutzung, Wasserversorgung, Schutz vor Hochwasser, Abwasserreinigung und Gewässerschutz – haben in den vergangenen 50 bis 100 Jahren jeder für sich Enormes geleistet. Heute jedoch ist absehbar, dass beispielsweise durch den Klimawandel, den Druck für eine erhöhte Wasserkraftnutzung oder durch den Eintrag immer neuer Umweltschadstoffe Herausforderungen auf die Wasserwirtschaft zukommen, die sektorenübergreifende Lösungsansätze erfordern.

Aus diesem Grund haben sich wichtige Akteure der schweizerischen Wasserwirtschaft am 20. Juni 2008 zur *Wasser-Agenda 21* zusammengeschlossen. Die Gründungsmitglieder decken ein breites Spektrum der im Wasserbereich aktiven Behörden und Organisationen ab: das Bundesamt für Umwelt BAFU, das Bundesamt für Energie BFE, das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs Eawag, die Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzämter der Schweiz KVV, der Schweizerische Verein des Gas- und Wasserfaches SVGW, der Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA, der Schweizerische Wasserwirtschaftsverband SWV sowie der WWF und Pro Natura als Umweltschutzorganisationen. Das Netzwerk ist als Verein organisiert. Der Vorstand wird vom BAFU präsiert, und die Geschäftsstelle ist an der Eawag angesiedelt.

### **Schutz und Nutzungen von Wasser in Einklang bringen**

*Wasser-Agenda 21* ist vorwiegend auf nationaler Ebene tätig und versteht sich als Dialogplattform und Think Tank der Schweizer Wasserwirtschaft. Gemeinsam wollen die Wasserakteure die neuen Herausforderungen der Wasserwirtschaft analysieren und Wege zu ihrer Bewältigung aufzeigen. *Wasser-Agenda 21* wird die Arbeit der schon bestehenden Strukturen unterstützen und besser aufeinander abstimmen. Zudem will das Netzwerk Einfluss nehmen auf die Entwicklung der Politik und der rechtlichen Grundlagen im Wasserbereich.

*Wasser-Agenda 21* verpflichtet sich, Gesamtstrategien zu entwickeln, die die Wertschöpfungen aus dem Umgang mit Wasser für Gesellschaft und Umwelt auf Dauer optimieren und Bedrohungen durch das Wasser so gut wie möglich abwenden und mildern. Diese Strategien müssen alle wesentlichen Nutzungen von Wasser (z.B. Wasserversorgung, Nahrungsmittelproduktion und Energiegewinnung), den Schutz vor Hochwassergefahren (Schutz der Bevölkerung und grosser Sachwerte), die ökologischen Funktionen der Gewässer (als selbstregulierende Ökosysteme, Habitate von Pflanzen und Tieren und vernetzende Landschaftselemente) sowie die Erholungsfunktionen und emotionellen Werte der Gewässer optimal gewährleisten.

Weitere Informationen: [www.wa21.ch](http://www.wa21.ch)





## RÉSEAU AGENDA 21 POUR L'EAU

**Des acteurs importants du secteur suisse de la gestion des eaux se sont regroupés pour créer le réseau „Agenda 21 pour l'eau“. Cette structure vise à soutenir les acteurs dans leur effort de développement de la gestion des eaux en Suisse. Le réseau souhaite promouvoir une gestion des eaux conçue selon les principes du développement durable (cf. Vision en annexe).**

Les différents secteurs de la gestion des eaux en Suisse – exploitation de la force hydraulique, approvisionnement en eau, protection contre les crues, épuration et protection des eaux – ont réalisé chacun de leur côté des avancées colossales au cours des 50 à 100 dernières années. Il apparaît cependant aujourd'hui que les problèmes qui se poseront dans l'avenir, que ce soit sous l'effet du changement climatique, d'une demande accrue en énergie hydroélectrique ou de l'émergence de nouveaux types de pollutions, nécessiteront des approches non plus sectorielles mais globales.

C'est pour cette raison que l'Agenda 21 pour l'eau a été créé. Les membres fondateurs couvrent un large spectre d'activités et représentent un grand nombre d'institutions et organisations agissant dans le domaine de l'eau: l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), l'Institut de recherche de l'eau du domaine des EPF (Eawag), la Conférence suisse des chefs de services et offices cantonaux de protection de l'environnement (CCE), la Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux (SSIGE), l'Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA), l'Association suisse pour l'aménagement des eaux (ASAE/SWV) ainsi que le WWF et ProNatura pour les organisations écologistes. Le nouveau réseau a statut d'association, la présidence étant assurée par l'OFEV et le secrétariat domicilié à l'Eawag.

### **Concilier utilisation et protection de l'eau**

Agenda 21 pour l'eau est principalement actif au niveau national et se conçoit comme une plateforme de dialogue constituant un réservoir d'idées pour la gestion des eaux. Les acteurs du domaine de l'eau souhaitent unir leurs forces pour analyser les nouveaux défis de gestion et dégager des pistes pour y répondre. Le réseau soutiendra le travail des structures déjà existantes et veillera à une meilleure coordination des efforts. Il souhaite d'autre part exercer une influence sur les développements politiques et juridiques dans le domaine de l'eau.

Agenda 21 pour l'eau s'engage à élaborer des stratégies globales visant une optimisation durable pour la société et l'environnement de la création de valeur issue des rapports à l'eau et permettant autant que possible d'atténuer ou d'écartier les dangers liés à cet élément. Ces stratégies de gestion doivent assurer de façon optimale le maintien des principales formes d'exploitation de l'eau (eau potable, production agricole, énergie, etc.), la protection contre crues (protection de la population et des biens), la pérennité des fonctions écologiques des milieux aquatiques (en tant qu'écosystèmes capables de s'autoréguler, qu'habitats faunistiques et floristiques et qu'éléments connecteurs des paysages) et la préservation de leur valeur émotionnelle et récréative.

Informations: [www.wa21.ch](http://www.wa21.ch)



*Die Vision drückt die Idealvorstellung für das Funktionieren der Wasserwirtschaft im Jahre 2030 aus und erklärt deren Bedeutung für Gesellschaft und Umwelt. Sie bildet den Orientierungsrahmen für die Arbeiten der Wasser-Agenda 21.*

## Vision Wasser-Agenda 21

*Die Schweiz ist reich an Wasser. Nutzung und der Schutz der Wasserressourcen sind zentrale Faktoren für die gedeihliche Entwicklung von Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt. Als Oberliegerin wichtiger europäischer Flüsse obliegt es der Schweiz, Qualität und Regime des abfließenden Wasser in gutem Zustand zu erhalten, um damit die Wassernutzungen und den Hochwasserschutz in den Nachbarländern zu unterstützen.*

Die schweizerische Wasserwirtschaft orientiert sich an den Grundsätzen einer nachhaltigen Entwicklung. Sie strebt an, die Wertschöpfung des Umgangs mit dem Wasser für Gesellschaft und Umwelt auf Dauer zu optimieren. Bedrohungen durch Wasser werden so gut wie möglich abgewendet bzw. gemildert.

Dauerhaft zu gewährleisten sind:

- *alle wesentlichen Nutzungen von Wasser*  
die für die Wasserversorgung, die Nahrungsmittelproduktion, die Gesundheit von Mensch und Tier, die Energieversorgung, den Verkehr und damit für Wirtschaft, Wohlstand und Wohlbefinden unabdingbar sind
- *der Schutz vor Hochwassergefahren*  
zur Bewahrung von Menschenleben, nutzbarem Land und Sachwerten,
- *die ökologischen Funktionen der Gewässer*  
als Lebensräume für selbst regulierende Lebensgemeinschaften von Tieren und Pflanzen sowie als Elemente der die Landschaft prägenden ökologischen Netzwerke,
- *die Erholungsfunktionen und emotionellen Werte der Gewässer.*

Interessengegensätze zwischen diesen Grundanliegen werden in einer gesamtheitlichen Sichtweise angegangen. Die Bewirtschaftung der Wasserressourcen erfolgt sektoren übergreifend und vorwiegend regional, möglichst mit hydrologischem Einzugsgebiet als Bezugsraum. Sie richtet sich nach den natürlichen Voraussetzungen sowie den raumplanerischen, wirtschaftlichen und sozialen Gegebenheiten einer Region.

Die Bewirtschaftung des Wassers wird in transparenten Verfahren unter Einbezug aller wesentlichen Interessen und Betroffenen entwickelt. Im Rahmen der Regionalplanung werden die Anliegen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft mit anderen wichtigen Handlungsbereichen abgestimmt. Dabei werden auch überregionale, nationale und internationale Interessen am Wasser in Rechnung gestellt.

Für den Umgang mit den Wasserressourcen bestehen Rahmenbedingungen, die Anreize für eigeninitiatives und -verantwortliches Handeln aller Akteure schaffen. Grosses Gewicht wird darauf gelegt, die Fachkompetenzen aller Wasserakteure sowie das Verständnis für das Wasser in der Gesellschaft zu fördern.



*La Vision exprime notre conception de ce que serait dans l'idéal le fonctionnement de l'gestion des eaux à l'horizon 2030 et la place qu'elle occuperait alors dans le contexte sociétal et environnemental. Elle constitue le cadre conceptuel des travaux de l'Agenda 21 pour les eaux.*

## Vision Agenda 21 pour l'eau

*La Suisse possède des ressources en eau particulièrement abondantes qu'il importe de protéger et d'exploiter de façon raisonnée pour garantir un développement harmonieux de la société, de l'économie et de l'environnement. Située à la source de plusieurs fleuves européens majeurs, il est de son devoir d'assurer une bonne qualité et un régime équilibré des eaux qui s'écoulent de son territoire afin de permettre aux pays limitrophes de procéder à la fois à une exploitation raisonnée de la ressource et d'assurer une protection efficace contre les crues.*

S'inscrivant dans une perspective de développement durable, la gestion des eaux suisse du XXI<sup>e</sup> s. s'est fixé pour objectif la valorisation des rapports à l'eau dans un souci d'optimisation durable tant sur le plan environnemental que sociétal. Les menaces liées à l'eau doivent être autant que possible évitées ou atténuées.

Les fonctions suivantes doivent être assurées durablement:

- *toutes les formes principales d'exploitation de la ressource en eau* nécessaires à l'approvisionnement en eau potable, à la production de denrées alimentaires, à la santé humaine et animale, à la production d'énergie et aux transports et donc à l'économie, à la prospérité et au bien-être de la population.
- *la protection contre les dangers dus aux crues et inondations* pour préserver les vies humaines, les terres et les biens.
- *les fonctions écologiques des eaux* en tant qu'espaces de vie de communautés animales et végétales capables de s'autoréguler et en tant qu'éléments constitutifs de réseaux écologiques à fort impact paysager.
- *les fonctions récréatives et émotionnelles des lacs et cours d'eau.*

Les intérêts contradictoires liés à ces différentes fonctions et activités sont alors pris en compte et traités par une approche globale et intégrative. La politique de gestion et d'exploitation des ressources en eau s'inscrit dans une optique volontairement plurisectorielle, se pratique principalement à l'échelle régionale dans des unités de gestion correspondant autant que possible au bassin hydrologique et s'adapte aux caractéristiques naturelles, économiques et sociales de la région concernée. Elle est intégrée au cadre général défini par l'aménagement du territoire.

La politique de gestion des eaux est élaborée dans la transparence avec la participation des principaux groupes d'intérêts et personnes impliquées. Une coordination des exigences de gestion durable des eaux avec celles des autres domaines d'activité est assurée dans le cadre d'une planification régionale de l'aménagement du territoire qui tient également compte des intérêts que suscite l'eau au-delà des limites régionales et nationales.

Un contexte favorable aux initiatives personnelles et à une attitude responsable de chacun des acteurs face aux ressources en eau s'est mis en place. Une des priorités consiste alors de favoriser l'accroissement des compétences chez tous les acteurs du secteur de l'eau tout en améliorant la compréhension de la signification de l'eau pour la société.





## **Remy Estoppey**

Office fédérale de l'environnement, OFEV

- Folien / Diapositives (f)
- Zusammenfassung (d)
- Résumé (d)

# Exploitation hydroélectrique

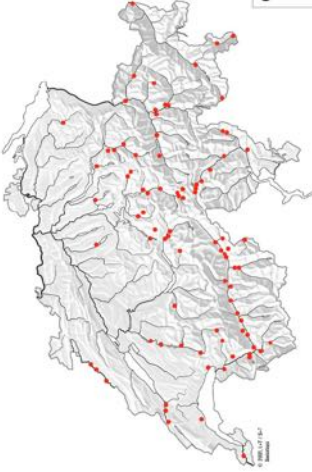


aperçu de la situation par éclusées: en Suisse

OFEV Rémy Estoppey, Devanthéry Daniel

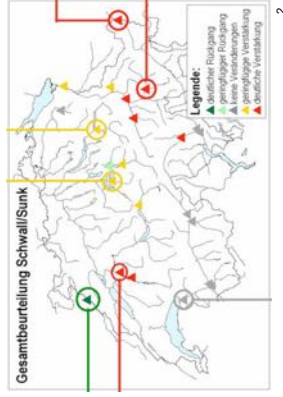
Agenda 21 pour l'eau, 9 mars 2009

## 2. Publications OFEV – études existantes



Env. 25% des 530 centrales >300 kW provoquent des éclusées nuisibles.

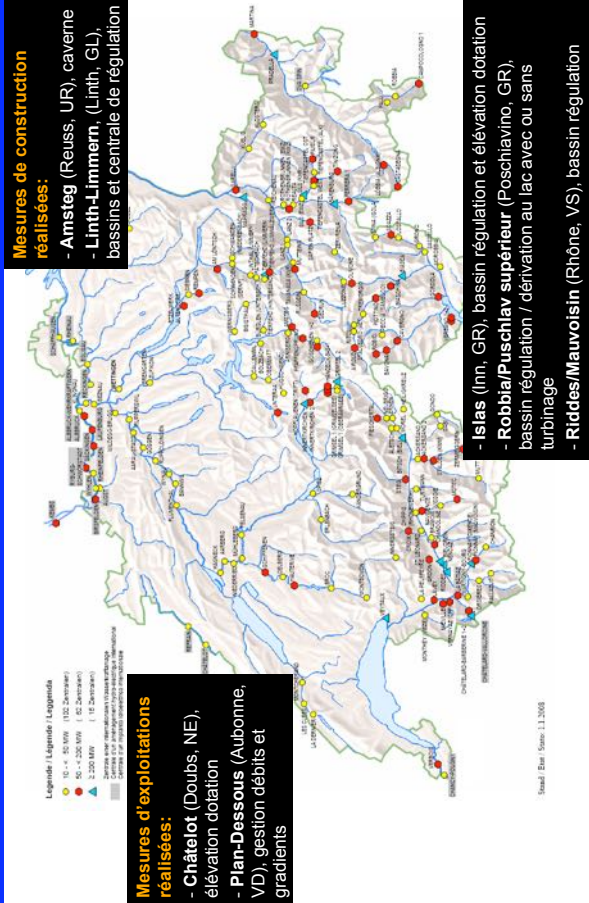
Conséquences écologiques des éclusées: étude bibliographique, Informations concernant la pêche n° 75, OFEFP 2003



Augmentation faible à significative du phénomène d'éclusee sur les 20 à 30 dernières années.

Veränderungen von Schwall-Sunk, Hydrologische Datenanalyse zur Charakterisierung von Schwall-Sunk Phänomenen in der Schweiz, BAFU 2007

## 4.1 Aperçu: projets réalisés ou planifiés



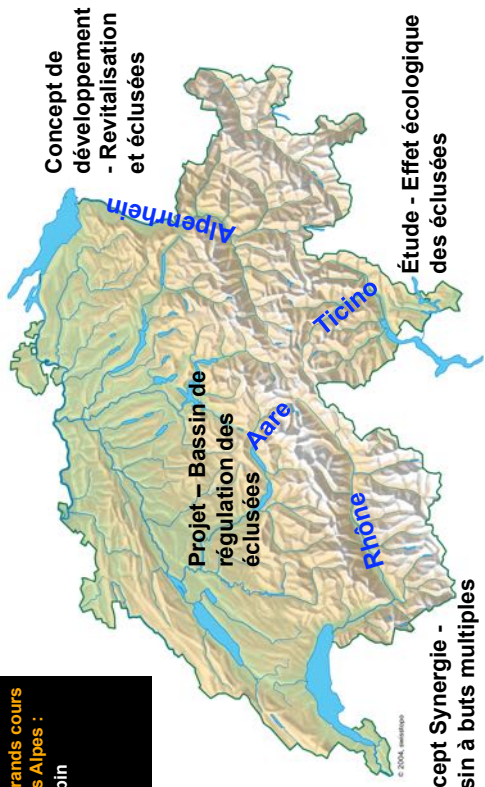
Mesures de construction réalisées:  
- Amsteg (Reuss, UR), caverne  
- Linth-Limmern (Linth, GL) bassins et centrale de régulation

Mesures d'exploitations réalisées:  
- Châtelot (Doubs, NE), élévation dotation  
- Plan-Dessous (Aubonne, VD), gestion débits et gradients

- Isias (Inn, GR), bassin régulation et élévation dotation  
- Robbia/Puschlav supérieur (Poschiavino, GR), bassin régulation / dérivation au lac avec ou sans turbinage  
- Riddes/Mauvoisin (Rhône, VS), bassin régulation  
Projets planifiés, pas (encore) réalisés.

## 4.2 Aperçu: projets de recherche

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



Concept de développement - Revitalisation et éclusées

Projet – Bassin de régulation des éclusées

Étude - Effet écologique des éclusées

Concept Synergie - Bassin à buts multiples

## **Schwallbetrieb von Wasserkraftwerken: Überblick über die Situation in der Schweiz**

Remy Estoppey, BAFU

Um ein stabiles Stromnetz gewährleisten zu können, muss die Stromproduktion den Verbrauchsschwankungen folgen. Speicherkraftwerke spielen dabei eine zentrale Rolle, indem sie ihre Produktion direkt an der Nachfrage ausrichten. Infolge dieser Anpassung steigt der Abfluss unterhalb des Kraftwerks durch die Rückgabe von turbinierem Wasser (Schwall) bei hoher Nachfrage und sinkt bei nachlassendem Verbrauch dann plötzlich wieder ab (Sunk).

In der Schweiz wird die Anzahl der Kraftwerke, die Schwall und Sunk verursachen, auf ca. 100 geschätzt. Sie befinden sich hauptsächlich an den grösseren Flüssen in den Alpen, am Alpenrand und im Schweizer Jura. Schwall-Sunk Phänomene haben mit dem Bau der grossen Staudämme in der 2. Hälfte des letzten Jahrhunderts an Bedeutung gewonnen. Eine hydrologische Datenanalyse der letzten 20 – 30 Jahre zeigt eine leichte bis signifikante Verstärkung der Schwall-Sunk Erscheinungen bei über der Hälfte der untersuchten Messstationen auf<sup>1</sup>.

Die negativen ökologischen Auswirkungen des Schwallregimes auf die aquatische Fauna sind bekannt<sup>2</sup>. Hingegen sind noch Untersuchungen notwendig, um festzulegen, welches Ausmass die Massnahmen zur Minderung dieser Auswirkungen haben müssen.

Zur Schwalldämpfung wurden an den Kraftwerken Plan-Dessous an der Aubonne (VD) und Châtelot am Doubs (NE) zum Beispiel betriebliche Massnahmen durchgeführt, während bei den Kraftwerken Linth-Limmern an der Linth (GL) und Amsteg an der Reuss (UR) wasserbauliche Massnahmen getroffen wurden. Weitere Untersuchungen für wasserbauliche Massnahmen wurden bei den Kraftwerken Islas am Inn (GR), Mauvoisin an der Rhone (VS) und den Wasserkraftwerken Oberen Puschlav am Poschiavino (GR) durchgeführt; die geplanten Realisierungen sind (noch) nicht durchgeführt. Zurzeit sind Forschungsprojekte an den grossen Alpenflüssen Alpenrhein, Rhone, Aare und Ticino in Planung oder bereits in Arbeit.

Da keine Informationen über diese Projekte und Studien veröffentlicht werden - es sei denn am Ende der Bauarbeiten - ist der Wissenstransfer im Moment noch unzureichend. Es ist deshalb ein Anliegen dieser Fachtagung, den Austausch zu intensivieren, um lokalen Überlegungen mehr Anklang zu gewähren. Bei einem Überblick über die Schwall-Sunk Problematik darf aber auch die Erfahrung unserer europäischen Nachbarn nicht fehlen, die innerhalb der von der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) festgelegten Frist, Lösungen für das Problem erarbeiten müssen.

Noch sieht die aktuelle Gesetzgebung keine besondere Regelung für den Schwallbetrieb von Kraftwerken vor. Es können aber trotzdem Massnahmen zum Schutz der aquatischen

---

<sup>1</sup> Veränderungen von Schwall-Sunk, Hydrologische Datenanalyse zur Charakterisierung von Schwall-Sunk Phänomenen in der Schweiz, BAFU 2007.

<sup>2</sup> Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes. Mitteilungen zur Fischerei Nr. 75, BUWAL, 2003.

Fauna in Anlehnung an das Fischereigesetz verlangt werden. Wenn die Initiative « Schutz und Nutzung der Gewässer » zustande kommt, werden neue spezifische Vorschriften gelten. In Anbetracht der zahlreichen Interaktionen, die in einem Flussgebiet stattfinden, sollte die Planung der Massnahmen auf dieser Ebene stattfinden.

EY, DD/OFEV/29.1.2009



## **Exploitation hydroélectrique par éclusées: aperçu de la situation en Suisse**

Remy Estoppey, OFEV

La production d'électricité suit les fluctuations de la consommation pour garantir la stabilité du réseau. Les centrales hydrauliques à accumulation y contribuent en première ligne en adaptant leur production aux variations de la demande. En conséquence, le débit restitué au cours d'eau en aval de la centrale augmente puis tarit brusquement, en fonction des phases de turbinage.

En Suisse, le nombre de centrales pouvant provoquer des éclusées nuisibles est estimé à 100. Elles se trouvent principalement au bord des cours d'eau principaux des vallées alpines, préalpines et du Jura. Le phénomène a pris de l'ampleur principalement avec la construction des grands barrages, dans la deuxième moitié du siècle passé. Sur les 20 - 30 dernières années, l'analyse hydrographique de ce régime d'exploitation montre une augmentation faible à significative du phénomène pour plus de la moitié des stations de mesures évaluées<sup>1</sup>.

Les impacts écologiques néfastes sur la faune aquatique sont connus<sup>2</sup>. Par contre, concernant l'ampleur des mesures d'assainissement nécessaires, plusieurs aspects doivent encore être étudiés.

Parmi les réalisations pour atténuer les éclusées, nous connaissons les mesures d'exploitations des centrales de Plan-Dessous sur l'Aubonne (VD) et du Châtelot sur le Doubs (NE), ainsi que les mesures de construction des aménagements Linth-Limmern sur la Linth (GL) et d'Amsteg sur la Reuss (UR). Des études ont eu lieu pour les aménagements d'Isas sur l'Inn (GR), de Mauvoisin sur le Rhône (VS) et du Puschlav supérieur sur le Poschiavino (GR) ; les aménagements concernés n'ont pas (encore) été réalisés. Actuellement, des projets de recherche sont en cours ou à l'étude sur les grands fleuves des Alpes : le Rhin alpin, le Rhône, l'Aar et le Ticino.

Les informations sur ces projets et études n'étant pas publiées, ou seulement à la fin des travaux, l'accès à ces connaissances est actuellement insuffisante. C'est pourquoi, le présent séminaire s'attelle à multiplier l'échange, afin de faire fructifier les réflexions locales. Un aperçu de la situation ne saurait être complet sans les expériences de pays de l'Union Européenne, qui doivent faire face à des questions semblables dans un délai déterminé par la DCE.

La législation actuelle ne prévoit pas de réglementation explicite des éclusées. Néanmoins, des mesures basées sur la loi fédérale sur la pêche peuvent déjà être prescrites pour protéger la faune aquatique. Si l'initiative parlementaire «Protection et utilisation des eaux» aboutit, des prescriptions spécifiques entreront en vigueur. Au vu des nombreuses interactions au sein d'un bassin versant, la planification des mesures à prendre devra s'effectuer à l'échelle correspondant à cette unité.

EY, DD/OFEV/29.1.2009

---

<sup>1</sup> Veränderungen von Schwall-Sunk, Hydrologische Datenanalyse zur Charakterisierung von Schwall-Sunk Phänomenen in der Schweiz, BAFU 2007.

<sup>2</sup> Conséquences écologiques des éclusées, étude bibliographique, Informations concernant la pêche n° 75, OFEFP 2003.





# **Anton Schleiss**

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL

- Folien / Diapositives (d)
- Zusammenfassung / Résumé (f)

## Technische Massnahmen zur Verminderung der Auswirkungen von Schwall und Sunk in Fließgewässern

Prof. Dr Anton Schleiss

Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH)  
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)



Fachtagung Wasser-Agenda 21  
Solothurn 9. März 2009



## Inhalt des Vortrages

1. Einleitung - Bedeutung der heimischen Wasserkraft für die Schweiz und Europa
2. Ursachen von Schwall und Sunk
3. Technische Massnahmen gegen Schwall und Sunk
4. Beispiele von baulichen Massnahmen und Resultate der aktuellen Forschung
5. Schlussfolgerungen

## Einleitung - Bedeutung der heimischen Wasserkraft für die Schweiz und Europa

### Trumpfe der Wasserkraft

- Erneuerbare Energie ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen
- Ausgezeichneter Wirkungsgrad und Effizienz
- regulierbar gemäss Nachfrage
- Heimische Energie welche Arbeitsplätze in den Alpenländern schafft (Steuern und Wasserzins)
- Verbesserung der Infrastrukturen und der touristischen Attraktivität
- Bedeutender Beitrag an den Hochwasserschutz



## Wasserkraft in den Alpenländern und in Europa

Land	Installierte Leistung MW	Mittlere Jahresproduktion GWh/a (2006/07)	Anteil Wasserkraft an der tot. Elektrizitätsproduktion
Deutschland	4'525	27'900	4.4%
Österreich	11'853	37'200	58.3%
Frankreich	25'200	64'600	11.1%
Italien	17'459	38'481	12.3%
Slovenien	846	3'120	24.0%
<b>Schweiz</b>	<b>13'356</b>	<b>35'483</b>	<b>55.2%</b>
Alpenländer	73'240	206'780	16.3%
Europa*	178'814	531'000	15.5%



\* (ohne Russland und Türkei) gemäss Hydropower&Dams World Atlas 2008

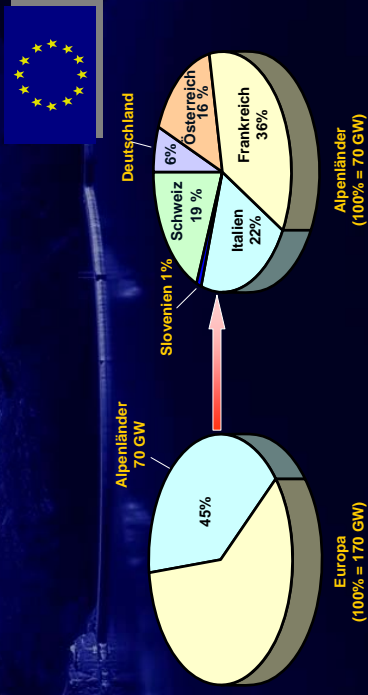
## Bedeutung der Speicherenergie (Jahrespeicher - Stauseen)

	Produktion GWh/a	% der Wasserkraft- produktion
Deutschland	ca. 800	5%
Österreich	11 622	30%
Frankreich	ca. 12 000	17%
Italien	16 871	36%
Slovenien	-	-
Schweiz	18 462	53%



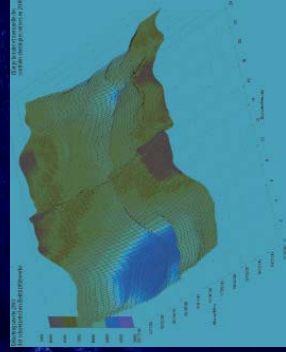
## Rolle der Schweiz im Alpenraum und in Europa

### Leistung der Wasserkraftanlagen

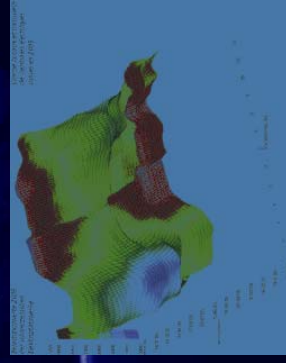


## Der Stromkonsument verlangt Spitzenenergie mit Knopfdruck

### Belastungsdiagramme

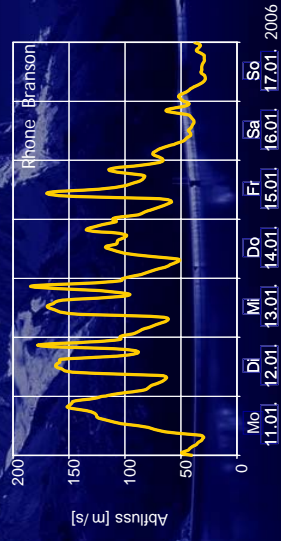


2000



2005

## Definition und Ursache von Schwall und Sunk



**Schwall:**

rasch ansteigender Abfluss

**Sunk:**

rasch sinkender Abfluss

**Schwall/Sunk:** häufiger Wechsel zwischen hohem und tiefem Abfluss

**Ursache:**

Elektrizitätsproduktion der Speicherkraftwerke zur Deckung der im Tagesverlauf stark variierenden Stromnachfrage

## Definition und Ursache von Schwall und Sunk



Vispa Minimalabfluss  
1 m<sup>3</sup>/s 16.02.2006 ; 8h

[Melli, 2006]



Vispa Abfluss  
13 m<sup>3</sup>/s ; 16.02.2006 ; 17h

[Schmelli, 2005]



Lech Abfluss ca. 20 m<sup>3</sup>/s



Lech Abfluss ca. 160 m<sup>3</sup>/s

## Massnahmen gegen Schwall und Sunk

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

## Problematik der betrieblichen Massnahmen

- Betriebliche Massnahmen bedeuten, dass die Speicherkraftwerke nicht mehr ungeschränkt zur Netzregulierung und zur Produktion von Spitzenenergie eingesetzt werden könnten
- Die betrieblichen Einbussen sind wirtschaftlich unverhältnismässig und gefährden die Nachhaltigkeit der Investitionen
- Die fehlende Spitzen- und Regulierenergie müsste anderweitig bereitgestellt werden, beispielsweise durch Gaskombikraftwerke, was wiederum mit zusätzlichen CO<sub>2</sub> - Emissionen verbunden wäre
- Die Eigenständigkeit der schweizerischen Elektrizitätsversorgung und Sicherheit der Stromversorgung würde gefährdet

## Problematik der technischen Massnahmen

- Bauliche oder technische Massnahmen sind auch investitionsintensiv
- Sie lassen sich ökonomisch und energiewirtschaftlich vertreten durch einen hohen Ökolabel der Wasserkraft
- Baulich oder technische Massnahmen erzielen optimale Synergien falls sie als Mehrzweckprojekte realisiert werden
- Partnerschaft zwischen den verschiedenen Interessengruppen ist von grösster Bedeutung

## Beispiele von baulichen Massnahmen Ausgleichsbecken



Leistungserhöhungen von bestehenden Speicherkraftwerken



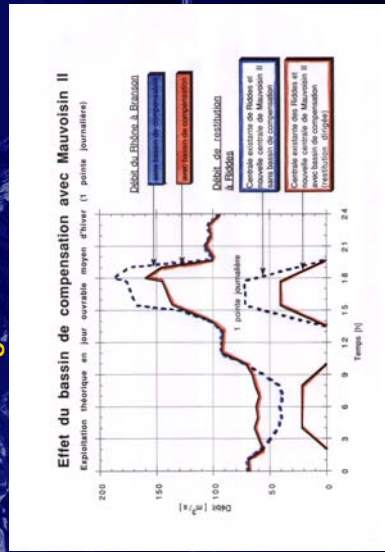
Projekt Mauvoisin II - 550 MW (1996)  
Erhöhung der Turbinierwassermenge von 28.75 m<sup>3</sup>/s auf 74.75 m<sup>3</sup>/s

## Beispiele von baulichen Massnahmen: Ausgleichsbecken



Projekt Mauvoisin II - 550 MW (1996)  
Ausgleichsbecken 470'000 m<sup>3</sup> Kosten 40 Mio. Fr.

## Beispiele von baulichen Massnahmen: Ausgleichsbecken



Projekt Mauvoisin II - 550 MW (1996)  
Ausgleichsbecken 470'000 m<sup>3</sup> Kosten 40 Mio. Fr.

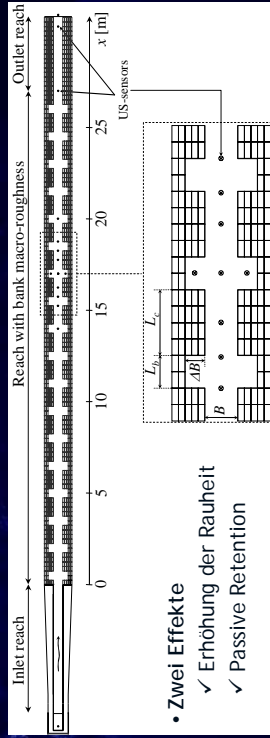
## Beispiele von baulichen Massnahmen Ausgleichsbecken



Bassin de compensation avec canal de fuite, vue depuis la route Riddes - Mayens-de-Riddes  
vue des travaux aménagés

Projekt Mauvoisin II - 550 MW (1996)  
Ausgleichsbecken 470'000 m<sup>3</sup> Kosten 40 Mio. Fr.

## Beispiele von baulichen Massnahmen: Verbesserung der Gewässermorphologie mit grossmasstäblichen Uferbauwerken



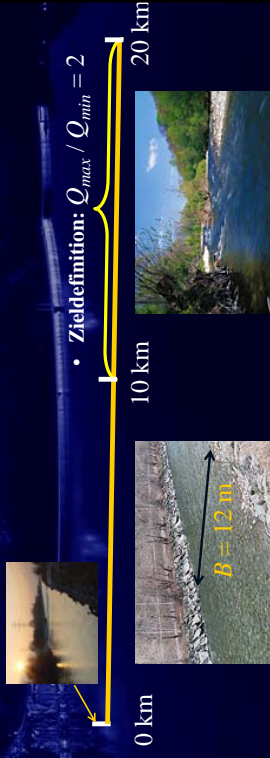
- Zwei Effekte
  - ✓ Erhöhung der Rauheit
  - ✓ Passive Retention

Forschungsprojekt Dr. Tobias Meile 2003 - 2008

## Verbesserung der Gewässermorphologie mit grossmasstäblichen Uferbauwerken

- Anwendungsspiel Ausgangslage:

- ✓ Gewässergeometrie:  $B = 12 \text{ m}$ ,  $S_0 = 1.5 \text{ ‰}$ ,  $K_{st} = 35 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ,  $L = 20 \text{ km}$
- ✓ Speicherzentrale bei km 0.0:  $Q_{total} / Q_b = 58.8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} / 9.8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 6 / 1$
- ✓ Turbinierdauer:  $T = 2 \text{ h}$  respektive  $T = 0.5 \text{ h}$



Forschungsprojekt Dr. Tobias Meile 2003 - 2008

Bilder: [invermangement.ch]

## Verbesserung der Gewässermorphologie mit grossmasstäblichen Uferbauwerken Vergleich von 4 Fällen

- 1) Status quo = Fliesretention prismatisches Gerinne

0 km      10 km      20 km

- 2) Ausgleichsbecken unmittelbar nach Zentrale

0 km      10 km      20 km

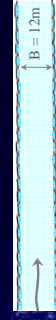


Forschungsprojekt  
Dr. Tobias Meile 2003 - 2008

## Verbesserung der Gewässermorphologie mit grossmasstäblichen Uferbauwerken (GMR) Vergleich von 4 Fällen

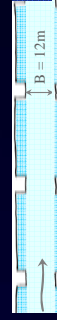
- 3) Ufer mit GMR (ohne signifikante passive Retention)

0 km      10 km      20 km



- 4) Ufer mit GMR (inklusive passive Retentionsflächen)

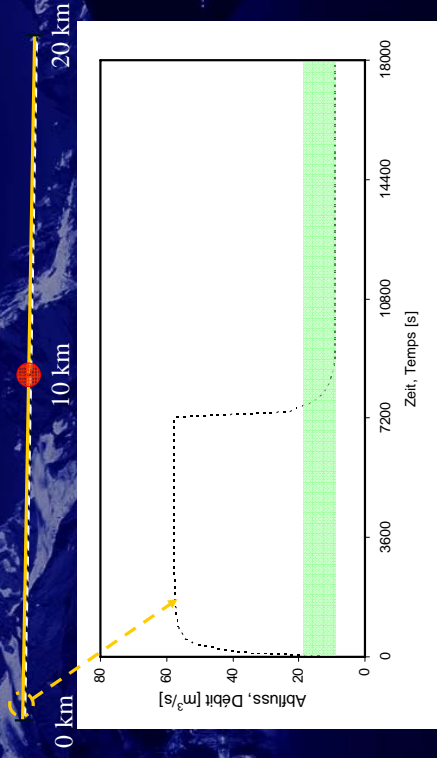
0 km      10 km      20 km



Forschungsprojekt  
Dr. Tobias Meile 2003 - 2008

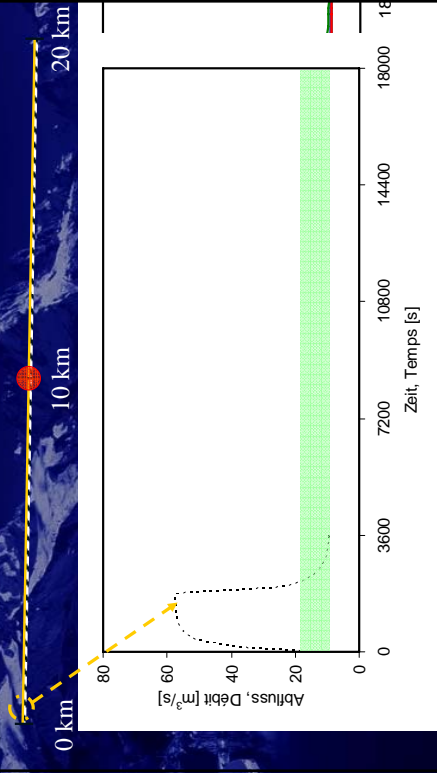


## Turbinierdauer = 2 Stunden



Forschungsprojekt Dr. Tobias Meile 2003 - 2008

## Turbinierdauer = 0.5 Stunden



Forschungsprojekt Dr. Tobias Meile 2003 - 2008

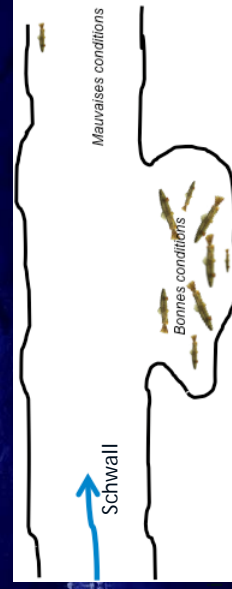
## Reduzierung des Schwallen durch grossmassstäblichen Uferrauheiten: Vergleich von 4 Fällen

	$T = 2 \text{ h}$ $Q_{max} / Q_{min}$	$T = 30 \text{ min}$ $Q_{max} / Q_{min}$	Massnahme	Status quo
	6 / 1	3.9 / 1		
	2 / 1	2 / 1	Vol. = 280'000 m <sup>3</sup> (2h) Vol. = 70'000 m <sup>3</sup> (30min)	
	5.6 / 1	3 / 1	Gewässerbau zur Erhöhung der Uferrauheit, 10 km	
	4.9 / 1	2.3 / 1	Idem & Bereitstellung von passiven Retentionsflächen 64'000 m <sup>2</sup>	

- Einfluss von T ist gross
  - Optimierung der Massnahmen
- Forschungsprojekt Dr. Tobias Meile 2003 - 2008

## Beispiele von baulichen Massnahmen: Verbesserung der Habitatbedingungen bei Schwall und Sunk und Sunk

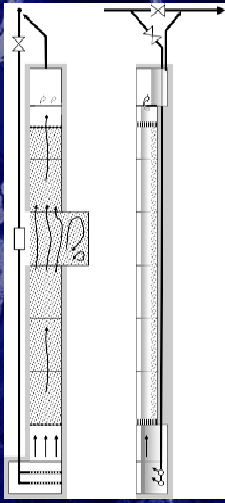
### Uferrückzugsmöglichkeiten von Fischen



Wie müssen die Uferbuchten ausgestaltet sein, damit sich die Fische bei Schwall und Sunk dorthin zurückziehen können?

Forschungsprojekt J.-M. Ribi 2006 - 2010, Masterarbeit K. Steffen 2009

## Verbesserung der Habitatbedingungen bei Schwall und Sunk



Systematische Experimente in einem Kanal mit Fischen:  
Zusammenarbeit LCH-EPFL -EIA-Fr - EAWAG

Forschungsprojekt J.-M. Ribí 2006 - 2010, Masterarbeit K. Steffen 2009

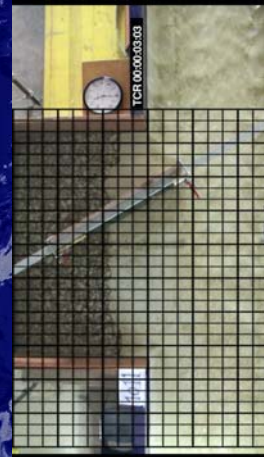
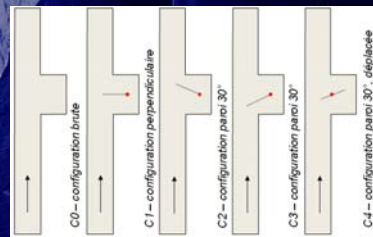
## Verbesserung der Habitatbedingungen bei Schwall und Sunk



Systematische Experimente in einem Kanal mit Fischen:  
Zusammenarbeit LCH-EPFL -EIA-Fr - EAWAG

Forschungsprojekt J.-M. Ribí 2006 - 2010, Masterarbeit K. Steffen 2009

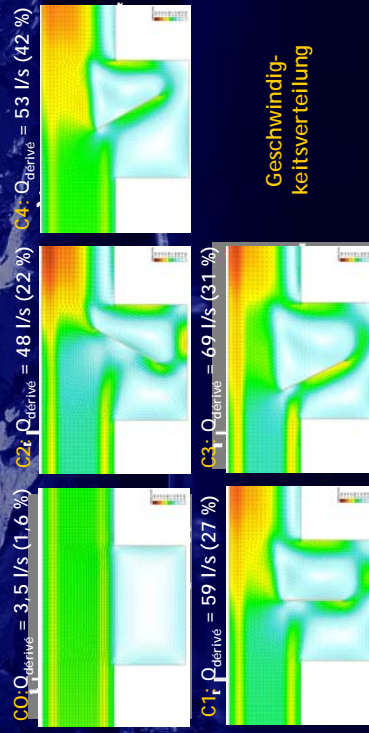
## Verbesserung der Habitatbedingungen bei Schwall und Sunk



Systematische Experimente in einem Kanal mit Fischen: Untersuchte Bucht Konfigurationen

Forschungsprojekt J.-M. Ribí 2006 - 2010, Masterarbeit K. Steffen 2009

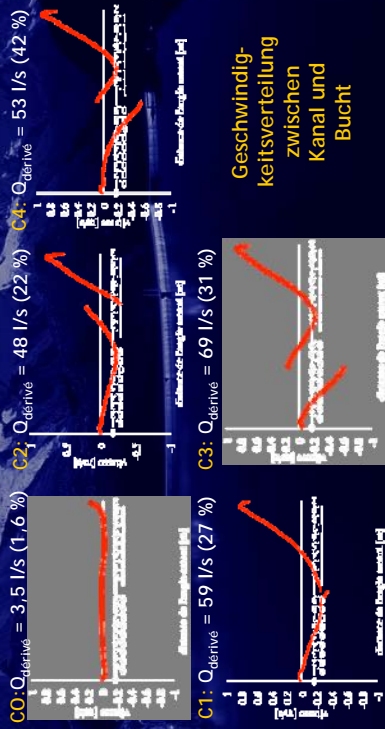
## Verbesserung der Habitatbedingungen bei Schwall und Sunk



Geschwindigkeitsverteilung

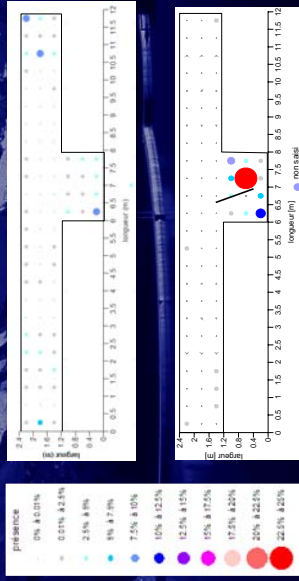
Forschungsprojekt J.-M. Ribí 2006 - 2010, Masterarbeit K. Steffen 2009

## Verbesserung der Habitatbedingungen bei Schwall und Sunk



Forschungsprojekt J.-M. Ribi 2006 – 2010, Masterarbeit K. Steffen 2009

## Verbesserung der Habitatbedingungen bei Schwall und Sunk



Forschungsprojekt J.-M. Ribi 2006 – 2010, Masterarbeit K. Steffen 2009

## Verbesserung der Habitatbedingungen bei Schwall und Sunk

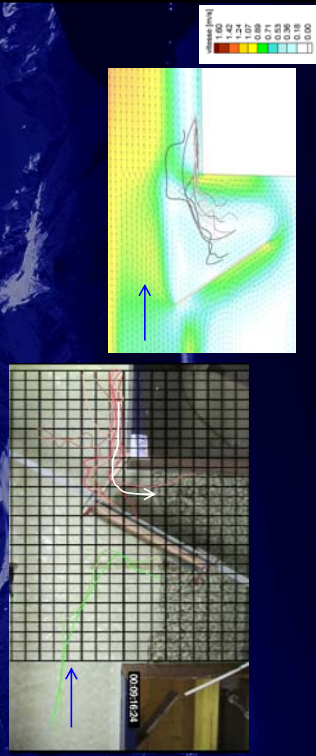
Aufenthaltsparameter	Bucht Konfigurationen				
	C0	C1	C2	C3	C4
Totale Präsenzzeit [%]	33	75	75	85	80
Minimaler Aufenthalt [%]		38	45,5	64	45
Maximaler Aufenthalt [%]		100	95,5	100	100
Eintrittszahl von oben [%], [n: Eintritt : n: Total]	14 (1:7)	-	32 (7:22)	-	46 (6:13)
Eintrittszahl von unten [%], [n: Eintritt : n: Total]	55 (6:11)	55 (6:11)	53 (8:15)	-	94 (17:18)
Breite des Eintrittsfenster [m]	-	0,36	0,32	-	0,38

Vergleich der Bucht Konfigurationen:

Mittel von 3 Versuchen (10, 10, 20 Forellen)

Forschungsprojekt J.-M. Ribi 2006 – 2010, Masterarbeit K. Steffen 2009

## Verbesserung der Habitatbedingungen bei Schwall und Sunk



Bucht Konfiguration C4: Schwimmwege der Fische

Forschungsprojekt J.-M. Ribi 2006 – 2010, Masterarbeit K. Steffen 2009

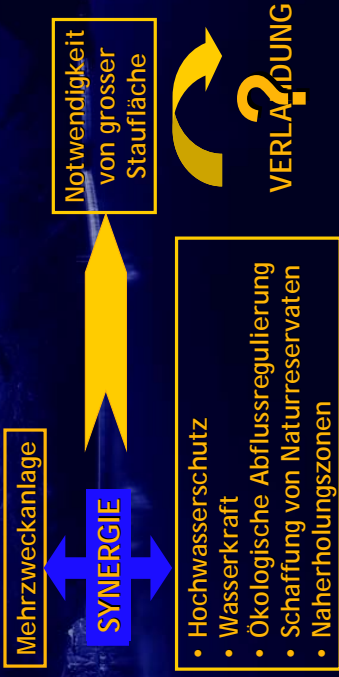
## Beispiele von baulichen Massnahmen: Ausnutzung von Synergien bei Mehrzweckprojekten



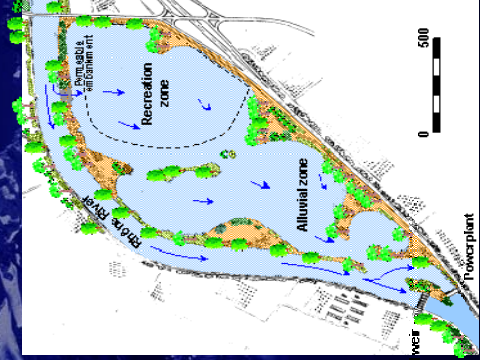
Wissenschaftliche  
Fallstudie an der  
Rhone

Forschungsprojekt Dr. Ph. Heller und Dr. M. Pellaud 2003 - 2007

## Beispiele von baulichen Massnahmen: Ausnutzung von Synergien bei Mehrzweckprojekten



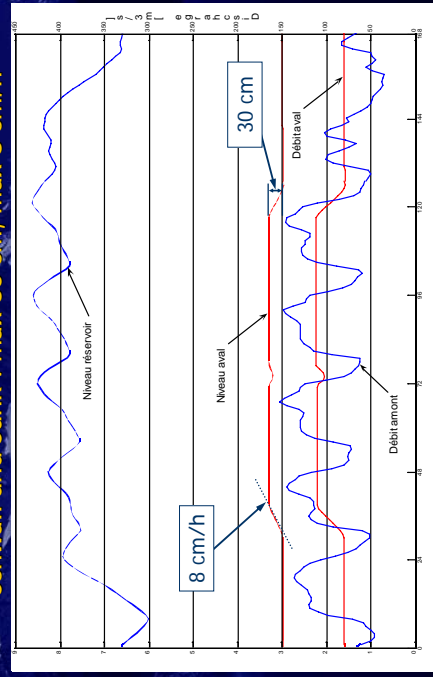
## Denkbares Mehrzweckprojekt an der Rhone



- Oberfläche 1 km<sup>2</sup>
- Volumen 7.6 · 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (Stauhöhe 7 m)
- Verminderung der Hochwasserspitze um 200 m<sup>3</sup>/s
- Eliminierung von Schwall und Sunk : 0.7 m im Becken
- Jährliche Energieproduktion: 43 GWh
- Schaffung von Biotopen und Naturreservaten
- Naherholung, Wassersport
- Beherrschung der Verlandung
- Kosten ca. 200 Mio. Fr.**

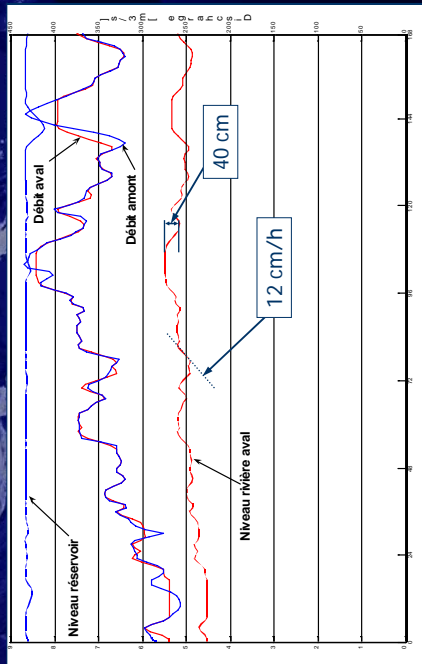
## Schwalldämpfung: typische Winterwoche

Schwall und Sunk : max 30 cm, max 8 cm/h

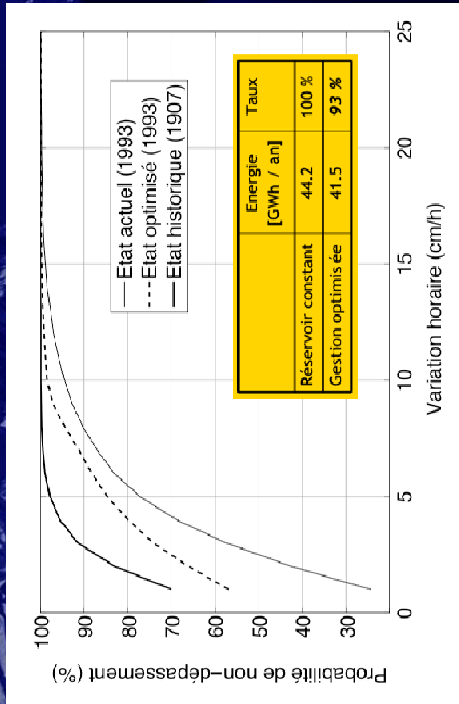


## Schwalldämpfung: typische Sommerwoche

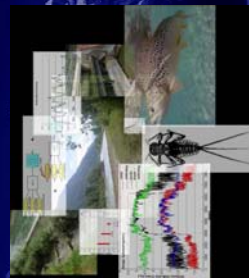
Schwall und Sunk : max 40 cm, max 12 cm/h



## Ökologisch optimierte Schwalldämpfung



## Vergleich von Szenarien Indikator EPT



Invertébrés (groupes E,P,T)

C	Heute	Rhone- verbreiterung	Synergie	Rhoneverbreiterung und Synergie
E	2.43	3.72	2.87	4.60
P	1.27	0.89	5.48	7.29
T	1.21	0.95	3.31	3.23
EPT	4.91	5.57	11.65	15.13

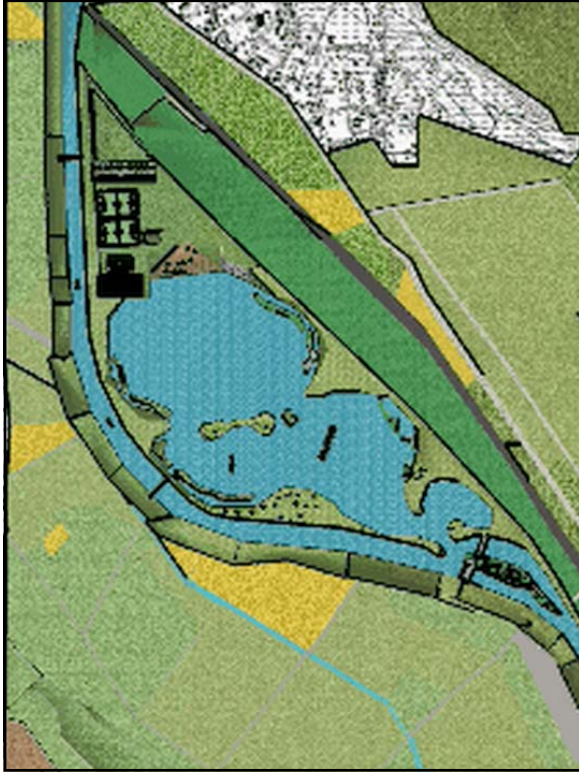
## Denkbares Mehrzweckprojekt an der Rhone SYNERGIE

### Vergleich von Szenarien - SPU Fische (ha)

Fische: Habitatsqualität (statistisches Modell)  
gemäss Cemagref

	Heute	Verbreiterung	Synergie	Verbr. + Synergie
Sohle	9.02	15.69 (+6.67)	9.63 (+0.61)	16.5 (+7.48)
Ufer	35.93	46.69 (+10.76)	34.01 (-1.92)	46.51 (+10.58)
Feuchtzonen	30.09	40.09 (+10)	24.26 (-5.83)	41.40 (+11.31)
Abflussber.	90.98	127.34 (+36.36)	100.75 (+9.77)	136.68 (+45.7)

Qualität der Gerinneverbreiterung vermutlich unterschätzt!

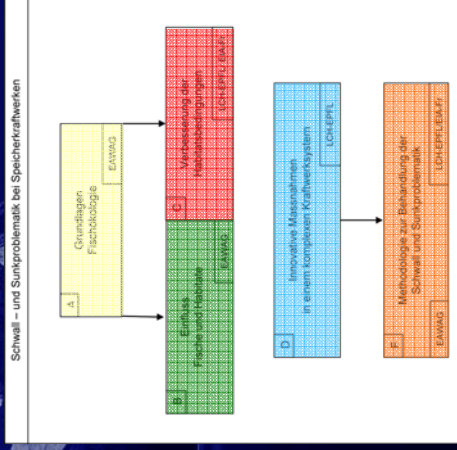


## KTI-Forschungsprojekt 2008 - 2011

Nachhaltige  
Nutzung der  
Wasserkraft

Innovative  
Massnahmen zur  
Reduzierung der  
Schwall- und  
Sunkproblematik

Zusammenarbeit  
LCH-EPFL -EIA/FT -  
EAWAG - KWO -  
gruppe e - Kt. - FR -  
Ribl - SWV



## Schlussfolgerungen

- Betriebliche Massnahmen sind wirtschaftlich unverhältnismässig und gefährden die Versorgungssicherheit
- Technische Massnahmen sind investitionsintensiv und müssen durch einen höheren Strompreis amortisiert werden (Ökolabel)
- Verbesserung der Gewässermorphologie ist weniger effizient in der Schwallverminderung als die Verbesserung des Abflussregimes ( Ausgleichsbecken)
- Die beste Wirkung kann grossräumig mit Mehrzweckbecken erzielt werden (Beispiel Rhone)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

# Solutions techniques d'atténuation des effets des éclusées hydroélectriques dans les cours d'eau

Prof. Dr. Anton Schleiss

Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH)

École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)

La force hydraulique est la principale source d'énergie renouvelable de la Suisse dont elle assure près de 60% de la production d'électricité. Avec le développement des autres énergies renouvelables comme le solaire et l'éolien, elle conservera sa position privilégiée dans l'approvisionnement énergétique de la Suisse. Un de ses atouts est en effet la capacité de régulation des centrales à accumulation qui lui permet de compenser dans le réseau européen l'irrégularité des apports fournis par les nouvelles sources comme l'énergie éolienne. Les centrales à accumulation des pays alpins seront donc de plus en plus utilisées pour équilibrer les réseaux et pour assurer la production de pointe. L'exploitation par éclusée des centrales à accumulation, dans laquelle les eaux retenues sont turbinées en fonction des fluctuations de la demande, cause en aval du point de restitution des variations artificielles de débit qui perturbent fortement le fonctionnement du milieu aquatique. Ces crues et décrues artificielles peuvent être atténuées par des mesures d'exploitation ou par des mesures techniques de construction ou d'aménagement fluvial. Les mesures d'exploitation impliqueraient une restriction des possibilités d'intervention des centrales à accumulation pour la régulation du réseau ou pour la production d'énergie de pointe qui entraînerait des pertes financières pouvant mettre en cause la rentabilité des installations. D'autre part, la stabilité du réseau et la production de pointe devraient être en partie assurées par d'autres systèmes comme par exemple des centrales à cycle combiné au gaz naturel, génératrices d'émissions de CO<sub>2</sub> supplémentaires. Les mesures techniques, bien que plus lourdes en investissements, semblent donc nettement plus acceptables sur le plan économique et énergétique. Elles peuvent être divisées en deux catégories: les aménagements réalisés dans le lit des cours d'eau d'une part et les constructions hydrauliques de type bassin d'autre part. Les mesures du premier type visent à améliorer la morphologie des cours d'eau de manière à ce qu'elle puisse amortir les crues artificielles. Elles permettent d'autre part de créer des refuges pour les organismes aquatiques. Ces améliorations morphologiques ne peuvent cependant atténuer les effets écologiques des éclusées que si elles sont conçues en ce sens. Si l'on souhaite rétablir un régime d'écoulement de type naturel, c'est aux constructions hydrauliques qu'il faut recourir. Il s'agit généralement de bassins de rétention placés immédiatement sous les restitutions ou directement raccordés au cours d'eau récepteur. Les bassins à buts multiples peuvent aussi constituer une solution intéressante: en plus d'atténuer les éclusées, ils peuvent en effet être utilisés pour la production d'électricité et la protection contre les crues et procurer des espaces de valeur pour les activités de loisir et la préservation des milieux naturels.

Notre contribution présente les différentes mesures techniques et décrit leurs effets à partir des résultats de trois projets de recherche.

Dans un premier projet, les chercheurs ont étudié dans une approche systématique basée sur des essais pilotes l'influence de la macro-rugosité des rives et de la

présence de cavités sur la résistance à l'écoulement et la propagation des intumescences. Les aménagements morphologiques sous forme de cavités latérales constamment inondées accroissent la capacité de rétention passive et la rugosité du chenal. Pour obtenir une rétention passive réelle tout en réduisant le risque d'échouage des organismes, les éléments de macro-rugosité doivent être conçus de manière à ce que les surfaces supplémentaires restent inondées à basses eaux et à ce que les surfaces asséchées par intermittence restent de faible étendue. Les interventions sur la morphologie des cours d'eau peuvent d'autre part améliorer la diversité des écoulements, et favoriser l'apparition de zones calmes pouvant servir de refuges aux poissons, accroître la diversité du substrat et de manière générale renforcer la présence d'habitats intéressants. Dans les rivières à fort charriage, ce type de mesures peut toutefois s'accompagner de l'apparition de rives plates susceptibles de former lors des crues et décrues artificielles des zones de marnage dans lesquelles le risque d'échouage et de piégeage est particulièrement élevé. Dans les cours d'eau soumis aux éclusées, les revitalisations doivent donc être soigneusement réfléchies pour qu'elles aient bien l'effet d'atténuation souhaité.

Dans un deuxième projet de recherche, une approche systématique combinant essais de laboratoire et observations de terrain vise à définir les caractéristiques des refuges – anses et cavités par ex. – pouvant être utilisés par les poissons pour se protéger des courants très rapides comme ceux potentiellement causés par les éclusées hydroélectriques. Cette question est traitée d'une part par simulation numérique et d'autre part par des essais hydrauliques menés sur un canal expérimental doublés d'une étude du comportement des poissons. Les observations et paramètres mesurés permettent d'établir une corrélation entre la vitesse d'écoulement dans le chenal et les caractéristiques d'écoulement susceptibles d'attirer les poissons dans les refuges. Le travail des chercheurs s'intéresse donc à la relation entre les conditions d'écoulement dans les zones refuge et le comportement des poissons. Leurs conclusions serviront à l'élaboration d'une méthode d'évaluation des conditions de vie dans les refuges potentiels et à l'établissement d'une référence pour l'adaptation des habitats existants aux besoins de la faune. Enfin, les résultats peuvent servir d'orientation pour la conception d'aménagements dans le lit des cours d'eau et pour la planification de revitalisations fluviales dans un contexte d'éclusées hydroélectriques.

En dernier lieu, le projet multidisciplinaire SYNERGIE s'intéresse aux potentialités d'un aménagement hydraulique à buts multiples sur le Rhône pouvant répondre à la fois aux besoins de la production hydroélectrique, de la lutte contre les inondations, de la protection du patrimoine écologique, des activités de loisir et de la gestion du marnage. Ces aménagements à buts multiples ont un impact important au niveau environnemental, paysager, économique et sociétal et doivent donc être conçus dans une approche multidisciplinaire assurant la prise en compte de toute la diversité des intérêts en jeu. La conception d'un tel ouvrage est donc un processus complexe influencé par un grand nombre de paramètres difficilement comparables et en forte interaction les uns avec les autres. Un système aussi complexe ne saurait fonctionner d'emblée de façon optimale et de nouvelles méthodes doivent être appliquées pour une optimisation intégrative. Le projet multidisciplinaire SYNERGIE s'est attaqué à cette tâche en élaborant des concepts novateurs et développant des méthodes et stratégies d'analyse des synergies dans les projets d'aménagements à buts multiples en rivière.





# Thomas Burri

Schweizerische Bundesbahnen, SBB

- Folien (d)
- Diapositives (f)

## Séminaire Eclusées

La gestion du problème des éclusées dans le cadre de la transformation de la centrale d'Amsteg

Soleure, 09.03.2009



## Données techniques

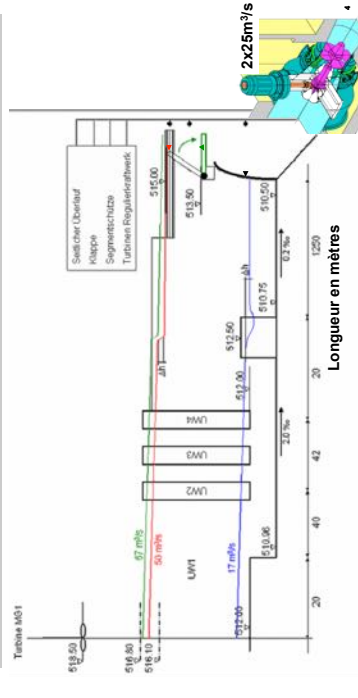
- 1922 Mise en service de la première centrale d'Amsteg
  - Aménagements en surface avec conduite forcée
  - Puissance installée: 66MVA (6 machines)
  - Conçue pour la production d'énergie de base (en ruban)
  - Débit 27m<sup>3</sup>/s
- Réaménagement de 1993 à 1998
  - Centrale en caverne avec galerie d'aménée
  - Puissance: Actuellement 120MW (3 machines)
  - Conçue pour la production d'énergie de réglage
  - Débit max. 67m<sup>3</sup>/s (pour 4 machines)

## Exigences écologiques pour la rénovation

- Problèmes
  - Débit résiduels aux prises d'eau
  - Rapport débit d'éclusee/débit plancher pouvant atteindre 30:1 (hiver)
- Solutions envisagées
  - Nouveaux débits de dotation aux prises d'eau
  - Centrale de dotation à Pfafensprung (prise d'eau de la Reuss)
  - Aménagement de frayères dans les émissaires de fond de vallée en compensation des dommages
  - Galerie de compensation de 50'000m<sup>3</sup> avec centrale de régulation des débits
  - Contrainte: Contrôles d'efficacité ayant pouvoir d'imposer une adaptation du régime d'éclusées

## Atténuation du marnage, solution technique

### → Conception technique de la restitution



### Atténuation du marnage, solution technique

- **Coûts des mesures d'atténuation du marnage**
  - Total travaux d'aménagement de la centrale Fr. 420 mio
    - Galerie de compensation + centrale de régulation: Fr. 25 mio
    - Compensation frayères: Fr. 2 mio
  - Mesures de compensation = 6.4% du coût total des travaux
- **Solution provisoire avant études et contrôle d'efficacité BGF**
  - Limitations saisonnières des restitutions, maxima et minima (modifications du turbinage, pertes)
  - Régulation des débits de restitution par maintien du niveau exigé dans la galerie (valeur cible). Atténuation par modification de paramètres de retardement

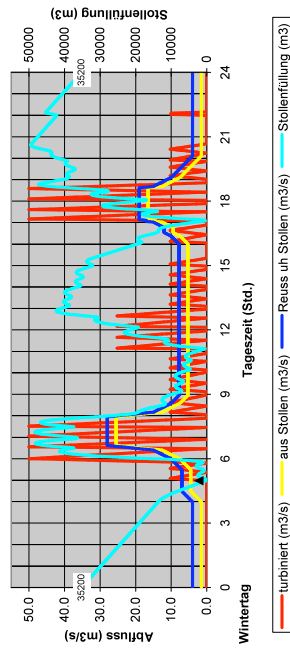
•

### Contrôle interne 2005

- **Trop fortes fluctuations des débits de restitution**
  - Syst. de refroidissement perturbé à l'admission. Réglage sans prise en compte des effets sur la galerie de compensation
  - Apports insuffisants d'eau de refr. par la conduite forcée
  - Plus que 50% (volume) de la galerie de compensation disponibles suite aux besoins du syst. de refroidissement
- **Nouvelles exigences suite aux études et au contrôle BGF**
  - Rapport débit d'éclusee/débit plancher 4:1
  - Retardement de la première éclusee
  - Paliers pour l'augmentation du débit
    - $\leq 0.1m^3/s/min$  jusqu'à  $10m^3/s$
    - $\leq 0.2m^3/s/min$  jusqu'à  $15m^3/s$
    - $> 0.2m^3/s/min$  à partir de  $15m^3/s$
  - Arrêt des limitations saisonnières de restitution (maxima)

•

### Nouvelles exigences (représentation graphique)



Retardement 1<sup>ère</sup> éclusee

•

### Mesures

- **Système de refroidissement**
  - Les apports d'urgence d'eau de refroidissement à partir de la conduite forcée ont été adaptés à l'exploitation modifiée
  - Projet de séparation physique de la galerie de compensation en cours d'élaboration
- **Régulation des débits de restitution**
  - Simulation en cours avec régulateur prévisionnel pour pouvoir respecter les valeurs exigées pour les différents paramètres
  - Accords avec le canton d'Uri pour la définition des valeurs à respecter pour la régulation des débits de restitution
  - Acquisition et installation du matériel informatique et des logiciels nécessaires au nouveau système de régulation
- **Coût des modifications**
  - ~ Fr. 500'000.-

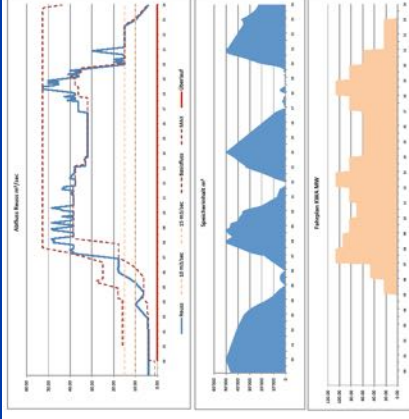
•

## Effets sur les conditions de vie dans la Reuss

- Rapport truite lacustre en cours de réalisation (BGF)
- Revalorisation écologique des émissaires et de la Reuss dans le cadre du projet de protection contre les crues du canton d'Uri
  - Amélioration de l'offre en frayères par rapport à la situation avant transformation
  - Amélioration sensible des conditions favorables au grossissement (bas-fonds plus étendus)
- Régulation des débits de restitution en phase transitoire
  - Activité de fraie observée dans les zones sous écluée (pas d'information sur la survie du frai)
  - Après nouvel ajustage de la gestion de la galerie de compensation, bonne atténuation des écluées mais pas encore de retardement ou d'éléments prévisionnels, d'où problèmes ponctuels

9

## Premiers essais de simulation (modèle)



10

Merci

# The End

11

## Fachtagung Schwall und Sunk

Umgang mit Schwall/Sunk bei der Erneuerung des  
KW Amsteg

Solothurn, 09.03.2009



1

## Technische Daten

- 1922 IBS des ersten Kraftwerks Amsteg
  - Aussen-Anlage mit Druckleitung
  - Leistung: 66MVA (6 Maschinen)
  - Ausgelegt für vorwiegend Bandenergie
  - Durchfluss 27m<sup>3</sup>/s
- Erneuerung 1993 bis 1998
  - Kavernen-Anlage mit Druckstollen
  - Leistung: Momentan 120MW (3 Maschinen)
  - Ausgelegt für Regelenergie
  - Durchfluss bis zu 67m<sup>3</sup>/s (bei 4 Maschinen)

2

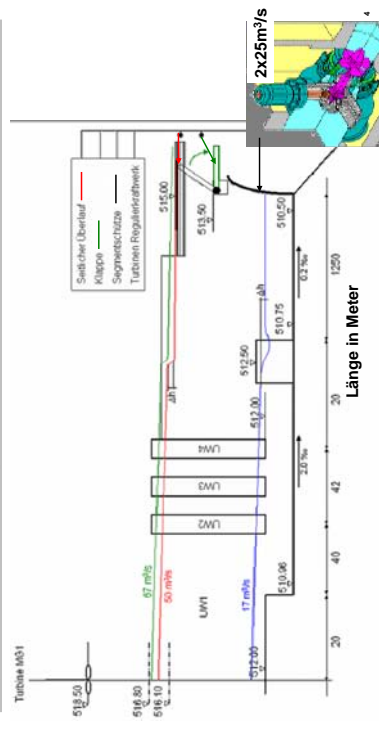
## Ökologische Vorgaben für Erneuerung

- Problematik
  - Restwasser bei Fassungen
  - Schwall/Sunk-Verhältnis bis 30:1 (Winter)
- Lösungsansatz
  - Neu festgelegte Dotiermengen bei den Fassungen
  - Dotierkraftwerk bei Pfaffersprung (Reussfassung)
  - Laichplatzkompensation in den Talvorflutern
  - 50'000m<sup>3</sup> Ausgleichsstollen mit Regulierkraftwerk
  - Auflage: Erfolgskontrolle mit Anpassungsbefugnis für das Schwallregime

3

## Schwalldämpfung, Technische Lösung

### Layout der Wasserrückgabe



4

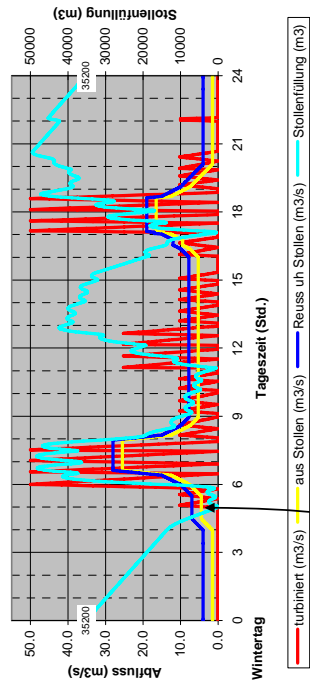
### Schwalldämpfung, Technische Lösung

- **Kosten Schwall/Sunk-Dämpfung**
  - Gesamtkosten Kraftwerksbau CHF 420Mio.
  - Ausgleichsstollen mit Regulierkraftwerk: CHF 25Mio.
  - Laichplatzkompensation: CHF 2Mio.
  - Kompensation entspricht 6.4% der Bausumme
- **Übergangslösung bis Untersuchung und Erfolgskontrolle BGF**
  - Saisonale Rückgabebeschränkungen, Maximal- und Minimalwerte (betriebliche Einschränkungen, Wasserverlust)
  - Steuerung der Rückgabe mittels Halten von vorgegebenem Stollenniveau (Zielwert). Dämpfung durch Verzögerungsparameter

### Interne Kontrolle 2005

- **Zu starke Rückgabeschwankungen**
  - Kühlsystem hatte im Ansaugbereich Probleme. Anpassung ohne Beachtung der Auswirkung auf den Ausgleichsstollen
  - Noteinspeisung von Kühlwasser ab Druckleitung ungenügend
  - Ausgleichsstollen wegen Kühlsystem nun nur noch zu 50% verfügbar (Volumen)
- **Neue Vorgaben aus Untersuchung und Erfolgskontrolle BGF**
  - Schwall-Sunk-Verhältnis 4:1
  - Haltezeit für Erstschwallerzeugung
  - Rampenwerte für die Abflusszunahme
    - $\leq 0.1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{min}$  bis  $10 \text{ m}^3/\text{s}$
    - $\leq 0.2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{min}$  bis  $15 \text{ m}^3/\text{s}$
    - $> 0.2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{min}$  ab  $15 \text{ m}^3/\text{s}$
  - Wegfall von saisonalen Rückgabebeschr. (Maximalwerte)

### Neue Vorgaben (graphisch)



Haltezeit für Erstschwaller

### Massnahmen

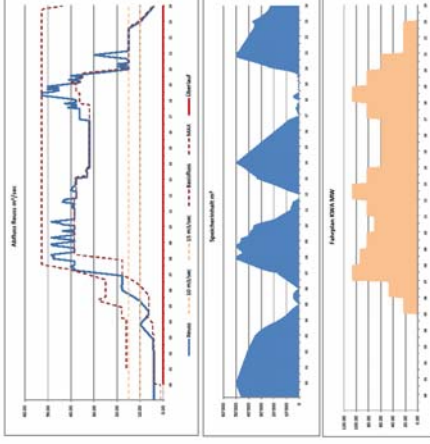
- **Kühlwassersystem**
  - Noteinspeisung von Kühlwasser ab Druckleitung wurde modifiziert für Vielfachbetrieb
  - Projekt zur physikalischen Trennung vom Ausgleichsstollen in Arbeit
- **Rückgaberegulierung**
  - Simulation mit vorausschauendem Regler, um die verlangten Parameter einhalten zu können, läuft
  - Vereinbarung mit Kt. Uri zur Festlegung der vorgegebenen Rückgaberegulierungswerte
  - Beschaffung und Installation der nötigen Hard- und Software für die neue Regulierung
- **Kosten für die Anpassungen**
  - ~ CHF 500'000.-

## Auswirkungen auf das Leben in der Reuss

- Seeforellenbericht in Arbeit (BGF)
- Aufwertung Talvorfluter und Reuss im Rahmen des Hochwasser-schutzprojektes durch den Kt. Uri ist erfolgt
  - Verbesserung des Laichplatzangebots gegenüber vor der Erneuerung
  - Aufwuchsbedingungen haben sich markant verbessert (ausgedehnte Flachwasser)
- Übergangs-Rückgaberegulierung
  - Laichaktivität im beschwollenen Teil (Überleben des Laiches jedoch nicht garantiert/untersucht)
  - Nach Neueinstellung der Ausgleichsstollenbewirtschaftung, gute Dämpfung des Schwallis, jedoch Haltezeit und voraus-schauende Komponente fehlt, was zu „Ausreissern“ führt

9

## Erste Simulationsversuche (Modellaufbau)



10

Danke

# The End

11







# **Steffen Schweizer**

Kraftwerke Oberhasli AG, KWO

- Artikel / Article (d)

## Trotz Ausbau der Kraftwerksleistung – deutlich geringere Pegelschwankungen in der Hasliare

Steffen Schweizer, Johann Neuner, Max Ursin, Heinz Tscholl, Matthias Meyer

### 1. Einleitung

Verschiedene Schweizerische Institutionen, wie das BAFU, VAW, EPFL und Eawag, haben in den letzten Jahren Studien über die Abflussregime der grösseren schweizerischen Flüsse hinsichtlich künstlicher Pegelschwankungen durchgeführt (Pfaundler & Keusen 2007, Minor & Möller 2007, Meile et al 2005). Die gebräuchlichsten Indikatoren zur Beschreibung dieser Schwall/Sunk-Phänomene sind das Schwall/Sunk-Verhältnis, die Schwall/Sunk-Differenz, die Schwall- und Sunkkraten sowie die Pegeldifferenz.

Da sich allerdings jeder Fluss oder Bach von anderen Flussgewässern durch seine Morphologie, seine Korngrössenverteilung, sein Abflussregime, seine Wasserqualität, seine aquatische Lebensgemeinschaft und weiteren Eigenschaften unterscheidet, sind die Auswirkungen von künstlichen Pegelschwankungen auf die Gewässerökologie jeweils gewässerspezifisch. Daher ist ein Vergleich von verschiedenen Flüssen oder Flussabschnitten anhand der oben genannten Schwall/Sunk-Indikatoren nicht eindeutig. Vielmehr müssen mögliche Störungen auf die Gewässerökologie funktional betrachtet werden, wie das regelmässige Auftreten von Schwall/Sunk-Bewegungen infolge Schwallabflüssen, die regelmässige Mobilisierung von Rollkies und Sand, das Strandieren von Fischen, das Verdriften von Wirbellosen sowie die Behinderung der Fischwanderung aufgrund zu hoher Fließgeschwindigkeiten bei der Wasserrückgabe. Mit einem Beruhigungsbecken können diese negativen Einwirkungen auf die aquatische Lebensgemeinschaft in den meisten Fällen signifikant gedämpft werden.

Der Neubau eines grösseren Druckstollens sowie der Einbau einer neuen Turbinen im Kraftwerk Innerkirchen I erhöhen die maximale Triebwassermenge von heute 40 auf 65 m<sup>3</sup>/s (inklusive Kraftwerk Innerkirchen II auf 95 m<sup>3</sup>/s) und den jährlichen Energieertrag um 50 GWh. Um die Geschwindigkeit der bestehenden Pegelschwankungen nicht weiter zu akzentuieren sondern sie deutlich zu dämpfen, haben die KWO ein Beruhigungsbecken bei der Wasserrückgabe in Innerkirchen geplant. Auch eine Reduzierung des Schwall/Sunk-Verhältnisses ist trotz der Installation einer neuen Turbinen an über 95% der Wintertage möglich. Dieses ambitionierte Ziel wurde von den Umweltschutzorganisationen Grimselverein, WWF Schweiz und Pro Natura bereits in früheren Diskussionen angeregt. Eine gewässerökologische Optimierung des Beruhigungsbeckens wird derzeit mit Vertretern der genannten Organisationen erörtert. An dieser Stelle sei noch erwähnt, dass es sich um das erste schweizerische Beruhigungsbecken handelt, das rein aus gewässerökologischen Überlegungen geplant wurde.

### 2. Ist-Zustand der Aare unterhalb von Innerkirchen und weitere geplante Untersuchungen

#### 2.1 Gebietsbeschreibung und Flusscharakteristiken

Die Aare entspringt den Aargletschern (Oberaar- und Unteraargletscher) auf rund 2000 m Höhe und durchfließt daran anschließend mehrere Speicherseen (Oberaar-, Grimsel- und Räterichsbodensee), wo der Grossteil des Aarewassers gefasst und in den Kraftwerken Grimsel, Handeck und Innerkirchen je nach Strombedarf turbinieren wird. In Innerkirchen wird das zur Stromerzeugung genutzte Wasser der Aare wieder zurückgegeben. Dies führt zu künstlichen Pegelschwankungen im Aareabschnitt zwischen der Wasserrückgabe in Innerkirchen und dem Brienzensee. Im Abschnitt zwischen der Wasserrückgabe und der Aareschlucht ist die Hasliare etwa 25 m breit, kanalisiert und mit Bühnen verbaut. In der Aareschlucht ist die Flussmorphologie wieder ursprünglicher, allerdings mit z.T. sehr starken seitlichen Begrenzungen durch die steil emporgangenen Ufer. Auf der Strecke unterhalb der

Schlucht ist die Aare ohne Bühnen kanalisiert: zwischen Schluchtausgang und Meiringen erreicht die Aare eine Breite von rund 25 m und bildet insgesamt vier alternierende Kiesbänke, unterhalb von Meiringen bis zum Brienzensee bedingt die kontinuierlich abnehmende Breite auf 18 m einen geraden Flusslauf mit homogener Struktur.

Die Fläche des Aare-Einzugsgebiets beträgt bei Brienzwilser 554 km<sup>2</sup>, wovon 21% vergletschert sind und zu einem glazialen Abflussregime mit einem mittleren Jahresabfluss von 35 m<sup>3</sup>/s führen (hydrologischer Atlas der Schweiz). Das Sohlengefälle variiert zwischen 5 und 8 ‰.

Die Sohle der Aare ist eine natürliche Kiessohle ohne Verbauungen mit einer typischen, groben Kornverteilung ( $d_{90} = 13 \text{ cm}$ ,  $d_{50} = 32 \text{ cm}$ ) und ausgeprägter Deckschichtbildung. Der kritische Abfluss zum Aufreissen der Deckschicht ist in einem physikalischen Modellversuch an der TU München (Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft Oberrach) bestimmt worden und liegt im Bereich zwischen 150 und 180 m<sup>3</sup>/s (Hartlieb et al 2007) für den Abschnitt zwischen Wasserrückgabe und Aareschlucht. Da die Korngrössenverteilung, das Gefälle und die Breite der Aare bis zum Brienzensee nur geringfügig variieren, wird der kritische Abfluss für das Aufreissen der Deckschicht auch unterhalb der Aareschlucht in dieser Grössenordnung liegen.

Der mittlere Abfluss von Gadmerwassers und Hasliare beträgt vor der Wasserrückgabe in Innerkirchen im Winter 1 m<sup>3</sup>/s und im Sommer 13 m<sup>3</sup>/s. Der maximale Triebwasserdurchfluss der beiden Kraftwerke beträgt heute 70 m<sup>3</sup>/s und nach der Aufwertung des Kraftwerks Innerkirchen I 95 m<sup>3</sup>/s (Bau eines grösseren Druckschachts zur Verringerung der Reibungsverluste und Einbau einer zusätzlichen Turbinen). Eine Analyse der täglichen maximalen Abflüsse der Jahre 1982-2007 zeigte, dass in diesem Zeitraum an insgesamt 32 Tagen ein Abfluss grösser als 150 m<sup>3</sup>/s (im Mittel 1.2 Ereignisse pro Jahr) und an 17 Tagen ein Abfluss grösser 180 m<sup>3</sup>/s (im Mittel 0.7 Ereignisse pro Jahr) beobachtet wurde. Um die größtmöglichen Auswirkungen des Kraftwerksbaus auf die Sohlenstabilität abschätzen zu können, wurden die Tagesmaximalabflüsse für diesen Zeitraum pauschal für jeden Tag um 25 m<sup>3</sup>/s erhöht. Es zeigt sich, dass in dieser, für die Sohlenstabilität ungünstigsten Prognose, künftig 2.3 Ereignisse mit einem Abfluss grösser als 150 m<sup>3</sup>/s und 1.0 Ereignisse mit einem Abfluss grösser als 180 m<sup>3</sup>/s durchschnittlich pro Jahr auftreten werden. Aus gewässerökologischer Sicht ist diese geringe Zunahme an Ereignissen mit Sohlenbewegungen unbedenklich.

Im heutigen Zustand wird das abgearbeitete Wasser hinter den Kraftwerken Innerkirchen I und II der Aare wieder zurückgegeben; das aus dem Grimselgebiet stammende Wasser wird in das Gadmerwasser (kurz vor der Mündung in die Aare) (vgl. Abb.1) und das aus dem Sustengebiet stammende Wasser direkt in die Aare (kurz hinter der Mündung des Gadmerwassers) eingeleitet. Die Fließgeschwindigkeit des turbinierten Wassers beträgt bei der Wasserrückgabe heute rund 3 m/s.



Abb.1a: Rückgabe des aus dem Grimselgebiet stammenden Wassers (rechts) in das Gadmerwasser (links) unmittelbar vor der Mündung in die Aare.

## 2.3 Wassertemperatur

Die langjährige mittlere Wassertemperatur der Aare bei Brienzwil beträgt rund 6°C mit Extremwerten, die zwischen 0,3°C und 12,4°C schwanken können (BAFU 2007). Aufgrund der Kanalisierung der Aare zwischen Wasserrückgabe und Aareschlucht (und zwischen Aareschlucht und Brienzsee) und der hohen Fließgeschwindigkeit bei der Wasserrückgabe kann eine rasche Durchmischung und somit eine relativ homogene Verteilung der Wassertemperatur in der Aare angenommen werden. Dabei hängt die Wassertemperatur vom Verhältnis zwischen Triebwasser und nicht gefasstem Wasser ab. Der grösste Einfluss des Kraftwerksbetriebs auf die Wassertemperatur tritt im Sommer auf, wenn das nicht gefasste Wasser der Aare relativ warm ist und bei der Rückgabe durch das kalte Wasser aus den Speicherseen abgekühlt wird.

## 2.4 Makrozoobenthos

Seit 1986 wurden und werden an verschiedenen Abschnitten der Aare zwischen Innerkirchen und Brienzsee Makrozoobenthos-Proben aufgenommen. Aufgrund der wiederholten Beprobungen kann die Datengrundlage für diesen Aareabschnitt als sehr gut bezeichnet werden. Beim Vergleich der Daten ist allerdings zu beachten, dass die Probenahmen nicht zum jeweils gleichen Zeitpunkt des Jahres, nicht an derselben Stelle und nicht mit dem gleichen Sammelaufwand durchgeführt wurden. Als Referenzstrecke für einen ersten Vergleich wurde die Aare oberhalb von Innerkirchen (Restwasserstrecke ohne künstliche Pegelschwankungen und mit ganzjährig klarer Wasserführung) gewählt. Ausserdem wurden 2008 auch MZB-Proben an der Lüttschine erhoben, um einen Vergleich zu einem hydrologisch und morphologisch natürlichen Flussabschnitt (mit trüber Wasserführung) ziehen zu können.

Die Auswertung der Proben zeigt, dass die aquatische Wirbellosenfauna unterhalb der Aareschlucht artenreich und ähnlich zu derjenigen oberhalb von Innerkirchen (Referenzstrecke ohne künstliche Pegelschwankungen) ist. In der mit Bühnen verbauten Strecke zwischen der Wasserrückgabe Innerkirchen und der Aareschlucht war die Artenvielfalt dagegen geringer (Tabelle 1).

Der leichte Rückgang der Artenvielfalt in dieser begradtigen Strecke unterhalb der Wasserrückgabe kann sowohl auf die Gewässermorphologie als auch auf die künstlichen Pegelschwankungen, die in diesem Abschnitt wesentlicher ausgeprägter als im Aareabschnitt unterhalb der Schlucht auftreten, zurückgeführt werden. Die äusserst geringe Artenvielfalt der Probe von 2005 war allerdings hauptsächlich vom extremen Hochwasserereignis im August 2005 sowie von den dadurch notwendigen Baggerarbeiten im Gewässer bedingt. Im Hinblick auf die Auswirkungen der künstlichen Pegelschwankungen auf die Gewässerökologie bedeutet dies, dass die Schwall/Sunk-Effekte auf die Artenvielfalt des Makrozoobenthos maximal auf der etwa 500 m langen Strecke zwischen der Wasserrückgabestelle und dem Eingang der Aareschlucht beschränkt sind. Wird die zweite Probe von 2006 herangezogen, kann eine sehr rasche Wiederbesiedlung der Invertebraten beobachtet werden – und dies trotz künstlicher Pegelschwankungen. Bereits 2006 sind auf dieser Strecke keine signifikanten Unterschiede in der Artenvielfalt zur Referenzstrecke festzustellen (Tabelle 1). Da auch im Aareabschnitt unterhalb der Schlucht eine ähnliche Artenvielfalt wie in der Referenzstrecke nachgewiesen ist, kann davon ausgegangen werden, dass keine signifikanten Schwall/Sunk-Effekte auf die Biodiversität der Wirbellosen in der Aare unterhalb der Schlucht wirksam sind. Allerdings wurde in der Schwallstrecke für die Zeit vor 2008 eine tiefere Gesamt-Biomasse ( $2 \text{ g/m}^2$ ) als oberhalb von Innerkirchen ( $2-8 \text{ g/m}^2$ ), gemessen. Die Untersuchungen im Jahr 2008 ergaben dagegen Gesamt-Biomassen von  $5-8 \text{ g/m}^2$  in der Schwallstrecke. Bei diesen Vergleichen muss aber auch der verminderte Effekt der Trübung sowie das ungünstigere Breiten-zu-Tiefenverhältnis auf die aquatische Produktivität berücksichtigt werden.

Bei den Untersuchungen von 1995 wurden für die vereinigte Lüttschine bei Zweilüttschinen (alterierende Kiesbänke, trübes Wasser, natürliche Hydrologie) insgesamt nur 10 verschiedene Arten gefunden, 2008 konnten rund 20 Arten nachgewiesen werden (Auswertung noch nicht abgeschlossen). Somit liegt in dieser zweiten Referenzstrecke die Artenvielfalt in der gleichen Grössenordnung wie in

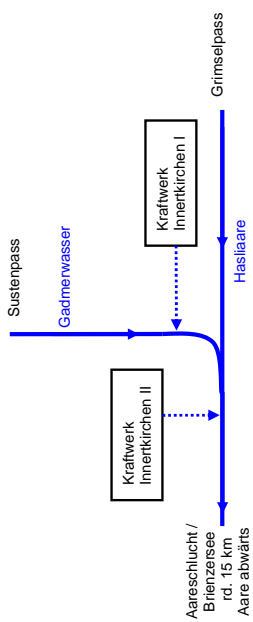


Abb 1b: Lageplan der Kraftwerke Innerkirchen I und II sowie deren Wasserrückgaben (blaue gestrichelte Pfeile) in das Gadmnerwasser (Fließrichtung von oben nach unten) und in die Hasliare (Fließrichtung von rechts nach links)

## 2.2 Schwall/Sunk-Indikatoren

Im Auftrag des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes wurde von der VAW und der EPFL eine Studie zur Standortbestimmung von kraftwerksbedingtem Schwall und Sunk in der Schweiz durchgeführt (VAW & EPFL 2006, Minor & Möller 2007). Da in den Wintermonaten der natürliche Basisabfluss bei den untersuchten Gewässern sehr gering ist und somit der Einfluss der kraftwerksbedingten Abflussschwankungen wesentlich größer als im Sommer ausfällt, beschränkt sich die Studie auf Abflussmessungen in den Monaten Dezember, Januar und Februar. In dieser Studie wurde für die Aare am Pegel Brienzwil festgestellt, dass das Schwall/sunk-verhältnis von 8:1 für den Zeitraum 1974-2004 an 95% der Wintertage, und ein Schwall/sunk-verhältnis von 5:1 an 70% der Wintertage nicht überschritten wurde. Die mittleren Schwallraten lagen in diesem Zeitraum zwischen  $0.15$  und  $0.25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  und die mittleren Sunkraten zwischen  $0.11$  und  $0.19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (VAW & EPFL 2006). In 99% aller aufgetretenen Pegelschwankungen lagen die Schwallraten unter  $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (Herzog Ingenieure 2007).

Ein Jahr später erstellte das Bundesamt für Umwelt (BAFU) eine weitere hydrologische Datenanalyse zur Charakterisierung von Schwall/Sunk-Phänomenen (Pfaundler & Keusen 2007a, b). In dieser Studie wurden nur die Aareabflüsse (Brienzwil) im Januar betrachtet. Zwischen 1993 und 2005 lagen die maximalen Pegelanstiegsraten zwischen 1 und  $10 \text{ cm/min}$ , die maximalen Pegerrückgangsraten zwischen  $0.4$  und  $2 \text{ cm/min}$  (Pfaundler & Keusen 2007a) und die mittlere tägliche Amplitude der Abflusstiefe bei  $0.5 \text{ m}$  (Herzog Ingenieure 2007).

Während der Schwallbetrieb die Kolmation der Flusssohle tendenziell verstärkt (da bei Schwall durch den sog. Vibrationseffekt mehr Feinmaterial in das Sediment eingetragen wird), wirken die geringere Schwebstofffracht (durch Sedimentation von suspendierten Partikeln in den verschiedenen Speicherseen) sowie das etwas häufigere Auftreten von Abflüssen, die zum Aufreissen der Deckschicht führen, entgegen gerichtet (Meile et al 2005).

Künftige Untersuchungen sollen zeigen, welcher Prozess dominiert.

Während der Wintermonate führt die Aare unterhalb der Wasserrückgabe auch trübes Wasser aus den Speicherseen. Allerdings haben Absetzversuche gezeigt, dass die suspendierten Teilchen so klein sind, dass sie sich selbst nach einem Tag nicht absetzen. Somit dürfte die Trübung keinen grossen Effekt auf die Sohlenkolmation haben.

Aufgrund der längeren Fließstrecke und der rauen Morphologie innerhalb der Schlucht schwächen sich die künstlichen Pegelschwankungen flussabwärts kontinuierlich ab.

der Schwallstrecke der Hasliaare. Daraus kann wiederum geschlossen werden, dass die Artenvielfalt in der Hasliaare durch die künstlichen Pegelschwankungen nicht signifikant beeinflusst ist.

*Tabelle 1: Anzahl gefundener Stein-, Eintags- und Köcherfliegenlarven bei den verschiedenen Makrozoobenthos-Beprobungen.*

1986: Probenahme H. Marrer, 1993: Datenbank Schweiz, Zentrum für die Kartographie der Fauna – Autor Landolt, 1994: Probenahme Emch+Berger (P. Büsser und H. Berner-Fankhauser), 2002: Datenbank Schweiz, Zentrum für die Kartographie der Fauna – Autor P. Stucki, 2005 & 2006: Aquaterra (V. Lubini & C. Meier), 2008: Limnex.

Probestelle	Probejahr	Anzahl Steinfliegen	Anzahl Eintagsfliegen	Anzahl Köcherfliegen	Anzahl Taxa Total
Aare oberhalb Innerkirchen (unverbaut, keine künstlichen Pegelschwankungen – Referenzstrecke)	1993	7	7	0	14
	1994	6	3	6	15
	2005	8	7	6	21
	2006	6	4	6	16
	2005	0	0	3	3
	2006	3	4	4	11
Unterhalb Wasserrückgabe Innerkirchen (Bulnenstrecke)	2006	10	4	4	18
	2008				14*
Unterhalb Aareschlucht (Meiringen)	1986	4	4	4	12
	1994	6	6	4	16
	2002	14	10	5	29
	2005	7	6	3	16
	2006	9	7	4	18
	2006	10	3	5	18
Unterhalb Meiringen (Unterbach und Brienzwiler) (kanalisiert) Abschnitt	2008	10	6	5	21
	2008				20*

\* bei der Probenahme von 2008 wurden neben Stein-, Eintags- und Köcherfliegenlarven auch Zweiflügler, Käfer, Krebstiere, Würmer sowie diverse Nicht-Insekten (Nematoda und Tricladida) mitbestimmt. Für die Bulnenstrecke in Innerkirchen wurden so gesamthaft 22 Arten, für den Abschnitt mit alternierenden Kiesbänken in Meiringen 44 Arten und für die Kanalstrecke in Brienzwiler 35 Arten nachgewiesen.

## 2.5 Fische

Die Aare als Lebensraum für Fische ist in früheren Studien gut untersucht und beschrieben worden (Peter Büsser 1994). Von zentraler Bedeutung ist in diesem Abschnitt der Aare die Laichwanderung und Fortpflanzung der Seeforelle. Es gelingt den aus dem Brienzersee aufsteigenden Seeforellen auch die kanalisierte Strecke ab Ende der Aareschlucht bis zur Wasserrückgabe zu überwinden und weiter aufzusteigen. Durch die Pachtvereinigung Oberhasli wird der Seeforellen-Laichfischfang oberhalb von Innerkirchen seit vielen Jahren durchgeführt. Dabei konnten zwischen 2000 und 2005 jeden Herbst 11-15 Männchen und 13-21 Weibchen gefangen werden. Seit Jahrzehnten bewegt sich das Fangergebnis in dieser Grössenordnung. Die Anzahl der gesamthaft aufgestiegenen Fische wurde nie festgelegt, es handelt sich dabei nach Büsser (1994) zweifellos um ein mehrfaches des Fangergebnisses.

Es wird vermutet, dass die Seeforellen ihr Wanderverhalten bis zu einem gewissen Grad anpassen und sich tagsüber vor der Strömung in geeignete Nischen (Blöcke, Bühlen) zurückziehen können und über Nacht oder an den Wochenenden etappenweise aufwandern. Ausserdem wirkt die Wasserrückgabe mit ihrer starken, auf das linke Ufer gerichteten Strömung, nachteilig auf den Fischaufstieg. Der Einstieg der Seeforellen ins Gadmmerwasser ist zeitweise verunmöglicht (vgl. Abb.1). Eine 300 m lange und für eine natürliche Verläufung der Seeforelle günstige Strecke des Gadmmerwassers liegt unmittelbar oberhalb der Wasserrückgabe. Hier konnte noch keine natürliche Verläufung von Seeforellen beobachtet werden.

Die seitlichen Begrenzungen der Aare bedingen, dass nur unterhalb der Aareschlucht bei Meiringen vereinzelt Kiesbänke als Gewässerstrukturen auftreten. Aufgrund der relativ geringen Pegeländerungsraten (vgl. 2.2) und der beschriebenen Gewässermorphologie ist ein Stranden von Fischen in diesem Abschnitt der Aare bisher noch nicht beobachtet worden.

## 2.6 Driftversuche 2008

Um die Auswirkungen der künstlichen Pegelschwankungen auf die Verdriftung von Invertebraten zu untersuchen, wurden im März und April 2008 an zwei morphologisch unterschiedlichen Stellen in der Aare (Kiesbankstrecke Meiringen, kanalisierte Strecke bei Brienzwiler) aufwendige Driftmessungen durchgeführt. Dabei wurde am ersten Termin die maximal mögliche Schwallrate gefahren, während am zweiten Termin (4 Wochen später) die Situation mit beruhigten Becken simuliert wurde (auch hier mit maximal möglicher Schwallrate aber mit einer simulierten Dämpfung durch das Beruhigungsbecken). In der allgemeinen Lehrmeinung wird davon ausgegangen, dass ein langsamerer Abflussanstieg die Fluchtzeiten für das Makrozoobenthos erhöht und damit die Invertebratenverdriftung verringert.

Die Auswertungen in Tabelle 2 zeigen sehr deutlich, dass sich sowohl die Driftdichte als auch die Driftmasse bei einem sanfteren Abflussanstieg signifikant reduzieren lassen (Reduktion auf 20-50% möglich). Allerdings hat auch die Morphologie einen etwa gleich grossen Einfluss auf die Invertebratenverdriftung: in der Kiesbankstrecke lag die Drift zwischen 30 und 50% im Vergleich zur kanalisierten Strecke (wegen der grösseren Flussbreite ergibt sich eine geringere Abflusstiefe und somit eine geringere Sohlschubspannung, die für die Verdriftung der Invertebraten relevant ist). Auch in der hydrologisch unbeeinflussten Lüttschne tritt eine bestimmte Basis-Drift auf. Bei einem Vergleich der Neizmessungen in Meiringen sowie in Zweilütschinen und Gsteig fällt auf, dass sich Driftmasse und -dichte bereits heute etwa in der gleichen Grössenordnung bewegen (und dies bei dem aktuell grösstmöglichen Schwall).

**Anmerkung:** bei Vergleichen innerhalb der Tabelle 2 dürfen nur Werte mit der gleichen Probenahmemethode (Netz oder Pumpe) einander gegenüber gestellt werden, da die Methode einen wesentlichen Einfluss auf die Messung der Drift hat. Ausserdem kann die Besiedlungsdichte des MZB noch mitberücksichtigt werden. Dies verändert die oben gemachten Aussagen allerdings nur unwesentlich.

*Tabelle 2: Ergebnisse der Driftversuche von 2008: Driftdichte und Driftmasse an verschiedenen Flussabschnitten. Bei Vergleichen bitte auf die unterschiedlichen Beprobungsmethoden (Netz - Pumpe) und auf die Position im Gewässer (Ufer - Mitte) achten. PN = Probenahme.*

PN-Datum	Aare Meiringen alternierende Kiesbänke		Aare Brienzwiler kanalisiert	Lüttschne alt. Kiesbänke		Lüttschne Gsteig kanalisiert
	PN-Datum	Methoden		PN-Datum	Methoden	
10.03.08	7.4.08	7.4.08	10.3.08	7.4.08	7.4.08	7.4.08
Schwallanstieg	rasch	gedämpft	rasch	gedämpft	ständig tief	ständig tief
PN-Methode	Netz (Ufer)	Netz (Ufer)	Pumpe (Mitte)	Pumpe (Mitte)	Netz (Ufer-Mitte)	Netz (Ufer-Mitte)
Driftdichte MZB (Ind./m <sup>3</sup> )	20	6	145	25	1.8	6.8
Driftmasse MZB (mg/m <sup>3</sup> )	35	6.5	450	70	20	34

## 2.7 Aktuelle Untersuchungen

Die allgemeinen gewässerökologischen Auswirkungen von Schwall und Sunk sind bisher noch nicht umfassend untersucht worden. In der einschlägigen Literatur finden sich nur vereinzelte Arbeiten, die sich intensiv mit diesem Thema auseinander gesetzt haben. Um bestehende allgemeine Lücken zu schließen und um auch konkrete Ergebnisse für die Aare zu bekommen, beteiligt sich die KWO an insgesamt drei Forschungsarbeiten innerhalb des Forschungsprojekts „Integrales Flussgebietsmanagement“ (Nachfolgeprojekt des „Rhone-Thur-Projekts). Innerhalb dieser Dissertationen werden der Einfluss der künstlichen Pegelschwankungen auf die Fische und deren Habitate untersucht sowie das Verhalten der Fische bei verschiedenen Abflüssen und die Aufwanderung der Seeforelle mittels Radiotelemetrie bestimmt. Ausserdem werden konkrete Möglichkeiten zur Verbesserung der Habitatbedingungen bei Schwall und Sunk (z.B. Rückzugsmöglichkeiten wie Uferbuchten und Zuflüsse) ausgearbeitet. In einem letzten Schritt sollen die an der Aare gewonnenen Forschungsergebnisse verallgemeinert und anwendungsorientiert für die Praxis aufbereitet werden, so dass diese Erkenntnisse auch für andere Schwall/Sunk-beeinflussste Gewässer zur Verfügung stehen. Die Arbeiten haben im Herbst 2008 begonnen.

## 3. Technische Daten des Beruhigungsbeckens und des Kraftwerkbetriebs

### 3.1 Technische Daten des Beruhigungsbeckens

Das Beruhigungsbecken ist in Innerkirchen direkt bei der heutigen Wasserrückgabe geplant (Abb. 2). Das Becken wird seitlich von den Flüssen Aare und Gadmerwasser sowie von den Gleisen der Meiringen-Innerkirchen-Bahn begrenzt (Abb. 2 und 3). Auch die vertikale Ausdehnung des Beckens ist aufgrund des Aarenebaus und der Höhenlage der Turbinen im Kraftwerk Innerkirchen II vorgegeben. Unter Berücksichtigung dieser Voraussetzungen kann ein maximales Speichervolumen von ca. 22'000 m<sup>3</sup> für das Becken erzielt werden. Ausserdem können in dem rund 1.6 km langen, Unterwasserstollen noch zusätzliche 25'000 m<sup>3</sup> an Speichervolumen genutzt werden.

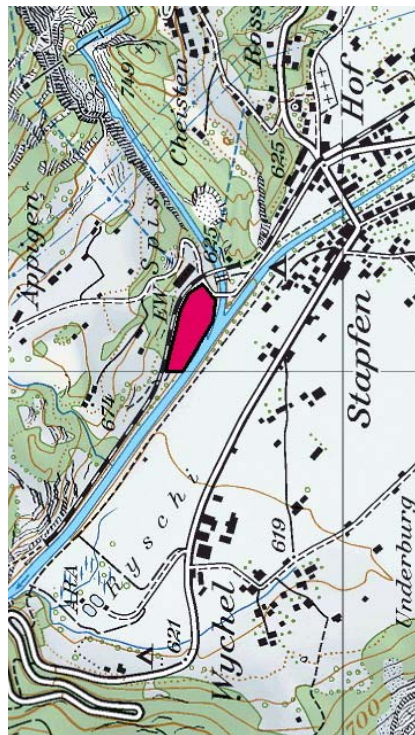


Abb. 2: Kartenausschnitt mit Standort des geplanten Beruhigungsbeckens  
© 2008 swisstopo (JD072732)



Abb. 3: Schematische Darstellung des geplanten Beruhigungsbeckens zwischen Aare, Gadmerwasser und der Meiringen-Innerkirchen-Bahn

Beim Ausfluss des Wassers aus dem Becken werden mit in Reihe geschalteten Mikroturbinen nochmals 2 GWh/a (entspricht in etwa der Jahresarbeit von zwei grossen Windrädern) erzeugt. Die Mikroturbinen sind in Siphons eingebaut und das höher liegende Beckenwasser wird über den Siphon an das niedriger liegende Flusswasser zurückgegeben. Dadurch wird auch eine wesentlich sanftere Wasserrückgabe gewährleistet, die das Aufwärtswandern von Fischen erleichtert.

Das über die Mikroturbinen abfliessende Wasser wird zunächst, getrennt durch eine Leitbühne, parallel zur Aare geführt, um den Geschiebehaushalt in diesem Streckenabschnitt nicht signifikant zu verändern (in Abb.3 noch nicht eingezeichnet). Die optimale Lage und Anordnung der Leitbühne sowie die Gewährleistung der Hochwassersicherheit nach dem Bau des Beruhigungsbeckens wurde in einem physikalischen Modellversuch der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München bestimmt (Hartlieb et al 2007) (Abb. 4).

Die Steuerung des Beckens basiert auf einer Einsatzprognose der Kraftwerke (auf Basis des erwarteten Strombedarfs) und erlaubt so einen sehr effizienten Einsatz des Beckens. Die verschiedenen Phänomene der künstlichen Pegelschwankungen werden so deutlich reduziert. Zum Beispiel wird das Becken bei einer vorhergesagten Zunahme des Strombedarfs geleert und damit der Abfluss in der Aare sanft erhöht. So wird die Aare bereits im Vorfeld auf den Schwall „vorbereitet“. Bei Eintreffen des Schwall aus den Kraftwerken muss nur noch die Differenz aus Zufluss zum Becken und erhöhtem Abfluss in der Aare im Becken zurückgehalten werden. Das wirksame Retentionsvolumen des Beckens wird dadurch deutlich erhöht.

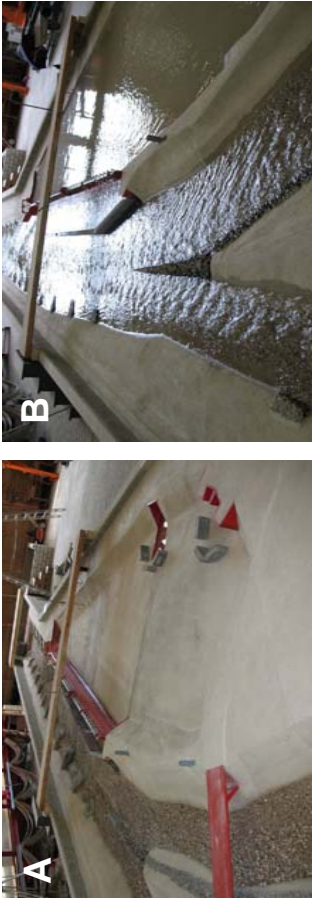


Abb 4: Physikalisches Modell der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München (Obernach). A: Modellierte Aare, Gadmmerwasser und Beruhigungsbecken ohne Abfluss; B: Modellierte Aare, Gadmmerwasser und Beruhigungsbecken bei Hochwasserabfluss.

### 3.2 Technische Daten des Kraftwerkbetriebs

Die einzelnen Kraftwerke der KWO sind durch ein komplexes Stollensystem miteinander verbunden. Die beiden untersten Kraftwerke Innertkirchen 1 und 2 sind von den Gegebenheiten bei den weiter oberliegenden Kraftwerken abhängig. Zur Erzeugung eines maximalen Schwallis müssen beide Kraftwerke in Innertkirchen unter Volllast gefahren werden.

Das Kraftwerk Innertkirchen 2 kann allerdings nur auf ein relativ kleines Speichervolumen (effektiv  $50'000 \text{ m}^3$ ) in Hopflauen zurückgreifen. Dabei beschränken sich die Zuleitungen zum Ausgleichsbecken Hopflauen auf eine Pump-Verbindung mit Handdeck mit max.  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ , auf den Druckstollen von der Fassung Leimboden mit max.  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  (im Winter  $0 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und auf den natürlichen Zufluss aus dem Gadmmerwasser, der im Winter auf unterhalb  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  sinkt. Somit ergibt sich im Winter folgende Situation bei Volllast im Kraftwerk Innertkirchen 2: dem Hopflauer Ausgleichsbecken werden  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  entnommen, während ihm maximal  $21 \text{ m}^3/\text{s}$  zugeführt werden können, d.h. die maximale Entleerungszeit beträgt  $50'000 \text{ m}^3 / 9 \text{ m}^3/\text{s} = 92 \text{ Minuten}$ . Also kann das Kraftwerk Innertkirchen 2 im Winter maximal 92 Minuten unter Volllast betrieben werden. Das geplante Beruhigungsbecken könnte bei diesem Extremszenario die Wasserabgabe in die Aare um maximal  $9.3 \text{ m}^3/\text{s}$  reduzieren.

Durch Revisionen in den einzelnen Kraftwerken wird der Betrieb in Innertkirchen zusätzlich eingeschränkt. In den Wintermonaten (aus ökologischer und hydrologischer Sicht die heikelste Zeit) der letzten 27 Jahre wurden im Schnitt nur an 15% der Tage keine Revisionen durchgeführt. Durchschnittlich lag an jedem zweiten Tag die maximale Wasserrückgabe in Innertkirchen unter  $59 \text{ m}^3/\text{s}$  (82%).

Diese Einschränkungen verdeutlichen, dass nach einem Ausbau des Kraftwerks Innertkirchen 1 die maximale Menge an turbiniertem Wasser während den Wintermonaten nur vereinzelt gefahren werden kann. Ökonomische Überlegungen, die die Wahrscheinlichkeit von maximalen Wasserrückgaben noch weiter reduzieren, sind hier nicht miteinbezogen worden.

## 4. Auswirkungen des Beckens

### 4.1 Verminderung verschiedener Schwall/Sunk-Indikatoren

Nach dem Bau des Beruhigungsbeckens wird das Schwall-/Sunk-Verhältnis der Haslaare unterhalb von Innertkirchen in den Wintermonaten von heute maximal 8:1 auf maximal 5:1 reduziert werden (für 95% der Tage im Winter – vgl. VAW et al 2006) - und dies trotz kurzfristig höherer Mengen an Triebwasser infolge der Aufwertung des Kraftwerks Innertkirchen I. Damit würde die Haslaare zum Beispiel den Kriterien der EU-Wasserrahmenrichtlinie nach ökonomischer Interpretation genügen. Da das Beruhigungsbecken auf Basis von 30-minütigen Strombedarfsprognosen gesteuert wird, kann der Anstieg und Rückgang des Wasserspiegels um die Hälfte verlangsamt, die Schwall- (Abb.5) und Sunkraten deutlich reduziert und die Änderungsrate der Wasserwechselzonen gesenkt werden (Herzog Ingenieure 2007). Die positive Veränderung dieser Schwall/Sunk-Indikatoren erhöht die Reaktions- und Fluchtzeiten für die aquatischen Organismen (vgl. Kap. 2.6 und 2.7).

### Schwallraten heute und künftig

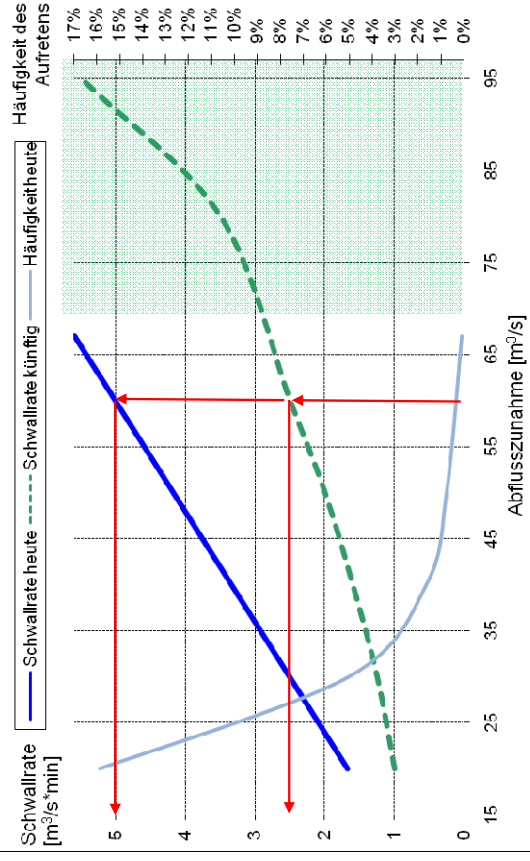


Abb.5: Schwallraten in der Aare in Abhängigkeit vom Abflussanstieg für den heutigen (blaue Kurve) und für den künftigen Zustand nach Bau des Beruhigungsbeckens (grüne Kurve). Die hellblaue Linie beschreibt die heutigen Häufigkeiten der verschiedenen Abflusszunahmen. Die grün hinterlegte Diagrammfläche markiert den zukünftigen Bereich der möglichen Abflusszunahmen (aus Herzog Ingenieure 2007).

Leisebeispiel (rote Pfeile): Bei einer Abflusszunahme von  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  werden heute Schwallraten von  $5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{min}$  und künftig von  $2.5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{min}$  erzeugt.

### 4.2 Gewässerökologische Verbesserungen

Mit dem Einsatz von Mikroturbinen beim Auslass des Beckenwassers in die Aare wird ein „sanfteres“ Einleiten des Triebwassers in die Aare erreicht. Zusammen mit der Entflechtung des klaren Gadmmerwasser vom trübem Triebwasser wird so der untere Abschnitt des Gadmmerwassers mit hervorragenden Laichgründen für die bedrohte Seeforelle wieder zugänglich gemacht. Auch die heute bereits genutzten Laichgründe oberhalb von Innertkirchen sind für die Seeforellen dank der sanfteren

geführt – auch wenn der Handlungsbedarf bei der Schwall-Problemik erst in den letzten Jahren richtig erkannt wurde (und erste Projekte in Angriff genommen werden) sowie die rechtlichen Grundlagen bislang noch nicht so genau definiert sind wie z.B. bei den Restwasservorschriften.



Abb. 6: Gemeinsame Untersuchung des Invertebratenbestandes in der Aare bei Meiringen (unterhalb der Aareschlucht) vom 16.05.2007. Mitarbeiter der KWO, Vertreter der Umweltschutzorganisationen WWF Schweiz, Pro Natura und Grimselverein diskutieren die Funde mit einer Expertin für Invertebraten (Dr. V. Lubini).

Wasserrückgabe leichter zu erreichen. Gegenwärtig wird versucht, die Wasserbauten und die zukünftigen Strömungsverhältnisse flussökologisch zu optimieren, um den aufsteigenden Bach- und Seeforellen den Einstieg ins Gadmenwasser und den Aareabschnitt oberhalb der Wasserrückgabe zu erleichtern.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass infolge der im Abschnitt 4.1 beschriebenen Schwalldämpfungen sich auch die Gewässerökologie der Aare im Abschnitt zwischen Innertkirchen und Brienzsee verbessern wird. So zeigen die Messungen der Invertebratendrift, dass sich die Drift mit einem Behühungsbecken infolge der längeren Fluchtzeiten auf 20-50% im Vergleich zur heutigen Situation reduzieren lässt (Kap. 2.6, Linnex 2008).

#### 4.3 zusätzlicher Energiegewinn durch Nutzen kleiner, aber stark variabler Fallhöhen mit Siphonturbinen

Mit dem Einsatz von Mikro- bzw. Siphonturbinen am Beckenrand können über 2 GWh pro Jahr zusätzlich an sehr nachhaltigem Strom erzeugt werden. Die Ausnutzung dieser Restfallhöhe ist normalerweise aus wasserbaulichen (insbesondere wegen Hochwasserschutz) und betriebstechnischen Gründen nicht möglich.

Die Siphonturbinen „saugen“ das Wasser aus dem Behühungsbecken an und leiten es über eine drehzahlvariable Turbine in die tiefer gelegene Aare. Ein Umformer garantiert eine Einspeisung im 50 Hz Rhythmus in das Stromnetz. Diese von Grimsel Hydro entwickelten Siphonturbinen sind bestens zur Stromgewinnung und zur (gewässerökologisch) optimierten Steuerung der Ausflüsse aus einem Behühungsbecken geeignet.

#### 5. Rolle der Umweltschutzorganisationen

In den letzten Jahren wurde von verschiedenen Umweltschutzorganisationen auf die Auswirkungen der künstlichen Pegelschwankungen auf die Gewässerökologie wiederholt hingewiesen. So ergaben sich auch verschiedene Diskussionen zwischen Vertretern der KWO und den Umweltschutzorganisationen WWF Schweiz, Pro Natura und des Grimselvereins (Abb. 6). Daraus resultierte der Entschluss der KWO, im Zuge der Aufwertung des Kraftwerks Innertkirchen I ein Behühungsbecken zur Reduktion der Schwall- und Sunkraten sowie der künftigen Pegelschwankungen zu planen. Nachdem die räumlichen Möglichkeiten abgesteckt waren, wurden die hydraulischen und morphologischen Aspekte des Behühungsbeckens in einem physikalischen Modellversuch an der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft in Oberrach (Deutschland) untersucht und optimiert (Hartlieb et al 2007, Kap. 3). Bei einem Besuch dieser Versuchsanstalt im Januar 2008 wurde den Vertretern von Umweltschutzorganisationen (U. Eichenberger, A. Knutti, C. Meyer) sowie des Kantons Bern (J. Schmidli, N. Hählen) und der Schwellenkooperation der Gemeinde Innertkirchen (A. Banholzer) das physikalische Modell vorgeführt. Bei der daran anschließenden Diskussion wurden die gewässerökologischen Auswirkungen der hier beschriebenen Projekte (Aufwertung Kraftwerk Innertkirchen I und Bau eines Behühungsbeckens) ausführlich beleuchtet und besprochen. Grundsätzlich begrüssen die Umweltschutzorganisationen den Bau des Behühungsbeckens. Sie äussern allerdings noch Bedenken bezüglich der Grösse des Beckens - auch, weil allgemein bezüglich Schwall-Sunk noch einige Aspekte genauer erforscht werden müssen. Um Antworten auf noch allgemeine offene Fragen zu diesem Thema zu erhalten und um die spezielle Situation in der Aare genauer zu untersuchen, beteiligt sich die KWO an insgesamt 3 Forschungsarbeiten, die an der Eawag und an der EPFL zu diesem Thema durchgeführt werden (siehe Kapitel 2.7).

In die künftige Detailplanung des Behühungsbeckens werden sowohl die Umweltschutzorganisationen als auch die Vertreter vom Kanton Bern und der Gemeinde Innertkirchen direkt miteinbezogen werden.

Der unermitlichte Einsatz der Umweltschutzorganisationen hat schliesslich zur Planung des ersten Behühungsbeckens in der Schweiz, das vorwiegend aus ökologischen Gründen gebaut werden soll,

#### 6. Diskussion

Das geplante Behühungsbecken wird mehrere wichtige Aspekte der gewässerökologischen Situation in der Aare zwischen Innertkirchen und Brienzsee aufwerten. So können künftig die Schwall- und Sunkraten deutlich reduziert und der Anstieg und Rückgang des Wasserspiegels um die Hälfte verlangsamt werden. Dies erhöht die Reaktions- und Fluchtzeiten für die aquatische Lebensgemeinschaft und verringert dadurch die Invertebratendrift. Ausserdem wird an über 95% der Wintertage das Schwall/Sunk-Verhältnis deutlich reduziert werden.

Das Beckenvolumen ist durch die aktuellen örtlichen Gegebenheiten vorgegeben. Durch eine gezielte Steuerung des Beckens auf Basis einer Einsatzprognose der Kraftwerke kann das Beckenvolumen aber effizienter genutzt werden (siehe Kap. 3). Wegen der bestehenden Bühnen und der relativ rauen Aareschlucht ist auch eine Erhöhung der Makrorauhigkeit zur Schwallabdämpfung (Meile et al 2005) nur unterhalb der Aareschlucht möglich. Allerdings fehlt auf einem Grossteil der Flussstrecke der dazu benötigte Raum.

Bei der Planung des Beckens wird neben den hydraulischen, gewässerökologischen und ökonomischen Aspekten auch die ästhetische Einbindung in die Landschaft berücksichtigt (Abb.3).

Zur Beurteilung und Optimierung der hydraulischen und sedimentologischen Verhältnisse im Bereich des Ausgleichbeckens wurden von der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft Oberrach hydraulische Modellversuche durchgeführt. Anhand dieser physikalischen Modellversuche konnten ein stabiler Geschlebehaushalt und eine verbesserte Hochwassersicherheit für Abflüsse bis 380 m<sup>3</sup>/s (wie bisher) nachgewiesen werden (Hartlieb et al 2007).

Um die größtmöglichen Auswirkungen des Kraftwerksausbaus (Erhöhung der Ausbauwassermengen um 25 m<sup>3</sup>/s) auf die Sohlenstabilität abschätzen zu können, wurden die Tagesmaximalabflüsse für die letzten 26 Jahre pauschal für jeden Tag um 25 m<sup>3</sup>/s erhöht. Es zeigt sich, dass in dieser, für die Sohlenstabilität ungünstigsten Prognose, künftig 2.3 (heute 1.2) Ereignisse mit einem Abfluss grösser als 150 m<sup>3</sup>/s und 1.0 Ereignisse (heute 0.7) mit einem Abfluss grösser als 180 m<sup>3</sup>/s auftreten werden. Aus gewässerökologischer Sicht ist diese geringe Zunahme an Ereignissen mit Sohlenbewegungen unbedenklich, wenn nicht sogar aus Gründen der Dynamik und der Dekolmation erwünscht.

- Pfändler M. & Keusen M. (2007a): Veränderungen von Schwall-Sunk. Hydrologische Datenanalyse zur Charakterisierung von Schwall/Sunk-Phänomenen in der Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 0712. Bundesamt für Umwelt, Bern. 110 Seiten.
- Pfändler M. & Keusen M. (2007b): Charakterisierung und Veränderungen von Schwall/Sunk-Phänomenen in der Schweiz – eine hydrologische Datenanalyse. *Wasser Energie Luft* 99(1): 25-30.
- Pfändler M., Keusen M. (2007): Veränderungen von Schwall-Sunk. Hydrologische Datenanalyse zur Charakterisierung von Schwall/Sunk-Phänomenen in der Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 0712. Bundesamt für Umwelt, Bern. 110 Seiten.
- Schluchter S. (2006): Beruhigungsbecken der KWO. Dynamische Simulation des Beruhigungsbeckens Innerkirchen. Diplomarbeit der Berner Fachhochschule, Technik und Informatik, 73 Seiten.
- VAW, ETH Zürich und LCH, EPF Lausanne (2006): Kraftwerksbedingter Schwall und Sunk, eine Standortbestimmung. Studie im Auftrag des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes. Bericht VAW 4232-LCH 05, <http://www.svw.ch/downloads.cfm>.

#### **Anschrift der Verfasser**

Dr. Steffen Schweizer (Gewässerökologe), Dr. Johann Neuner (Bauingenieur), Dr. Heinz Peter Tscholl (Ökologe, Forstingenieur), Max Ursin (Assistent der Geschäftsleitung, Bauingenieur) und Matthias Meyer (Praktikant bei der KWO):  
Kraftwerke Oberhasli AG  
Grimselstrasse 19  
3862 Innerkirchen

Mit dem sanfteren Einleiten des Triebwassers in die Aare sowie der Entflechtung des klaren Gadmerrwassers vom trüben Triebwasser wird der untere Abschnitt des Gadmerrwassers mit hervorragenden Laichgründen für die bedrohte Seeforelle wieder zugänglich gemacht. Auch die heute bereits genutzten Laichgründe oberhalb von Innerkirchen sind für die Seeforelle dank der sanfteren Wasserückgabe künftig leichter zu erreichen. Ausserdem schafft der Bau dieses Beruhigungsbeckens eine wichtige Voraussetzung für eine nachhaltigere Nutzung der Aare unterhalb von Innerkirchen. Im vor kurzem initiierten Projekt „Integraler Hochwasserschutz Aare Meiringen bis Brienz“ werden weitere Massnahmen (z.B. lokale Aufweitungen, Anbindung von ehemaligen Altarmen, ...) zur Aufwertung der Gewässerökologie diskutiert.

Um die gewässerökologische Situation noch besser verstehen zu können, sind verschiedene Forschungsarbeiten geplant, in denen der Einfluss der künstlichen Pegelschwankungen auf die Fische, das Benthos und auf die Habitatverteilung untersucht wird. Daraus können gegebenenfalls in einem späteren Schritt noch weitere Verbesserungen für die aquatische Lebensgemeinschaft durch bauliche Eingriffe direkt an der Aare und am Gadmerrwasser resultieren.

Mit dem Einsatz von drehzahlvariablen Mikroturbinen kann der Beckenausfluss für eine zusätzliche Stromerzeugung von über 2 GWh/a genutzt werden.

Abschliessend sollte noch bedacht werden, wie viele Kleinwasserkraftwerke, Photovoltaikanlagen und/oder Windpärke nötig sind, um einen Energieertrag von 50 GWh/a zu erzielen und wie gross in diesem Fall die ökologischen Beeinträchtigungen ausfallen würden.

#### **7. Literatur**

- BAFU (Herausgeber) (2007): Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2005. Umwelt-Wissen Nr. 0713. Bundesamt für Umwelt, Bern. 502 S.
- Büsser P. (1994): Register 4: Fisch- und Gewässerökologie. Register 9: Grundlagen Fisch- und Gewässerökologie. In: Grimsel-West, Umwelt. Zusatzuntersuchungen – Wasserführung in Seen und Aare. Verfasser: Emch + Berger, im Auftrag der KWO. Unveröffentlicht.
- Günther A. (1971): Die kritische mittlere Sohlenschubspannung bei Geschiebemischungen unter Berücksichtigung der Deckschichtbildung und der turbulenzbedingten Sohlenschubspannungsschwankung. *Mitteilung Nr.3 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, ETH Zürich.
- Hartlieb A., Sperer A. und Rutschmann P. (2007): Ausgleichsbecken Innerkirchen. Zwischenbericht zum Modellversuch. Studie der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München.
- Herzog Ingenieure (2007): Umweltverträglichkeitsbericht Aufwertung Kraftwerk Innerkirchen 1, 2<sup>te</sup> Etappe. Fachbereich Hydraulik der Oberflächengewässer. Unveröffentlicht.
- Limnex (2008): Biologische Untersuchungen und Begleitmessungen in der Hasliaare. Limnex-Studie, Zürich. *Fertigstellung des Berichts voraussichtlich Ende 2008*.
- Meile T., Fette M. und Baumann P. (2005): Synthesebericht Schwall/Sunk. Publikation des Rhone-Thur-Projekts.
- Minor H.-E. & Möller G. (2007): Schwall und Sunk, technisch-ökonomische Situation in den grösseren Flussgebieten der Schweiz. *Wasser Energie Luft* 99(1): 19-24.





## **Klaus Michor**

Büro Revital, (A) Nussdorf-Debant

- Zusammenfassung (d)
- Résumé (f)

# **Schwall und Sunk am Alpenrhein**

## **– Vorstellung der geplanten Untersuchungsprogramme**

Klaus Michor

**Zwei neue Untersuchungsprogramme sollen Lösungen für die Schwall-Sunk-Problematik am Alpenrhein voranbringen. Im ersten Projekt (kurz: D6) werden Grenzwerte und Vorgaben zum Schwall erarbeitet bzw. quantifiziert. Darauf aufbauend beschäftigt sich das zweite Projekt (kurz: D5) mit der modellhaften Planung und möglichen technischen Umsetzung eines „Schwallausgleichbeckens“.**

### Projekt D6: Quantitative Analyse von „Schwall/Sunk-Grenzwerten“ für unterschiedliche Anforderungsprofile mittels hydraulischer Modellierung

Der Alpenrhein ist hydrologisch stark durch kraftwerksbedingten Schwall geprägt. Gewässerökologische Studien dokumentieren dessen negative Auswirkungen. Von SCHÄLCHLI et al. wurden 2004 im Auftrag der IRKA bereits Vorgaben bzw. Grenzwerte für Schwallamplitude, Wasserspiegeldifferenz, Schwallanstieg, Schwallrückgang, Schwallspitze und Sunkabfluss zur drei unterschiedlichen Anforderungsprofilen erarbeitet (siehe Tabelle im Anhang). Ziel dieser Studie war die Festlegung von Vorgaben für eine „wünschbare Schwallreduktion am Alpenrhein“.

Im Rahmen eines Experten-Workshops am 28. Jänner 2009 in Bad Ragaz wurden die Anforderungsprofile und Grenzwerte der SCHÄLCHLI - Studie diskutiert. Mit dem Ergebnis, dass die dort angeführten Parameter und Grenzwerte geeignete Vorgaben für Planungen liefern, dass sie jedoch um 1-2 weitere Anforderungsprofile ergänzt werden sollen. Auch sollen die Auswirkungen der Anforderungsprofile und Grenzwerte durch „Quantifizierungen“ untersucht bzw. dokumentiert werden.

Im Workshop wurde festgelegt, dass die „Quantifizierung“ der Wirkungen der unterschiedlichen Anforderungsprofile bzw. Grenzwerte über „hydraulische Modellierung“ erfolgt (siehe Organigramm). Insgesamt sollen drei unterschiedliche, jeweils ca. 1 km lange Modellstrecken beurteilt werden. Die Basis für die Modellierung (Kalibrierung) bilden neben Vermessungen des Flussbettes auch kleinräumige abiotische Untersuchungen bei unterschiedlichen Wasserständen (Messung von Wassertiefen, Strömungsgeschwindigkeiten, Sohlsubstraten) und biologische Erhebungen (fischökologische Untersuchungen).

Aufbauend auf diese Daten werden unterschiedliche Abflüsse und Schwall-Sunk-Szenarien (Anforderungsprofile im Sinne von SCHÄLCHLI et al.) im Modell hydraulisch nachgebildet. Aus den Ergebnissen kann räumlich und quantitativ abgeleitet werden, wo und wie die Grenzwerte bei verschiedenen Schwall-Sunk-Szenarien eingehalten oder überschritten werden. Damit liefert das Modell nachvollziehbare Prognosen darüber, welche Zielerreichung im Bezug auf Grenzwerteinhaltung bei verschiedenen Anforde-

rungsprofilen (Schwall-Sunk-Verhältnissen) erwartet werden kann. - Eine wichtige Entscheidungsgrundlage für künftige Maßnahmen und Projekte am Alpenrhein

#### Projekt D5: Optimierung von Ausgleichsbecken zur Minderung von Schwall und Sunk am Alpenrhein

An einem konkreten Beispiel („Modellbecken“) wird die Planung eines Schwall-Ausgleichsbeckens „durchgespielt“. Betriebliche Anpassungen werden dabei möglichst außer Acht gelassen. Ziel ist es, ökologisch vertretbare Schwall-Sunk-Verhältnisse (lt. den Vorgaben aus dem Projekt D6) zu erreichen bzw. zu zeigen, mit welchen baulichen Maßnahmen welche ökologische Verbesserungen erreicht werden können. Die Resultate sind in weiterer Folge auf ihre Übertragbarkeit auf das Gesamtsystem Alpenrhein zu prüfen.

Das Planungsbeispiel soll gemeinsam mit Vertretern der Elektrizitätswirtschaft ausgewählt und interdisziplinär bearbeitet werden. Am Schluss soll die Übertragbarkeit auf andere Standorte kommentiert respektive die Auswirkungen und Wertschöpfungen an anderen potenziellen Standorten sowie im Gesamtsystem „Alpenrhein“ analysiert werden.

Im Rahmen dieses Projektes sind folgende Fragen zu beantworten:

- ⇒ Welche Größe und konstruktive Lösung ist ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll?
- ⇒ Wo befinden sich mögliche Beckenstandorte? Wie hoch sind die Kosten?
- ⇒ Welche zusätzlichen Informationen benötigen potenzielle Betreiber eines Beckens, um den erforderlichen Schwallausgleich sicherzustellen?
- ⇒ Welches sind die grundsätzlichen Wertekomponenten (Nutzen, Synergien), die bei der Beurteilung des Beckens zu berücksichtigen sind?
- ⇒ Ist es möglich, das Ausgleichsbecken respektive die Erkenntnisse über die Beckenanlage auf andere Standorte zu übertragen?

#### Anhang

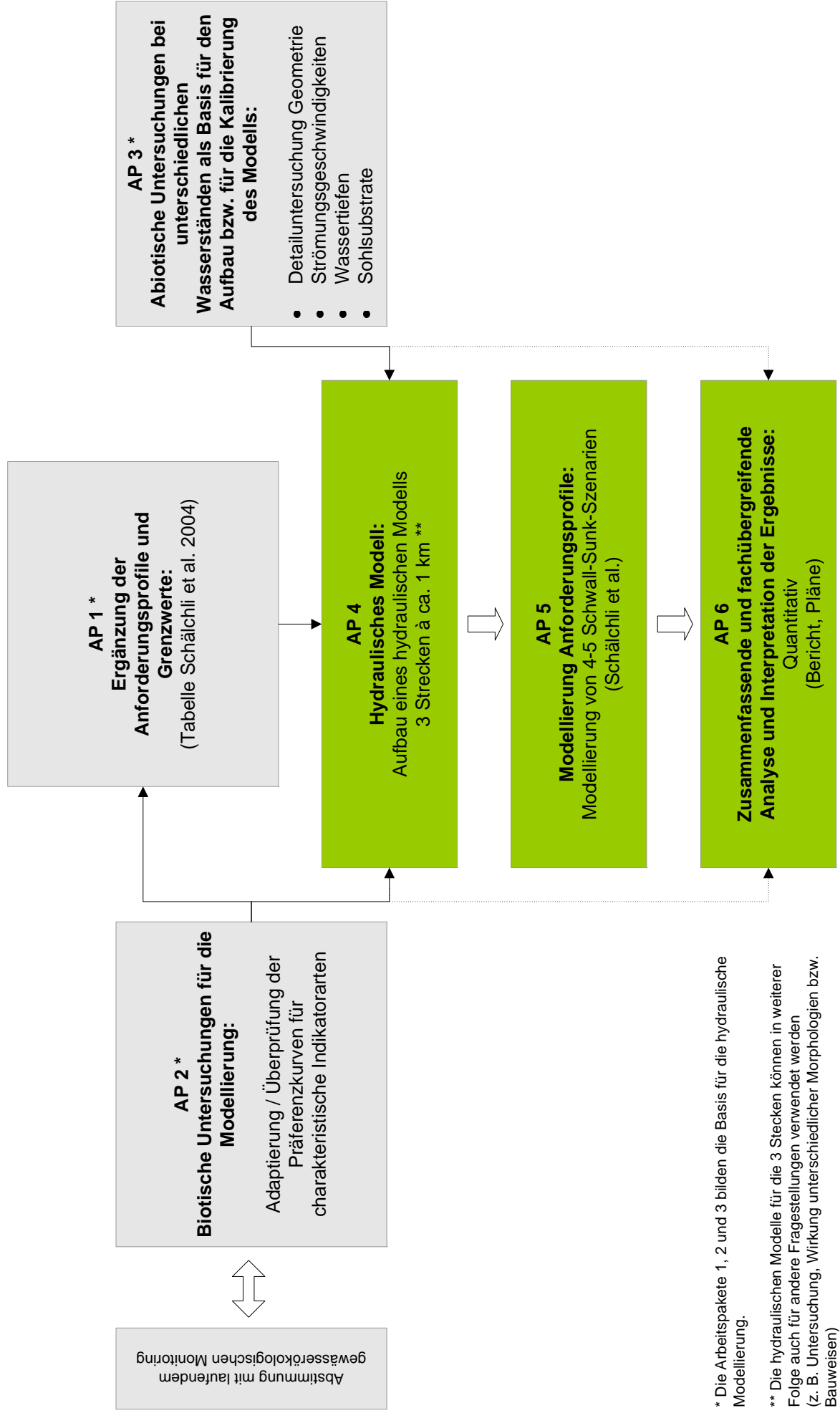
- „Grenzwert-Tabelle“, SCHÄLCHLI et al., 2004
- Organigramm zu Projekt D6: Quantitative Analyse von „Schwall/Sunk-Grenzwerten“ für unterschiedliche Anforderungsprofile mittels hydraulischer Modellierung

Tabelle 1: Grenzwerte aus „Notwendige und wünschbare Schwallreduktion am Alpenrhein“, Ergebnis eines Workshops am 5. September 2003 in Lochau am Bodensee (Schälchli et al. 2003)

	<b>Amplitude</b>	<b>Wasser- spiegeldifferenz</b>	<b>Schwallanstieg</b>	<b>Schwallrückgang</b>	<b>Schwallspitze</b>	<b>Sunkabfluss</b>
<b>Workshop, September 2003</b>						
<b>Generelle Grenzwerte bei Domat/Ems</b>	45 m³/s (= max. 2:1)	< 0,4 m	≤ 0,2 m³/s/min	0,1 m³/s/min	< 90 m³/s	≥ 35 m³/s
<b>Abschnitt 1: Domat/Ems - Landquart</b>						
<b>Anforderungsprofil 1</b>	100 m³/s 4,33:1	0,9-1,0 m (Rinne) 0,75 m (Furt/Schnelle)	0,5 m³/s/min (0,25-0,65 cm/min)	0,2 m²/s/min (0,09-0,25 cm/min)	130 m³/s	30 m³/s
<b>Anforderungsprofil 2</b>	65 m³/s 2,3:1	0,6 m (Rinne) 0,5 m (Furt/Schnelle)	0,3 m³/s/min 0,15-0,4 cm/min	0,15 m³/s/min 0,07-0,19 cm/min	115 m³/s	50 m³/s
<b>Anforderungsprofil 3</b>	45 m³/s 1,9:1	0,5 m (Rinne) 0,4 m (Furt/Schnelle)	0,2 m³/s/min 0,09-0,25 cm/min	0,1 m³/s/min 0,05-0,13 cm/min	95 m³/s	50 m³/s
<b>Abschnitt 2: Landquart - Ill</b>						
<b>Anforderungsprofil 1</b>	100 m³/s 3,5:1	0,85-0,9 m (Rinne) 0,6-0,7 m (Furt/Schnelle)	0,5 m³/s/min 0,3-0,45 cm/min	0,2 m³/s/min 0,12-0,18 cm/min	140 m³/s	40 m³/s
<b>Anforderungsprofil 2</b>	65 m³/s 2,1:1	0,45-0,55 m (Rinne) 0,35-0,45 m (Furt/Schnelle)	0,3 m³/s/min 0,16-0,25 cm/min	0,15 m³/s/min 0,08-0,13 cm/min	125 m³/s	60 m³/s
<b>Anforderungsprofil 3</b>	45 m³/s 1,75:1	0,35-0,45 m (Rinne) 0,30 m (Furt/Schnelle)	0,2 m³/s/min 0,13-0,20 cm/min	0,1 m³/s/min 0,07-0,10 cm/min	105 m³/s	60 m³/s
<b>Abschnitt 3: Ill - Bodensee</b>						
<b>Anforderungsprofil 1</b>	150 m³/s 3,1:1	k.A.	0,5 m³/s/min	0,2 m³/s/min	220 m³/s	70 m³/s
<b>Anforderungsprofil 2</b>	100 m³/s 2:1	k.A.	0,3 m³/s/min	0,15 m³/s/min	200 m³/s	100 m³/s
<b>Anforderungsprofil 3</b>	70 m³/s 1,6:1	k.A.	0,2 m³/s/min	0,1 m³/s/min	180 m³/s	110 m³/s

## Organigramm D6:

Quantitative Analyse von „Schwall/Sunk-Grenzwerten“  
für unterschiedliche Anforderungsprofile mittels hydraulischer Modellierung



\* Die Arbeitspakete 1, 2 und 3 bilden die Basis für die hydraulische Modellierung.

\*\* Die hydraulischen Modelle für die 3 Strecken können in weiterer Folge auch für andere Fragestellungen verwendet werden (z. B. Untersuchung, Wirkung unterschiedlicher Morphologien bzw. Bauweisen)

# Effets des éclusées hydroélectriques sur le Rhin Alpin :

## Présentation des études prévues

Klaus Michor

**Deux nouvelles séries d'études ont été programmées dans l'intention de dégager des pistes pour le solutionnement du problème des éclusées hydroélectriques sur le Rhin Alpin. Le premier projet (D6) est consacré à la définition ou la quantification de valeurs seuils et d'objectifs pour les éclusées. Le deuxième (D5) se base sur les résultats du premier pour modéliser la planification et la réalisation technique éventuelle d'un bassin de compensation.**

Projet D6 : Analyse quantitative par modélisation hydraulique de valeurs limites des paramètres caractéristiques des éclusées pour différents profils d'exigences

L'hydrologie du Rhin alpin est fortement influencée par les crues artificielles provoquées par les centrales hydroélectriques qu'il abrite. Le caractère néfaste de leur impact a été démontré par plusieurs études hydroécologiques. En 2004, SCHÄLCHLI et al. ont déjà défini sur demande de l'IRKA des objectifs et seuils pour le rapport d'amplitude entre débit d'écluse maximal et débit plancher minimal, la différence de niveau d'eau, les taux de montée et de baisse du débit et le débit d'écluse maximal dans trois cas de figure correspondant à différents profils d'exigences (cf. Tableau en annexe). L'objectif de cette étude était de fixer des consignes à respecter pour obtenir « une atténuation souhaitable des éclusées dans le Rhin alpin ».

Dans le cadre d'un séminaire organisé le 28 janvier 2009 à Bad Ragaz, des experts ont débattu des profils d'exigences et des seuils proposés par l'étude SCHÄLCHLI. Concluant que les paramètres et seuils considérés constituaient une base de planification adéquate, ils ont toutefois souhaité la prise en compte de 1-2 profils d'exigences supplémentaires et demandé une certaine « quantification » des effets escomptés pour les différents profils et seuils.

Lors de cette rencontre d'experts, il a été décidé que la « quantification » des effets des différents profils d'exigences et des seuils envisagés devait être effectuée par le biais d'une « modélisation hydraulique » (cf. Organigramme). Pour cela, trois tronçons modèles différents d'environ 1 km de long doivent être définis. Le calage du modèle se fait sur la base de mesurages du lit, d'études microstationnelles de paramètres abiotiques réalisées à différents niveaux d'eau (mesures du niveau d'eau, des vitesses d'écoulement, caractérisation du substrat etc.) et de relevés écologiques (études ichtyo-écologiques).

Sur la base de ces données, divers scénarios d'écoulement et d'éclusées (correspondant aux profils d'exigences selon SCHÄLCHLI et al.) sont simulés à l'aide du modèle hydraulique. Les résultats permettent de se représenter de façon spatiale et quantitative comment et où les seuils sont respectés ou dépassés dans les différents scénarios d'éclusées. De ce fait, le modèle livre une prévision plausible des objectifs pouvant être raisonnablement atteints en termes de valeurs limites pour différents profils d'exigences (rapports d'amplitude débit d'écluse/débit plancher). Une base de décision très utile pour la définition de mesures à venir pour le Rhin alpin.

## Projet D5 : Optimisation de bassins de compensation pour l'atténuation de l'effet des éclusées hydroélectriques sur le Rhin alpin

A partir d'un exemple concret (« bassin modèle »), la planification d'un bassin de compensation de l'impact des éclusées est simulée. Dans ce contexte, on part du principe que le mode de fonctionnement de l'usine hydroélectrique n'a pas été modifié pour atténuer les éclusées. L'objectif de l'étude est d'atteindre un rapport d'amplitude des éclusées qui soit compatible avec les fonctions écologiques du milieu récepteur (conformément aux résultats du projet D6) ou de montrer quelles constructions ou aménagements permettraient d'atteindre telle ou telle amélioration écologique. Dans une prochaine étape de travail, la possibilité d'extrapolation des résultats à l'ensemble du Rhin alpin doit être évaluée.

La planification pilote doit être conçue et traitée dans une approche interdisciplinaire impliquant les producteurs d'électricité. La possibilité d'extrapolation des résultats à d'autres sites sera ensuite évaluée et les effets et gains potentiels sur d'autres sites ainsi que sur l'ensemble du Rhin alpin seront analysés.

Dans le cadre de ce projet, les questions suivantes doivent être traitées :

- ⇒ Quel type d'ouvrage, et de quelle taille, est-il pertinent d'envisager d'un point de vue écologique et économique ?
- ⇒ Où se trouvent des sites adéquats pour l'aménagement de bassins de rétention ? Quels seraient les coûts ?
- ⇒ Quelles sont les informations dont les gestionnaires potentiels des bassins de rétention auront besoin pour assurer l'atténuation d'impact voulue ?
- ⇒ Quels sont les paramètres fondamentaux permettant d'évaluer un bassin (apports, synergies) ?
- ⇒ Est-il possible d'extrapoler les caractéristiques et la pratique d'un bassin de rétention à d'autres sites ?

### **Annexes**

- « Tableau Valeurs limites », SCHÄLCHLI et al. 2004
- Organigramme du projet D6 : Analyse quantitative par modélisation hydraulique de valeurs limites des paramètres caractéristiques des éclusées pour différents profils d'exigences
- Tableau 1 : Valeurs limites issues de l'étude « Notwendige und wünschbare Schwallreduktion am Alpenrhein », résultats d'un séminaire tenu le 5 septembre 2003 à Lochau au Lac de Constance (Schälchli et al. 2003). Paramètres considérés, de gauche à droite : Amplitude (et rapport entre débit d'écluse max. et débit plancher min.), Différence maximale du niveau d'eau, Taux max. de montée du débit, Taux min. de baisse du débit, Débit d'écluse maximum, Débit plancher minimum.







## **Stefan Schmutz**

Department für Wasser, Atmosphäre und Umwelt,  
Universität für Bodenkultur Wien, BOKU

- Folien / Diapositives (e)

# Erfahrungen zur Schwallproblematik aus Österreich

S. Schmutz, M. Jungwirth, O. Moog, R. Schinegger & G. Unfer

WASSER-AGENDA 21 – Fachtagung Schwall & Sunk; 09. März 2009



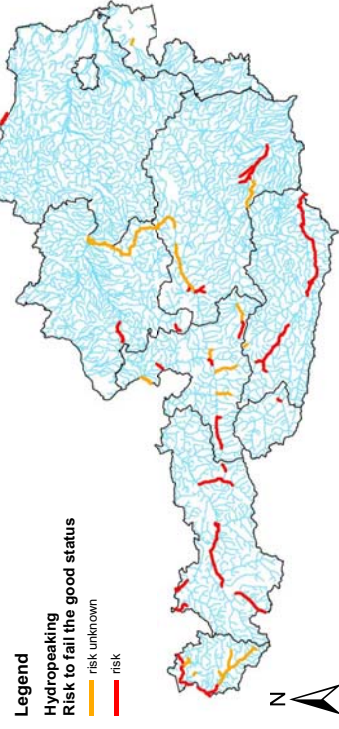
## Overview

- 70% of suitable river stretches in Austria are in use of hydroelectric power (Jungwirth et al., 2003).
- About 78 river stretches are affected by hydropeaking, mainly at rivers Drau, Möll, Salzach, Enns, Alpenrhein and Bregenzerrach (BMLFUW 2005).
- Good pre-conditions for hydropeaking in alpine Regions.
- Hydropeaking is the most profitably sector for hydro energy.
- Only few profound studies available (Moog et al. 1993, Parasiewicz et al. 1998, etc.).
- Sufficient knowledge about the ecological effects of hydropeaking is lacking.
- Solutions for reduction of impact on the aquatic ecosystem are necessary.

## Contents

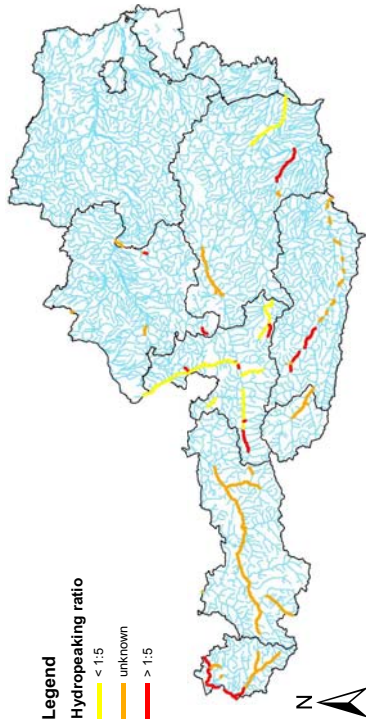
- Overview – Hydropeaking in Austrian rivers
- Case studies Bregenzerrach & Drau
- „Masterplan Wasserkraft“
- Hydropeaking in Europe – EFI+

## Hydropeaking in Austrian rivers



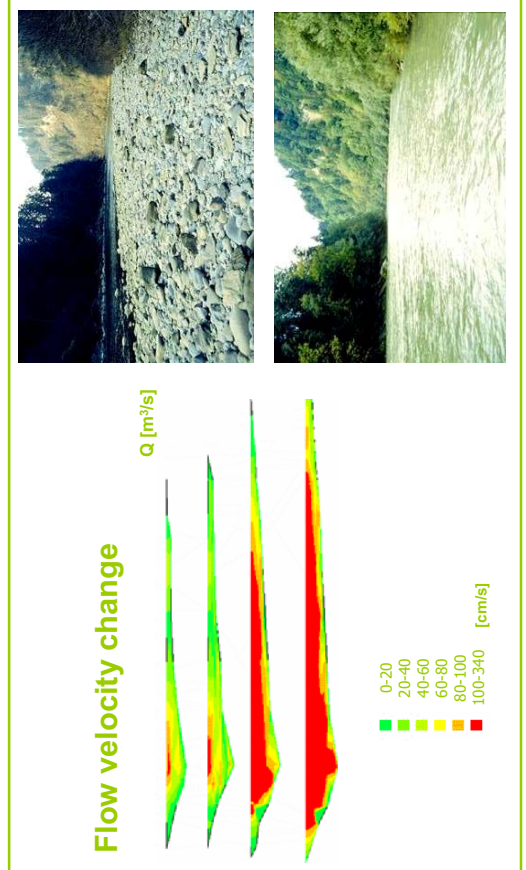
78 water bodies on a length of 802 km (2,6% of 31.000 km total) are affected by hydropeaking.  
**Source:** „Characterisation of river basins“, BMLFUW 2005. (Article 5, WFD).

# Hydropeaking in Austrian rivers

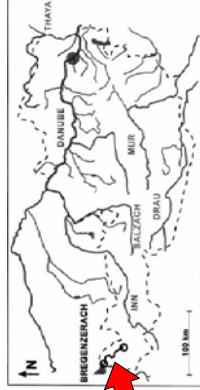
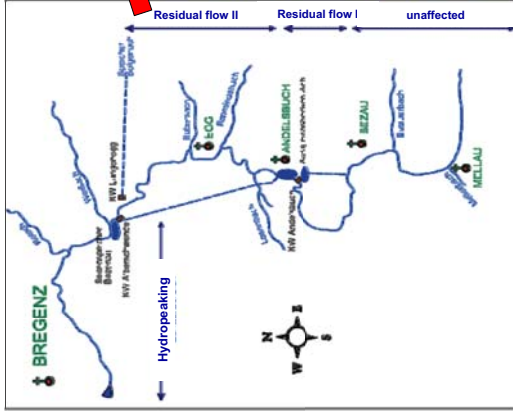


**Criteria:**  
 Ratio low flow to peak flow > 1 : 5 of daily discharge curve for small and medium sized rivers.  
 Large rivers > 100 km<sup>2</sup>.  
 802 km (2.6 % of total) are in risk to fail the good status according to WFD.

# Case-study Bregenzzerach



# Case-study Bregenzzerach



**FACTS:**

- River in Western Austria - affected by heavy hydropeaking discharges (up to 60m<sup>3</sup>/sec).
- Mitigation measures developed for reduction of adverse effects of hydropeaking.
- In conjunction with construction of a new power plant.

# Case-study Bregenzzerach



Ecological integrity of Bregenzzerach 1986, 1994 and 1996/1997

Site	Ecological integrity									
	MZB		Fish				Total			
	1986	1997	1986	1994	1996	1996	1994	1996	1996	1996
Reference site	1,1a,1b	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2
Hydropeaking site	7	4	3	3-4	3-4	4	3-4	3-4	3-4	3-4
	8	4	2	3-4	3-4	4	3-4	3-4	3-4	3-4
	9, 10	3	2	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4

- 1 no impact, ecological integrity guaranteed
- 1-2 slight impact
- 2 medium impact
- 2-3 fundamental impact
- 3 strong impact
- 3-4 very strong impact
- 4 ecological integrity no more possible

**Before mitigation:**

- Low flow peaking flow relation: 3:60m<sup>3</sup>/s
- No pre-peaking

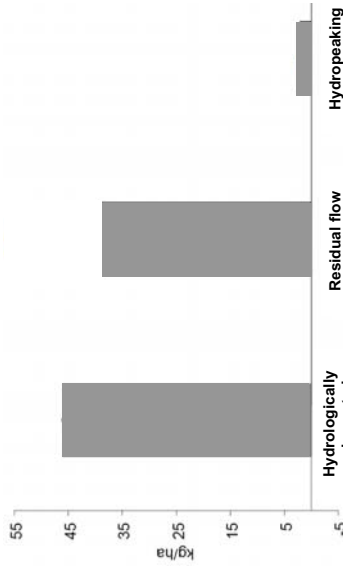
**After mitigation:**

- Relation: 3:20:60m<sup>3</sup>/s
- Installation of pre-peaking
- Reduction of peaking intensity for pre-peaking to 17%
- Reduction of peaking intensity for main peaking to 79%

## Case-study Bregenzzerach



Fish biomass at the study site

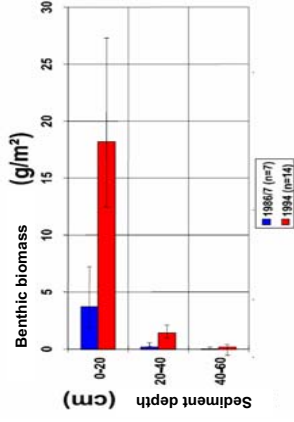


- Prior to mitigation, fish and invertebrate fauna were heavily affected by the peaking.

## Case-study Bregenzzerach

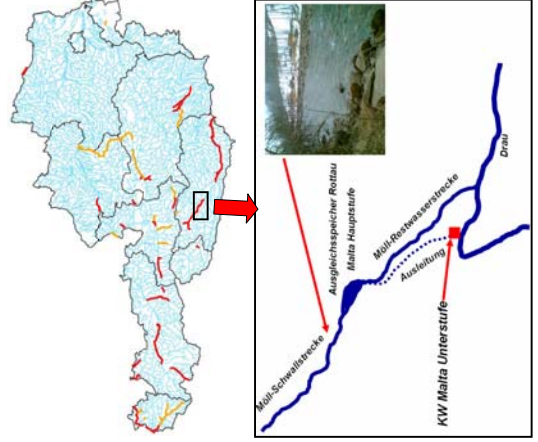


Estimated benthic biomass at the study site



- Benthic biomass was less than 15%, after mitigation it recovered to about 60% of reference value.
- No post-mitigation improvement was found with respect to fish biomass.

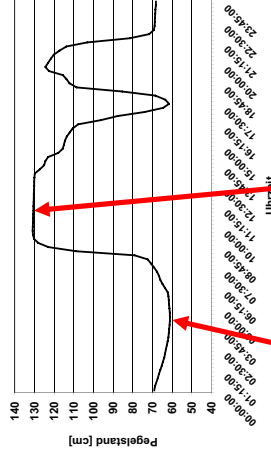
## Example Drau



## Power plant Malta-Unterstufe



21. March 2003



25 m³/s

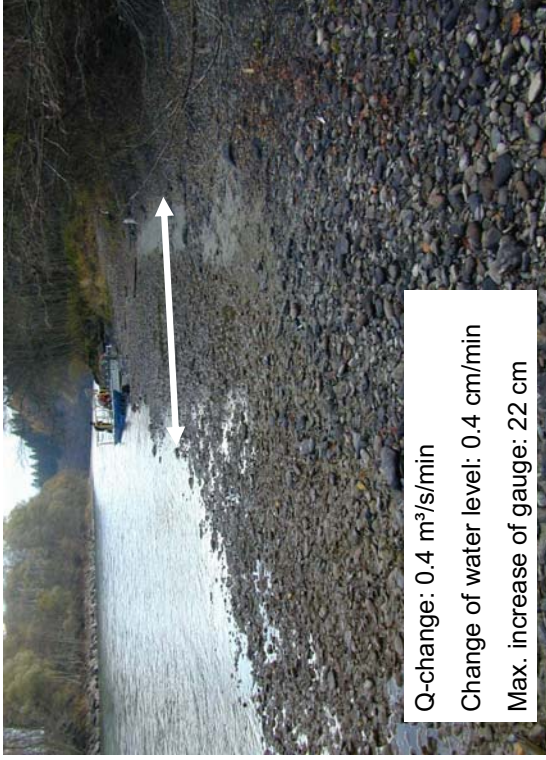
110 m³/s

Change of water level: 1.9 cm/min

~ 70cm fluctuation of water level

Q-change: 2.2 m³/s/min

## Hydropeaking – Strassen Amlach

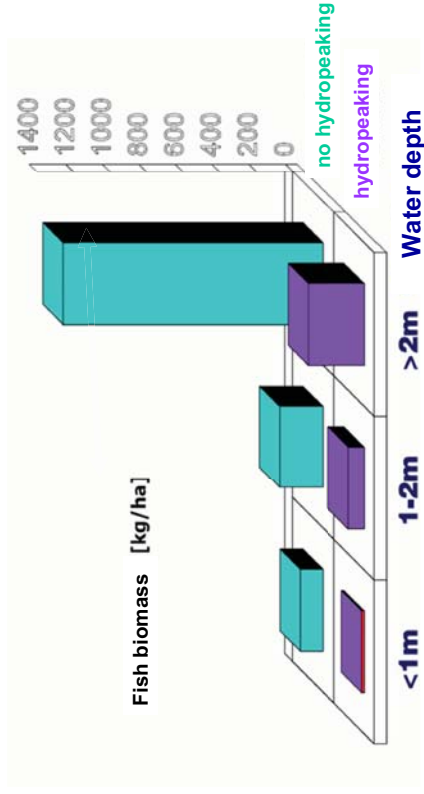


Department Water-Atmosphere-Environment | Institute of Hydrobiology and Aquatic Ecosystem Management

## Hydropeaking – Drau

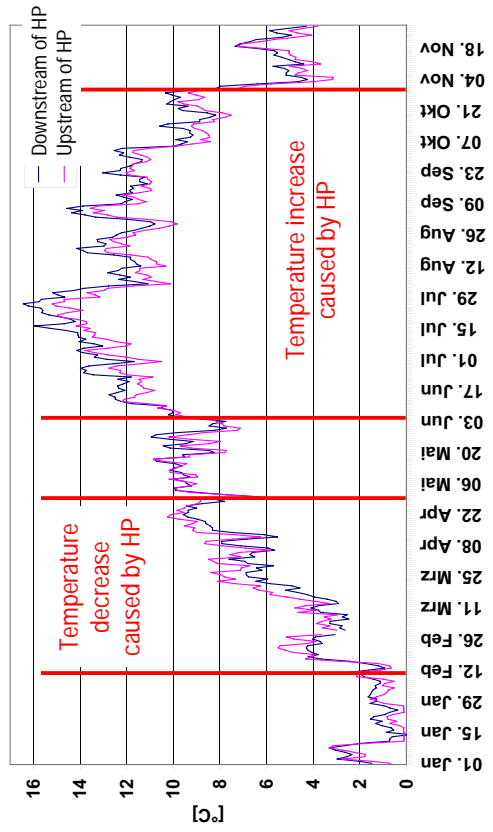


### Influence of hydropeaking on fish



Department Water-Atmosphere-Environment | Institute of Hydrobiology and Aquatic Ecosystem Management

## Water temperature modification

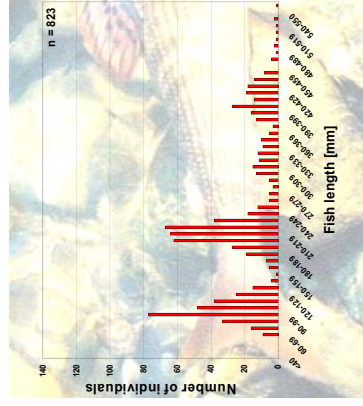


Department Water-Atmosphere-Environment | Institute of Hydrobiology and Aquatic Ecosystem Management

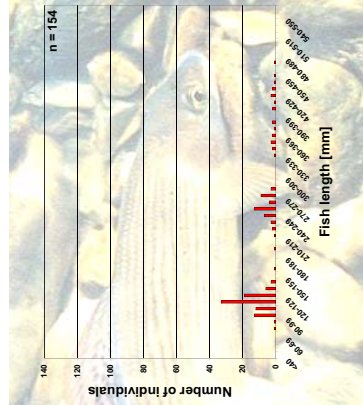
## Length-frequencies of grayling



Low intensity of hydropeaking



High intensity of hydropeaking



upstream Sachsenburg  
fish biomass 46,4 kg/ha

downstream Sachsenburg  
fish biomass 3,3 kg/ha

Department Water-Atmosphere-Environment | Institute of Hydrobiology and Aquatic Ecosystem Management

## Example Drau



LIFE project: "Restoration of the wetland and riparian area at the Upper Drau river"



Revitalisation measures in Natura2000 area, enlarged to a total of 977 ha along a river section of 70 km (<http://www.life-drau.at>).

Department Water-Atmosphere-Environment | Institute of Hydrobiology and Aquatic Ecosystem Management

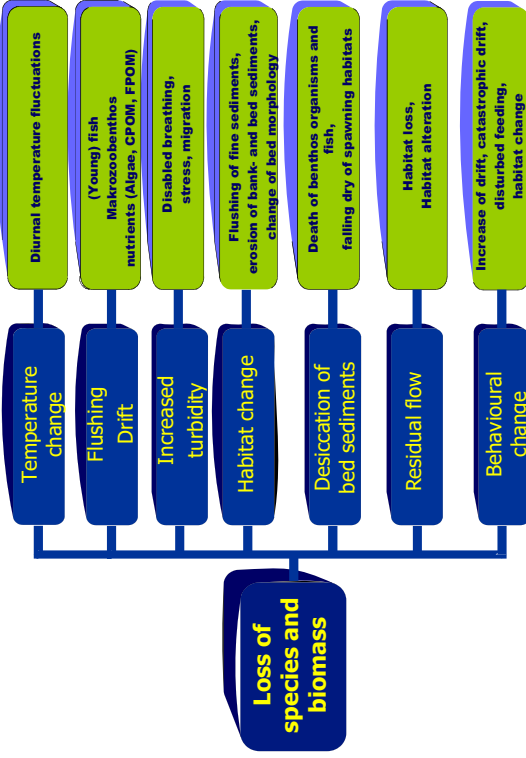
## Risk potentials for hydro-power



Source: Verbund, Austrian Hydro power

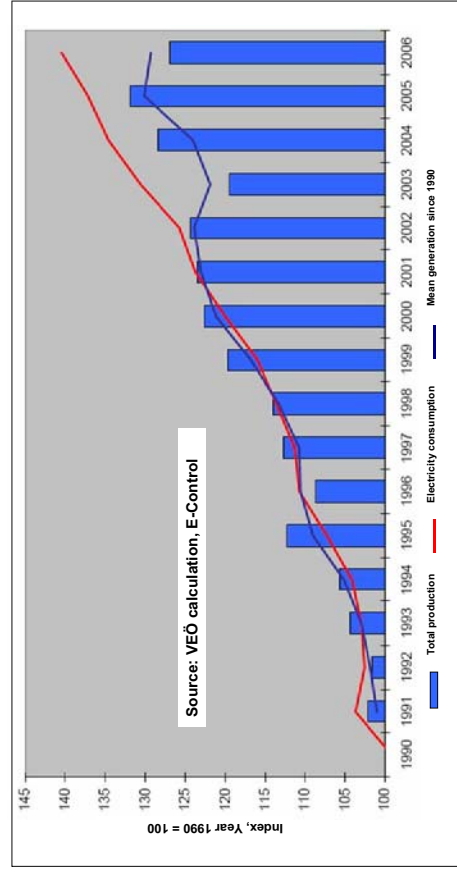
Department Water-Atmosphere-Environment | Institute of Hydrobiology and Aquatic Ecosystem Management

## Potential impacts of hydropeaking



Department Water-Atmosphere-Environment | Institute of Hydrobiology and Aquatic Ecosystem Management

## Increase of electricity consumption

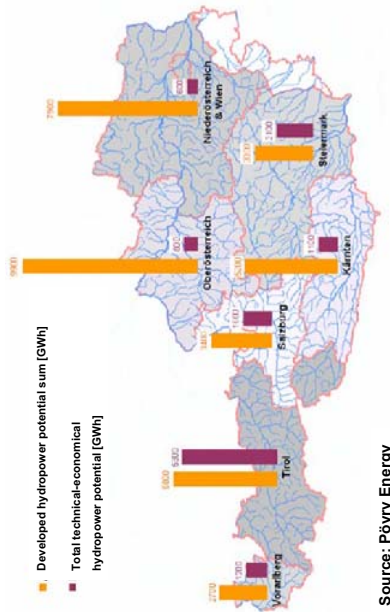


Source: VEO calculation, E-Control

Increase of electricity consumption in Austria: 39% (1990-2006)  
Since 2006, 10% of the total consumption has to be covered by netto-imports (tends upwards)

Department Water-Atmosphere-Environment | Institute of Hydrobiology and Aquatic Ecosystem Management

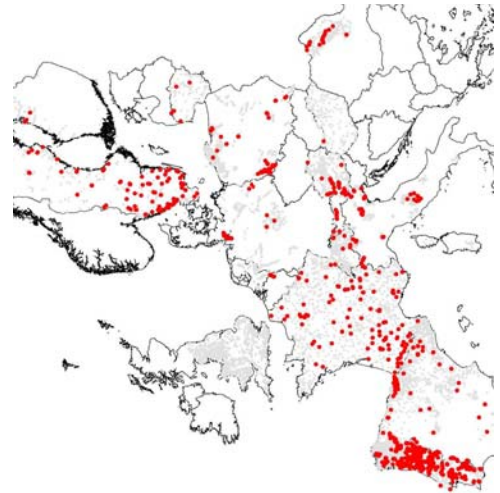
## „Masterplan Wasserkraft“



Source: Pöyry Energy

Remaining hydropower potential in Austria according to Pöyry Energy (VERBUND):  
13TWH (total technical-economic hydropower potential)

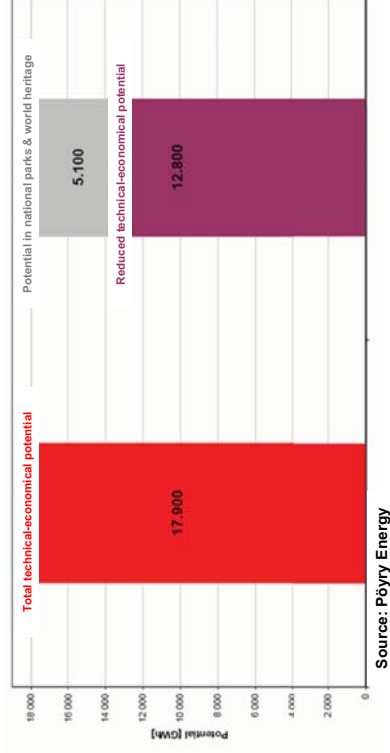
## Hydropeaking in Europe



Source: Efi+ project (<http://efi-plus.boku.ac.at>)



## „Masterplan Wasserkraft“



Source: Pöyry Energy

Reduction of the total technical-economic hydropower potential, considering national parks and world heritage Wachau from ~ 18 TWH to ~ 12 TWH.

## Required actions



- Complete identification of hydropeaking sites in Austria following a consistent methodology.
- Determination of effects on the aquatic system caused by hydropeaking - need for new methods and experiments.
- Research on ecological hydropeaking criteria and related thresholds.
- Knowledge on interactions with other pressures (morphology, continuum, water quality).
- Development of mitigation measures: Compensation reservoirs, damping of ramping rate, reduction of peaks, etc.

Source: „Positionspapier der Arbeitsgruppe Schwall“, ÖWAV



Thanks for your attention!





## **Jan Heggenes**

Telemark University College, Freshwater Ecology and  
Inland Fisheries Laboratory, University of Oslo

- Folien / Diapositives (e)

# Hydropeaking in Norway: Economy and ecology



Jan Hegggenes, Telemark University College, N-3800 Bø in Telemark  
Freshwater Ecology and Inland Fisheries Laboratory, University of Oslo

HydroPeaking 9 March 2009

1

# What we will talk about

- Background**
- **Hydropower in Norway**
- Hydropeaking**
- **Hydropower licences**
- **Changes in energy policies**
- **Ecological impacts**
- **and research**
- **Case studies**



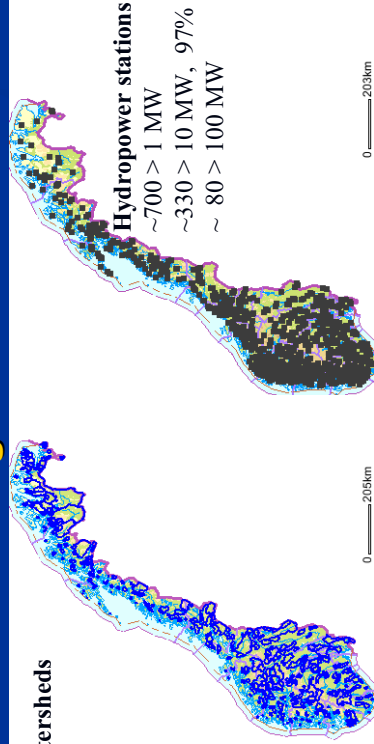
HydroPeaking 9 March 2009

2

# Hydropower in Norway

- **> 95% hydropower**
- **2/3 of all watersheds are affected**
- **~ 700 stations larger than 1 MW**

Affected watersheds



0 205km

0 203km

# Hydropower production in Norway

- Total production about 121 TWh
- **Hydropower stations are energy-dimensioned (stable domestic supply)**
- Installed effect 29 000 MW
- Average run time 4 200 hours/year
- **Large reservoir capacity: ~ 50% of European reservoir capacity, about 85 TWh (62 mill. m<sup>3</sup>), i.e. 70% of annual-total production → flexibility**
- **85% of production facilities are publicly owned, all projects publicly regulated (by law)**
- **Crown corporation, ~40%**

**Blåsjø reservoir**  
Area 84.5 km<sup>2</sup>  
Volume 3.1 km<sup>3</sup>  
Energy 7.8 TWh



## How is hydropower and hydropeaking regulated? Water/hydropower licences

- **Federal licence required** to build and operate
- Such decisions and licences are regulated by three acts:
  - **The Water Resource Act** (2000) – general, min. flows
  - **The Water Regulation Act** (1917) – hydropower licences
    - specific, detailed
  - **The Energy Act** (1991)
    - new market energy policy

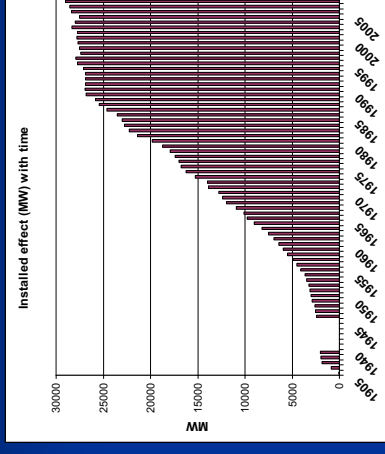


HydroPeaking 9 March 2009

5

## Hydropeaking Water/hydropower licences

- The licence will specify how to operate, based on
  - political (economic) decisions
  - best knowledge (at the time)
- The licence is given for a **time period** (~ 50 years); most licences given 1960-1990 (see Figure)
- **Few changes** within that period



HydroPeaking 9 March 2009

6

## Hydropeaking Water/hydropower policy/licences

- **Stable national energy supply until ~ 1990**  
large reservoirs  
sufficient domestic effect  
→ little hydropeaking
- **The water licences did not consider hydropeaking**  
→ hydropeaking unregulated



HydroPeaking 9 March 2009

7

## Hydropeaking – right now Deregulation and flexibility

- The Energy Act (1991): a new **deregulation policy with export/import** to an effect-demanding (North-) European market → **hydropeaking**
- **Large reservoirs** → **hydropeaking**
- **Combine with alternative energy sources** (wind, wave) → **hydropeaking**
- **Many licences are coming up for renewal**
- **Response:**  
Federal: fund research on feasibility and ecological impacts in rivers  
Producers: fund research on feasibility and mitigation strategies



HydroPeaking 9 March 2009

8

# Hydropeaking: An ongoing development in Norway

Estimated potential for hydropeaking: ~ 90 hydropower stations with installed effect 17000 MW today, increase by 16200 MW

Example: Tonstad (Sira-Kvina)

- licenced 1963
- installed effect 960MW
- 3700hrs/year, 3 aggregates
- annual production 3.6 TWh
- reservoir capacity 86%
- application for double effect
- same water/reservoir
- lake outlet (15 m depth)

Tonstad Hydropeaking Licence Application



HydroPeaking 9 March 2009

## "Effect" project 1997-2004 2008-

### Ecological impacts of hydro peaking in rivers :

Focus on fish stranding, stress, behaviour, habitat, movement

A research collaboration between:

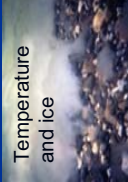
HydroPeaking 9 March 2009

10

## Environmental impacts of hydropeaking – EnviPEAK (8 mill. €)

### Environmental impacts of hydropeaking

The main objective is to assess environmental impacts of hydropeaking and to describe how, when and where hydropeaking may be done with acceptable impacts on the ecosystem. Mitigation strategies will also be addressed.



Also including:

Model development

Catalogue of measures and mitigation

Categorizing hydropower plants

KMB project 2009-2012

HydroPeaking 9 March 2009

11

## Hydropeaking case studies - Norway

Daleelva (5 - 30 m<sup>3</sup>/s)


Nidelva (30 - >110 m<sup>3</sup>/s) + experimental stream

Vallaråi (3-25 m<sup>3</sup>/s)

Upper Mandalselva (1 - 25 m<sup>3</sup>/s)

HydroPeaking 9 March 2009

12



Vallaråi (3-25 m<sup>3</sup>/s)  
**Invasive species** *Phoxinus phoxinus*  
 expanding due to hydropeaking?

### Stranding of young fish during dewatering events



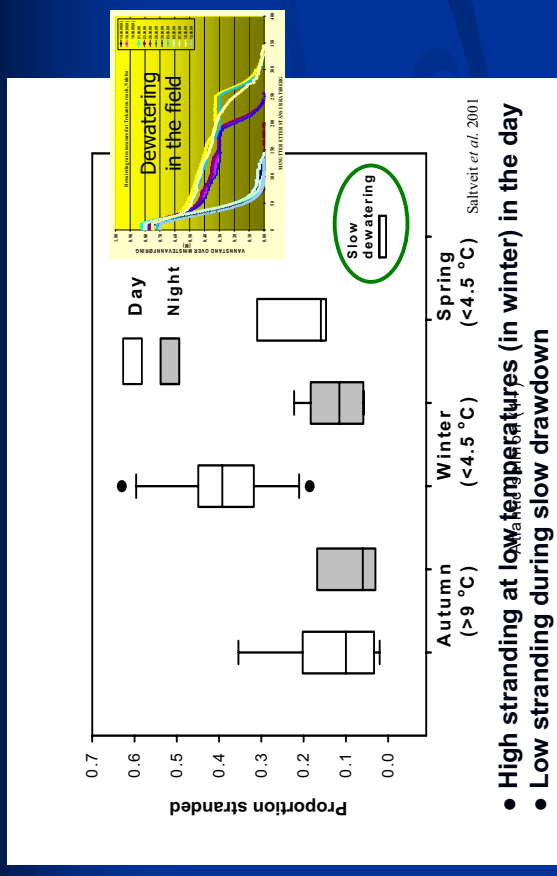
## Stranding experiments



Enclosures in Nidelva  
 ca 90 m<sup>3</sup>/s  
 ca 50 m<sup>3</sup>/s  
 ca 30 m<sup>3</sup>/s

Netbag at low flow

### Stranding field experiments - wild Atlantic salmon (1+) - normal substrate



Proportion stranded

Autumn (>9 °C) Winter (<4.5 °C) Spring (<4.5 °C)

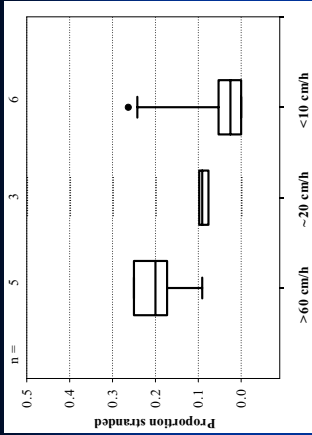
Day Night

Dewatering in the field

Slow dewatering

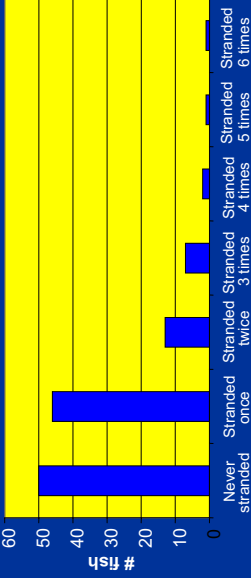
- High stranding at low temperatures (in winter) in the day
- Low stranding during slow drawdown

## Experimental stream



Upper figure. Box plot comparison of proportion stranded summer-old (0+) brown trout depending on dewatering speed. The figure shows reduced stranding by reduced dewatering speed, but not total elimination of stranding.

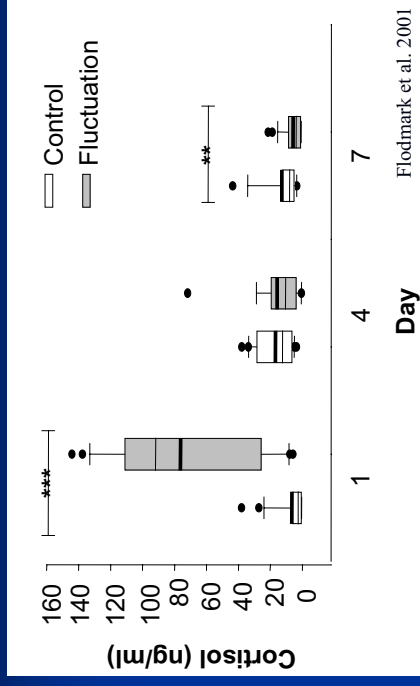
Lower figure. Stranding of individual fish (PIT tagged) subject to daily peaking. (Water was put back on to avoid mortality.) The figure shows that 50 fish never stranded.



HydroPeaking 9 March 2009

17

## Stress response and habituation to daily flow fluctuations (brown trout)



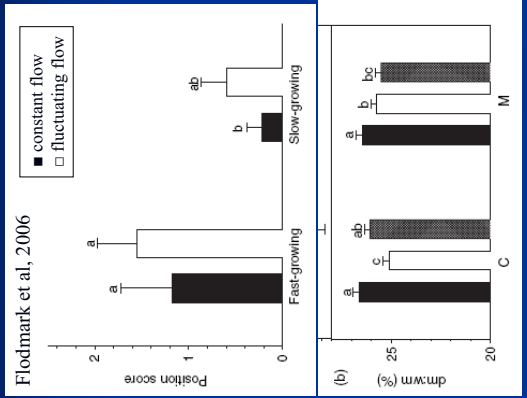
Flodmark et al. 2001

- Non-stranded brown trout seems to adapt to flow fluctuations within 4 days
- Flow fluctuations without reduction in wetted perimeter may not be harmful to biota

HydroPeaking 9 March 2009

18

## Behavioural habituation to daily flow fluctuations (brown trout)

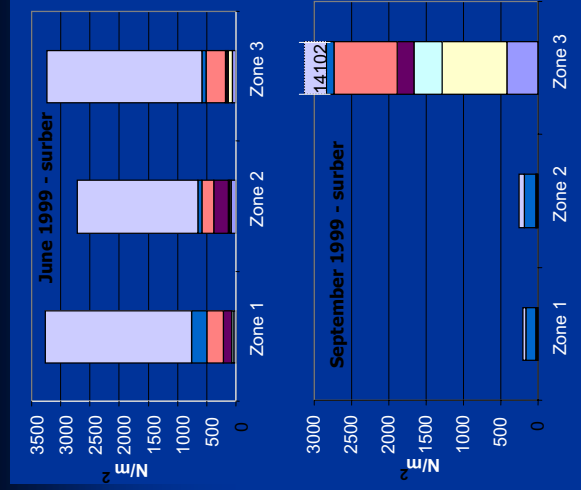


Flodmark et al., 2006

HydroPeaking 9 March 2009

19

## Hydropeaking and benthic fauna (invertebrates) : before and after one month of hydro peaking



Zone 1:  
Dry during all peaking

Zone 2:  
Dry at most peaking

Zone 3:  
Always in water

HydroPeaking 9 March 2009

20

## Hydropeaking in Norway:

How to do environmental friendly peaking in rivers?

- Stranding of fish depends on: dewatering speed and frequency, temperature, light, substrate, fish size, fish species, individual fish – *in situ* studies required
  - The habitat use of stranding risk areas varies over seasons and local conditions - *in situ* investigations required
- Mitigation measures:**
- Slow dewatering (<10-15 cm/hour) reduce stranding
  - At low temperatures (winter) stranding

21

22

HydroPeaking 9 March 2009

THANK YOU!

<http://www.energy.sintef.no/avd/Energisystemer/hydrology/effekt/hydpeak.htm>

Some references:

- Vehanen, T., Bjerke, P. L., Heggnes, J., Huusko, A. & Mäki-Petäys, A. 2000. Effect of fluctuating flow and temperature on cover type selection and behaviour by juvenile brown trout in artificial flumes. *Journal of fish biology* **56**: 923-937.
- Salteit, S.J., Halleraker, J.H., Arnekleiv, J.V. and Harby, A. 2001. Field experiments on stranding in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropeaking. *Regulated Rivers Research and Management*, **17**: 609-622.
- Flodmark, L.E.W., Urke, H.A., Halleraker, J.H., Arnekleiv, J.V., Vollestad, L.A. & Poléo, A.B.S. 2002. Cortisol and glucose responses in juvenile brown trout subjected to a fluctuating flow regime in an artificial stream. *Journal of Fish Biology* **60**: 238-248.
- Berland, G., T. Nickelsen, Heggnes, J., Økland, F., Thorstad, E. & Halleraker, J. 2004. Movements of Atlantic salmon parr in relation to peaking flows below a hydro power station. *River Research and Applications* **20**: 957-966.
- Flodmark, L.E.W., Forseth, T., L'Abbe-Lund, J.H. & Vollestad, L.A. 2006. Behaviour and growth of juvenile brown trout exposed to fluctuating flow. *Ecology of Freshwater Fish* **15**: 57-65.
- Heggnes, J., Omholt, P.K., Kristiansen, J.R., Økland, F., Dokk, J.G. & Beere, M.C. 2007. Behavioural movements by wild brown trout in a river: response to habitat contrasts and extreme peaking flows. *Fisheries Ecology and Management* **14**, 333-342.

HydroPeaking 9 March 2009

23

## Hydropeaking Preliminary federal criteria for licencing

**Economy:**

- Size of hydropower station
- Reservoir capacity
- Location
- Transmission capacity

**Ecology:**

- Outlet (ocean, large lake/ reservoir)
- Waterways – length, type



HydroPeaking 9 March 2009

24

## Radio telemetry on salmon to study movements during hydropeaking



return to home site



anaesthetization length, weight, etc



transmitter implant



manual tracking

## Juvenile (>10 cm) Atlantic salmon movement and habitat use during hydropeaking

- Large **individual variations** in movements
- Juvenile salmon **move more in more diverse habitats** (and less in homogenous habitats like large pools).
- Juvenile salmon subjected to **hydropeaking did not change position** more often than during stable flows.
- Juvenile salmon was observed to never occupy areas with high stranding risk.
- Juvenile salmon move when habitat quality is radically decreased, but not necessarily by habitat changes alone.
- Juvenile salmon changed positions less frequently after rapid increase in flow compared to decreasing or stable flow.

Berland *et al.* 2003

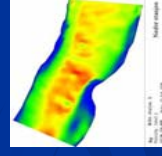
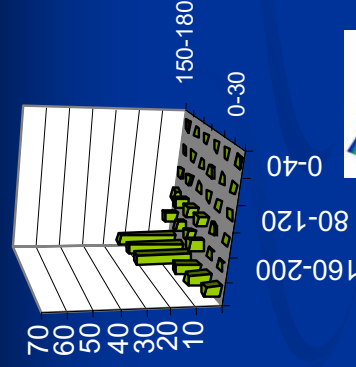
## Hydropeaking and water vegetation

### Hydropeaking produces specialisation:

- Some species were only found in permanently wetted areas
- Some species were only found in the "regulated zone"

### Hydropeaking may increase production of water vegetation because of repeated flushing of biomasses

- There was a relationship between depth and water vegetation
- No such relationship were found between water velocity and water vegetation







## **Agnès Barillier**

Electricite de France, EDF

- Folien / Diapositives (f)
- Zusammenfassung (d)
- Résumé (f)

# Quels leviers pour limiter l'impact des éclusées sur les rivières?

Démarche mise en œuvre par EDF

A. Barillier (CIH), V Gouraud (R&D), R Thévenet (METE), E Buissière (UPA)



## Pour pouvoir limiter, il faut déjà bien connaître le problème ...(2/3)

o **Principales conclusions** du Groupe de travail sur les effets des éclusées

- **Incidences spécifiques à chaque site (forte variabilité d'un site à l'autre) :**
- Avec des enseignements généraux communs :
  - Influence du **débit de base** sur les structures des peuplements
  - Influence proportionnellement plus importante si la morphologie est dégradée ou en absence d'**abris**

o **Principales recommandations** du Groupe de travail

- En terme d'études (caractérisation de l'état initial et du problème) :
  - Investigations de terrain « classiques » (*plusieurs saisons (invertébrés), peuplements, espèces, stades, hydrologie, morphologie, ...*)
  - Investigations plus poussées si identification d'un problème (*analyse de l'habitat en fonction du débit, piégeage, dérive, habitats de berge, ...*)



## Pour pouvoir limiter, il faut déjà bien connaître le problème ...(1/3)

o RAPPEL HISTORIQUE

- o Début années 90 (jusqu'en 1995) :
  - Mise en place d'un groupe de travail (CEMAGREF, ENSAT, Universités, CSP, EDF) et travaux de thèse
  - **Principales observations** sur l'effet des éclusées en rivière (5 sites de M<20 m<sup>2</sup>/s) =
    - Modification de la composition des peuplements
    - Accroissement de la dérive des organismes
    - Augmentation des risques d'échouage ...



## Pour pouvoir limiter, il faut déjà bien connaître le problème ...(3/3)

o **Retour d'expérience** interne (2000/2005)

- = analyse des études d'impact des demandes de renouvellement des concessions
- Difficulté pour effectuer un véritable diagnostic (durée des études)
- Difficulté pour évaluer l'importance de l'impact du facteur « éclusée » par rapport à d'autres facteurs

Propositions de mesures réductrices / compensatoires dont on ne sait pas bien évaluer l'efficacité .....

..... Mais qui sont toujours « coûteuses » énergétiquement.





## Quels sont les types de problèmes ?

- Habitat disponible au débit de base ?
- Fonctionnalité des frayères ?
- Ressource nutritive ?
- Choc thermique ?
- Piégeage / Echouage des poissons ?
- Circulation ? Accès aux abris et zones refuges ?
- Effet d'entraînement ?

### Un peu tout ????

5 9 mars 2009

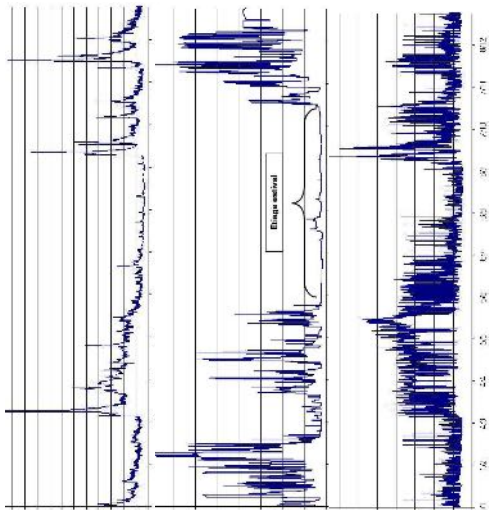
Séminaire "Ecluesés" - Agenda 21 - Soleure



## Prendre en compte les types d'écluesées

Quelques exemples de la grande diversité des hydrogrammes

Q min et Q max  
amplitude  
gradients  
fréquence  
période



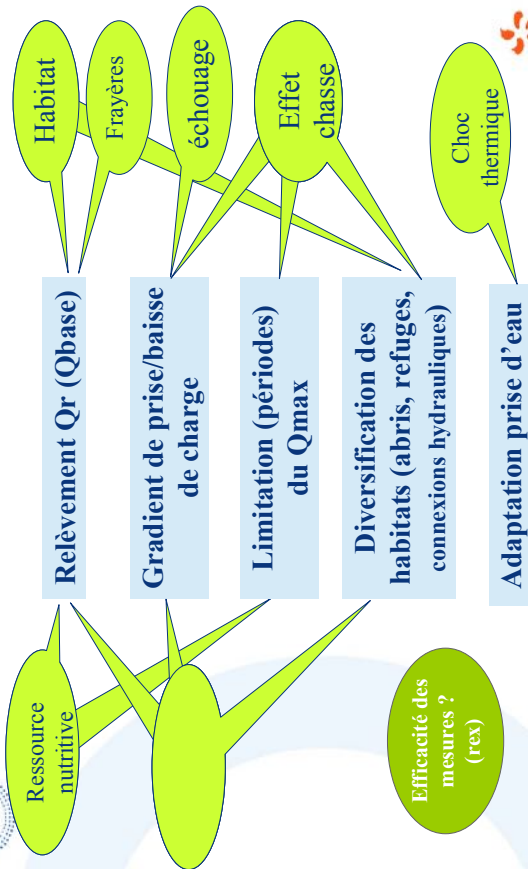
6

9 mars 2009

Séminaire "Ecluesés" - Agenda 21 - Soleure



## Quels leviers pour quels problèmes ?



7 9 mars 2009

Séminaire "Ecluesés" - Agenda 21 - Soleure



## D'où la démarche générale mise en œuvre depuis 2006/2007

- Suivis à long terme « avant / après » sur des sites où on peut mettre en œuvre (tester) des modifications de gestion
  - Diversité / représentativité des sites (contextes biogéographiques) et des problématiques
  - Diversité / représentativité des leviers d'action
- Sélection d'aménagements **en cours de renouvellement de titre** :

\* Pouvoir tester Avant / Après

\* Disposer d'une durée d'études suffisamment longue

- 2 sites en 2006 (en collaboration avec UNPF)

- 3 sites en 2007

- 1 site en 2008

8

9 mars 2009

Séminaire "Ecluesés" - Agenda 21 - Soleure



# Les compartiments suivis

- Milieu physique
  - T°, Hydrologie (limnimètres) en continu
  - Physico-chimie (ponctuel)
  - Morphologie + habitats
- Biologie
  - Macro-invertébrés (listes)
  - Poissons (inventaires)
- « Fonctionnalités » (selon sites)
  - Dérives (macro-invertébrés)
  - Piégeages / échouages
  - Frayères (comptages)
  - Croissance (poisson)

10 9 mars 2009 Séminaire "Ecluses" - Agenda 21 - Soleure

# Premières difficultés : identifier les facteurs limitants

- Parfois, le diagnostic est « aisé » :
  - Cas des échouages « en masse » des alevins / juvéniles
  - Les remèdes d'efficacité significative probable sont connus :
  - Limitation des gradients de descente dans certaines gammes de débit
  - Limitation du Qmax à certaines périodes + sensibles
  - Restauration / adaptation des connexions hydrauliques des bras secondaires
  - Augmentation du débit de base
- Dans la majorité des cas, le diagnostic est difficile ...
  - Manque de référence
  - Nombreux autres facteurs limitants : compartimentage, disponibilité en substrats de frai, ...
  - Forte variabilité interannuelle naturelle
- Et les possibilités techniques des groupes de turbinage limitées ...
  - Contraintes sur le 1er palier par ex

12 9 mars 2009 Séminaire "Ecluses" - Agenda 21 - Soleure

- Eguzon-RAM / Creuse** (augmentation Qr, Palier supplémentaire)
- Confolens / Creuse** (augmentation Qr, limitation des gradients)
- La Châtre / Taurion** (augmentation du Qr)
- Hautefage-Sablier / Maronne-Dordogne** (augmentation Qr, limitation des gradients et du Qmax/période)
- Bioge / Dranse** (augmentation Qr, limitation des gradients)
- Bridoire / Tier** (démodulation = Qr, gradient, fréquence Qmax/période)
- Eyglers / Guil** (Reprise des éclusées ; gradients)

9 9 mars 2009 Séminaire "Ecluses" - Agenda 21 - Soleure

# EX : piégeage / échouage

**Mise en eau d'une zone d'échouage potentiel**

11 9 mars 2009 Séminaire "Ecluses" - Agenda 21 - Soleure

## Autres difficultés : les aléas ....

Des crues morphogènes ....



Où qui déchaussent des ouvrages



- Des retards dans les travaux de modification des ouvrages (Qr)
- Des pollutions toxiques (nonylphénols) ...

13

Soleure



## Traitement futur des données

- Situation « Avant » : réalisée sur 2 ans
- Situation « Après » : prévue sur 3 ans, probablement prolongée sur 1 à 2 ans, voire plus (selon sites)
- Analyse locale (site par site) :
  - Analyse de la variabilité temporelle des communautés biologiques en fonction des paramètres du milieu
  - Conclusion sur l'effet des modifications de gestion de l'aménagement
- Analyse globale (tous les sites) :
  - Analyse de la variabilité spatio-temporelle des communautés biologiques en fonction :
  - des modalités de gestion hydraulique
  - Du contexte biogéographique de chacun des aménagements

Identification des **gains écologiques** en fonction des caractéristiques des aménagements et du contexte

14

9 mars 2009 Séminaire "Ecluses" - Agenda 21 - Soleure



# Merci de votre attention



### Degré d'artificialisation du régime hydraulique

Naturel

Écluses avec débit plancher soutenu

Écluses avec débit plancher faible

Effet croissant des écluses

**RISQUE CROISSANT**

**Facteur aggravant**

**la morphologie de la rivière**

Morphologie naturelle, diversifiée, granulométrie grossière

Morphologie peu diversifiée, peu de refuges

Rivière recalibrée morphologie uniforme, faciès et substrat homogènes

16

9 mars 2009 Séminaire "Ecluses" - Agenda 21 - Soleure



## **Wie können die Auswirkungen von Schwall und Sunk auf die Fließgewässer gemindert werden? Der Ansatz von EDF.**

Agnès Barillier, EDF, Frankreich

### **Kurze Zusammenfassung :**

Nach den jüngsten gesetzlichen Entwicklungen wird vermehrt auf das Verhältnis zwischen Kosten (finanzieller Art) und Nutzen (für die Gewässer) der getroffenen Massnahmen zur Erreichung eines guten ökologischen Zustandes der Gewässer geachtet.

Der Schwallbetrieb der Wasserkraftwerke kann starke ökologische Beeinträchtigungen im betroffenen Gewässersystem verursachen, diese hängen jedoch stark von der Flussmorphologie ab. Selbst wenn das Habitatangebot bei Sunk eine wichtige Rolle spielt, ist es oft schwierig oder gar unmöglich vorauszusagen, wie wirkungsvoll vorgeschlagene oder geforderte Massnahmen (Minderung der Anstiegs- und Abstiegsgeschwindigkeiten des Abflusses, Minderung des Spitzenabflusses, Revitalisierungsmassnahmen, ...) für das Gewässer auch wirklich sein werden. Der Bau von Ausgleichsbecken unterhalb der Kraftwerke ist technisch oft nicht realisierbar und/oder mit untragbaren Kosten verbunden...

EDF wird betriebliche Anpassungen bei verschiedenen Kraftwerken im Sinne einer Schwallminderung vornehmen; es wurde entschieden, die ökologischen Auswirkungen dieser Massnahmen durch eine langjährige Erfolgskontrolle in den verschiedenen Kompartimenten zu verfolgen. Damit generelle Rückschlüsse aus dieser Erfahrung gezogen werden können, sind Kraftwerke in unterschiedlichen biogeographischen Zonen und mit unterschiedlicher Art des Schwallbetriebes ausgewählt worden.

## **Quels leviers pour limiter l'impact des éclusées sur les rivières? Démarche mise en œuvre par EDF.**

Agnès Barillier, EDF, France

### **Résumé court :**

Depuis les récentes évolutions réglementaires, on s'interroge sur le rapport coût (des mesures) / efficacité (pour le milieu) des actions engagées pour atteindre le bon état écologique des milieux aquatiques en général.

Les éclusées énergétiques peuvent engendrer des perturbations importantes du milieu, mais qui dépendent grandement de la morphologie de la rivière. Même si l'habitat au débit de base joue un rôle important, il est souvent difficile, voire impossible de prédire l'efficacité pour le milieu des mesures qui sont proposées ou imposées (réduction des gradients de montée / baisse de débits, limitation du Qmax, travaux de restauration dans le lit des rivières, ...). La création de bassin de démodulation en aval des usines n'est généralement techniquement pas envisageable et/ou d'un coût disproportionné ....

EDF va modifier les modalités de gestion des éclusées énergétiques d'un certain nombre d'aménagements ; il a été décidé de suivre l'effet de ces modifications en terme d'amélioration du milieu par un suivi écologique portant sur l'ensemble des compartiments pendant plusieurs années. Afin que ce retour d'expérience puisse être généralisé, les sites ont été choisis pour être représentatifs de contextes biogéographiques différents, et de typologie d'éclusées variées.







## **Jean-François Moor**

Agence de l'eau Adour-Garonne, France

- Folien / Diapositives (f)
- Zusammenfassung (d)
- Résumé (f)

## SEMINAIRE ECLUSEES

Le 9 Mars 2009 à Solothurn (Suisse)

### Pour une conciliation de l'hydroélectricité et des milieux aquatiques

L'exemple du bassin Adour Garonne / France

JF MOOR - Séminaire éclusees  
Le 9 mars 2009 à Solothurn (Suisse)

## Le bassin Adour-Garonne Un cadre réglementaire et de nouveaux enjeux

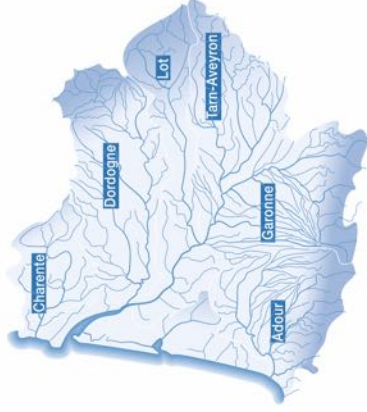
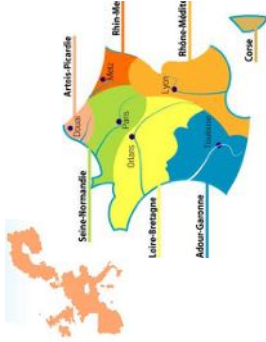
### La Directive-Cadre Européenne sur l'Eau (DCE – transposée, loi du 21 avril 2004)

Fixe une obligation de résultat et des «objectifs environnementaux» pour chaque "masse d'eau":

- atteindre un "bon état écologique" en 2015
- Elaboration du **Schéma Directeur de Gestion et d'Aménagement des Eaux (SDAGE)**-2010/2015,
- Mise en œuvre d'un programme de mesures

JF MOOR - Séminaire éclusees  
Le 9 mars 2009 à Solothurn (Suisse)

## Le bassin Adour-Garonne Une gestion par grands bassins hydrographiques



JF MOOR - Séminaire éclusees  
Le 9 mars 2009 à Solothurn (Suisse)

## Le bassin Adour-Garonne Un cadre réglementaire et de nouveaux enjeux

### La Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA - 30 décembre 2006)

- Prise en compte des adaptations nécessaires au changement climatique
- Reconquête de la qualité écologique des cours d'eau pour répondre aux enjeux de le DCE
- Fixation de débits minimum et régimes réservés à l'aval des ouvrages (2013)
- Révision des classements des cours d'eau (2013)

JF MOOR - Séminaire éclusees  
Le 9 mars 2009 à Solothurn (Suisse)

## Le bassin Adour-Garonne Un cadre réglementaire et de nouveaux enjeux

**La Directive Européenne « Sources  
d'énergies renouvelables »  
(SER- 27 septembre 2001)**

**La loi de Programme et d'Orientation des  
Politiques Energétiques de la France  
(POPE-13 juillet 2005)**

Engagement national d'un objectif de 21%  
d'énergie renouvelable pour la consommation  
intérieure brute d'ici 2010

**Programme pluriannuelle des  
investissements (PPI) dans le domaine  
de la production électrique, en cours de  
révision**

JF MOOR - Séminaire écluésées  
Le 9 mars 2009 à Solaferm (Suisse)

## Le bassin Adour-Garonne Le projet de Schéma Directeur d'Aménagement et de gestion des eaux

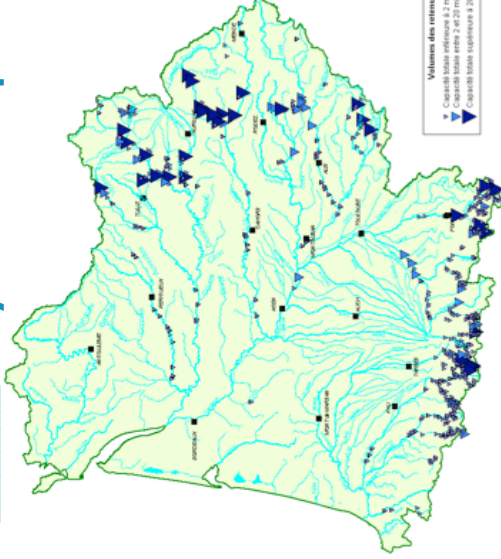
**Des mesures spécifiques pour la gestion des  
installations hydroélectriques**

- Suivre, évaluer et harmoniser les débits minima,
- Gérer les sédiments des retenues,
- Diagnostiquer et réduire l'impact des écluésées,
- Identifier les grandes chaînes hydroélectriques,
- Cadre de cohérence entre le développement de la production hydroélectrique et la préservation des milieux aquatiques,
- Constitution d'une commission « eau et énergie » du comité de bassin

JF MOOR - Séminaire écluésées  
Le 9 mars 2009 à Solaferm (Suisse)

## Le bassin Adour-Garonne De nombreuses installations hydroélectriques

- 3 Milliards de m<sup>3</sup> d'eau
- 1 300 prises d'eau
- 1 000 centrales hydroélectriques
- 8 GW de puissance
- 15 TWh/an
- 10 % des centrales - 90% de la production

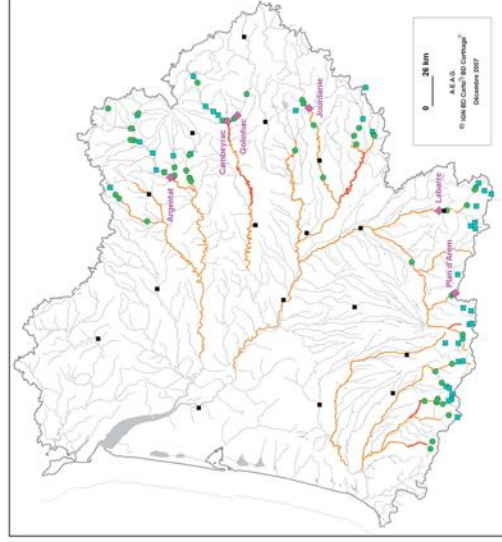


JF MOOR - Séminaire écluésées  
Le 9 mars 2009 à Solaferm (Suisse)

## Le bassin Adour-Garonne Le projet de Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

**Principaux ouvrages  
fonctionnant par écluésées  
et portions de cours d'eau  
concernées**

- Diagnostics sur les grandes rivières sensibles aux écluésées (SDAGE de 1995),
- Niveau de finesse de l'analyse et prise en compte de l'impact sur les milieux variables suivant les enjeux



JF MOOR - Séminaire écluésées  
Le 9 mars 2009 à Solaferm (Suisse)

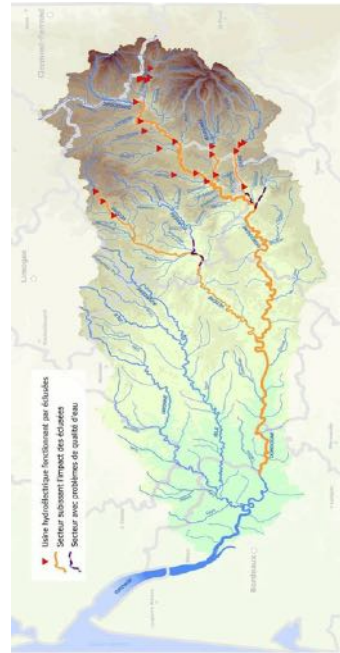
## Le bassin Adour-Garonne Construction d'un indicateur synthétique pour caractériser l'artificialisation de l'hydrologie

### Analyse de la situation hydrologique:

**Sur une période (l'année),  
Au niveau des stations hydrométriques du bassin,  
A partir des hydrogrammes enregistrés aux  
stations,  
En tenant compte des principaux paramètres  
pouvant caractériser les éclusées (amplitude,  
gradient, fréquence).**

*Etudes conduites avec un comité de pilotage regroupant,  
services de l'Etat, organismes scientifiques, électricité de  
France.*

## La Dordogne et ses affluents Un patrimoine écologique remarquable



### Enjeux

- Poissons grands migrateurs, plan de réintroduction du saumon atlantique
- Annexes hydrauliques et bras morts à conserver
- Préservation écologique des petits cours d'eau en tête de bassin

## Le bassin Adour-Garonne Construction d'un indicateur synthétique pour caractériser l'artificialisation de l'hydrologie

### Intérêt de l'indicateur

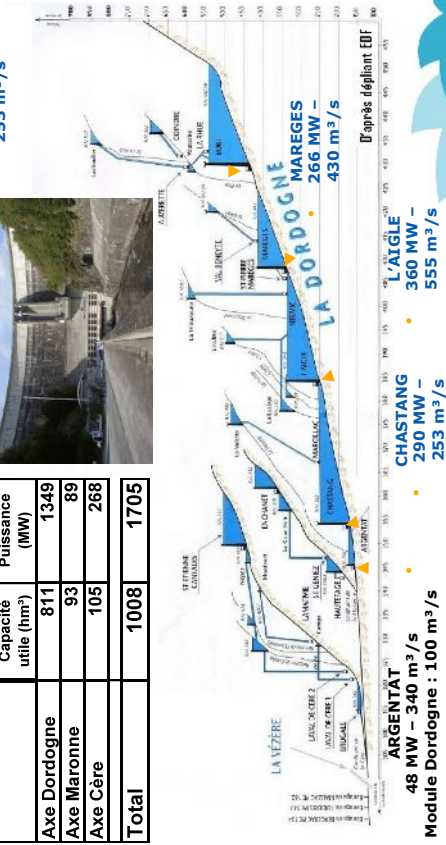
- Décrit le niveau de perturbation de l'hydrologie (5 classes allant de perturbation hydrologique « sensible » à « très sévère »),
- Permet la comparaison des situations de l'amont à l'aval et entre différents cours d'eau,
- Permet l'examen de l'évolution de la situation d'une année sur l'autre,
- **Formalise en la quantifiant sur l'ensemble du bassin, la pression exercée par les installations hydroélectriques sur l'hydrologie.**

## La Dordogne et ses affluents Un bassin très équipé



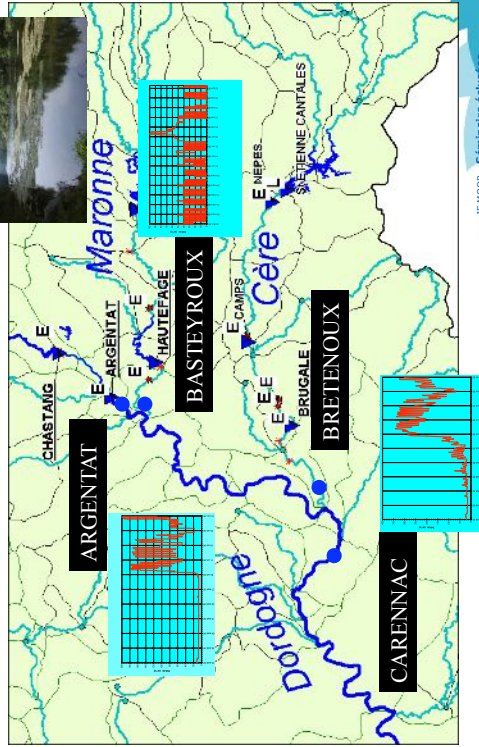
	Capacité utile (hm <sup>3</sup> )	Puissance (MW)
Axe Dordogne	811	1349
Axe Maronne	93	89
Axe Cère	105	268
<b>Total</b>	<b>1008</b>	<b>1705</b>

• BORT  
233 MW –  
253 m<sup>3</sup>/s



Module Dordogne : 100 m<sup>3</sup>/s

## La Dordogne et ses affluents Un régime hydrologique très perturbé



JF MOOR - Séminaire écluesées  
Le 9 mars 2009 à Solpeltürn (Suisse)

## La Dordogne et ses affluents Des impacts avérés sur les milieux

Modification des régimes

200 Km de cours d'eau à l'hydrologie fortement influencée

Effet cumulé des écluesées provenant des affluents de la Dordogne

Pavage à l'aval des barrages

Développement de la végétation aquatique...

JF MOOR - Séminaire écluesées  
Le 9 mars 2009 à Solpeltürn (Suisse)

## La Dordogne et ses affluents Des impacts avérés sur les milieux

Modèles et études sur site (Dordogne, Maronne, Cère)

- Etudes hydrologiques
- Modélisation hydraulique
  - Hydraulique des écoulements dans le lit et ses annexes
  - Potentialité des habitats
- Etudes sur site

60% des habitats disponibles pour le saumon sont soumis aux écluesées (200 ha)

- Recensement zones de fraie,
- Quantification des frayères exondées et lien avec les débits
- Quantification des échouages piégeages (échantillonnage et extrapolation)

*Réflexions engagées depuis 1992*

JF MOOR - Séminaire écluesées  
Le 9 mars 2009 à Solpeltürn (Suisse)

## La Dordogne et ses affluents Des impacts avérés sur les milieux



**Piégeages et exondations**  
(d'après bilan technique écluesées EPIDOR 01-2009)

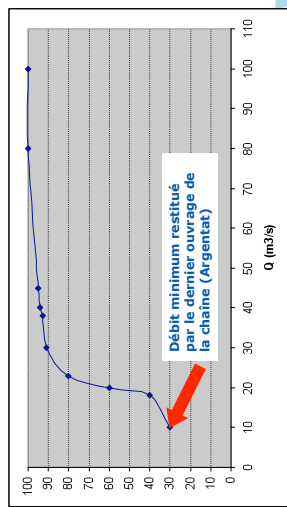


JF MOOR - Séminaire écluesées  
Le 9 mars 2009 à Solpeltürn (Suisse)

## La Dordogne et ses affluents Des impacts avérés sur les milieux

**La Dordogne**  
**Exemple d'étude sur site (500 frayères)**  
**avec analyse hydraulique**

Estimation du pourcentage de frayères de saumons atlantiques en eau en fonction du débit



JF MOOR - Séminaire écluesées  
Le 9 mars 2009 à Solpeltürn (Suisse)

## La Dordogne et ses affluents Des solutions partagées pour réduire l'impact des ouvrages

Démarche concertée entre les différents partenaires (EPIDOR, fédérations de pêche, Etat, Agence de l'eau,...) et Electricité de France

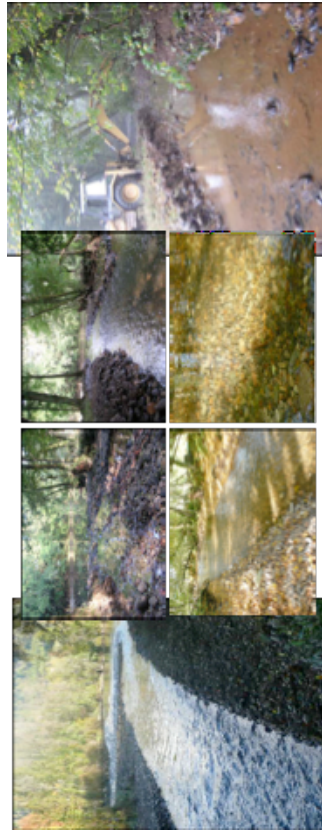
« Défi écluesées Dordogne » 2004 à 2007

- Relèvement des débits minimum à l'aval des chaînes de la Maronne et de la Dordogne suivant un calendrier fonction des stades d'évolution du saumon (fraie, développement des œufs, émergence des alevins)
  - Diminution des vitesses de montée et de descente des écluesées
  - Travaux d'aménagement du lit du cours d'eau (reconnexion de bras, apports de granulats,...)
- Prise en charge du coût des mesures (manque à gagner pour EDF - 0,5 M€/an)**
- 50 % Electricité de France,
  - 50% Agence de l'Eau Adour-Garonne

JF MOOR - Séminaire écluesées  
Le 9 mars 2009 à Solpeltürn (Suisse)

## La Dordogne et ses affluents Des solutions partagées pour réduire l'impact des ouvrages

**Travaux de reconnexion** (d'après bilan technique écluesées EPIDOR 01-2009)



JF MOOR - Séminaire écluesées  
Le 9 mars 2009 à Solpeltürn (Suisse)

## La Dordogne et ses affluents Des solutions partagées pour réduire l'impact des ouvrages

**Prolongement des dispositions du « défi »**  
**Convention entre**

**EDF / EPIDOR / l'Etat / l'Agence de l'Eau**

Sur la durée du 9ième programme d'intervention de l'Agence de l'eau (2008-2012)

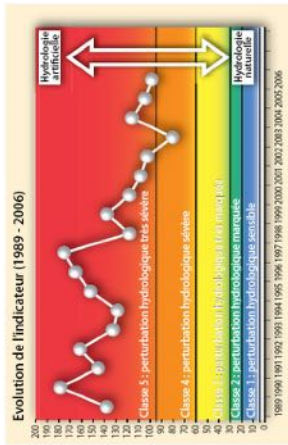
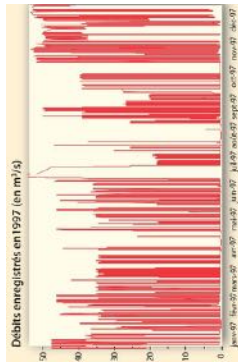
Axe	Critère	Lieu	Valeur convention	Début	Fin	Valeur réglementaire
Dordogne	Débit minimum	Station d'Argentat	95 m³/s	15-nov	15-juin	10 m³/s
	Débit maximum	d'Argentat	190 m³/s	15-mars	15-juin	340 m³/s
	Débit maximum	Argentat-Hauteffage	225 m³/s	15-mars	15-juin	-
	Gradient	d'Argentat	33 m²/s/h	15-mars	15-juin	100 m²/s/h
Maronne	Débit minimum	Aval barrage de Hauteffage	1 m³/s	01-janv	31-Dec	0,5 m³/s
	Débit minimum	Station centrale	3,0 m³/s	15-nov	15-juin	-
	Gradient de berge	Station de Baesteyroux	10 m²/s/h	15-mars	30-sept	-
Cère	Débit minimum	Station de Brugle	2 m³/s	01-janv	31-déc	1 m³/s

JF MOOR - Séminaire écluesées  
Le 9 mars 2009 à Solpeltürn (Suisse)

## La Dordogne et ses affluents Des solutions partagées pour réduire l'impact des ouvrages

Des améliorations liées à la mise en œuvre du défi

Hydrologie de la Maronne à Hautefage



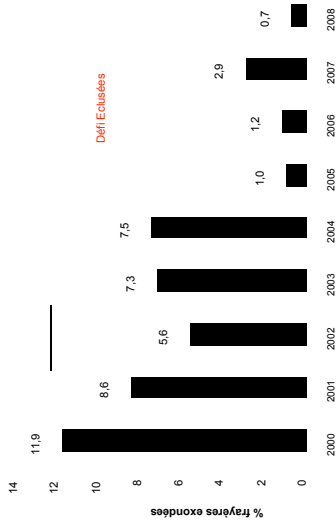
Débit minimum convention  
4 m<sup>3</sup>/s du 15/01 au 15/06  
1 m<sup>3</sup>/s le reste de l'année

JF MOOR - Séminaire écluésés  
Le 9 mars 2009 à Solpeltürn (Suisse)

## La Dordogne et ses affluents Des solutions partagées pour réduire l'impact des ouvrages

Des améliorations liées à la mise en œuvre du défi

Diminution du nombre de frayères exondées sur la Maronne



JF MOOR - Séminaire écluésés  
Le 9 mars 2009 à Solpeltürn (Suisse)

## La Dordogne et ses affluents

Le bassin de la Dordogne est un exemple pour la mise en œuvre d'actions novatrices destinées à limiter l'impact des installations hydroélectriques

Ces actions reposent sur une vaste concertation et sur un panel d'études et de diagnostics engagés depuis plus de 15 ans

Le suivi mis en œuvre dans le cadre de la convention Dordogne devrait permettre de nouvelles améliorations

JF MOOR - Séminaire écluésés  
Le 9 mars 2009 à Solpeltürn (Suisse)

## Les nouveaux enjeux du bassin Equilibre eau-énergie

Suivi, évaluation et adaptation des mesures en faveur des milieux aquatiques,

Gestion coordonnée des grands ouvrages d'un même cours d'eau,

Les renouvellements de concessions hydroélectriques (2012.....),

Vers des schémas d'objectif pour l'hydroélectricité

JF MOOR - Séminaire écluésés  
Le 9 mars 2009 à Solpeltürn (Suisse)

## Equilibre eau-énergie Bibliographie

Document d'accompagnement N°7 présenté au Comité de Bassin du 03/12/07 - Projet de SDAGE - Evaluation et prise en compte du potentiel hydroélectrique

Etude de faisabilité de scénarios gagnants-gagnants du double point de vue de l'eau et de l'énergie sur le bassin de la Dordogne

<http://www.eau-adour-garonne.fr/page.asp?page=2030>

Revue de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne n°101

Dossier spécial « l'hydroélectricité, énergie renouvelable »

Revue de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne n°103

- Vers une meilleure caractérisation des phénomènes d'éclusées, Réduire l'impact des éclusées et au-delà ?

<http://www.eau-adour-garonne.fr/page.asp?page=1224>



## Ansätze zur Lösung des Spannungsfeldes zwischen Wasserkraft und Ökologie am Beispiel des Adour-Garonne Wassereinzugsgebietes

Jean-François MOOR - Agence de l'Eau Adour-Garonne - FRANCE

Der Klimaschutz fordert neue Ansätze im Bereich der Energieversorgung, darunter die Förderung der erneuerbaren Energien. Flexibel und erneuerbar, ist die Wasserkraft eine ideale strategische Ergänzung zur Kernenergie und trägt dazu noch zur Stabilisierung des Stromnetzes bei: die grossen Wasserkraftwerke erlauben eine rasche Anpassung der Stromproduktion an eine sich **verändernde Nachfrage**. Dabei bewirken sie in den betroffenen Gewässern **künstliche Abflussschwankungen** mit negativen Folgen für ihre ökologische Funktionsfähigkeit.

**Die europäische Wasserrahmenrichtlinie** schreibt als Ziel die **Erreichung des guten ökologischen Zustandes** unserer Gewässer vor, die überdies ja einen immer grösseren Wert durch Erholungs- und touristischen Aktivitäten bekommen. Diese Zielsetzung verpflichtet zu einer Lösung des Spannungsfeldes zwischen Wasserkraft und Ökologie.

Will man diese verschiedenen Ziele und Nutzungsansprüche im Sinne der **Nachhaltigkeit** in Einklang bringen, sind **innovative Ansätze** vonnöten. Es wird auf unterschiedlichen Ebenen gehandelt:

- Auf der Ebene des Adour-Garonne Wassereinzugsgebietes wird im Entwurf des neuen wasserwirtschaftlichen Leitplans **SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux)** die Wasserkraft stärker berücksichtigt und es werden Vorschläge für globale Massnahmen zur Minderung ihrer negativen Auswirkung auf die Gewässer formuliert. Voraussetzung für eine erfolgreiche Implementierung dieser Massnahmen sind ein besseres Verständnis und ein Austausch über die jeweiligen Ansprüche sowie eine Verbesserung der Wissenslage, die eine **Konzertation** der verschiedenen Akteure des Wasserbereichs verlangt. Die Agence de l'eau Adour-Garonne tauscht sich regelmässig mit Kraftwerksbetreiber aus, um adäquate Lösungen zu erarbeiten, die anschliessend von einer im SDAGE-Entwurf vorgesehenen Wasser/Energie-Kommission diskutiert werden. Ausserdem wurden im Rahmen einer von der Agence de l'Eau betreuten Kollektivarbeit in Zusammenarbeit mit Electricité de France und zuständigen Behörden und Forschungseinrichtungen Schwall-Sunk **Indikatoren** erarbeitet, die zu einer besseren Einschätzung der Lage und ihrer Entwicklung verhelfen und eine Erfolgskontrolle für die im Wassereinzugsgebiet getroffenen Massnahmen erlauben sollen.
- Auf der Teileinzugsgebietsebene wurden Untersuchungen zur Auswirkung künstlicher Abflussschwankungen durchgeführt. Im Tal der Dordogne z.B. befinden sich gleichzeitig strategisch wichtige Wasserkraftwerke und ökologisch wertvolle Fliessgewässer mit einem natürlich Vorkommen von Langdistanz-Wanderfischen. Nach der Charakterisierung der Wechselwirkungen zwischen Kraftwerksbetrieb und ökologischer Funktionsfähigkeit der Gewässer konnten innovative Lösungen erarbeitet werden. Diese beruhen in erster Linie auf **betrieblichen Anpassungen** kombiniert mit flussbaulichen Massnahmen. Die durch den **Schwallbetrieb** verursachte Trockenlegung von Laichgebieten des Atlantischen Lachses konnte teilweise verhindert werden, was sich positiv auf die Naturverlaichung auswirkte. Diese konzertierte Aktion, deren Kosten in gleicher Höhe von Electricité de France und der Agence de l'Eau getragen wurden, konnte im Rahmen einer Konvention auch für die Zukunft verfestigt werden. Inhalte dieser Konvention werden allmählich in betriebliche Vorschriften einfließen, wenn diese im Rahmen von Neukonzessionierungen der Kraftwerke neu definiert werden.

## **Pour une conciliation de l'hydroélectricité et des milieux aquatiques : l'exemple du bassin Adour-Garonne**

Jean-François MOOR - Agence de l'Eau Adour-Garonne - FRANCE

La lutte contre les changements climatiques se traduit par des objectifs énergétiques nouveaux dont le développement des énergies renouvelables. Souple et renouvelable, l'hydroélectricité complète stratégiquement la production d'origine nucléaire et sécurise le système national : ses grandes usines permettent d'ajuster rapidement la production aux **fluctuations de la demande électrique** ce qui provoque des **variations artificielles de débit** perturbant le fonctionnement des milieux aquatiques..

**La directive cadre sur l'eau** assigne un **objectif de bon état** à nos rivières, de plus en plus valorisées par des usages récréatifs et touristiques. Cet objectif de résultat implique de rechercher une meilleure conciliation entre l'hydroélectricité et les milieux aquatiques.

Pour rendre compatibles ces multiples objectifs et usages dans une démarche de **développement durable**, des **actions novatrices** sont menées.

- A l'échelle du Bassin Adour Garonne, le nouveau projet de **Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE)** prend davantage en compte l'activité hydro-électrique et propose des mesures générales pour en réduire les impacts. La mise en œuvre opérationnelle de ces mesures passe par une meilleure compréhension et un partage des enjeux, un renforcement des connaissances, ce qui nécessite une large **concertation** avec l'ensemble des acteurs de l'eau. L'Agence de l'eau Adour-Garonne échange régulièrement avec les producteurs hydroélectriques pour mettre au point des solutions adaptées qui seront débattues au sein d'une commission eau/énergie prévue par le projet de SDAGE. Par ailleurs, des **indicateurs** caractérisant l'artificialisation des régimes par l'activité hydroélectrique ont été définis lors d'un travail collectif piloté par l'Agence de l'eau Adour-Garonne en partenariat avec Electricité de France, les administrations et organismes scientifiques. Ils permettront d'améliorer les connaissances et d'évaluer globalement l'évolution de la situation ainsi que l'efficacité des actions engagées sur le bassin.
- A l'échelle des sous-bassins, des études ont permis de mieux comprendre l'impact de cette artificialisation. La vallée de la Dordogne par exemple, dispose à la fois d'un parc hydroélectrique stratégique et de cours d'eau à haute valeur patrimoniale qui abritent des poissons grands migrateurs. L'analyse des interactions entre la gestion des installations et le fonctionnement des milieux aquatiques a permis de dégager des solutions innovantes reposant principalement sur une **modification des modalités de gestion** des usines hydroélectriques associée à la réalisation d'aménagements dans le lit des cours d'eau. Le dénoyage de frayères à saumon atlantique provoqué par les **éclusées** a pu être limité ce qui a amélioré ainsi le recrutement des juvéniles. Cette opération conduite dans la concertation, financée à parts égales par Electricité de France et l'Agence de l'Eau, a pu être pérennisée dans la cadre d'une convention. Les termes de cette convention pourront être progressivement intégrés dans les consignes réglementaires de gestion des ouvrages lorsqu'elles seront redéfinies à l'occasion du renouvellement de leur concession.



# Peter Baumann

Limnex AG, Zürich

- Folien (d)
- Diapositives (f)
- Tabelle / Tableau (f)

## Wirksamkeit schwalldämpfender Massnahmen

Illustriert an verschiedenen Beispielen

Peter Baumann  
Linnex AG, Zürich

## Wirksamkeit schwalldämpfender Massnahmen

- Wie wird die Wirksamkeit festgestellt?

- Fallbeispiele

- Fazit

## Wie wird die Wirksamkeit von Massnahmen festgestellt?

Art der Wirkungs-/Erfolgskontrolle	Ziel der Erfolgskontrolle	Einsatzbereich	Anwendungsbeispiele	Stand der Untersuchungen
Aufnahme und Vergleich Gewässerzustand mit <-> ohne Massnahmen	Dokumentation und Beurteilung der realen (auch langfristigen) Auswirkungen auf Lebensraum und -gemeinschaft	Bereits realisierte Massnahmen (Voraussetzung: Vorher-Daten müssen vorhanden sein)	Breggenzer Ache (A-VBG) Urner Reuss (CH-UR) Aubonne (CH-VD)	-> Referat S. Schmutz laufend laufend
Aufnahme Gewässerzustand mit Massnahmen	Überprüfung anhand Zielzustand (z.B. CH-GSG, EU-WRRL)	Bereits realisierte Massnahmen (auch ohne Vorher-Daten)	Mur (A-SBG)	2004/05
Schwallversuche (Nachbildung von Abfluss-Szenarien im Gewässer)	Dokumentation und Beurteilung der realen (aber nur kurzfristigen) Auswirkungen	Prognose / Evaluation geplanter oder Nachkontrolle bestehender Massnahmen	Unth (CH-GL) Haslaare (CH-BE)	2005/06 laufend
Modellierung (rechnerische Nachbildung von Abfluss-Szenarien)	Simulation von Auswirkungen (langfristig) auf Lebensraum und -gemeinschaft	Prognose / Evaluation geplanter Massnahmen auch für komplexe Randbedingungen (verschiedene Morphologien / Zentrien)	Unth (CH-GL) Rhone (CH-VS) Alpenrhein (CH-GS / SG, FL, A-VBG)	2005/06 -> Referat A. Schleiss -> Referat K. Michor

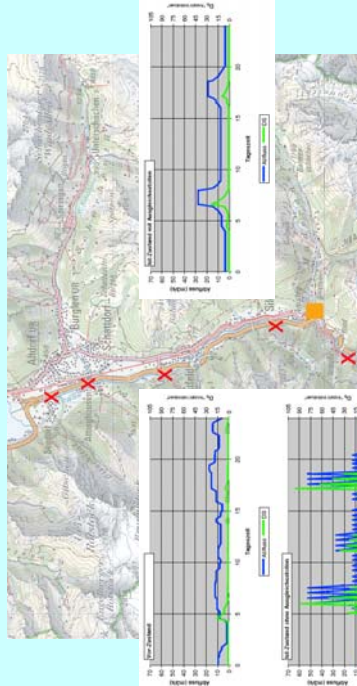
## Fallbeispiel 1: Reuss nach Zentrale Amsteg UR

Driftmessungen 1996 - 2000



## Fallbeispiel 1: Reuss nach Zentrale Amsteg UR

Driftmessungen 1996 - 2000



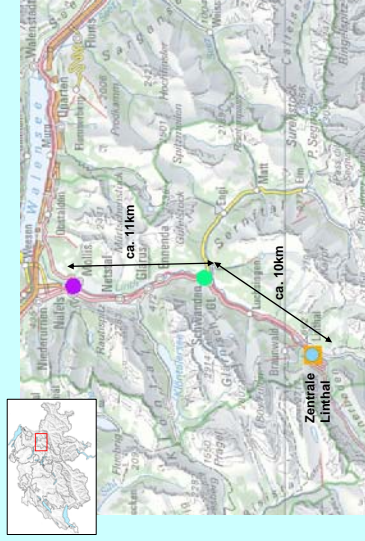
Wap21-Taraura 9.3.09, Solothurn

Wirksamkeit schwallendämpfender Maßnahmen

Linnox AG 5

## Fallbeispiel 2: Linth nach Zentrale Linthal GL

Schwallversuche 2005/06



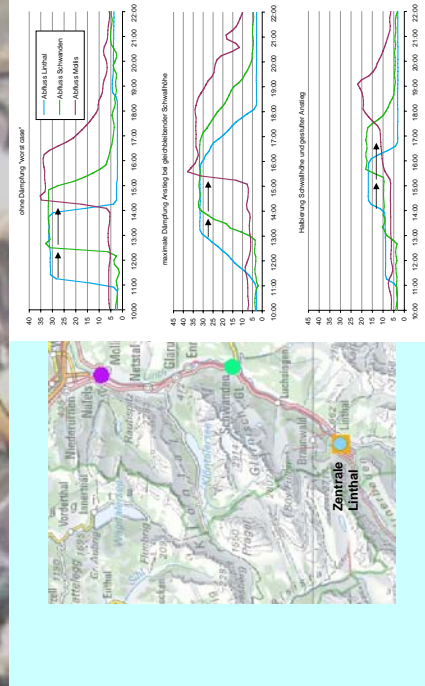
Wap21-Taraura 9.3.09, Solothurn

Wirksamkeit schwallendämpfender Maßnahmen

Linnox AG 6

## Fallbeispiel 2: Linth nach Zentrale Linthal GL

Schwallversuche 2005/06



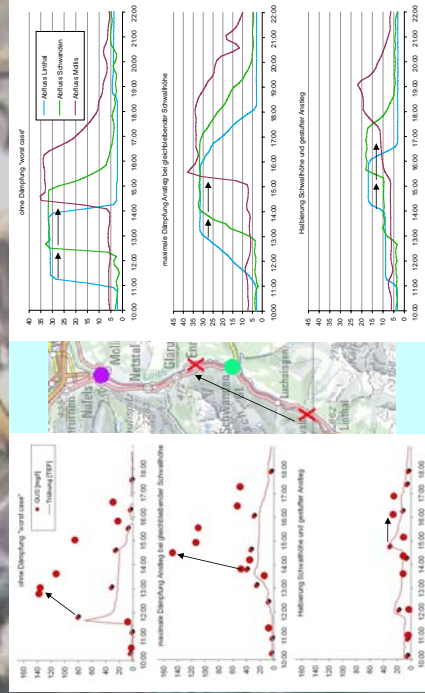
Wap21-Taraura 9.3.09, Solothurn

Wirksamkeit schwallendämpfender Maßnahmen

Linnox AG 7

## Fallbeispiel 2: Linth nach Zentrale Linthal GL

Schwallversuche 2005/06



Wap21-Taraura 9.3.09, Solothurn

Wirksamkeit schwallendämpfender Maßnahmen

Linnox AG 8



## Fazit

- 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 Rückgangsrate). Welche Kombination von Ansätzen bzw. Massnahmen am wirkungsvollsten ist, muss jeweils im Einzelfall untersucht werden.
- Eine **naturnaher 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.

Wap21 - Forum 9.3.09 - Solothurn

Wirksamkeit schwalldämpfender Massnahmen

Limmex AG 13

## Fazit

- 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 Rückgangsrate). Welche Kombination von Ansätzen bzw. Massnahmen am wirkungsvollsten ist, muss jeweils im Einzelfall untersucht werden.
- Eine **naturnaher 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 Abflusszenarien** mittels Schwallversuchen oder Modellen wird für 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*).

Wap21 - Forum 9.3.09 - Solothurn

Wirksamkeit schwalldämpfender Massnahmen

Limmex AG 14

## Danke

Peter Baumann  
Limmex AG, Zürich

Séminaire WA21 9.3.09 Soleure

## Efficacité des mesures d'atténuation du marnage

vue à travers divers exemples

Peter Baumann  
Limmex AG, Zürich

Séminaire WA21 9.3.09 Soleure Efficacité des mesures d'atténuation Limmex AG 1

Séminaire WA21 9.3.09 Soleure

## Efficacité des mesures d'atténuation du marnage

- Comment évaluer l'efficacité?
- Exemples
- Conclusion

Séminaire WA21 9.3.09 Soleure Efficacité des mesures d'atténuation Limmex AG 2

## Comment évaluer l'efficacité des mesures?

Order Wirkungs-/Erfolgskontrolle	Ziel der Erfolgekontrolle	Einsatzbereich	Anwendungsbeispiele	Stand der Untersuchungen
Aufnahme und Vergleich Gewässerzustand mit <-> ohne Massnahmen	Dokumentation und Beurteilung der realen Auswirkungen auf Lebensraum und Gemeinschaft	Bereits realisierte Massnahmen Voraussetzung: Vorher-Daten müssen vorhanden sein	Bregenzsee Ache (A-VBS) Uner-Reuss (CH-UR) Aubonne (CH-AD)	-> Referenz-Schmutz laufend <b>Feldbeispiel 1</b> laufend
Aufnahme Gewässerzustand mit Massnahmen	Überprüfung anhand Zielzustand (z.B. CH-GSG, EU-WRRL)	Bereits realisierte Massnahmen (auch ohne Vorher-Daten)	Mur (A-SBG)	2004/05
Schwallversuche (Nachbildung von Abfluss-Szenarien im Gewässer)	Dokumentation und Beurteilung der realen (aber kurzfristigen) Auswirkungen	Propose / Evaluation gegenüber oder Nachkontrolle bestehender Massnahmen	Linth (CH-GL) Hasleare (CH-BE)	2003/06 <b>Feldbeispiel 2</b> laufend <b>Feldbeispiel 3</b>
Modellierung (rechnerische Nachbildung von Abfluss-Szenarien)	Simulation von Auswirkungen (langfristig) auf Lebensraum und Gemeinschaft	Propose / Evaluation gegenüber Massnahmen auch für komplexe und/oder langfristige Auswirkungen (ökologische / soziale / ökonomische / ...)	Linth (CH-GL) Rhône (CH-VS) Abernethy (CH-GR, SG, FL, A-BGS)	2003/06 -> Referenz-Schloss -> Referenz-Michor

Séminaire WA21 9.3.09 Soleure Efficacité des mesures d'atténuation Limmex AG 3

## Exemple 1: Reuss aval Centrale d'Amsteg UR

Suivis de dérive 1996 - 2000

Séminaire WA21 9.3.09 Soleure Efficacité des mesures d'atténuation Limmex AG 4



### Exemple 1: Reuss aval Centrale d'Amsteg UR

Suivis de dérives 1996 - 2000

Séminaire W&Z1 9.9.09 Soleure Efficacité des mesures d'atténuation Limmex AG 5

### Exemple 2: Linth aval Centrale de Linthal GL

Crues artificielles expérimentales 2005/06

Séminaire W&Z1 9.9.09 Soleure Efficacité des mesures d'atténuation Limmex AG 6

### Exemple 2: Linth aval Centrale de Linthal GL

Crues artificielles expérimentales 2005/06

Séminaire W&Z1 9.9.09 Soleure Efficacité des mesures d'atténuation Limmex AG 7

### Exemple 2: Linth aval Centrale de Linthal GL

Crues artificielles expérimentales 2005/06

Séminaire W&Z1 9.9.09 Soleure Efficacité des mesures d'atténuation Limmex AG 8

### Exemple 3: Aar aval Centrale d'Innertkirchen BE

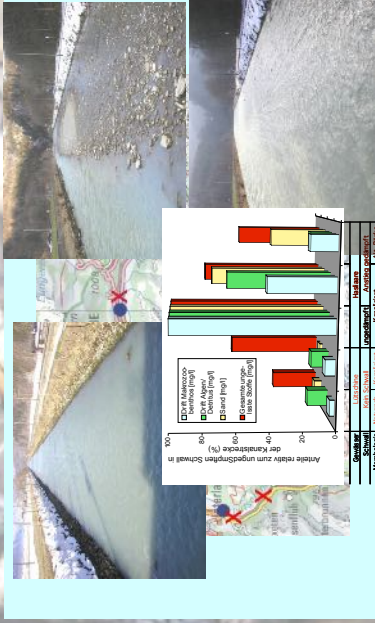
Crues artificielles expérimentales 2008



## Conclusion

- Les mesures d'atténuation étudiées jusqu'ici se sont avérées **globalement efficaces**. Les effets du régime d'éclueses sur les habitats et les communautés des cours d'eau peuvent donc être efficacement atténués dans un grand nombre de cas mais ne peuvent être totalement évités.

### Exemple 3: Aar aval Centrale d'Innertkirchen BE



## Conclusion

- Les mesures d'atténuation étudiées jusqu'ici se sont avérées **globalement efficaces**. Les effets du régime d'éclueses sur les habitats et les communautés des cours d'eau peuvent donc être efficacement atténués dans un grand nombre de cas mais ne peuvent être totalement évités.
- Pour réduire les impacts des éclueses sur les cours d'eau, divers **paramètres caractéristiques** peuvent être modifiés (débit d'écluse maximum, débit plancher minimum, taux d'accroissement et de diminution du débit etc.). La combinaison de mesures la mieux adaptée doit être définie au cas par cas.

## Conclusion

- Les mesures d'atténuation étudiées jusqu'ici se sont avérées **globalement efficaces**. Les effets du régime d'éclusées sur les habitats et les communautés des cours d'eau peuvent donc être efficacement atténués dans un grand nombre de cas mais ne peuvent être totalement évités.
- Pour réduire les impacts des éclusées sur les cours d'eau, divers **paramètres caractéristiques** peuvent être modifiés (débit d'éclusée maximum, débit plancher minimum, taux d'accroissement et de diminution du débit etc.). La combinaison de mesures la mieux adaptée doit être définie au cas par cas.
- Les cours d'eau présentant une **morphologie naturelle** parviennent dans de nombreux cas à atténuer d'eux-mêmes les effets des éclusées jusqu'à un certain niveau. La revitalisation des rivières ne saurait cependant se substituer aux mesures techniques de construction hydraulique ou d'exploitation; elle peut tout au plus venir les compléter.

## Conclusion

- Les mesures d'atténuation étudiées jusqu'ici se sont avérées **globalement efficaces**. Les effets du régime d'éclusées sur les habitats et les communautés des cours d'eau peuvent donc être efficacement atténués dans un grand nombre de cas mais ne peuvent être totalement évités.
- Pour réduire les impacts des éclusées sur les cours d'eau, divers **paramètres caractéristiques** peuvent être modifiés (débit d'éclusée maximum, débit plancher minimum, taux d'accroissement et de diminution du débit etc.). La combinaison de mesures la mieux adaptée doit être définie au cas par cas.
- Les cours d'eau présentant une **morphologie naturelle** parviennent dans de nombreux cas à atténuer d'eux-mêmes les effets des éclusées jusqu'à un certain niveau. La revitalisation des rivières ne saurait cependant se substituer aux mesures techniques de construction hydraulique ou d'exploitation; elle peut tout au plus venir les compléter.
- La **reproduction de scénarios d'écoulement** par le biais de crues expérimentales ou de modélisations occupe une place de plus en plus importante dans la planification des mesures d'atténuation. Pour évaluer leur efficacité à long terme, le suivi de l'évolution des cours d'eau après mise en œuvre reste un excellent moyen de contrôle (contrôle d'efficacité *in situ*).

Merci

Peter Baumann  
Limnex AG, Zürich

Nature du contrôle d'efficacité / suivi	Objectif du contrôle / suivi	Domaine d'application	Exemples d'application	Etat d'avancement des études
Observation état du cours d'eau et comparaison avec <-> sans mesures	Répertorisation et évaluation des effets (court et long terme) sur le milieu et les communautés	Mesures déjà réalisées; Condition: données disponibles sur la situation initiale	Bregenz Ache (A-VBG) Urner Reuss (CH-UR) Aubonne (CH-VD)	-> Contribution S.Schmutz  <b>Exemple 1</b>  en continu  en continu
Relevé de l'état du cours d'eau sous l'effet des mesures	Vérification à partir des objectifs (LEaux-CH, DCE-UE p. ex.)	Mesures déjà réalisées (même sans données initiales)	Mur (A-SBG)	2004/05
Eclusées expérimentales (reproduction de scénarios d'écoulement <i>in situ</i> )	Répertorisation et évaluation des effets (court terme uniquement)	Prévision / évaluation de mesures prévues ou contrôle de mesures existantes	Linth (CH-GL) Hasliaare (CH-BE)	2005/06 <b>Exemple 2</b>  en continu <b>Exemple 3</b>
Modélisation (reproduction numérique de scénarios d'écoulement)	Simulation des effets (à long terme) sur le milieu et les communautés	Prévision / évaluation de mesures prévues notamment dans les cas complexes (différentes morphologies / centrales)	Linth (CH-GL) Rhône (CH-VS) Rhin alpin (CH-GR) / SG, FL, A-VBG)	2005/06  -> Contribution A.Schleiss  -> Contribution K.Michor



# Walter Hauenstein

Schweizer Wasserwirtschaftsverband

- Folien / Diapositives (d)
- Zusammenfassung / Résumé (f)



## Fazit aus energiewirtschaftlicher Sicht und ökonomische Konsequenzen

### Was bestimmt die Grösse von Schwall und Sunk?

Wichtige Schwall/Sunkparameter sind der tägliche Maximal- und Minimalabfluss sowie die Geschwindigkeit der Abflussänderung:  $Q_{max}$ ,  $Q_{min}$  und  $\Delta Q/\Delta t$ .  
**Diese Grössen sind mehr von den installierten Kapazitäten abhängig als vom Betrieb!**  
 Speicherkraftwerke gibt es in der Schweiz seit rund 100 Jahren.  
 Schwall und Sunk ist deshalb kein Phänomen der jüngsten Vergangenheit.  
 Die installierten Maschinenkapazitäten und damit  $Q_{max}$  haben sich seit Ende der 80er Jahre des 20. Jahrhunderts kaum verändert.

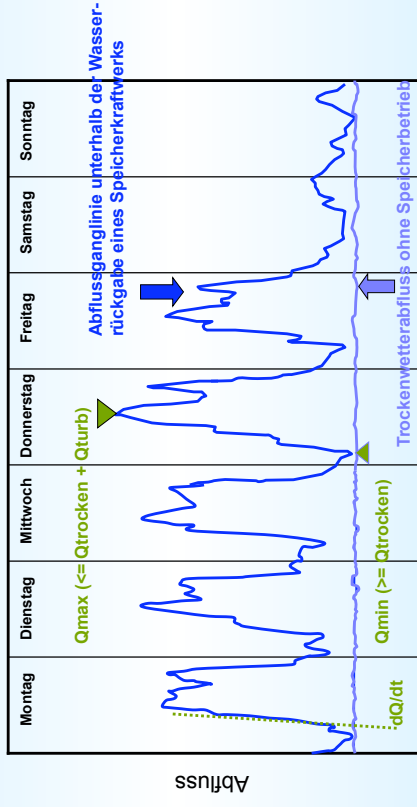
### Der Betrieb bestimmt die Häufigkeit von Schwall/Sunk-Wechseln

Durch die Strommarktliberalisierung und den Ausbau unregelmässig produzierender erneuerbarer Energiequellen weist heute der Betrieb der Speicherkraftwerke aber wesentlich häufigere Lastwechsel auf als früher.

**Die Abflussänderungen verursacht durch Kraftwerke an verschiedenen Standorten werden flussabwärts ausgeglichen.**

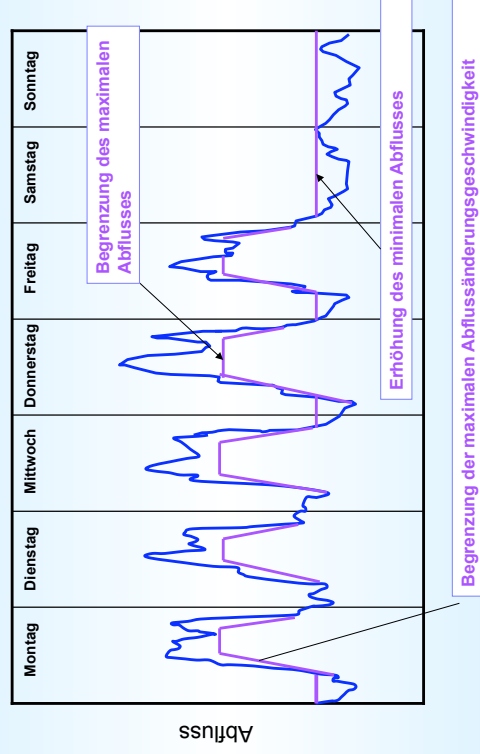
## Fazit aus energiewirtschaftlicher Sicht und ökonomische Konsequenzen

### Typische Schwall-Sunk-Abflussmuster



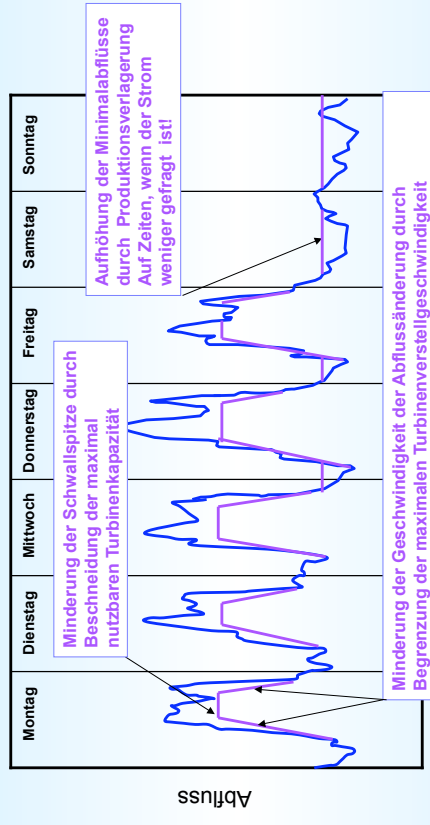
## Fazit aus energiewirtschaftlicher Sicht und ökonomische Konsequenzen

### Schwall und Sunk mindern heisst:



## Fazit aus energiewirtschaftlicher Sicht und ökonomische Konsequenzen

### Betriebliche Einschränkungen



Die Kraftwerke können ihre installierte Leistung nur noch teilweise und langsamere Zeiten nutzen, das in Spitzenzeiten nicht turbinierte Wasser wird in nachfragegeschwachen Zeiten turbiniert.





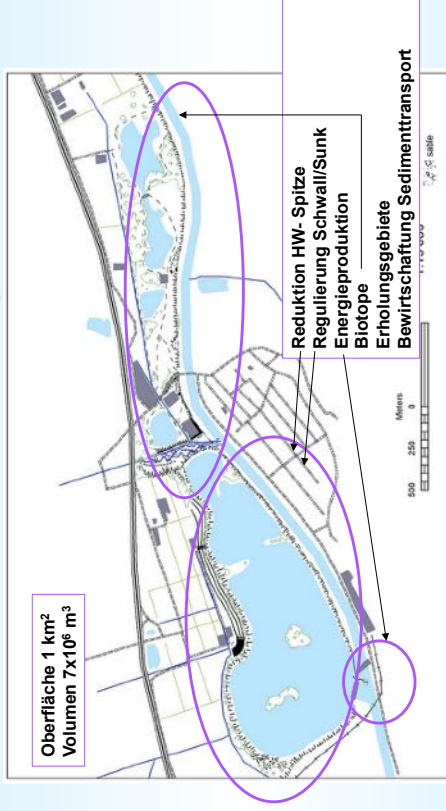
## Fazit aus energiewirtschaftlicher Sicht und ökonomische Konsequenzen

### Kosten für bauliche Massnahmen, eine erste Abschätzung

Auch bei den baulichen Massnahmen hängen die Auswirkungen stark von den Anforderungen an die Schwallminderung ab. Unter den Annahmen, dass die Beckenbewirtschaftung über einen Zeitraum von jeweils 1 Woche mit konstantem minimalem und maximalem Abfluss erfolgt, sich diese Werte aber in den anderen Wochen leicht verschieben können, dass das Dämpfungskriterium  $Q_{max}/Q_{min}$  ca. 1:5 bis 1:3 beträgt und während 95 % der Zeit eingehalten werden muss, dass nicht bei jeder Wasserrückgabe eine Schwall/Sunk-Dämpfung erfolgt, da flussabwärts die Schwankungen zeitverschoben eintreffen oder durch weitere unbeeinflusste Zuflüsse ausgeglichen werden sowie spezifischen Anlagekosten für Rückregulierbecken von 40 Euro/m<sup>3</sup> ergeben sich für die Schweiz Baukosten für Rückregulierbecken von rund **1-1,5 Milliarden Franken**.

## Fazit aus energiewirtschaftlicher Sicht und ökonomische Konsequenzen

### Bau von Mehrzweckanlagen



**Fazit:** In „Synergies“ der EPFL werden Ideen formuliert, welche mehrere Ziele unter einen Hut bringen liessen! Die Stromproduktion liefert Kostendeckungsbeitrag!

## Fazit aus energiewirtschaftlicher Sicht und ökonomische Konsequenzen

### Morphologische Flussaufwertungen

Verschiedentlich wurde auch die Idee von lokalen Flussaufwertungen zur Abflussdämpfung ins Spiel gebracht.

Es hat sich aber gezeigt, dass die in unseren stark besiedelten Flussgebieten möglichen Massnahmen nur ungenügende Wirkung ergäben.

Auf diese Option wird deshalb nicht näher eingetreten.

### Wasserrückgabe direkt in einen See

Verschiedentlich wurde auch die Idee geäussert, das Turbinenwasser anstatt in den Fluss direkt in einen See zu leiten.

Wie die Übersichtskarte der am meisten betroffenen Strecken aber zeigt, sind die örtlichen Gegebenheiten in der Regel für eine solche Lösung nicht geeignet.

Auf diese Option wird deshalb nicht näher eingetreten.

## Fazit aus energiewirtschaftlicher Sicht und ökonomische Konsequenzen

### Zusammenfassung

Es gibt theoretisch mehrere Möglichkeiten, die Auswirkungen von Schwall und Sunk zu reduzieren:

- Betriebseinschränkungen
- Bau von Rückregulierbecken
- allenfalls morphologische Aufwertungen (Aufwertungen) der schwallbeeinflussten Flussstrecken
- Mehrzweckanlagen

Alle Massnahmen sind kostenintensiv.

Betriebliche Massnahmen sind angesichts der negativen Auswirkungen auf die energiewirtschaftlichen Ziele und die hohen Kosten nicht verantwortlich!

Aufwertungen dürften eher wenig wirksam sein.

Am ehesten geeignet erweisen sich Mehrzweckprojekte nach dem Ansatz von „Synergies“ der EPFL oder Rückregulierbecken.



## Eclusées – Conciliation des impératifs énergétiques, économiques et écologiques – Conclusions du point de vue de la production d'énergie et réflexions sur les conséquences économiques

Pour bien évaluer l'importance énergétique et économique des éclusées hydroélectriques, il est nécessaire de comprendre le rôle qu'elles jouent pour la production d'électricité et donc les raisons de leur existence. Le système d'exploitation par éclusées a été imaginé pour faire face à l'impossibilité de stocker l'électricité en grandes quantités. Celle-ci doit donc être produite au moment d'être consommée. Or la plupart des usines électriques ne présentent pas une telle flexibilité. Les centrales à accumulation présentent l'avantage de pouvoir intervenir de façon ciblée pour répondre aux augmentations de la demande. Au lieu de stocker du courant, elles accumulent de l'eau. Les crues et décrues artificielles résultent donc de l'exploitation par intermittence des centrales à accumulation dont la fonction est de garantir l'équilibre entre production et consommation.

Les fluctuations artificielles de débit ne concernent pas tous les cours d'eau influencés par une centrale alpine. Il faut pour cela qu'elle dispose d'un réservoir important. De plus, ce réservoir doit être exploité. Ainsi, les centrales au fil de l'eau, qui retiennent également de grandes quantités d'eau par leurs barrages, ne provoquent pas de crues et décrues artificielles car elles turbinent les eaux au rythme où elles arrivent. D'autre part, lorsque des centrales sont installées en série, seule la dernière de la chaîne provoque des fluctuations de débit, les eaux turbinées plus en amont passant directement d'une centrale à l'autre. Enfin, les grands lacs périalpins absorbent les variations de débit de leurs tributaires et il est rare que des effets d'éclusées soient observés plus en aval.

Pour toutes ces raisons, les effets hydrologiques des éclusées hydroélectriques ne se manifestent pas dans toute la Suisse mais se concentrent au contraire sur la partie inférieure des bassins des tributaires des lacs périalpins. Le Rhône en amont du Léman, le Rhin alpin en amont du lac de Constance, le Ticino et la Sarine sont ainsi particulièrement concernés.

Les caractéristiques des fluctuations artificielles de débit dépendent fortement des capacités installées. En particulier *l'amplitude des fluctuations* dépend de la capacité des turbines. Loin d'être un phénomène nouveau, le problème des éclusées date donc de la mise en service de la première centrale à accumulation. Depuis le milieu des années 1980, la capacité installée des turbines a peu évolué en Suisse si l'on fait abstraction du projet de Creuson-Dixence. Par contre, le mode de gestion des installations conditionne *la fréquence des variations de débit*. Et ce mode de gestion s'est, lui, modifié au cours des dernières décennies.

Les phases d'éclusée se manifestent de manière caractéristique en journée les jours ouvrables, tandis que les turbinages sont plutôt rares la nuit et le week-end. Les variations naturelles de débit viennent se superposer aux fluctuations artificielles dues aux éclusées et c'est donc par temps sec que ces dernières sont particulièrement visibles.

Pour limiter les effets des éclusées, il convient soit de réduire les débits maximums soit d'augmenter les minima soit les deux. Pour aplanir les phases de changement des fluctuations de débit, il faut ralentir les transitions entre les modes de fonctionnement des turbines.

La modification du mode de gestion des centrales semble donc être la manière la plus simple d'atténuer les éclusées. Une exploitation partielle de la capacité de turbinage permettrait d'abaisser les pointes de débit et un ralentissement du démarrage ou de l'arrêt des turbines assurerait une réduction des vitesses d'accroissement et de diminution des débits (courbe violette avec ralentissement des variations et réduction des amplitudes). L'eau volontairement



non turbinée en phase de forte demande d'électricité pourrait l'être en phase de faible consommation et venir relever les débits planchers.

Les conséquences des mesures touchant à l'exploitation des centrales sont les suivantes:

- Les prestations en matière d'électricité de pointe et d'équilibrage du réseau sont réduites. Ces manques doivent être compensés par d'autres moyens (turbines à gaz ?!)
- Les vitesses de réaction aux besoins de régulation du réseau sont réduites. Des solutions de remplacement doivent être définies pour les interventions rapides.
- Les gains apportés par la vente d'électricité de pointe et de régulation sont réduits.
- Une partie de l'électricité produite est générée en période de faible demande et doit donc être vendue à prix réduit.
- Les mesures d'exploitation constituent une atteinte aux droits concédés aux entreprises et ne peuvent donc être réalisées qu'en échange de dédommagements.
- Dans l'ensemble, les exploitants voient leurs bénéfices baisser tandis que les frais d'exploitation restent quasiment inchangés.
- Les conditions de financement de ces pertes, qui s'élèveraient à un montant très largement supérieur au coût de mesures de constructions hydrauliques, doivent être définies.

Une estimation de la hauteur des coûts entraînés par les mesures d'exploitation a été effectuée pour divers scénarios. Sans consignes précises quant au degré et aux modalités d'atténuation des éclusées, ces chiffres restent nécessairement approximatifs. Pour l'ensemble de la Suisse, les mesures ont été évaluées à un coût total capitalisé de 3 à 6 milliards de francs.

- L'impact économique de mesures de constructions hydrauliques se limite au financement des aménagements, le fonctionnement et la valeur des centrales ne sont quasiment pas affectés.
- D'autre part, les bassins de rétention nécessitent des surfaces importantes devant être disponibles à proximité et en contrebas des restitutions. Les bassins enterrés sont nettement plus coûteux que les ouvrages aériens.
- Dans le cadre de concessions en cours, la construction de bassins de rétention doit être indemnisée dans sa totalité et ne saurait être mise à la charge des exploitants des centrales.

Même dans le cas de solutions basées sur des aménagements hydrauliques, la hauteur des coûts entraînés dépend fortement des exigences formulées pour l'atténuation du marnage. On peut estimer grossièrement que la construction de bassins de rétention demanderait pour l'ensemble de la Suisse un investissement de l'ordre de 1-1,5 milliards de francs.

Les aménagements hydrauliques à buts multiples comme celui réalisé sur le Rhône dans le Valais constituent également une solution attrayante permettant de tirer profit de synergies potentielles. C'est également dans cet esprit qu'a été élaboré le plan de développement du Rhin alpin. Ce type de réalisations résoudrait certains problèmes de financement et ne devrait pas avoir de répercussions énergétiques notables.

L'idée d'élargissements locaux du lit des cours d'eau devant amortir les éclusées a été avancée à plusieurs reprises. Il s'est cependant avéré que cette solution présente un potentiel trop limité dans nos bassins fluviaux densément peuplés.

Il a enfin été proposé de diriger les eaux turbinées non pas dans le cours d'eau récepteur mais directement dans un lac. La carte des secteurs concernés par les éclusées montre cependant que les sites ne se prêtent en général pas à la mise en œuvre d'une telle solution.





## **Armin Peter**

Zentrum für Ökologie, Evolution und Biogeochemie,  
EAWAG

- Folien / Diapositives (d)
- Zusammenfassung (d)
- Résumé (f)

# Fazit aus wissenschaftlicher Sicht und Ausblick auf zukünftige Untersuchungen

Armin Peter  
Eawag  
Zentrum für Ökologie, Evolution & Biogeochemie  
6047 Kastanienbaum  
e-mail: armin.peter@eawag.ch  
Fachtagung Wasser-Agenda 21  
Solothurn, 9. März 2009



Eawag: Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs

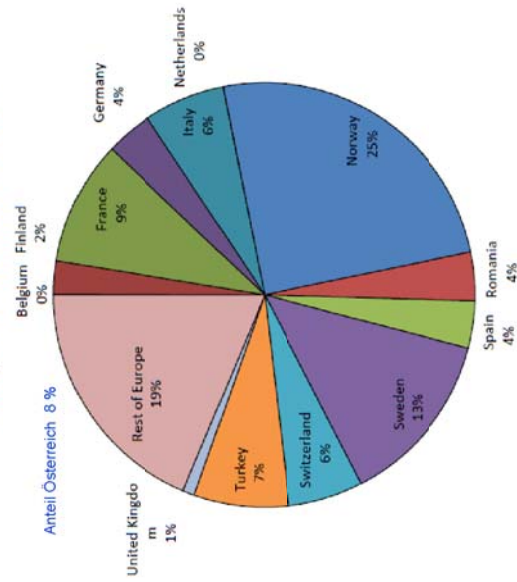
## Inhalt

- Wissensstand zu den Auswirkungen Schwall-Sunk
- Zu welchen Themen besteht Forschungsbedarf
- Schwalldämpfende Massnahmen
- Ausblick: künftige Projekte

03.03.2009 2

## Produktion von Strom aus Wasserkraft

**Europe: 539.6 TWh in 2005**



Fink & Locher 2009  
Quelle IEA 2008

## Anteil der Wasserkraft bei der Stromproduktion im Jahre 2007 (Quelle EDF)

- Norwegen 98.2 %
- Österreich 54.5 %
- Schweiz 54.0 %
- Frankreich 11.2 %



03.03.2009 4

In allen vier Ländern (A, CH, F, N) ist Schwall-Sunk

zu einem bedeutenden gewässerökologischen Problem geworden.

Tagung „Wasserkraft als Spitzenenergie – Chancen und Risiken“ vom 18.11.2009/  
 Referat A. Schleiss:

**Bedarf und Produktion an Spitzenenergie in Europa wird künftig zunehmen**

Gesetzliche und die Konzession betreffende Anpassungen werden künftig nötig sein



**Wissensstand zu den Auswirkungen von Schwall-Sunk auf die Gewässerökologie:**

1. nachteilige ökologische Auswirkungen auf die aquatische Fauna sind bekannt (R. Estoppey)

**Wir wissen genug, um zu handeln und um Massnahmen zu ergreifen**

2. Ökologische Auswirkungen sind immer noch lückenhaft dokumentiert (S. Schmutz)

3. KMB Projekt in Norwegen:

- dokumentiert Auswirkungen auf Gewässer
- wird Massnahmen vorschlagen



Bild Kt. VS

## Zu welchen Themen besteht Forschungsbedarf ?

(Meile et al., 2005 und weitere Ergänzungen)

- **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 ?

03.03.2009

9



## Intakte Morphologie mit Schwall-Sunk



## Zu welchen Themen besteht Forschungsbedarf ?

- **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

03.03.2009

11

Coreghino et al. 2002 und 2004  
 Französische Pyrenäen  
 Schwall-Sunk Verhältnis 11:1

- Nachdrift verschiebt sich zu Tagesdrift
- bei hohem Peak: Tagesdrift reduziert die Benthosgemeinschaft drastisch – Fehlen der Nachdrift
- Grenzwerte zur Vermeidung der Katastrophendrift ??
- Einfluss der Morphologie

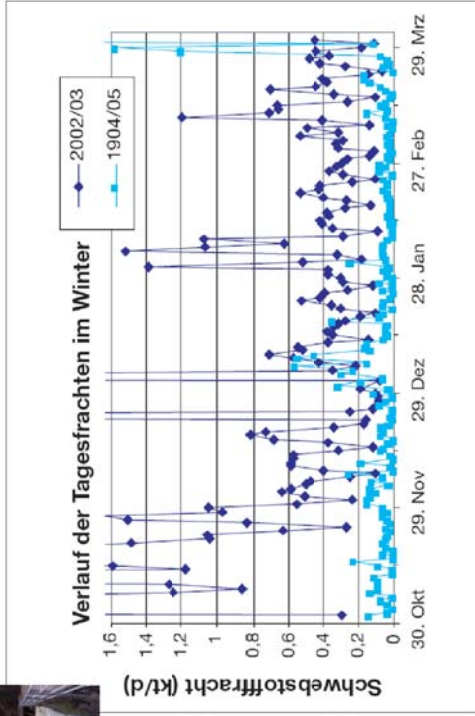


03.03.2009

12



## Schwefstoffkonzentration Imhof et al. 2004



Vergleiche der täglichen Schwefstofffrachten des Winters 2002/03 mit dem Winter 1904/05



gestrandete Jungärsche

Lech  
trockenfallender Äschenbrutstandort  
Bilder aus Schnell 2005

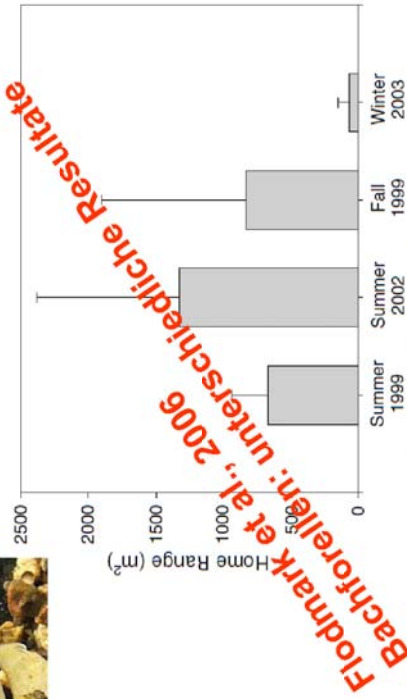
## Stranden von Fischen und Benthos

- Vor allem Jungfische gefährdet
- Cypriniden starker gefährdet als Salmoniden
- Mögliches Stranden hängt von verschiedenen Faktoren ab

Wie weit können sich Fische an ein fluktuierendes Abflussregime anpassen ?



Scruton et al., 2008



### Aktionsraum und Schwall-Sunk

Juvenile atlantische Lachse:

Hoher Energiebedarf im Sommer – kein Anlegen einer Winterreserve.

Im Winter ist die Nahrungsreserve aufgebraucht – Stress durch

Schwall-Sunk beeinflusst das Überleben

03.03.2009 17

## Wanderverhalten der Fische im Alpenrhein

196 Telemetrie-Beobachtungen zeigten, dass Seeforellen am Wochenende grössere Distanzen zurücklegen (Wochenende ohne Schwallabfluss)

3'735 m pro Tag am Wochenende  
2'494 m pro Tag an Wochentagen  
Wilcoxon  $p=0.007$  (Mendez 2007)

## Schwalldämpfende Massnahmen

- Reduktion des Maximalabflusses, Erhöhung des Minimalabflusses
- langsames Zurückfahren ( $< 15 \text{ cm/h}$ )
- **betriebliche** Massnahmen: Dordogne
- **wasserbauliche** Massnahme:

Ausgleichsbecken

- **flussbauliche** Massnahmen

Diskussions- und Forschungsbedarf

Uferrauheiten – Refugien

Flussrevitalisierungen

Bild: www.bafu.admin.ch



## Ausblick Künftige Projekte

Alpenrhein

Hasliaare  
(Nachhaltige Nutzung der Wasserkraft  
KTI Projekt)



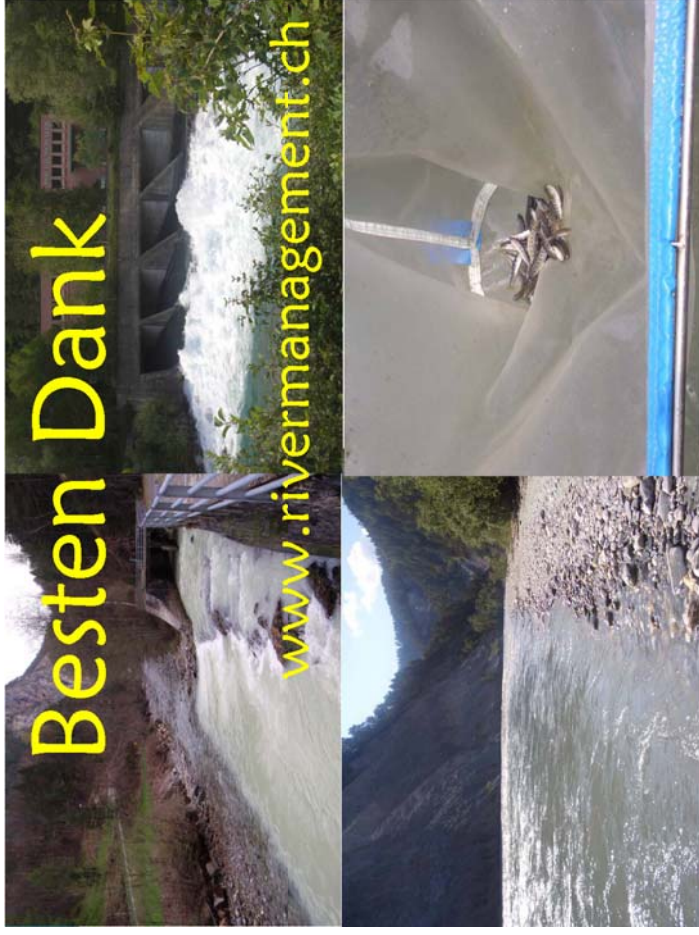
## Habitatsmodellierungen

### Alpenrhein

Bestimmung von Grenzwerten mittels  
Modellierungen

- Hasliaare** – Nachhaltige Nutzung der Wasserkraft
- Modellierung der Fischhabitate
  - Verhalten der Fische bei Schwall-Sunk (Eawag)
  - Wirkung von Fischrefugien (EPFL)
  - hydrologisch-hydraulisches Abflussmodell
  - innovative Massnahmen zur Schwallreduktion
  - Optimierung möglicher Mehrzweckprojekte

03.03.2016



## Fazit aus wissenschaftlicher Sicht und Ausblick auf zukünftige Untersuchungen

Dr. Armin Peter, Eawag, Zentrum für Ökologie, Evolution und Biogeochemie,  
6047 Kastanienbaum  
[armin.peter@eawag.ch](mailto:armin.peter@eawag.ch)

Die Referierenden der Fachtagung zeigen für Frankreich, Norwegen, Österreich und die Schweiz die grosse Bedeutung der hydroelektrischen Energie auf. In all diesen Ländern bestehen aber auch erhebliche Probleme an Gewässern, die ein Schwall-Sunk Abflussregime aufweisen. Die Schwall-Sunk Problematik ist zu einer bedeutenden Herausforderung im Gewässerschutz geworden.

Viele Tatsachen weisen darauf hin, dass die Produktion von Spitzenenergie in den nächsten Jahren eine noch wichtigere Rolle einnehmen wird. Für die Zukunft kann daher von einer Zunahme der Schwall-Sunk Situationen ausgegangen werden. Gesetzliche und die Konzession betreffende Anpassungen werden nötig sein.

### Auswirkungen auf die Gewässerökologie

Über den Wissensstand bezüglich ökologischer Auswirkungen von Schwall-Sunk existieren unterschiedliche Auffassungen. In der Schweiz wurden die möglichen negativen Auswirkungen auf die Gewässerökologie aufgezeigt<sup>1,2</sup> und der weitere Forschungsbedarf formuliert<sup>2</sup>. In Norwegen ist ein Projekt (KBM) angelaufen, das die Schwall-Sunk Auswirkungen auf die Gewässer studiert und Linderungsmaßnahmen aufzeigen wird. Auch Österreich will vermehrt zum noch lückenhaften Wissen über die ökologischen Auswirkungen beitragen. Grundsätzlich besteht Forschungsbedarf über die Bedeutung der Flussmorphologie in Schwall-Sunk Strecken, ebenso bezüglich Schwebstoffe (Wintersituation) und Kolmation der Flusssohle. Auch bedarf es weiterer Abklärungen zum Verhalten der aquatischen Fauna (z. B. Standortveränderungen und Wanderungen der Fische, inkl. energetischer Aspekte) und zur speziellen Sensibilität einiger Arten (z. B. Äsche). Norwegische Untersuchungen zeigen, dass nicht gestrandete Fische in der Lage sind, sich an ein fluktuierendes Abflussregime anzupassen.

### Schwalldämpfende Massnahmen

Bisherige Untersuchungen erlauben es, die Anforderungen an ein umweltfreundliches Schwall-Sunk Regime zu formulieren und daraus nötige schwalldämpfende Massnahmen abzuleiten. Mit Forschungsprojekten ist jedoch die Wirksamkeit zu überprüfen. Betriebliche Massnahmen dürften aus Gründen der Wirtschaftlichkeit selten zur Anwendung kommen. Daher stehen wasserbauliche Massnahmen in Form von Ausgleichsbecken im Zentrum des Interesses. Für flussbauliche Massnahmen besteht ein Diskussions- und Forschungsbedarf: Welches Potenzial haben Revitalisierungen in Schwallstrecken? Wie wirkt sich ein Einbau von Uferrauheiten oder Refugien aus? Die bisher untersuchten schwalldämpfenden Massnahmen haben sich grundsätzlich als wirksam erwiesen (Referat P. Baumann), allerdings stellt sich die gewünschte Verbesserung nicht immer für die gesamte aquatische Fauna ein (z. B. Fische in der Bregenzer Ach).

### Künftige Projekte

Mit Ansätzen der Habitatsmodellierung lassen sich Voraussagen unterschiedlicher Schwallregime und Schwalldämpfungen auf die Biologie machen. Künftige Projekte am Alpenrhein sowie an der Hasliaare werden diese Ansätze aufnehmen. An der Hasliaare sollen zusätzlich die mittels Modellen berechneten Werte im Gewässer direkt überprüft werden. Auch werden mit fischökologischen Studien im Gewässer und mit Untersuchungen in einem künstlichen Kanal konkrete Realisierungen von Habitatsmassnahmen erarbeitet.

<sup>1</sup>Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes. Mitteilungen zur Fischerei Nr. 75, BUWAL, 2003.

<sup>2</sup>Synthesebericht Schwall-Sunk. Rhone-Thur Projekt. 2005. [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch)

## Conclusions du point de vue scientifique et perspectives de recherche

Dr. Armin Peter, Eawag, Zentrum für Ökologie, Evolution und Biogeochemie,  
6047 Kastanienbaum  
[armin.peter@eawag.ch](mailto:armin.peter@eawag.ch)

Les intervenants du séminaire ont montré toute l'importance de la production hydroélectrique pour la France, la Norvège, l'Autriche et la Suisse. Dans tous ces pays, cependant, des problèmes importants ont également été constatés sur les cours d'eau subissant un régime d'éclusées. Le problème des éclusées hydroélectriques est devenu un défi majeur de la protection des eaux.

De nombreux éléments donnent à penser que la production d'énergie de pointe gagnera en importance dans les années qui viennent. Le système des éclusées hydroélectriques devrait donc se développer en conséquence. Dans un tel contexte, une modification des lois et des conditions d'attribution ou de renouvellement des concessions s'avèrera nécessaire.

### Effets sur l'écologie des cours d'eau

Divers avis ont été formulés quant à l'impact écologique des éclusées hydroélectriques. En Suisse, plusieurs études ont attiré l'attention sur les effets écologiques potentiels de ce mode de gestion sur les cours d'eau<sup>1,2</sup> et défini les besoins de recherche dans ce domaine<sup>2</sup>. Les Norvégiens viennent de démarrer un projet (KBM) portant sur l'impact de cette forme d'artificialisation des débits sur les cours d'eau et sur les possibilités d'atténuation des effets. L'Autriche, elle aussi, souhaite intensifier ses recherches sur les effets écologiques du régime d'éclusées. Des études sont encore nécessaires sur le rôle de la morphologie fluviale dans les tronçons soumis aux éclusées et sur le problème des matières en suspension (en hiver) et du colmatage du fond. De même, les réactions de la faune aquatique (changement d'emplacement et migration des poissons, aspects énergétiques etc.) et les différences de sensibilité des espèces (particulièrement forte chez l'ombre par ex.) sont encore trop mal connues. Des études norvégiennes montrent que les poissons non échoués sont capables de s'adapter aux fluctuations d'écoulement...

### Mesures d'atténuation des éclusées et de leurs effets

Les études menées jusqu'à présent permettent de définir les caractéristiques d'un régime d'éclusées mieux supportable pour l'environnement et d'en déduire un certain nombre de mesures d'atténuation. Des programmes de recherche doivent être menés pour vérifier leur efficacité.

Les mesures portant sur le turbinage en lui-même risquent d'être rarement appliquées en raison de leurs répercussions sur la rentabilité des installations. Les solutions les plus prometteuses consistent donc en l'aménagement d'ouvrages complémentaires comme des bassins de rétention. La pertinence d'interventions dans le lit des cours d'eau est sujette à discussion et demande des efforts de recherche: Quel est le potentiel des revitalisations dans les tronçons soumis aux éclusées? Que peut apporter l'installation de macro-rugosités sur les rives ou l'aménagement de refuges à poissons dans les berges?

Les mesures d'atténuation évaluées jusqu'ici se sont avérées globalement efficaces (contribution P. Baumann) mais les bénéfices ne concernent pas toujours l'ensemble de la faune aquatique (cas de la Bregenzer Ache par ex.).

### Projets à venir

Grâce à la modélisation des habitats, il est possible de prévoir les effets de différents régimes d'éclusées et de diverses mesures d'atténuation sur la biologie des cours d'eau. Les projets prévus sur le Rhin alpin et l'Hasliaare seront basés sur cette approche. Sur l'Hasliaare, les valeurs calculées par modélisation seront ensuite vérifiées sur le terrain. D'autres projets porteront sur la réalisation concrète d'interventions au niveau des habitats en s'appuyant sur des études ichtyo-écologiques en cours d'eau et sur des essais de laboratoire en canal artificiel.

<sup>1</sup>Conséquences écologiques des éclusées, étude bibliographique. Informations concernant la pêche n° 75, OFEFP, 2003.

<sup>2</sup>Synthesebericht Schwall-Sunk. Rhone-Thur Projekt. 2005. [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch)





## LISTE DER TEILNEHMENDEN

150 Teilnehmende (Stand: 3. März 2009)

### REFERIERENDE

**Stephan Müller**, PD Dr., Abteilungsleiter Wasser, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern  
stephan.mueller@bafu.admin.ch

**Rémy Estoppey**, ing, civil dipl. EPF, MBA, Chef de la section Eaux de surface - morphologie et débits,  
Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne  
rémy.estoppey@bafu.admin.ch

**Anton Schleiss**, Prof. Dr., Laboratoire de constructions hydrauliques, EPFL, Lausanne  
anton.schleiss@epfl.ch

**Thomas Burri**, Dipl. Masch. Ing. HTL, Anlagenmanager, Schw. Bundesbahnen SBB, Bern  
thomas.burri@sbb.ch

**Steffen Schweizer**, Dr., Fachspezialist Ökologie, KWO Kraftwerke Oberhasli AG, Innertkirchen  
sste@kwo.ch

**Klaus Michor**, DI, Geschäftsführer, REVITAL Ziviltechniker GmbH, Nussdorf-Debant, Österreich  
klaus.michor@revital-zt.com

**Stefan Schmutz**, Univ. Prof. Dr., Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, Universität für Bodenkultur Wien,  
Österreich  
stefan.schmutz@boku.ac.at

**Jan Heggenes**, Prof. Dr., Departement of Environmental Sciences, Telemark University College, Telemark, Norway  
jan.heggenes@hit.no

**Agnès Barillier**, EDF, Service Environnement et Société, Le Bourget du lac, France  
agnes.barillier@edf.fr

**Jean-François Moor**, Dr., Chef de l'unité hydro-électricité, Agence de l'eau Adour-Garonne, Toulouse cedex, France  
jean-francois.moor@eau-adour-garonne.fr

**Peter Baumann**, Dipl. phil. II, Geschäftsführer, Limnex AG, Zürich  
peter.baumann@limnex.ch

**Walter Hauenstein**, Dr., Direktor, Schweizer Wasserwirtschaftsverband, Baden  
w.hauenstein@swv.ch

**Armin Peter**, Dr., Abteilung Fischökologie und Evolution, EAWAG, Kastanienbaum  
armin.peter@eawag.ch

### TEILNEHMENDE

**Ernst Abgottspon**, Geschäftsführer, Pronat AG, Brig,  
pronat@rhone.ch

**Stéphanie André**, Dr Ingénieure, SESA - Canton de Vaud, Lausanne, Suisse,  
stephanie.andre@vd.ch

**Simon Art**, Student, ETH Zürich, Umweltnaturwissenschaften, Basel, Schweiz,  
arts@student.ethz.ch

**Hugo Aschwanden**, Sektionschef, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abt. Wasser, Bern, Schweiz,  
hugo.aschwanden@bafu.admin.ch

**Christian Balli**, Juriste, Bundesamt für Energie BFE / OFEN, Berne, Schweiz,  
christian.balli@bfe.admin.ch

**Bruno Bangerter**, Amt für Wasser und Abfall, Bern, Schweiz,  
bruno.bangerter@bve.be.ch

**Patrizia Baroni**, Dipartimento territorio SPAAS, Bellinzona, Schweiz,  
patrizia.baroni@ti.ch

**Andrea Baumer**, OFIMA/OFIBLE SA, Locarno, Schweiz,  
abaumer@ofima.ch

**Marc Baumgartner**, BAFU, Wasser, OMW, Bern, Schweiz,  
marc.baumgartner@bafu.admin.ch

**Peter Baumgartner**, Amt für Natur und Umwelt Graubünden, Chur, Schweiz,  
peter.baumgartner@anu.gr.ch

**Régine Bernard**, Hydrobiologin, ETEC Sàrl, Sion, Suisse,  
regine.bernard@etec-vs.ch

**Stephan Bieri**, Ingenieur, Bundesamt für Energie BFE, Ittigen/Bern, Schweiz,  
stephan.bieri@bfe.admin.ch

**Ueli Bieri**, Gebietsingenieur, AWEL, Abt. Wasserbau, Zürich, Schweiz,  
ueli.bieri@bd.zh.ch

**Martin Bieri**, Dipl. Bauing. ETH, Doktorand, LCH - EPFL, Lausanne, Schweiz,  
martin.bieri@epfl.ch

**Fernando M. Binder**, Geschäftsführer, FMB Engineering AG, Baar, Schweiz,  
fernando.binder@fmb-engineering.ch

**Fabio Blasi**, Projektgenieur, Lombardi AG, Minusio, Schweiz,  
fabio.blasi@lombardi.ch

**Hans Bodenmann**, Vizedirektor, BKW FMB Energie AG, Bern, Schweiz,  
hans.bodenmann@bkw-fmb.ch

**Robert Boes**, Professor, ETH Zürich, VAW, Zürich, Schweiz,  
boes@vaw.baug.ethz.ch

**Lukas Boller**, AquaPlus, Zug, Schweiz,  
lukas.boller@aquaplus.ch

**Matteo Bonalumi**, Eawag, Dübendorf, Schweiz,  
matteo.bonalumi@eawag.ch

**Christopher Bonzi**, Gewässerschutz, Pro Natura, Basel, Schweiz,  
christopher.bonzi@pronatura.ch

**Yvonne Bopp**, Verein für umweltgerechte Energie, Zürich, Schweiz,  
yvonne.bopp@naturemade.ch

**Nadine Bramaz**, Biologielaborantin, Eawag, Dübendorf, Schweiz,  
nadine.bramaz@eawag.ch

**Martina Breitenstein**, WFN - Wasser Fisch Natur, Bern, Schweiz,  
martina.breitenstein@wfn.ch

**Ueli Bundi**, Wiss. Berater, Eawag, Dübendorf, Schweiz,  
bundi@eawag.ch

**Peter Büsser**, Biologe, Fischereibiologische Untersuchungen, Bern, Schweiz,  
pbuesser@gmail.com

**Gallus Cadonau**, Geschäftsleiter, Schweiz. Greina-Stiftung, Zürich, Schweiz,  
sgs@greina-stiftung.ch

**Gerhard Dasen**, Techn. Assistent, Bundesamt für Energie BFE, Sektion Wasserkraft, Ittigen, Schweiz,  
gerhard.dasen@bfe.admin.ch

**Christoph Dietschi**, Leiter Fachstelle Wasserbau, Amt für Umwelt, Solothurn, Schweiz,  
christoph.dietschi@bd.so.ch

**Philemon Diggelmann**, Pöry Energy, Zürich, Schweiz,  
philemon.diggelmann@pory.com

**Bernd Dittrich**, Geschäftsführer, NIVUS AG, Glarus, Schweiz,  
bernd.dittrich@nivus.com

**Milena Dolder**, Sigmaplan, Zürich, Schweiz,  
milena.dolder@gmail.com



**Werner Dönni**, AquaPlus, Zug, Schweiz,  
werner.doenni@aquaplus.ch

**Chantal Donzé**, Coll. scientifique, Office fédéral de l'environnement OFEV, Ittigen, Schweiz,  
chantal.donze@bafu.admin.ch

**Michael Dr. Moser**, Forschungsbereichsleiter, Bundesamt für Energie BFE, Bern, Schweiz,  
michael.moser@bfe.admin.ch

**Edith Durisch-Kaiser**, Oberassistentin, ETHZ-Eawag, Zürich, Schweiz,  
edith.durisch-kaiser@env.ethz.ch

**Daniela Eichenberger**, Biologin, WFN - Wasser Fisch Natur, Ennetbaden, Schweiz,  
daniela.eichenberger@wfn.ch

**Christof Elmiger**, FORNAT AG, Zürich, Schweiz,  
christof.elmiger@format.ch

**Michael Eugster**, Abteilungsleiter, Amt für Umwelt und Energie, St.Gallen, Schweiz,  
michael.eugster@sg.ch

**Roland Fäh**, VAW/ETHZ, Zürich, Schweiz,  
faeh@vaw.baug.ethz.ch

**Arthur Fiechter**, Inspecteur de la faune, Service de la faune, des forêts et de la nature, Couvet, Schweiz,  
arthur.fiechter@ne.ch

**Alain Giauque**, Office fédéral de l'énergie OFEN, Ittigen, Suisse,  
alain.giauque@bfe.admin.ch

**Peter Gonsowski**, Dozent für Wasserbau, FHNW, Muttenz, Schweiz,  
peter.gonsowski@w.ch

**Walter Gostner**, Geschäftsleitung, Ingenieure Patscheider & Partner GmbH, Mals, Italien,  
info@ipp.bz.it

**Jakob Grünenfelder**, ecowert gmbh, Domat/Ems, Schweiz,  
fokus@ecowert.ch

**Peter Gsteiger**, geo7 AG, Bern, Schweiz,  
Peter.Gsteiger@geo7.ch

**Reto Haas**, Eawag Kastanienbaum, Kastanienbaum, Schweiz,  
reto.haas@eawag.ch

**Markus Haberthür**, Fachauditor naturemade, Ambio GmbH, Zürich, Schweiz,  
ambio@bluewin.ch

**Susanne Haertel-Borer**, Eawag, Kastanienbaum, Schweiz,  
susanne.haertel@eawag.ch

**Peter Hässig**, Senior Consultant Produktion, BKW FMB Energie AG, Bern 25, Schweiz,  
peter.haessig@bkw-fmb.ch

**Anna Hausmann**, Kreisplanerin, Amt für Raumentwicklung und Geoinformation, St.Gallen, Schweiz,  
info.bdareg@sg.ch

**Daniel Hefti**, Collaborateur scientifique, Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne, Suisse,  
daniel.hefti@bafu.admin.ch

**Philippe Heller**, directeur, e-dric.ch, Epalinges, Suisse,  
philippe.heller@e-dric.ch

**Carol Hemund**, Doktorandin, Gruppe für Hydrologie, Universität Bern, Bern, Schweiz,  
hemund@giub.unibe.ch

**Michelle Hermann**, Projektleiterin, Handel Erneuerbare Energie, Zürich, Schweiz,  
michelle.hermann@ewz.ch

**Sandra Hocevar**, GF, Büro für Gewässer und Siedlungsentwässerung, Zürich, Schweiz,  
shocevar@gmx.ch

**Jörg Huwyler**, Leiter Produktion Hydro, NOK, Baden, Schweiz,  
joerg.huwyler@nok.ch

**Lukas Indermaur**, Post-doc, Eawag, St.Gallen, Schweiz,  
lukas.indermaur@eawag.ch

**Lorenz Jaun**, AfU Uri, Altdorf, Schweiz,  
lorenz.jaun@ur.ch

**Donat Job**, Leitender Ingenieur, AF Colenco, Baden-Dättwil, Schweiz,  
donat.Job@colenco.ch

**Christa Jolidon**, Techn. Assistentin, Eawag, Dübendorf, Schweiz,  
jolidon@eawag.ch

**Klaus Jorde**, Stv. Geschäftsführer, Entec AG, St. Gallen, Schweiz,  
klaus.jorde@entec.ch

**Renaud Juillerat**, Chef de la section Section Force hydraulique, Office fédéral de l'énergie, Berne, Schweiz,  
renaud.juillerat@bfe.admin.ch

**Jean-Claude Jungo**, Responsable exploitation hydraulique, Groupe E SA, Broc, Suisse,  
jean-claude.jungo@groupe-e.ch

**Caroline Kan**, wiss. Mitarbeiterin, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abt. Hydrologie, Bern, Schweiz,  
caroline.kan@bafu.admin.ch

**Jihye Kim**, Universität Siegen, Zürich, Schweiz,  
jihyekim@gmx.de

**Helmut Kindle**, Amtsleiter, Amt für Umweltschutz, Vaduz, Liechtenstein,  
helmut.kindle@aus.llv.li

**Arthur Kirchhofer**, WFN - Wasser Fisch Natur, Gümmenen, Schweiz,  
arthur.kirchhofer@wfn.ch

**Andreas Knutti**, WWF Schweiz, Zürich, Schweiz,  
andreas.knutti@wwf.ch

**Andreas Kohler**, Hydrometrie, Bundesamt für Umwelt BAFU, Maienfeld, Schweiz,  
andreas.kohler@bafu.admin.ch

**Jean-Claude Kolly**, Responsables exploitation Barrages, Groupe E SA, Broc, Suisse,  
jean-claude.kolly@groupe-e.ch

**Barbara Krummenacher**, Wissenschaftliche Assistentin, Eawag, Kastanienbaum, Schweiz,  
barbara.krummenacher@eawag.ch

**Manfred Kummer**, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, Schweiz,  
manfred.kummer@bafu.admin.ch

**Stefan Kunz**, Projektleiter, Stiftung Landschaftsschutz Schweiz, Bern, Schweiz,  
s.kunz@sl-fp.ch

**Simone Langhans**, Projektleitung Modul-Stufen-Konzept, Eawag, Dübendorf, Schweiz,  
simone.langhans@eawag.ch

**Catherine Mathez**, Hydrologin, BWU Mathez, Büro für Wasser & Umwelt, Bern, Schweiz,  
cmathez@datacomm.ch

**Claude Meier**, Biologe, AquaTerra, Dübendorf, Schweiz,  
clameier@goldnet.ch

**Tobias Meile**, HydroCosmos SA, Vernayaz, Suisse,  
tobias.meile@hydrocosmos.ch

**Matthias Mende**, IUB AG, Bern, Schweiz,  
matthias.mende@iub-ag.ch

**Rudolf Mettler-Stüssi**, Dipl. Bauing. ETHZ/SIA, Mitglied Rheinverband, Chur, Schweiz,  
rmettler@spin.ch

**Waldner Michèle**, techn. Sachbearbeiterin, Kanton SZ Wasserbau, Schwyz, Schweiz,  
michele.waldner@sz.ch

**Georg Möller**, VAW - ETH Zürich, Zürich, Schweiz,  
moeller@vaw.baug.ethz.ch

**Günter Moser DI**, Techniker Hydrologie, Vorarlberger Illwerke AG, Schruns, Österreich,  
helga.peter@illwerke.at

**François Moulin**, Chef de division, Aménagement hydroélectrique de Lavey, Lavey, Suisse,  
francois.moulin@lausanne.ch

**Willy Mueller**, Fischereiinspektorat/RenF BE, Münsingen, Schweiz,  
willy.mueller@vol.be.ch

**Willy Mueller**, Fischereiinspektorat / RenF-BE, Münsingen, Schweiz,  
willy.mueller@vol.be.ch

**Beat Müller**, Leiter Gewässernutzung und Grundwasser, Amt für Umwelt und Energie, St.Gallen, Schweiz,  
beat.mueller@sg.ch

**Bärbel Müller**, SBB Energie, Zollikofen, Schweiz,  
baerbel.mueller@sbb.ch

**Lucia Oetjen**, Nordostschweizerische Kraftwerke AG, Baden, Schweiz,  
lucia.oetjen@nok.ch

**Jean-Carlo Pedroli**, Directeur, Aquarius, bureau, Neuchâtel, Suisse,  
jean-carlo.pedroli@netaquarius.ch

**Guy Periat**, Biologiste, FIBER, Kastanienbaum, Schweiz,  
guy.periat@eawag.ch

**Romaine Perraudin Kalbermatter**, Biologiste, Projet Rhône-Etat du Valais, Sion, Schweiz,  
romaine.perraudin@admin.vs.ch

**Antonio Pessina**, Collaboratore scientifico, Sezione Protezione Aria Acqua e Suolo, Ufficio protezione e depurazione acque, Bellinzona, Schweiz,  
antonio.pessina@ti.ch

**Martin Pfändler**, stv. Sektionschef, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, Schweiz,  
martin.pfaundler@bafu.admin.ch

**Bruno Polli**, Ufficio della caccia e della pesca, Bellinzona, Suisse,  
bruno.polli@ti.ch

**Ernst Pürer DI Dr.**, Bereichsleiter, Vorarlberger Illwerke AG, Schruns, Österreich,  
helga.peter@illwerke.at

**Tiziano Putelli**, Ufficio della caccia e della pesca, Bellinzona, Suisse,  
tiziano.putelli@ti.ch

**Peter Reichert**, Eawag, Dübendorf, Schweiz,  
reichert@eawag.ch

**Robert Reindl**, Teamleiter Wasserbau, TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG, Innsbruck, Österreich,  
robert.reindl@tiwag.at

**Denoth Reto**, Stellv. Sektionsleiter, AFU-SG, Gewässernutzung und Grundwasser, St.Gallen, Schweiz,  
reto.denoeth@sg.ch

**Jean-Marc Ribi**, Doctorant, EPFL-LCH, Fribourg, Suisse,  
jmarc.ribi@ribi.ch

**Roland Riederer**, Amt für Natur, Jagd und Fischerei St.Gallen, St.Gallen, Schweiz,  
roland.riederer@sg.ch

**Michael Roth**, Leiter Produktion, ewz, Zürich, Schweiz,  
michael.roth@ewz.ch

**Martin Roth**, Pöyry Energy AG, Zürich, Schweiz,  
martin.roth@poyry.com

**Werner Röthlisberger**, Bundesamt für Energie, Bern, Schweiz,  
werner.roethlisberger@bfe.admin.ch

**Christian Rpuilier**, biologiste, Service copnseil Zones alluviales, Yverdon-les-Bains, Suisse,  
scza@bluewin.ch

**Eva Schager**, Gewässerökologin, Amt für Umwelt Nidwalden, Stans, Schweiz,  
eva.schager@nw.ch

**Urs Paul Schär**, SBB Energie, Zollikofen, Schweiz,  
urs.p.schaer@sbb.ch

**Stefan Schenk**, Gebietsingenieur, AWEL, Abt. Wasserbau, Zürich, Schweiz,  
stefan.schenk@bd.zh.ch

**Rafaela Schinegger**, Forschungsassistentin, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Hydrobiologie und  
Gewässermanagement, Wien, Österreich,  
rafaela.schinegger@boku.ac.at

**David Schmid**, Sachbearbeiter Gewässer, Amt für Natur und Umwelt, Chur, Schweiz,  
david.schmid@anu.gr.ch

**Irène Schmidli**, dipl. Ing. ETH, Amt für Wasser und Abfall, Bern, Schweiz,  
irene.schmidli@bve.be.ch

**Lukas Schmocker**, Dipl. Bauing., Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), Zürich, Schweiz,  
schmocker@vaw.baug.ethz.ch

**Matthias Schneider**, sje - Schneder & Jorde, Stuttgart, Deutschland,  
schneider@sjeweb.de

**Norbert Schneiderhan**, Betriebsleiter, Schluchseewerk AG, Laufenburg, Deutschland,  
schneiderhan.norbert@schluchseewerk.de

**Roland Seiler**, MoosseedorfSchweiz,  
roland.seiler@roland-seiler.ch

**Damien Sidler**, Responsable d'unité, Cellule Energies Nouvelles, GENEVE, Suisse,  
damien.sidler@sig-ge.ch

**Luca Solca**, Ing., CSD Tre Laghi SA, Lugano, Schweiz,  
l.solca@csd.ch

**Christian Stünzi**, Student, ETH Zürich, Umweltnaturwissenschaften, Kilchberg, Schweiz,  
stuenzic@student.ethz.ch

**Armin Tanner**, Leiter Energieversorgung, Amt für Energie und Verkehr GR, Chur, Schweiz,  
armin.tanner@aev.gr.ch

**Markus Thommen**, stv. Sektionschef, Bundesamt für Umwelt BAFU Abt. N+L, Bern, Schweiz,  
markus.thommen@bafu.admin.ch

**Amadé Truffer**, Ingenieur, DEW VS, Sitten, Schweiz,  
amadee.truffer@admin.vs.ch

**Jeffrey Tuhtan**, Doktorand, IWS Uni Stuttgart, Stuttgart, Deutschland,  
jtuhtan@gmail.com

**Viviane Uhlmann Brögli**, wiss. Mitarbeiterin ETH, ETH, Zürich, Schweiz,  
viviane.uhlmann@eawag.ch

**Beat Utiger**, WWF Aargau/Solothurn, Aarau, Schweiz  
zivi@wwf-ag.ch

**Luca Vetterli**, Secrétaire, Pro Natura Ticino, Bellinzona, Schweiz,  
luca.vetterli@pronatura.ch

**Jacqueline von Arx**, Gewässerschutz Praktikantin, Pro Natura, Basel, Schweiz,  
jacqueline.vonarx@gmail.com

**Pascal Vonlanthen**, PhD Student, Eawag, Kastanienbaum, Schweiz,  
pascal.vonlanthen@eawag.ch

**Thomas Wagner**, Sigmaplan AG, Bern, Schweiz,  
twagner@sigmaplan.ch

**Beat Walde**, Sicherheitsingenieur, Leiter der aufgelösten VSE-Unterkommission Schwallwasser, Wittnau, Schweiz,  
beat.walde@bluewin.ch

**Michèle Waldner**, techn. Sachbearbeiterin, Kanton SZ Wasserbau, Schwyz, Schweiz  
michele.waldner@sz.ch

**Bernhard Wehren**, Doktorand, Gruppe für Hydrologie, Geographisches Institut der Universität Bern, Bern, Schweiz,  
wehren@giub.unibe.ch

**Bertram Weiss**, Verbund Austrian Hydro Power AG, Wien, Österreich,  
bertram.weiss@verbund.at

**Sonja Wessel**, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, Schweiz,  
sonja.wessel@bafu.admin.ch

**Ruedi Zimmermann**, Gebietsingenieur, AWEL, Abt. Wasserbau, Zürich, Schweiz,  
ruedi.zimmermann@bd.zh.ch

**Reto Zuglian**, Leiter Kraftwerke, St. Gallisch Appenzellische Kraftwerke AG, St. Gallen, Schweiz,  
reto.zuglian@sak.ch

**Andreas Zurwerra**, Büroinhaber, PRONAT Conseils SA, Schmiten, Schweiz,  
a.zurwerra.pronat@rhone.ch

## ORGANISATION

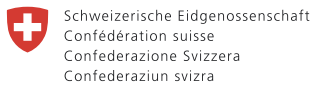
**Stefan Vollenweider**, Geschäftsführer, Wasser-Agenda 21, Dübendorf  
stefan.vollenweider@wa21.ch

**Daniel Dévanthéry**, Office fédéral de L'environnement OFEV, Berne  
daniel.devantbery@bafu.admin.ch

**Daniel Angst**, Eawag, Dübendorf  
daniel.angst@eawag.ch

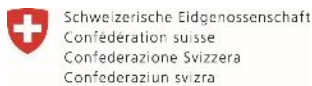






Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

**eawag**  
aquatic research **ooo**

Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzämter der Schweiz  
Conférence des chefs des services et offices de la protection de l'environnement de Suisse  
Conferenza dei capi dei servizi per la protezione dell'ambiente della Svizzera



**Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband**  
**Association suisse pour l'aménagement des eaux**  
**Associazione svizzera di economia delle acque**



Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches  
Société Suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux



Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute  
Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque  
Association suisse des professionnels de la protection des eaux  
Swiss Water Pollution Control Association

