

Forschungsprojekt Rhone-Thur

Flussbauliche Massnahmen im Dienste des Hochwasserschutzes, der Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft

Ausschöpfung von Synergien im Rahmen der 3. Rhonekorrektur

Teilprojekte des Moduls IV

- IV-1: Flussbauliche und wasserbauliche Massnahmen zur Verminderung von Schwall- und Sunkerscheinungen infolge Kraftwerkbetrieb
- IV-2: Verlandungsproblematik von als Naturreiservat und Erholungsraum gestalteten Überflutungsgebieten
- IV-3: Einfluss von naturnah gestalteten Uferverbauungen auf Geschiebetrieb und lokale Erosionserscheinungen (abgeschlossen)
- IV-4: Mögliche Synergien zwischen Hochwasserschutz und Laufwasserkraftwerken

Forschungsbericht 2006 & Forschungsplan 2007 (Abschluss)

Lausanne, März 2007



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------------------|---|---|
| A. | Ziele des Moduls IV "Synergien und flussbauliche Massnahmen" | 3 |
| B. | Projektorganisation "Rhone-Thur" | 4 |
| C. | Kontaktpersonen Laboratoire de Constructions Hydrauliques – LCH | 4 |
| D. | Zusammenfassung Forschungsbericht 2006 / Forschungsplan 2007 | 5 |
| | | |
| Teilprojekt IV-1: | Flussbauliche und wasserbauliche Massnahmen zur Verminderung von Schwall- und Sunkerscheinungen infolge Kraftwerkbetrieb..... | 9 |
| | | |
| Sub-project IV-2: | Influence of reservoir geometry on the process of sedimentation in shallow reservoirs by suspended load | |
| | | |
| Sous-projet IV-4: | Méthodologies et stratégies pour l'analyse des synergies possibles au sein des aménagements hydroélectriques fluviaux à buts multiples | |

A. Ziele des Moduls IV "Synergien und flussbauliche Massnahmen"

Gemäss der geltenden Hochwasserschutzphilosophie des Bundes muss die Massnahmenplanung neben den Hochwasserschutzdefiziten auch die ökologischen Defizite eines Gewässers berücksichtigen. Die Wegleitung 2001 „Hochwasserschutz an Fliessgewässern“ empfiehlt ein systematisches Vorgehen, welches die Gleichbehandlung aller Ansprüche des Gewässers garantieren soll und eine einseitige Sichtweise verhindert.

Das Modul IV möchte diese Bestreben mit wissenschaftlichen Grundlagen unterstützen und mit praktischen Empfehlungen erleichtern. In Vergangenheit war die flussbauliche Forschung in erster Linie auf die Funktionalität der Massnahmen im Hinblick auf den Widerstand gegenüber den Strömungskräften sowie auf den Geschiebetransport ausgerichtet. Im Gegensatz zu diesem traditionellen Ansatz, zielen die vorgeschlagenen Teilprojekte auch darauf ab, die Funktionalität von flussbaulichen Massnahmen im Hinblick auf die Ökologie zu gewährleisten und dies unter Ausnutzung der Synergien zwischen Hochwasserschutz, Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft.

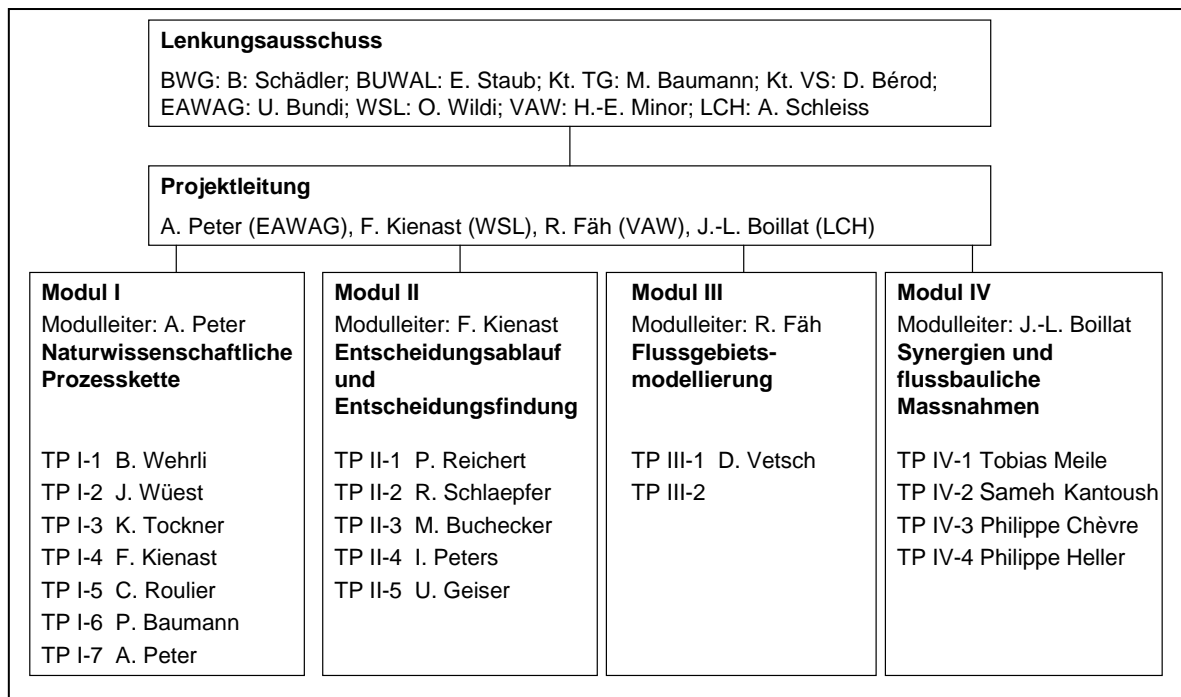
Unter dem Leitmotiv „Flussbauliche Massnahmen im Dienste des Hochwasserschutzes, der Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft“ bearbeitet das Wasserbaulabor der ETH Lausanne (Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH – EPFL)) folgende Teilprojekte:

- TP IV-1: Flussbauliche und wasserbauliche Massnahmen zur Verminderung von Schwall- und Sunkerscheinungen infolge Kraftwerkbetrieb
- TP IV-2: Verlandungsproblematik von als Naturreiservat und Erholungsraum gestalteten Überflutungsgebieten
- TP IV-3: Einfluss von naturnah gestalteten Uferverbauungen auf Geschiebetrieb und lokale Erosionserscheinungen (abgeschlossen)
- TP IV-4: Mögliche Synergien zwischen Hochwasserschutz und Laufwasserkraftwerken

Diese Teilprojekte sollen dazu beitragen, Synergien im Rahmen der 3. Rhonekorrektur nachhaltig auszunutzen, indem die wissenschaftlichen Erkenntnisse mit konkreten Anwendungsbeispielen und Pilotstudien der wasserbaulichen Praxis zugänglich gemacht werden.

Der Fortschritt der verschiedenen Projekte wird in diesem Bericht zusammengefasst. Das Teilprojekt IV-3 " Einfluss von naturnah gestalteten Uferverbauungen auf Geschiebetrieb und lokale Erosionserscheinungen" wurde bereits im Frühjahr 2004 abgeschlossen.

B. Projektorganisation "Rhone-Thur"



C. Kontaktpersonen Laboratoire de Constructions Hydrauliques - LCH

| | |
|--------------------|--|
| Lenkungsausschuss: | Prof. Dr. Anton Schleiss, Direktor LCH, anton.schleiss@epfl.ch |
| Modulleiter: | Dr. Jean-Louis Boillat, Adjoint scientifique LCH, jean-louis.boillat@epfl.ch |
| Teilprojekt IV-1: | Tobias Meile, Doktorand LCH, tobias.meile@epfl.ch |
| Teilprojekt IV-2: | Sameh Ahmad Kantoush, Doktorand LCH, sameh.kantoush@epfl.ch |
| Teilprojekt IV-3: | Projekt abgeschlossen |
| Teilprojekt V-4: | Philippe Heller, Doktorand LCH; philippe.heller@epfl.ch |

D. Zusammenfassung Forschungsbericht 2006 / Forschungsplan 2007

Der vorliegende Forschungsbericht ist entsprechend den 4 Teilprojekten gegliedert und gibt eine Übersicht über die geleisteten Arbeiten. Die einzelnen Teile sind in der Muttersprache der verschiedenen Mitarbeiter abgefasst, das heisst in Deutsch, Französisch und Englisch. Nachfolgend seien die Beiträge aus Sicht der Projektleitung bzw. Direktion kurz zusammengefasst.

Teilprojekt IV-1 : Flussbauliche und wasserbauliche Massnahmen zur Verminderung von Schwall- und Sunkerscheinungen infolge Kraftwerkbetrieb

Sämtliche Versuche im Labor mit instationären Abflüssen wurden im Jahre 2006 abgeschlossen. Die Auswertungen und Interpretationen sind nahezu beendet. Die Analyse wurde von März – Juli 2006 von einem Masterstudenten im Rahmen seiner Abschlussarbeit unterstützt. Bis zum eawag Infotag im März hat Hr. Meile noch stark an der Synthese zu Schwall und Sunk mitgearbeitet. Im Auftrage des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes wurde im Zusammenarbeit mit der VAW ein Bericht zu Schwall und Sunk in den grösseren schweizerischen Flüssen erstellt. Dadurch haben sich die eigentlichen Arbeiten der Dissertation um weitere 5-6 Monate verzögert. Der Schlussbericht wird im Juli 2007 vorliegen.

Die ersten Forschungsergebnisse wurden an verschiedenen Konferenzen publiziert und präsentiert. In der Fernsehsendung MTW von SF1 wurde im Dezember 2006 ein Beitrag über Schwall und Sunk unter der Mitwirkung von Schleiss und Meile ausgestrahlt.

Teilprojekt IV-2: Verlandungsproblematik von als Naturreservat und Erholungsraum gestalteten Überflutungsgebieten

Die hydraulischen Versuche in einem seichten Becken zur Simulation der Verlandungsvorgänge erwiesen sich weit aufwendiger als geplant. Sämtliche Versuche werden Ende März 2007 abgeschlossen. Die Auswertungen sind weit fortgeschritten und erste Resultate wurden bereits in verschiedenen Konferenzen publiziert. Seit Oktober 2006 werden intensive numerische Simulationen unter Mithilfe eine Post-doc (B. Dewals, Université de Liège) durchgeführt, die noch bis Ende März 2007 dauern werden.

Der Abschluss des Teilprojektes IV-2 ist im Juli 2007 geplant.

Teilprojekt IV-3: Einfluss von naturnah gestalteten Uferverbauungen auf Geschiebetrieb und lokale Erosionserscheinungen

Abgeschlossen

Teilprojekt IV-4: Mögliche Synergien zwischen Hochwasserschutz und Laufwasserkraftwerken

Der Schlussbericht des Teilprojektes IV-4, welches zu einem KTI-Projekt mit zwei weiteren wissenschaftlichen Partnern (Ökosystem und Landschaftsplanung) sowie drei industrielle Partnern ausgeweitet wurde, wird Ende März 2007 vorliegen. Die wesentlichen Resultate wurden bereits and verschiedenen Tagungen und Konferenzen vorgestellt und publiziert. Das Projekt ist ein ausgezeichnetes Beispiel einer interdisziplinären Zusammenarbeit.

Schlussbemerkungen

Die Teilprojekte IV-1 und IV-2 wurden später begonnen als ursprünglich geplant. Zudem haben sie sich infolge der umfangreichen Laborexperimente verzögert. Es wurde auch ein wesentlicher Input in den Synthesebericht Schwall –und Sunk geliefert, welcher 2005 und 2006 insgesamt etwa 5 Mann-Monate beanspruchte.

A. Schleiss / J.-L. Boillat / 20.03.2007

Forschungsprojekt Rhone-Thur

Flussbauliche Massnahmen im Dienste des Hochwasserschutzes, der Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft

Ausschöpfung von Synergien im Rahmen der 3. Rhonekorrektur

Teilprojekt IV-1:

Flussbauliche und wasserbauliche Massnahmen zur
Verminderung von Schwall- und Sunkerscheinungen infolge
Kraftwerkbetrieb

Forschungsbericht 2006

Doktorand: T. Meile, Laboratoire de constructions hydrauliques, EPFL

Referat: Prof. Dr A. Schleiss, Laboratoire de constructions hydrauliques, EPFL

Lausanne, Dezember 2006



1. Inhalt des Dokuments

Da das Teilprojekt IV-1 im Jahr 2007 abgeschlossen wird und anschliessend ein kompletter Schlussbericht folgt, ist dieses Dokument lediglich als eine Zusammenfassung der Aktivitäten des Jahres 2006 und als Ergänzung der Forschungsberichte 2004 und 2005 gedacht. Sowohl die Modellversuche mit stationären und instationären Abflüssen in einer makro-rauhen Rinne sind abgeschlossen und in Auswertung. Nebst den Versuchen im physikalischen Modell wurden auch verschiedene numerische Berechnungen durchgeführt.

2. Zielsetzung der Forschung

Das Abflussregime von zahlreichen Flüssen in den Alpentälern wird durch den Betrieb von Speicherkraftwerken beeinflusst. Diese produzieren den Strom zu Spitzenzeiten des Bedarfs durch rasches Einschalten der Turbinen und verursachen dadurch Schwall- und Sunkerscheinungen in den Vorflutern. Naturnah gestaltete Gerinne, wie sie im Rahmen der Revitalisierungsprogramme an grossen Flüssen vorgesehen sind, können einen vermindernden Einfluss auf die Schwall- und Sunkerscheinungen haben. Sie reduzieren die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Schwall- und Sunkwellen, da Brechungen und Reflexionen zu vorteilhaften Interferenzen führen können und da naturnah gestaltete Gerinne eine gewisse Rückhaltewirkung aufweisen. Ziel der Arbeit ist es, mit systematischen hydraulischen Modellversuchen in einer Versuchsrinne mit verschiedenen Uferkonfigurationen (Buchten von unterschiedlicher Länge, Abstand und Tiefe) herauszufinden, welche Wirkung die Geometrien auf instationäre Abflussvorgänge haben (Ausbreitungsgeschwindigkeit und Verformung der Wellen). Es geht darum, später die allfällige Rückhaltewirkung eines Flussabschnitts mit der Effizienz von wasserbaulichen (Rückhaltebecken) und betrieblichen Massnahmen hinsichtlich Schwall/Sunk-Reduktion zu vergleichen.

3. Modellversuche mit verschiedenen Ufer-Form-Rauheiten

3.1 Auswertung der Modellversuche für stationäre Abflussverhältnisse

Als Ergänzung zu den in den letzten Jahresberichten vorgestellten Methoden zur Quantifizierung der Ufer-Form-Rauheit, ist eine weitere Berechnungsmethode dazugekommen basierend auf einer Kombination von:

- einerseits Reibungsbeiwerten (f) in Abhängigkeit der Reynoldszahl (Re) für die Reibungsverluste verursacht durch die Oberfläche des Materials und
- andererseits Strömungswiderständen von turbulenten Strömungen (Widerstandszahlen) für die Energieverluste verursacht durch die Form-Rauheit der Ufer

Diese physikalisch basierte Methode zeigt Tendenzen hin zu konstanten Widerstandszahlen, welche anhand der Form-Rauheits-Geometrie erklärt werden können.

Obwohl betreffend der Auswertungen seit letztem Jahr Fortschritte erzielt wurden und neue Erkenntnisse gewonnen werden konnten, besteht die Hauptschwierigkeit nach wie vor darin, den Zusammenhang zwischen geometrischer Konfiguration und der beobachteten Rauheit herzustellen, ohne in diverse verschiedene Fälle unterteilen zu müssen.

3.2 Auswertung der Modellversuche für instationäre Abflussverhältnisse

Im Jahre 2006 wurden sämtliche instationären Versuche durchgeführt (positive und negative Wellen). In einer ersten Phase wurden die Versuche zu instationären Abflussverhältnissen in einer Masterarbeit ausgewertet. Erste Resultate zeigen, dass die getesteten Geometrien im Vergleich zu einem Gerinne mit regelmässigem Querschnitt zu einer Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenfront führen, die je nach Geometrie und Abflusswerten leicht reduziert ist. Das gilt sowohl für Schwall- als auch Sunkwellen. Die Pegeländerung (Wasserspiegellagenänderung) unmittelbar nach der Wellenfront nimmt im Vergleich zu einem prismatischen Gerinne in der Regel etwas ab. Danach steigen die Wasserspiegel weiter langsam an im Fall einer positiven Welle oder gehen weiter zurück im Fall einer negativen Welle. Im Fall der positiven Welle steigt der Wasserspiegel im Vergleich zu einem prismatischen Gerinne auf höhere Werte, sofern die Rauheit der entsprechenden Konfiguration grösser ist. Im Vergleich zu den als Schwall und Sunk bezeichneten schwankenden Abflussverhältnissen der alpinen und voralpinen Gewässer unterscheiden sich die im Laborkanal untersuchten Wellen durch die (auch unter Berücksichtigung der massstabbedingten Umrechnungen) schnellere Entstehungsgeschwindigkeit. Die detaillierte Auswertung der einzelnen instationären Versuche sowie die Interpretation/Übersetzung der qualitativen Resultate auf reelle Gewässer ist noch offen.

4. Aktivitäten im Rahmen des Rhone-Thur Projektes & Konferenzteilnahmen

Seit Beginn der Arbeit hat der Doktorand an diversen Veranstaltungen/Sitzungen des Rhone-Thur Forschungsprojektes sowie an anderen Konferenzen teilgenommen. In diesem Jahr sind folgende Aktivitäten dazugekommen.

2006:

- 8. März 2006: EAWAG Info Tag zum Rhone-Thur Projekt - Vorstellen einiger Punkte des Syntheseberichts Schwall/Sunk des Rhone-Thur Projekts.
- 6. bis 8. September 2006 : River Flow 2006 Konferenz - Vortrag "Experimental study on steady flow in a channel with macro-roughness at the side walls"
- 12. bis 14. September 2006 : ISUD 5 Konferenz – Vortrag "Improving acoustic Doppler velocimetry in steady and unsteady flow by means of seeding with hydrogen bubbles"
- Arbeitstag der Expertengruppe R3 in Sion: Vortrag "Marnage dans le Rhône"

5. Publikationen (2006)

- Meile T., Boillat J.-L., Schleiss A.J., "Influence of dams and reservoirs on the flow regime of the Upper-Rhone-River", Commission Internationale des Grands Barrages, Proceeding of the Vingt Deuxième Congrès des Grands Barrages, Barcelone, pp 449-465, 2006.
- Meile T.: "Schwall und Sunk in Fliessgewässern", Eawag News 61d, März 2006.
- Peter A., Meile T., Reichert P., Truffer B.: "Alles im Fluss aber bitte nachhaltig". Eawag - aquatic research, Jahresbericht 2005.
- Meile T., Boillat J.-L., Dubois J., Schleiss A.J., "Experimental study on steady flow in a channel with macro-roughness at the side walls", Proceedings International Conference on Fluvial Hydraulics, River Flow 2006, Lisbon, Portugal, pp 1059-1068, 2006.

- Meile T., De Cesare G., Blanckaert K., and Schleiss A.: "Improving acoustic Doppler velocimetry in steady and unsteady flow by means of seeding with hydrogen bubbles", Proceedings of the Fifth International Symposium on Ultrasonic Doppler Methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineering, 5th ISUD, ETH Zurich, Switzerland, ISBN: 3-905609-29-0, pp. 97-100, 2006. (dieser Artikel wurde vorgeschlagen zur Publikation im Journal "Flow Measurement and Instrumentation" und ist z. Z. im Review)
- Eine Publikation über Schwallindikatoren und deren Veränderung seit dem Bau der Speicherkraftwerke in englischer Sprache ist in Bearbeitung für das Journal „River Research and Applications“.

6. Diverses

Folgende Semester und Masterarbeiten, deren Resultate teilweise in den Schlussbericht einfließen werden, wurden 2006 begleitet:

- Travail de master : Propagation d'intumescences dans une rivière à morphologie naturelle des rives : Monsieur Frédéric Loup
- Travail de master : Accroissement de la valeur naturelle de la vallée du Rhône par un raccordement optimal des affluents au Rhône : Madame Marion Bourgeois
- Travail de semestre : Bassin de compensation pour la centrale hydroélectrique Innertkirchen 3 : Messieurs Bieri et Rychen
- Travail de semestre : Renaturation d'un cours d'eau en Suisse romande - Influence de la renaturation des cours d'eau sur les conditions d'écoulements pour différents débits

7. Aktivitäten 2007

Die Forschungsarbeit wird Mitte Jahr 2007 abgeschlossen. Bis dahin müssen die instationären Versuche fertig ausgewertet werden und der Schlussbericht verfasst werden.

Forschungsprojekt Rhone-Thur

Flussbauliche Massnahmen im Dienste des Hochwasserschutzes, der Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft

Ausschöpfung von Synergien im Rahmen der 3. Rhonekorrektur

Sub-project IV-2:

Influence of reservoir geometry on the process of sedimentation in shallow reservoirs by suspended load

Report 2006

Ph.D. student: Sameh A. Kantoush, Laboratoire de constructions hydrauliques, EPFL

Supervisor: Prof. Dr. A. Schleiss, Laboratoire de constructions hydrauliques, EPFL

Lausanne, December 2006



1. Summary:

Large shallow reservoirs of run-of-river power plants on rivers with high suspended sediments are endangered by significant sedimentation. In the framework of a research project, the influence of the geometry of the reservoir on sediment transport and deposition is studied by experimental and theoretical approaches. As a reference case, rectangular basin geometry was analyzed in detail. The experimental tests have been conducted in a rectangular shallow basin with inner dimensions of 6 m length and 4 m width. Different test procedures were examined. The flow and sediment conditions used during the tests grantee fully developed turbulent flow. Bed level changes, surface, and 3D flow velocities were measured. The results help to understand the mechanism of the flow and the sediment exchange process. This allows understanding the complex relation between flow patterns, sediments exchange and sediments transport. In spite of the symmetric setup, an asymmetric flow and sediments pattern developed. For all tested geometries, the influence of suspended sediments on both flow patterns and bed forms was found very similar. At the beginning of the tests, the highest sediments depositions and concentrations were found along the main jet flow, where the velocity is highest. The flow pattern was stable, with smooth or relatively low roughness over the entire bed. However, after some time, ripples developed underneath the main jet, with thicknesses of about 0.15 times the flow depth. These were able to change the flow pattern. The higher the shape factor of the reservoir, the more uniform were the depositions over the entire surface. Furthermore, the time evolution of deposition patterns with different reservoir geometries could be assessed. Sediments Trap Efficiency in the reservoirs was calculated by using two different approaches. The results show different correlations for trapping efficiency with variable rectangular widths.

2. Objectives of the study

This study focuses on the sedimentation of shallow reservoirs by suspended sediments and the objective of the experiments is to gain insight into the physical process behind the sedimentation of shallow reservoirs governed by suspended sediment. Moreover, it is aiming at a better understanding of the mechanism governing the sediment exchange process between the jet entering the reservoir and the associated turbulence structures. These experiments are part of test series prepared to investigate the ideal reservoir geometry, minimizing the settlement of suspended sediments. The experiments are expected to fill in part of our knowledge gap.

3. Activity in 2006

The influence of the shallow reservoir geometries with variable widths and lengths have been achieved experimentally and numerically in 2006. A reference reservoir geometry with constant width $B = 4.0$ m and length $L = 6.0$ m is compared to different test configurations, formed by symmetric geometries. The activities can be classified in two groups:

- 1- Physical models activities
- 2- Numerical modeling by using WOLF 2D program

4. International conference

The candidate has been participated during 2006 in two international conferences

- 06.09.06 to 08.09.06 International Conference on Fluvial Hydraulics, Lisboa, Portugal
- 12.09.06 to 14.09.06 5th International Symposium on Ultrasonic Doppler Methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineering, ETH Zurich, Switzerland.

5. Publications in (2006)

Kantoush, S.A., Bollaert, E.F.R., Boillat, J.-L., Schleiss, A.J. 2006. Sedimentation processes in shallow reservoirs. comparison of numerical and experimental simulations. Proc. of 7th International Conference on HydroScience and Engineering, September, Philadelphia, USA.

Kantoush, S.A., Bollaert, E.F.R., Boillat, J.-L., Schleiss, A.J., Uijttewaal, W.S.J., 2006. Sedimentation Processes in Shallow reservoirs with different geometries. IAHR Proc. of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Lisboa, Portugal, Taylor & Francis Group, London, ISBN 0-415-40815-6 ,pp.1623-1631.

Kantoush, S.A., Bollaert, E.F.R., Boillat, J.-L., Schleiss, A.J., 2006. Experimentelle Studie von Schwebstofftransport und –absetzung in einem rechteckigen Flachwasserbecken. Proc. Symposium Graz, 27-30 september 2006, Schriftenreihe zur wasserwirtschaft, Technische Universität Graz, ISBN 3-902465-50-6, 46/2, pp. 136-150.

Kantoush, S.A., De Cesare, G., Bollaert, E., Boillat, J.L. and Schleiss, A. J., 2006. Flow Field Investigation in a Rectangular Shallow Reservoir using UVP, LSPIV and numerical modeling. Journal of Flow Measurement and Instrumentation, (Submitted).

Kantoush, S. A., Bollaert, E., Boillat, J.L., and Schleiss, A., 2006. Experimental and numerical modeling of sedimentation in rectangular shallow reservoirs: a first comparison. Journal of sedimentary geology, Elsevier (Revised version Submitted)

Kantoush, S. A., Bollaert, E., Boillat, J.L., and Schleiss, A., 2006. Physical Processes of the Suspended Sediment Deposition and Sediment Transport in Shallow Reservoirs. Abstract, 17th International Sedimentological Congress, Fukuoka Japan, O-138.

Sameh Kantoush, Erik Bollaert, Giovanni De Cesare, Jean-louis Boillat and Anton Schleiss, 2006. Flow Investigation in a Rectangular Shallow Reservoir Using UVP, LSPIV and Numerical model. Proceeding of the 5th International Symposium on Ultrasonic Doppler Methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineering. ETH Zurich, Switzerland, ISBN 3-905609-29-0, pp. 129-133.

6. Activity in 2007

The activities in the early 2007 essentially concern accomplish of the planned test series and test more complex geometries experimentally and numerically as well. Moreover, dimensionless analysis and find the optimal geometry which minimizing sediments depositions in the shallow reservoir. Several publications in journals and international conferences are planned to be submitted and publish in 2007. After that starting to write the final thesis report and project report as well.

7. Other

- Asahi Ryunetsu Student Paper Award for outstanding paper entitled “ Flow field investigation in a rectangular shallow reservoir using UVP, LSPIV and numerical model

Forschungsprojekt Rhone-Thur

Flussbauliche Massnahmen im Dienste des Hochwasserschutzes, der Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft

Ausschöpfung von Synergien im Rahmen der 3. Rhonekorrektur

Sous-projet IV-4:

Méthodologies et stratégies pour l'analyse des synergies
possibles au sein des aménagements hydroélectriques
fluviaux à buts multiples

Rapport annuel 2006

Doctorant: P. Heller, Laboratoire de constructions hydrauliques, EPFL

Référent: Prof. Dr A. Schleiss, Laboratoire de constructions hydrauliques, EPFL



1. Contenu du document

Le projet IV-4 est actuellement en phase terminale. Le rapport de thèse qui s'y rapporte a été rendu au Service académique de l'EPFL et l'examen oral est déjà planifié. La phase de recherche est donc terminée et les résultats sont également connus. Un résumé est donné en annexe à ce rapport.

Ce bref rapport contient les activités effectuées durant l'année 2006 et les publications s'y référant. L'essentiel des activités effectuées sont toutefois directement liées à la rédaction du rapport de thèse. Ce rapport termine avec les activités prévues en 2007 ainsi que les publications planifiées à ce jour.

2. Activités effectuées en 2006 (projet Rhône-Thur et autres)

Projet Rhône-Thur :

- 07.07.2006 à Geroldswil (Zürich) : Séance de clôture du projet Rhône-Thur.

Autres :

- 07.09.2006 à Bellinzona : Assemblée générale de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux, présentation du projet Synergie par une conférence introductive.
- 06-08.09.2006 à Lisbon : Conférence international d'hydraulique fluviale, RiverFlow2006.
- 27-30.09.2006 à Graz : Symposium Graz 2006 "Stauhaltungen und Speicher - Von der Tradition zur Moderne", Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Technische Universität Graz.

5. Publications (2006)

- Heller P. (2006) "Analyse et objectifs de gestion d'un aménagement hydraulique fluvial à buts multiples" Wasser Energie Luft, 98. Jahrgang, Baden, Heft 1, pp.10-15.
- Heller P., Pellaud M., Schlaepfer R., Bollaert E., Schleiss A. (2006) "Multi-purpose shallow reservoir: Synergies between ecology and energy production" Proceedings of the Int. Conference on Fluvial Hydraulics, River Flow 2006, Portugal, 6-8 September 2006, ISBN: 0-415-40815-6, pp. 2027-2035.
- Heller P., Pellaud M., Bollaert E., Schleiss A. (2006) "Flussmehrzweckprojekt : Synergien zwischen Ökologie und Energieproduktion", Proc. Symposium Graz 2006 "Stauhaltungen und Speicher - Von der Tradition zur Moderne", 27-30 September 2006, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Technische Universität Graz, ISBN 3-902465-50-6, 46/1, pp.27-42.
- Heller P., Bollaert E., Pellaud M., Schlaepfer R., Schleiss A. (2006) "Mehrzweckprojekt an Flüssen: Synergien zwischen Ökologie und Energieerzeugung", Wasser Energie Luft, 98. Jahrgang, Baden, Heft 4, décembre, pp. 329-336.

7. Activités prévues en 2007

- 26.03.2007 : examen de thèse
- Avril 2007 : rendu du rapport définitif de thèse
- Mai-juin 2007 : soutenance publique

7. Publications prévues en 2007

- Heller P., Pellaud M., Bollaert E., Schleiss A., Schlaepfer R. (2007) "River Rehabilitation through a Multi-purpose Reservoir", Proceedings of the XXXII IAHR Congress, Venice, Italy 1-6 July, (submitted).
- Heller P. (2008) "Methodology for planning and management of multipurpose hydraulic schemes with a system thinking approach", Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent2008, 11. Kongress: "Schutz des Lebensraumes vor Hochwasser, Muren, Lawinen und Massenbewegungen" vom 26. - 30.5.2008, Dornbirn, Vorarlberg, Austria (submitted).
- Heller P., Bollaert E., Schleiss A. "Comprehensive study of a multipurpose run-of-river power plant with a holistic qualitative approach", Journal of River Basin Management (in preparation).

ANNEXE

Méthodologie pour la conception et la gestion des aménagements hydrauliques à buts multiples par une analyse systémique

Methodology for planning and management of multipurpose hydraulic schemes with a system thinking approach

Les échecs répétés ainsi que les difficultés liées à la mise en œuvre de nouveaux ouvrages hydroélectriques dans les pays industrialisés montrent l'évolution du paradigme qui gère les rapports entre la société humaine et la nature. Les problèmes issus de ces ouvrages, souvent ignorés lors de la planification, ajoutés à la volonté populaire de restaurer un état naturel, nécessitent des analyses écologiques tant pour les nouvelles constructions que pour la restauration d'ouvrages ou encore la correction de cours d'eau. La prise en compte des aspects énergétiques et écologiques, joints aux aspects sécuritaires, financiers et socio-économiques, transforme la conception des ouvrages hydrauliques à buts multiples en un problème complexe. La conception, le dimensionnement et la gestion de tels aménagements nécessitent ainsi de nouvelles approches.

Le premier objectif de ce travail est la compréhension du système complexe formé par un aménagement hydroélectrique fluvial à buts multiples et la détermination de ses caractéristiques les plus importantes. Le second objectif vise à développer une méthodologie qui quantifie les impacts de l'aménagement sur les facteurs-clés du système. Le troisième objectif est une optimisation du système lui-même ainsi que la détermination d'une clé de répartition des coûts d'investissement du projet. La méthodologie comprend une première analyse qualitative du système permettant ensuite une modélisation quantitative. L'optimisation est effectuée sur la base de cette seconde modélisation. La clé de répartition des coûts est alors obtenue par comparaisons d'optimisations partielles du système.

L'analyse qualitative est basée sur une représentation cognitive pour modéliser le comportement du système complexe et ses boucles de rétroaction entre les différents facteurs. L'analyse mathématique du réseau produit un classement de ces derniers ainsi que la mise en évidence des facteurs-clés. Dans le cas particulier de l'aménagement hydroélectrique fluvial à buts multiples, cette méthode permet de distinguer le niveau décisionnel du niveau fonctionnel. Elle souligne la variable pivot qui constitue le lien entre les deux niveaux, à savoir le débit aval. Cet aménagement a pour but de réduire le marnage, de produire de l'énergie, d'offrir un volume de rétention en cas de crue et de permettre une utilisation sociale pour les loisirs aquatiques.

La modélisation quantitative est effectuée par des modèles de simulation basés sur une gestion optimisée de l'aménagement qui détermine le débit aval. L'optimisation est effectuée par une résolution mathématique du système de contraintes à l'aide du logiciel AMPL de manière à réduire les variations du débit aval tout en maximisant la production énergétique. Elle conduit également à minimiser les variations du niveau d'eau dans le réservoir. Les modèles de simulation calculent ensuite les différents comportements de l'aménagement (hydraulique, énergétique, thermique, écologique, social et financier). La gestion en situation de crue est traitée séparément, avec comme objectif de laminier la pointe de la crue par une vidange préventive de l'aménagement. Une comparaison financière de l'impact probable de différents

aménagements sur les crues est effectuée par l'évaluation du gain financier lié à l'abaissement potentiel des digues aval. Une optimisation du dimensionnement des turbines, spécifiquement applicable dans le cas de niveaux d'eau amont et aval très variables, est également développée.

L'optimisation générale du système, effectuée avec l'outil d'optimisation QMOO (développé au LENI - EPFL), porte sur les variables qui déterminent la taille de l'aménagement. Cette optimisation est effectuée en deux étapes. La première étape détermine, pour chaque but de l'aménagement (optimisation partielle), les conditions optimales de production du but visé. Cette étape permet de fixer une fonction de transfert entre la production optimale et l'investissement minimal. La seconde étape détermine par une optimisation complète, à l'aide des fonctions de transfert, l'ensemble des solutions optimales. Ces solutions optimales sont ensuite épurées par deux filtres successifs: le filtre synergique élimine les solutions dont la mise en commun des buts ne conduit pas à une réduction de l'investissement, alors que le filtre des acteurs élimine les solutions dont les quantités produites ou l'investissement demandé pour chaque objectif sortent des limites fixées.

La méthodologie complète, développée en 12 étapes depuis l'analyse qualitative jusqu'aux solutions finales, est appliquée à un cas d'étude sur le Rhône valaisan. Les solutions finales trouvées permettent de proposer un projet d'aménagement à buts multiples capable de satisfaire aux exigences des différents acteurs tout en générant une économie d'investissement supérieure à 10 %. Cette réduction, appelée gain synergique, est calculée par rapport à la somme des investissements optimaux des aménagements à but unique réalisés séparément. Les solutions trouvées nécessitent un investissement compris entre 150 et 180 Mio CHF. Elles permettent de produire 42 GWh/an d'électricité, de réduire le marnage actuel d'environ 30 % et offre une utilité sociale calculée à 55'000 visites annuelles. Le volume disponible pour la gestion des crues oscille entre 5 et 8 Mio m³.

Ce travail de recherche, mené au sein d'une équipe pluridisciplinaire composée d'écologues, d'architectes, d'ingénieurs civils et mécaniciens, de producteurs d'hydroélectricité et de services étatiques, a montré la pertinence de l'approche choisie qui a conduit à la faisabilité des solutions proposées. Par ailleurs, la modularité des méthodes développées (analyse qualitative, gestion du marnage, calcul probabiliste de l'impact de la rétention sur les crues, modèle de dimensionnement des turbines, optimisations partielles et complètes) offre de larges possibilités pour des utilisations partielles, pour des applications à d'autres ouvrages ou pour des développements ultérieurs.

Absorber plus de 50 % du marnage tout en ne perdant que 10 % de productivité énergétique, justifier l'impact financier de la rétention sur les crues, optimiser le dimensionnement des machines hydroélectriques dans le cas d'une double variabilité forte (débit et chute), concevoir et dimensionner de manière intégrée des solutions qui permettent, pour des aménagements à buts multiples, des économies pour chacun des objectifs sont les principaux résultats de ce travail de recherche.

Repeated failures as well as difficulties related to the implementation of new hydroelectric powerplants in industrialized countries illustrate the paradigm evolution which manages relationship between human society and nature. Problems resulting from these plants, often ignored during planning phases, in addition to the current trend to restore a natural state, require ecological analyses for new constructions as well as for scheme restoration or river corrections. Taking into account energy and ecology, together with security, financial and socio-

economical aspects, transforms the design of hydraulic schemes into complex problems. Designing, dimensioning and managing in an integrated way such multipurpose hydraulic schemes thus require new approaches.

The first objective of the present work is the comprehension of the complex system formed by a multipurpose hydraulic scheme and the determination of its most important characteristics. The second objective aims at developing a methodology to quantify the installation impacts on the key factors of the system. The third objective is an optimization of the system itself as well as the determination of the distribution of the cost between the various purposes. The developed methodology first includes a qualitative analysis of the system which then allows a quantitative modelling. Optimization is carried out on the basis of this second modelling. The cost distribution is finally obtained by comparison of partial optimizations of the system.

The qualitative analysis is based on a cognitive representation in order to model the complex system behaviour. This representation includes feedback loops between the various factors. The mathematical analysis of the network classifies these factors and highlights the most important ones (key factors). In the particular case of the multipurpose run-of-river hydroelectric scheme, this method distinguishes the decisional level from the functional level. It underlines the variable, namely the downstream flow, which constitutes the bond between the two levels. The purposes of this project are to reduce hydropeaking, to produce energy, to offer a retention volume for flood mitigation and to allow a social use for leisure activities.

Quantitative modelling is carried out by simulation models, considering an optimized operation of the reservoir which determines the downstream flow. This optimization is performed by a mathematical resolution using the software AMPL. It includes the constraints to reduce the downstream flow variations with the objective of maximizing energy production. It also results in minimal reservoir water level variations. The simulation models then calculate the scheme behaviours (hydraulic, energy, thermal, ecological, social and financial). The flood management is treated separately, with the objective of reducing the flood peak by preventive draining of the reservoir. A financial comparison of the probable impact of retention on peak floods is carried out by evaluating the potential of lowering downstream dams. An optimization of the turbine dimensioning, specifically applicable in case of highly variable water levels (upstream and downstream) and flow discharge, is also developed.

The general optimization of the system, performed with the optimization tool QMOO (developed at LENI - EPFL), is related to variables which determine the size of the scheme. This optimization is carried out in two stages. The first stage determines, for each goal of the system (partial optimization), the optimum production conditions of the set goal. This stage defines a transfer function between the optimal production and the minimal investment. The second stage determines, by a complete optimization using the transfer functions, the set of optimal solutions. These optimal solutions are then filtered by two successive filters: the synergistic filter eliminates solutions which do not reduce the investment, whereas the filter of the actors eliminates solutions which produce quantities below the limit or which require investment above the fixed limit.

The complete methodology, developed in 12 steps from the qualitative analysis to the final set of solutions, is applied to a study case on the Swiss Upper Rhone River. The solutions found are able to satisfy the requirements of the various actors while generating a saving on investment higher than 10 %. This reduction, called synergistic profit, is compared to the sum of the optimal investments of a single purpose scheme carried out separately. The solutions found

require an investment in the range of 150 to 180 Mio CHF. They permit to produce 42 GWh/yr of electricity, to reduce the current hydropeaking by approximately 30% and to offer a social impact calculated at 55'000 visits per year. The available volume for flood management oscillates between 5 and 8 Mio m³.

This research work, carried out within a team of ecologists, architects, civil and mechanical engineers, producers of hydroelectricity and public authorities, showed the relevance of the selected approach which led to the feasibility of the suggested solutions. In addition, the modularity of the developed methods (qualitative analysis, hydropeaking management, probabilistic retention impact on flood peaks, optimisation of turbine dimensioning, partial and complete optimizations) allow a wide range of possibilities for partial use, for applications to other works or for future developments.

The principal results of this research can be defined as follows: 1) an operation method is developed in order to absorb more than 50 % of the current hydropeaking while losing less than 10 % of the energy potential, 2) the financial retention impact on flood peak is justified, 3) turbine dimensions are optimized in case of strong variability on both flow and head, 4) conception and dimension of multipurpose schemes are performed in an integrated way and lead to solutions which allow cost saving for each objective.