



Rapport annuel 2009

Méthodes d'observation et de prévision de l'alluvionnement des retenues des aménagements de pompage-turbinage

Sustainable sedimentation in pumped
storage plants

Mandant:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche Force hydraulique
CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Cofinancement:

Competence Center for Energy and Mobility CCEM-CH, CH-5232 Villigen PSI

Mandataire:

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL
Laboratoire de Constructions Hydrauliques LCH
Station 18
CH-1015 Lausanne
lchwww.epfl.ch

Auteurs:

Michael Müller, EPFL-LCH, michael.mueller@epfl.ch
Prof. Dr. Anton Schleiss, EPFL-LCH, anton.schleiss@epfl.ch

Responsable de domaine de l'OFEN: Dr. Michael Moser

Chef de programme de l'OFEN: Dr. Klaus Jorde

Numéro du contrat et du projet de l'OFEN: 154102 / 103094

L'auteur de ce rapport porte seul la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.

Table of contents

Résumé et motivation.....	ii
Zusammenfassung und Motivation.....	iv
Summary and motivation	vi
1 Recall	1
2 State of the art and contribution of the PhD project	2
2.1 State of the art	2
2.2 Contribution of PhD project	2
3 Research plan and main objectives (overview)	3
4 Results: Flow fields in front of Grimsel II intake/outlet.....	4
4.1 Description of prototype.....	4
4.2 Measuring device	5
4.3 Analysis of velocity data	5
4.4 Next steps of data evaluation	7
5 Outlook	8
5.1 Turbidity monitoring at Grimsel II power plant	8
5.2 Physical scaled model	8
5.3 Numerical models.....	8
5.4 Project timetable schedule	9
5.5 Follow-up of the project	9
6 References	10
7 Appendix	10

Résumé et motivation

Mots clés : *Aménagement de pompage-turbinage, sédimentation des réservoirs, turbulence, écoulements devant une prise, turbidité, ADP, mesures sur prototype, modélisation physique, modélisation numérique, géométrie des prises d'eau*

La sédimentation des réservoirs est un des problèmes majeurs de l'ingénierie hydraulique du XXI^{ème} siècle. A l'échelle mondiale, les réservoirs créés par des barrages se remplissent de sédiments à un taux d'environ 1 % de leur volume utile par année. En plus de ces pertes de volume, les sédiments peuvent s'accumuler devant les ouvrages essentiels des aménagements, à mentionner les prises d'eau et les vidanges de fond. Ainsi, les processus de sédimentation affectent sérieusement non seulement la fiabilité et la durée de vie des aménagements hydroélectriques, mais aussi la sécurité d'un point de vue d'exploitation et structurale. En outre, une concentration importante en sédiments dans l'eau passant par les turbines et les pompes produit l'abrasion de ces machines.

Les réservoirs alpins suisses subissent d'un taux de sédimentation de 0.2 % et sont donc plus durable du point de vue volume de stockage. Néanmoins, après 40 à 60 années d'exploitation, les processus de sédimentation deviennent une menace à cause des courants de turbidité. Ces courants de turbidité apparaissent pendant des périodes de fortes précipitations et transportent, sous forme d'une avalanche sous-marine, des grandes quantités de sédiments en direction du barrage où les dépôts concentrés bloquent les ouvrages de vidange de fond et affectent la sécurité opérationnelle de ces derniers.

En plus de leur fonction comme bassin d'accumulation pour des aménagements hydroélectriques, les réservoirs sont souvent un élément essentiel dans la protection contre les crues. Ils mettent à disposition un volume de stockage intermédiaire important, et donc permettent de laminier les crues et de protéger la population et les infrastructures situées à l'aval. La perte de volume par sédimentation réduit cette capacité de laminage. Par conséquence, elle met en danger non seulement l'exploitation adéquate d'un système de production énergétique, mais toute une région à l'aval des réservoirs à cause de la perte des possibilités de laminage.

En Suisse, le bassin versant du Rhône est un bel exemple d'une région composée de toute une série d'aménagements hydroélectriques qui, avec leurs réservoirs artificiels, font partie d'un système complexe de laminage de crues. Une perte de ces bassins d'accumulation aura des effets catastrophiques sur la vallée du Rhône lors des événements de crues.

D'autres domaines d'utilisation des réservoirs sont également concernés par les pertes de volume, notamment les fonctions de stockage d'eau pour l'approvisionnement en eau potable et pour l'irrigation. La sédimentation aggrave la future pénurie d'eau mondiale en réduisant la capacité des réservoirs déjà développés.

Afin de satisfaire la demande énergétique croissante, les projets d'aménagements hydroélectriques de pompage-turbinage gagnent d'importance à l'échelle suisse et mondiale. De tels projets se composent généralement d'un réservoir supérieur et inférieur afin de pomper et/ou turbiner l'eau entre ces derniers. Les problèmes de sédimentation à long terme de ces réservoirs sous l'influence des changements opérationnels répétés entre les modes de turbinage et de pompage sont relativement peu connus.

En analysant des aspects de sédimentation tels que les concentrations dans tout le système d'un aménagement et l'influence des alternations modales de pompage-turbinage sur les vitesses d'écoulement et la turbidité dans les réservoirs, le projet de recherche proposé examinera des solutions pour garantir la sécurité des ouvrages d'évacuation et la durabilité à long terme des aménagements de pompage-turbinage.

Une réponse aux questions principales suivantes aimerait être trouvée: comment le processus de pompage-turbinage affecte-t-il la turbulence dans le réservoir ainsi que la sédimentation par des particules fines? Comment peut-on influencer la turbulence par la géométrie de la prise d'eau afin de réduire le dépôt des sédiments fins?

Dans le cadre d'une thèse, ce projet de recherche traitera les points suivants:

- Une *étude de littérature* indiquera les paramètres d'intérêt primordial du problème et les pistes à conquérir.
- L'établissement des *bases théoriques* permettra de décrire les processus physiques principaux derrière les différents phénomènes en question.
- Des *mesures sur prototype* de longue durée permettront d'analyser la concentration en sédiments dans les conduites en charge d'un système de pompage-turbinage (mesures de turbidité) et les conditions d'écoulements devant une prise d'eau en lac (mesures de vitesse d'écoulement).
- La *modélisation physique à échelle réduite* d'un réservoir de géométrie simple servira de base pour déterminer l'influence des paramètres comme la durée de pompage/turbinage, le débit et la forme de l'ouvrage de restitution sur les processus de sédimentation.
- Lors d'une *modélisation numérique* les conditions du prototype et les essais en laboratoire seront simulés.
- L'*analyse des mesures sur modèle et prototype* sera employée afin de vérifier les modèles théoriques et pour calibrer les modèles numériques.
- Basé sur l'analyse des résultats des essais, le *développement de modèle théorique* décrivant le comportement à long terme du transport et des dépôts sédimentaires dans des réservoirs exploités par des aménagements de pompage-turbinage sera effectué
- Des *règles et recommandations de conception nouvelles et innovatrices* pour la gestion durable de la sédimentation des aménagements pompage-turbinage seront définies. En particulier il sera étudié comment les ouvrages d'entrée et de sortie doivent être conçus pour obtenir un champ de turbulence favorables dans la retenue dans le but de réduire le processus de l'alluvionnement des sédiments en suspension.
- *Rapport de thèse et publications scientifiques*

Zusammenfassung und Motivation

Stichwörter : *Pumpspeicheranlagen, Verlandung von Stauseen, Turbulenz, Strömungsfelder in Becken, Trübung, ADP, Prototypmessungen, hydraulische Modellversuche, numerische Modellversuche, Geometrie von Ein- und Auslaufbauwerken*

Die Verlandung von Stauseen ist eines der anspruchsvollsten Probleme des Wasserbaus des 21. Jahrhunderts. Weltweit verlieren künstlich angelegte Staubecken jährlich rund 1 % ihres nutzbaren Speichervolumens. Zusätzlich zu diesen Kapazitätsverlusten können sich Ablagerungen vor wichtigen Elementen wie Einlaufbauwerken oder Grundablässen bilden. So beeinflussen Sedimentationsprozesse in Speichern nicht nur ernsthaft die Zuverlässigkeit und die Lebensdauer von Wasserkraftanlagen, sondern auch die Kontinuität der Energieproduktion und die Sicherheit der Bauwerke. Zudem nutzen hohe Partikelkonzentrationen im Wasser, welches die Turbinen und Pumpen durchläuft, diese Maschinen ab.

Die Stauseen in den Schweizer Alpen weisen eine niedrigere Verlandungsrate von 0.2 % auf und sind folglich nachhaltiger im Bezug auf das verfügbare Speichervolumen. Trotzdem werden die Ablagerungsvorgänge nach 40 bis 60 Betriebsjahren aufgrund von so genannten Trübeströmen zu einer Gefahr. Diese Trübeströme treten vor allem nach starken Regenfällen auf und transportieren, in Form einer Unterwasserlawine, grosse Mengen von Sedimenten in Richtung Staumauer, wo die kompakten Ablagerungen den Grundablass blockieren und dessen sicheren Betrieb gefährden.

Zusätzlich zu ihrer Funktion als Staubecken für Wasserkraftwerke spielen die Speicher häufig eine wesentliche Rolle im Hochwasserschutz eines Einzugsgebietes. Sie stellen ein grosses Zwischenspeichervolumen zur Verfügung und erlauben dadurch, Hochwasserspitzen zu reduzieren und die Bevölkerung und Infrastrukturen unterhalb der Anlage zu schützen. Der Verlust von Speichervolumen durch Verlandung reduziert diese Hochwasserentlastungskapazität. Folglich gefährden die Ablagerungsprozesse nicht nur die Stromproduktion, sondern eine ganze Region unterhalb der Stauseen aufgrund des Verlusts der Rückhaltemöglichkeiten während Hochwasserperioden.

Das Rhonebecken bildet ein sehr gutes Beispiel für ein Einzugsgebiet in der Schweiz, welches durch eine Reihe von Wasserkraftwerken gekennzeichnet ist. Diese Anlagen sind, mit Ihren künstlich angelegten Speichern, ein Teil eines komplexen Hochwasserschutzsystems. Ein Verlust dieser Speichermöglichkeit hätte bei Hochwasser katastrophale Auswirkungen auf das Rhonetal.

Weitere Anwendungsbereiche von Stauseen, beispielsweise die Speicherung von Wasser zur Trinkwasserversorgung oder zu Bewässerungszwecken, sind ebenfalls von Sedimentablagerungen betroffen. So verschärft der Kapazitätsverlust von bestehenden Speicheranlagen durch Sedimentation die zukünftige weltweite Wasserknappheit.

Um die steigende Energienachfrage zu befriedigen werden Pumpspeicheranlagen sowohl in der Schweiz, wie auch weltweit stets wichtiger. Solche Projekte bestehen im Allgemeinen aus einem oberen und unteren Reservoir, zwischen welchen das Wasser turbinert oder gepumpt wird. Die langfristigen Ablagerungsprozesse solcher Speicher unter Einfluss von stetig wechselnden Pump- und Turbiniersequenzen sind im Vergleich zur Sedimentation in herkömmlichen Kraftwerken verhältnismässig unbekannt.

Dieses Forschungsprojekt wird den Einfluss des abwechselnden Pumpspeicherbetriebes auf die Partikelkonzentrationen im System einer Anlage, sowie auf die Strömungsbedingungen und die Trübung in den Staubecken untersuchen. Damit sollen Lösungen zu einem langfristigen und nachhaltigen Sedimentmanagement in Pumpspeicherkraftwerken gefunden werden.

Auf folgende Hauptfragen sollen Antworten gefunden werden: Wie beeinflusst der Pumpspeicherbetrieb die Turbulenz im Becken und die Ablagerung von Feinsedimenten? Wie kann die Turbulenz durch die Geometrie der Ein- und Auslaufbauwerke beeinflusst werden, um das Absetzen feiner Sedimente zu reduzieren?

Im Rahmen einer Doktorarbeit wird das vorliegende Projekt folgende Arbeitsschritte beinhalten:

- Eine *Literaturstudie* zeigt relevante Parameter auf und gibt Forschungsanreize.
- Die Erarbeitung von *theoretischen Grundlagen* erlaubt, die physikalischen Vorgänge der verschiedenen Phänomene zu beschreiben.
- *Messungen im Prototyp* werden über mehrere Monate durchgeführt, um die Partikelkonzentration in den Druckleitungen von einem Pumpspeicherwerk zu analysieren (Trübesonde) und die Strömungsbedingungen vor einem Ein- und Auslaufbauwerk im See zu bestimmen (Geschwindigkeitsmessungen).
- *Hydraulische Modellversuche* in einem einfachen Becken erlauben, den Einfluss diverser Parameter, wie zum Beispiel der Dauer der Pumpspeichersequenzen, des Abflusses oder der Form des Auslaufes, auf die Ablagerungsvorgänge im Speicher zu untersuchen.
- Im *numerischen Modell* werden sowohl die Labormessungen, wie auch der Prototyp simuliert.
- Die *Auswertung der Daten aus Labor- und Prototypmessungen* werden benötigt, um die theoretischen Modelle zu überprüfen und die numerischen Modelle zu eichen.
- Basierend auf dieser Versuchsauswertung erfolgt die *Entwicklung eines theoretischen Modelles*, welches das langfristige Verhalten von Sedimenttransport und Ablagerungsprozessen beschreibt.
- *Neue und innovative Auslegungsregeln* für die nachhaltige Nutzung von Stauseen, welche von Pumpspeicheranlagen genutzt werden, werden vorgeschlagen. Insbesondere wird der Frage nachgegangen, wie die Ein- und Auslaufbauwerke gestaltet werden müssen, damit eine günstige Turbulenz im Stausee erreicht werden kann, welche das Absetzen der Feinsedimente verhindert.
- *Dissertation und Publikationen*

Summary and motivation

Keywords : *Pumped storage hydropower plant, reservoir sedimentation, turbulence, flow fields in reservoirs, turbidity, ADP, prototype measurements, physical modeling, numerical modeling, geometry of intake and outlet structures*

Sedimentation of dam reservoirs is one of the most challenging problems of the XXIst century in hydraulic engineering. On a worldwide scale, dam reservoirs silt up at a rate of about 1 % of their useful storage volume every year. Furthermore, sediments can settle in front of essential elements of hydropower schemes, such as intake structures or outlet works. Thus, sedimentation processes seriously affect not only the reliability and the lifetime of hydropower structures, but also their structural safety. In addition, important sediment concentration in water passing through turbines and pumps produce significant abrasion of these machines.

The mean annual sedimentation rate of the Swiss Alpine reservoirs is around 0.2 % and therefore much lower than the worldwide one. Thus, the Swiss Alpine reservoirs are more sustainable from the point of view of storage volume. Nevertheless, after 40 to 60 years of operation the sedimentation process becomes a real threat due to the turbidity currents. These turbidity currents occur especially during high precipitation and they transport, like an underwater avalanche, big amounts of sediments down to the dam, where the concentrated deposits block the outlet works and affect their safe operation.

In addition to their purpose of water storage for hydropower production, dam reservoirs are often an important element for flood protection strategies. They provide an intermediate storage and permit to reduce flood peaks and therefore to protect downstream population and infrastructures. Storage loss reduces this flood protection capacity and consequently endangers not only the reliability of the energy production system, but an entire region downstream of the reservoirs due to reduced flood protection.

In Switzerland, the Rhone River basin is a perfect example for a region characterized by a series of hydropower schemes along the main stream and its tributaries. With their artificial reservoirs, the power plants play an important role in a complex flood protection system. The loss of such storage would result in catastrophic affects on the whole Rhone Valley in case of floods.

Other fields of exploitation of reservoirs, namely storage of drinking and irrigation water, are concerned by sedimentation processes which lead to reduced capacity. Sedimentation thus aggravates future worldwide water scarcity by reducing the storage from already developed supplies.

To satisfy a continuously increasing energy demand, pumped storage hydropower projects become more and more relevant on a worldwide scale. Such projects generally consist of an upper and a lower reservoir in order to pump and/or turbine water between them. Long-term sedimentation issues of such reservoirs due to fast and repeated change of operations between generating and pumping modes are relatively unknown compared to traditional hydropower schemes.

Studying sedimentation issues such as concentrations throughout the whole scheme and influences of pumping/generation modes on flow fields and turbidity in the reservoirs, the proposed PhD project will examine solutions to guarantee long-term sustainability of pumped storage hydropower plants.

The following main questions are to be answered: how does the pumping and generating activity affect turbulence in the reservoir and sedimentation process by fine sediments? How could be influenced the turbulence by the geometry of intakes and outlets in order to reduce settling down the fine sediments?

The thesis will be structured in the following main subtasks:

- *A literature study* will point out the main parameters of interest of the problem.
- *Theoretical basis* will be outlined based with the main goal to describe the main physical processes behind the different phenomena in question.
- *Prototype measurements* will be performed on an existing pumped storage hydropower project. At the pressurized shaft/tunnel, sediment concentration during pumping and generating will be measured and measurements of flow velocity near the intake/outlet structures will be carried out.
- *Physical scaled modeling* will concentrate on particle exchange rates and settling rates in simple reservoir geometry. Influences of the duration of pumping and generating mode, the discharge and the shape of the outlet jet will be analyzed.
- *Analysis of model and prototype measurements* will be used to verify theoretical developments and to calibrate numerical models.
- *Numerical modeling* will allow to simulate both prototype and laboratory tests.
- The *development of theoretical model* will be based on the analysis of the test results. It will describe long-term behaviour of sediment transport and deposition in a pumped storage hydropower scheme.
- *New and innovative design guidelines* for sediment sustainability of pumped storage power plants submitted to severe hydraulic transients due to market constraints will be defined. In particular, the question of how to design intake and outlet structures in order to obtain favorable turbulences in the reservoir in order to reduce settling down of the suspended sediments will be studied.
- *Dissertation report and scientific publications*

1 RECALL

Modern power plants are expected to operate at variable speed in a wide range of output power with improved efficiency, flexibility and safety. Therefore, the pumped storage power generation has gained in importance since it allows storing and generating electricity to supply high peak demands by moving water back and forth between reservoirs at different elevations.

A project consortium called *HydroNet – Modern Methodologies for Design, Manufacturing and Operation of pumped storage power plants* has been built aiming to converge towards a consistent standardized methodology for design, manufacturing, operation, monitoring and control of pumped storage power plants in order to give new impulsions in the hydropower technology and maintain the strong position of Switzerland in peak hydropower production as well as in the exportation of high valued technology. *HydroNet* is funded by the *Competence Center Energy and Mobility* (CCEM) and *swiss electric research*.

The *Laboratory of Hydraulic Constructions* (LCH), as one of the partners of the *HydroNet* consortium, contributes with two PhD thesis in the civil engineering field. The present project consists in the description and the control of sedimentation issues in the reservoirs of pumped storage plants (Figure 1.1). Such storages are submitted to frequent exchanges of water during pumping and generating modes. The influence of alternating pumped storage activity and the geometry of the basin and the intake/outlet structures on the sedimentation processes are to be examined in prototype measurements, as well as in physical and numerical modeling.

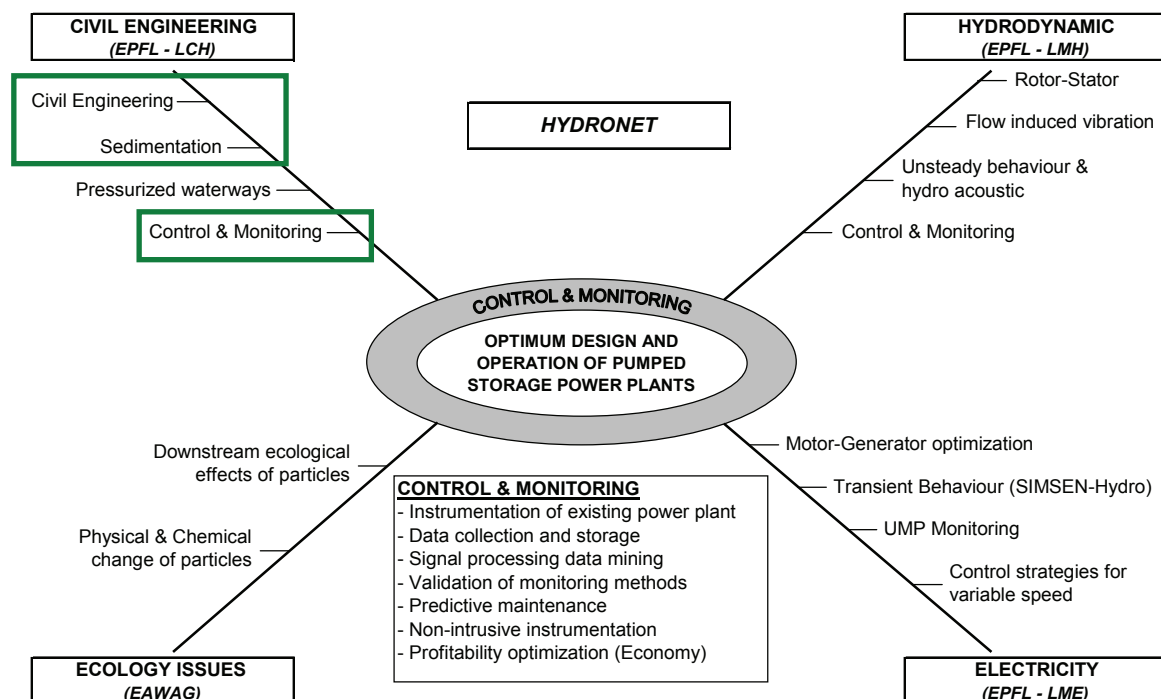


Figure 1.1 : *HydroNet* project consortium partners and main objectives

2 STATE OF THE ART AND CONTRIBUTION OF THE PHD PROJECT

2.1 State of the art

The state of the art in the field of reservoir sedimentation has been established based on a literature review (refer to references given in the report entitled "Demande de subside" submitted to OFEN by the end of 2008).

Sedimentation issues in traditional hydropower plants are quite well described, sediment transport theory and the main measures against reservoir sedimentation are developed. However, not all of those measures are sustainable, efficient and affordable. There is a strong need to limit sediment accumulation in reservoirs in order to ensure their sustainable use. Measures can be taken in the catchment area, in the reservoir or at the dam. A sustainable sediment strategy should also include the downstream reaches; therefore monitoring data should also include downstream impacts as well as sedimentation processes in the reservoir.

An integrated approach to sediment management that includes all feasible strategies is required to balance the sediment budget across reservoirs. The complete sediment problem and application of the range of sediment strategies as appropriate to the site has to be analyzed. The dam and other hydraulic structures have to be operated in a manner consistent with the preservation of sustainable long-term benefits.

The fields of study concerning turbulence phenomena, behaviour of out-flowing jets or large scale vorticity are under investigation by the PhD candidate.

2.2 Contribution of PhD project

In contrary to traditional hydropower plants, the link between sedimentation problems and the more recent pumped storage hydropower projects remains poorly treated.

Due to pumped storage operations suspended sediments are transferred from one reservoir of the system to the other. These sequences can create additional input of sediment and even artificial reservoirs with any natural sediment supply can fill up and suffer from storage losses. As the pumped storage activity is growing, flow conditions in the reservoir are alternating from one state to another during relatively short laps of time.

What are the effects of such changes between pumping and generating mode on the flow fields in reservoirs and consequently the behaviour of sediments? How does the pumping/generating activity affect turbulence in the reservoir and sedimentation process by fine sediments? How could be influenced the turbulence by the geometry of intakes and outlets in order to reduce settling down the fine sediments?

Furthermore, how do parameters like discharge or duration of alternating pumping and generating mode affect the sedimentation processes in a reservoir? Can we predict sedimentation processes by controlling concentrations within the pipes relying two lakes? Are there conceptual solutions during the operation time of a pumped storage plant which allow to use the alternating pumping and generating activities in order to positively influence the reservoir sustainability? These are some of the questions which are considered in the framework of this PhD thesis which will end to some practical applications, mainly:

- **New design guidelines** for sediment sustainability of pumped storage power plants submitted to severe hydraulic transients due to market constraints.
- **Development of new theoretical model** based on the analysis of the test results describing the long-term behaviour of sediment transport and deposition in a pumped storage hydropower scheme.
- Relevant **monitoring methods** in order to predict sediment behaviour and concentrations throughout the whole scheme and for different hydraulic functions of the system.

3 RESEARCH PLAN AND MAIN OBJECTIVES (OVERVIEW)

The research plan of this project has been submitted to the Director of the "Doctoral Program in Environment" by November 2008. It was accepted by the dean of the doctoral school of the EPFL in early January 2009. The main objectives and an overview of the methodology followed during the PhD thesis is given hereafter.

The present research aims to develop solutions guaranteeing sustainable sediment management in pumped storage hydropower plants by answering the following key question: how can we use the turbulence introduced by the pumping and generating activity for hindering the suspended sediments to be settled?

The work will be structured in the following main subtasks :

- **Literature** concerning reservoir sedimentation, sediment transfer through pressurized pipes and tunnels and flow patterns close to water intakes and power station outlet channels is investigated.
- **Theoretical basis** may include theory on sedimentation of reservoirs, especially those areas close to water intakes and turbine outlet channels, theory on transport capacity in pressurized systems, etc. The goal of this stage is to describe the main physical processes behind the different phenomena in question.
- **Prototype measurements** have been performed on the pumped storage hydropower plant Grimsel II, Switzerland. Flow velocities in front of the intake/outlet structure in Lake Grimsel have been recorded during three weeks and at three different locations near the intake. The pressurized shaft will be equipped with a turbidity measurement device in order to acquire prototype-scaled measurements of sediment concentration during pumping and generating, as a function of discharge, head, or hydraulic transients.
- **Physical scaled modeling** which consists of a simple reservoir where the influence of intake/outlet position, duration of pumping and generating mode, the discharge and the shape of the outlet jet can be analyzed. The turbulence due to pumping and generating mode will be described as a function of inlet/outlet geometry.
- **Analysis of model and prototype measurements** that will be used to verify theoretical developments and to calibrate numerical models. Detailed analysis of test results and a comparison with theoretical developments will allow the determination of adequacy and efficiency of the theoretical model.
- **Numerical modeling** will allow to simulate both prototype and laboratory tests.
- **Development of theoretical model** based on the analysis of the test results describing the long-term behaviour of sediment transport and deposition in a pumped storage hydropower scheme.
- **New and innovative design guidelines** for sediment sustainability of pumped storage power plants submitted to severe hydraulic transients due to market constraints will be defined. We aim to describe the influence on turbulence by intake and outlet geometry for a certain reservoir geometry.
- **Dissertation report and scientific publications**

4 RESULTS: FLOW FIELDS IN FRONT OF GRIMSEL II INTAKE/OUTLET

Prototype measurements and monitoring are an important part of the CCEM *HydroNet* project. In collaboration with the *Kraftwerke Oberhasli AG (KWO)* such data recording is carried out at Grimsel II pumped storage plant situated in the Central Alps of Switzerland (Figure 4.1). The underground powerhouse of this pumped storage scheme exploits water of the upper reservoir Lake Oberaar (2303 m a.s.l.) and the lower reservoir Lake Grimsel (1909 m a.s.l.).

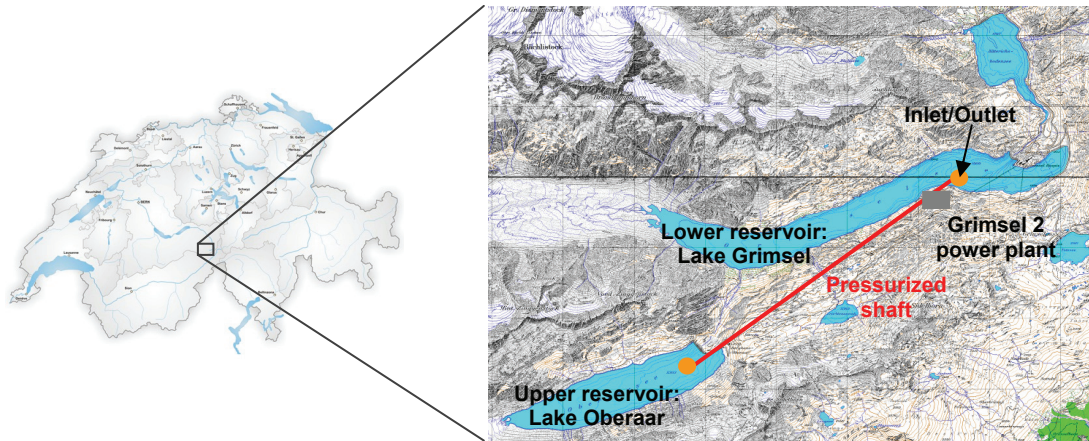


Figure 4.1 : Situation of the pumped storage scheme Grimsel II

With the objective of recording flow velocities in front of the intake/outlet structure of Lake Grimsel, prototype measurements were carried out in autumn 2008. Such measurements allow to observe eventual influences of the alternating pumping and generating modes between the upper and the lower reservoirs on the flow, as well as the influence of the geometry of the intake/outlet structure.

4.1 Description of prototype

The Lake Grimsel intake/outlet is characterized by a tulip-shaped structure embedded in a recess of the lake topography with its foundation platform situated at a level of 1942 m a.s.l. A vertical pressure conduit of 7.5 m in diameter ejects water into a lateral open cylinder equipped with ten guiding walls which distribute the out-flowing discharge equally on the ten side openings of the tulip (Figure 4.2).

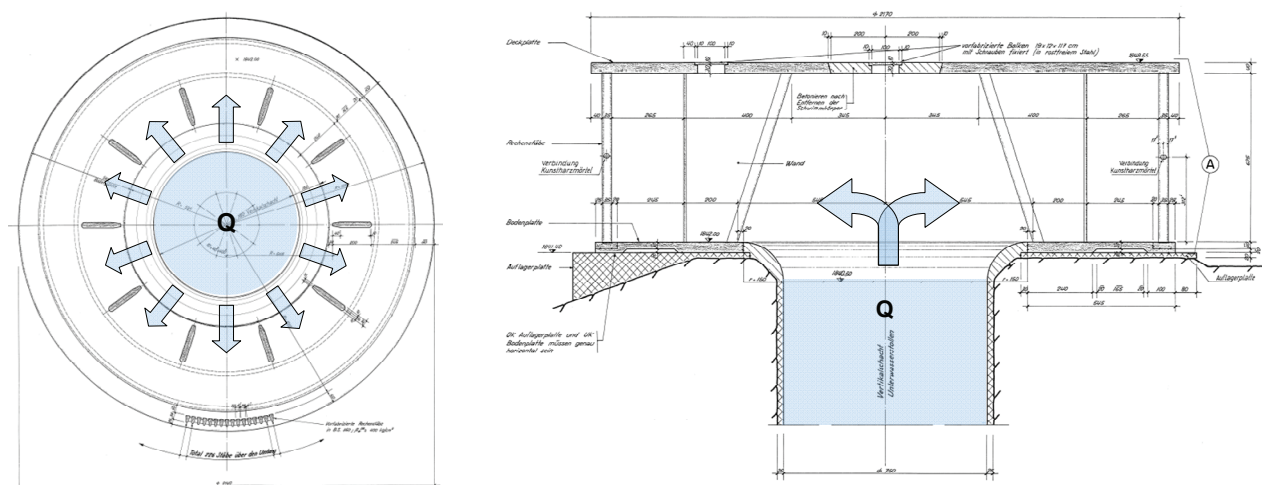


Figure 4.2 : Schematic plan view (left) and cross section (right) of the intake/outlet structure of the Grimsel II plant

To the West, the intake/outlet is surrounded by relatively steep rock slopes and to the East, in the direction of dam Spittellamm, the reservoir bottom is flat and situated almost 10 m below the intake level. These conditions and the implementation criteria for the ADP devices, lead to the following measurement configuration (Figure 4.3):

- The alignment of the three profilers in the axis of one of the ten outlet sectors allows to recollect data in a probable main direction of the out-flowing jet.
- The implementation of the instruments in a minimal distance of 25 m from the intake/outlet structure and 5 m below the horizontal intake axis guarantees a stable position of the profiler and limits interference between the emitted beam and the concrete civil engineering works.
- The minimal distance of 50 m between two profilers limits sidelobe interference between the instruments.

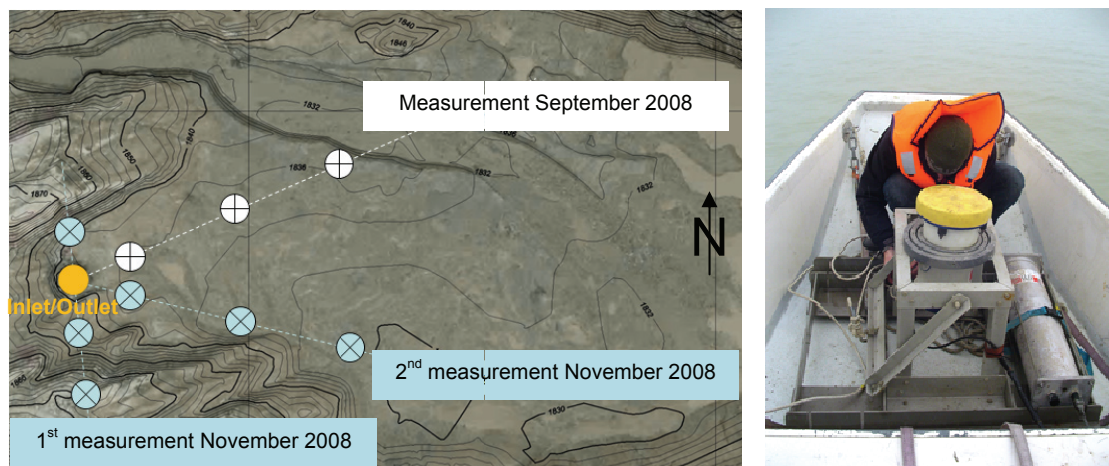


Figure 4.3 : Positions of the ADP-devices (left); preparation of an ADP-instrument (right)

4.2 Measuring device

The Acoustic Doppler Profiler devices (ADP, Figure 4.3, right) that have been implemented on the Grimsel reservoir bottom are able to record flow velocities over a period of several weeks. The instrument emits an acoustic signal which is reflected back to the profiler by the particles in the water. Using the physical principle of Doppler shift, the ADP calculates the velocity of the flow passing above the profiler. The correct position of the ADPs was determined by GPS from a boat and controlled by the measurement of the water depth at the lowering point by manual echo sounder. The moment the device is connected to the battery, it starts recording pressure, temperature and East-North-velocity components. When the ADP reaches the reservoir bottom, a system of a two plane articulation allows to orientate the measuring device in an exact upward-looking position. Two angles related to vertical and horizontal positions are recorded by the device, in order to know at what moment this position stabilizes. A constant value of these two parameters indicates the beginning of a reliable recording period.

4.3 Analysis of velocity data

During the first measurement campaign in September 2008, the measurement period was of four weekdays. In November 2008, velocity profiles have been recorded also during weekends, resulting in measurement periods of six (1st campaign) and eight days (2nd campaign). Consequently, characteristic pumped storage cycles could be gathered, including short term (generating mode during the day, pumping at night) and midterm sequences (successive reservoir drawdown along the week, pumping activity during weekends). During the measuring period, KWO provided all relevant data related to the Grimsel II plant, namely discharge and Lake Grimsel level in order to control the pressure recording of the ADPs. The Doppler Profilers record velocity

components on every meter of the water column, in a time interval of 5 minutes. Thus, time dependent, three-dimensional velocity profiles can be generated in the reservoir and give information about flow conditions in front of the intake/outlet structure.

Figure 4.4 shows two typical flow fields observed during pumping and generating activity in September 2008. In these cases, the flow direction corresponds to the expected main direction of the in- and out-flowing jet.

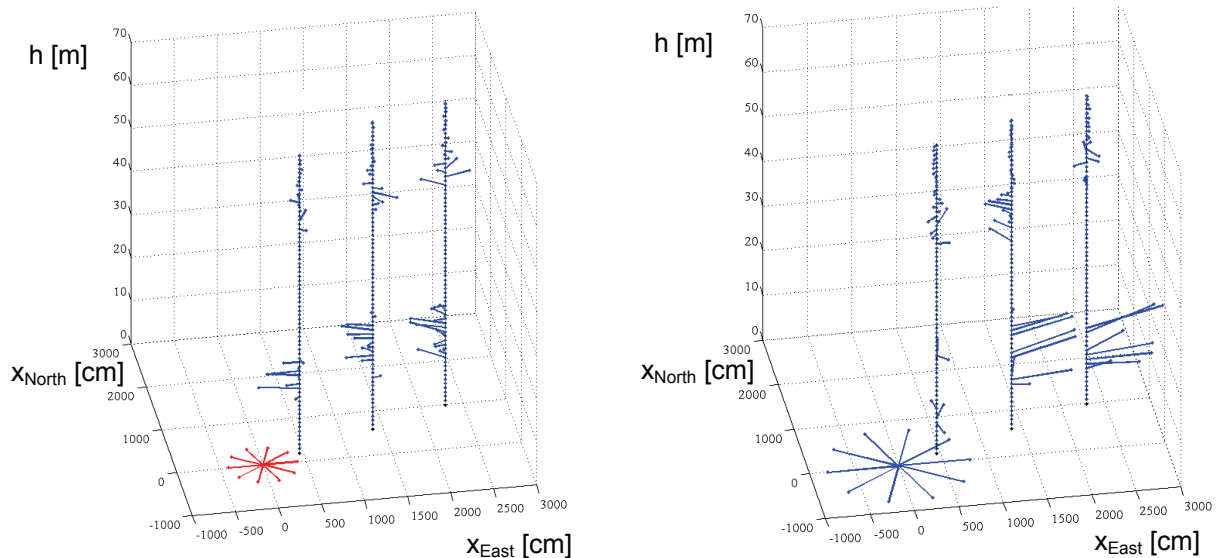


Figure 4.4 : Velocity profiles in front of the intake/outlet of the Grimsel II plant, September 2008 campaign; pumping mode (left), generating mode (outflowing discharge, right)

However, there are periods, where the orientation of the velocity vectors and the expected main direction of the jet do not correspond clearly. It has been observed, that the water masses are in movement even though there is no pumped storage activity. At first view, no preferential orientation of the flow direction can be seen. In addition, a second main direction of the velocity vectors (north-northeast) appears during generating and pumping mode, which could point out the influence of the lake topography.

In order to determine whether the recorded velocities are directly correlated to the pumped storage activity, power spectra of the data series and the discharge data have been compared. This approach, based on the Fast Fourier Transform (FFT) method, is often used in signal processing and allows finding the main frequencies of a data series (Lyons 2004). Figure 4.5 reveals that the main frequencies of the two signals (peaks) are close to each other and therefore foreshadow a direct link between the recorded velocities and the pumped storage discharge.

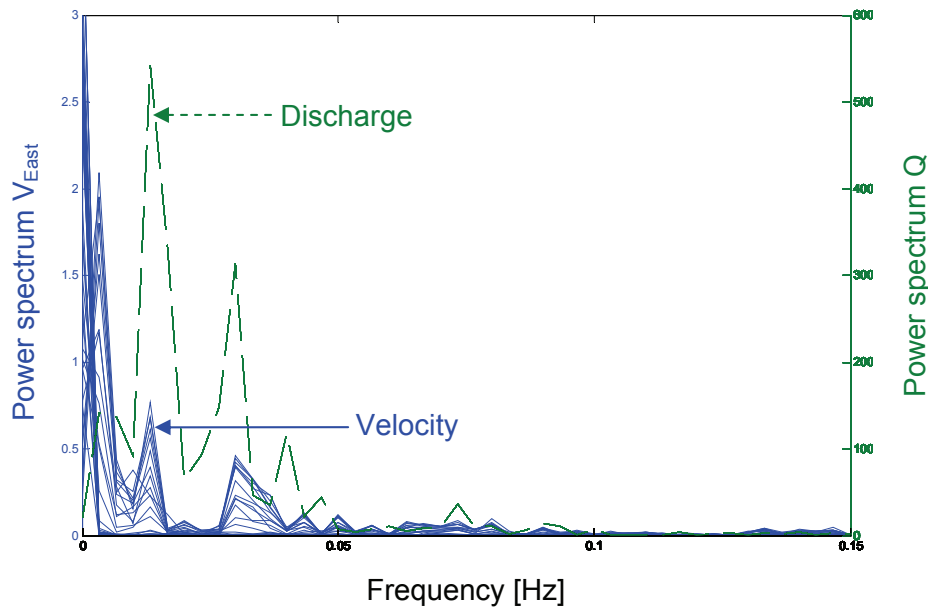


Figure 4.5 : Comparison of power spectra of velocity and discharge data, 1st measurement November 2008, profiler 1 (to the north of the intake/outlet, Figure 4.3 left)

4.4 Next steps of data evaluation

The processes in Lake Grimsel are to be studied in more detail in order to confirm the first observations and to understand the ongoing flow phenomena. Therefore a numerical model will be created, with the simulation of the Grimsel II intake/outlet structure, but also all other hydraulic works which are supposed to interact with the flow fields in the lake. Additional signal processing analysis is carried out at the moment in order to detect or reject correlations between the flow velocities and the in- and out-flowing jet.

Oehy (2002) constructed a numerical model for the simulation of turbidity currents in Lake Grimsel. This model can be adapted and updated with recent topographical data of the reservoir, provided by KWO and Flotron AG. ANSYS CFX 11, a CFD package including a solver based on finite volume method and pre- and post processing tools, will then be used for the calculation of flow fields.

In the framework of a Master of Advanced Studies (MAS) project, Mr. Milahd Daneshvari has established a numerical model of Lake Grimsel in Flow3D®, a software allowing simulations of three-dimensional flow conditions, multiphase flow and large eddy simulation. The model will be completed according to the needs of the PhD work and simulations will be run in order to confirm prototype records and CFX calculation.

By the end of 2009, a first referred publication is aimed to be submitted, including the results and conclusions of the prototype measurements at Lake Grimsel.

5 OUTLOOK

5.1 Turbidity monitoring at Grimsel II power plant

The installation of a continuous monitoring system on an existing pumped storage plant has concretized with in situ visits and several project meetings with KWO collaborators. In order to estimate the suspended load transported between the two reservoirs and to observe the influence of the pumped storage activity, turbidity measurements at the pressurized shaft of the Grimsel II plant are planned. Bühler (2001 and 2002) carried out turbidity measurements at Grimsel I and detected the arrival of turbidity currents travelling down the Lake Grimsel from its upstream part to the dam, where the intake of the Grimsel I scheme is situated. In 2004/2005, turbidity recordings have been carried out by Bühler at Grimsel II. The devices and procedures applied in the present PhD work could be similar to what has been effectuated during these former studies. Nevertheless, the possibility of putting a turbidity measuring device directly on the pressurized system in collaboration with other PhD students installing monitoring devices (refer to "Rapport d'avancement 2009" submitted to OFEN by Fadi Hachem) is considered.

5.2 Physical scaled model

Physical modeling will concentrate on particle exchange rates and settling rates in a simple reservoir geometry (Figure 5.1). The simplified experimental configuration is chosen in order to understand and describe turbulence introduced by pumping or turbining mode.

In fall or winter 2009 reconstruction work will be effectuated on an existing hydraulic model which has been designed for testing the impact of rotational jets on sedimentation in reservoirs (Jenzer 2006). Actually, the experimental setup is still being used for this PhD project going on at LCH. First tests on the adapted physical model are expected to take place in early 2010.

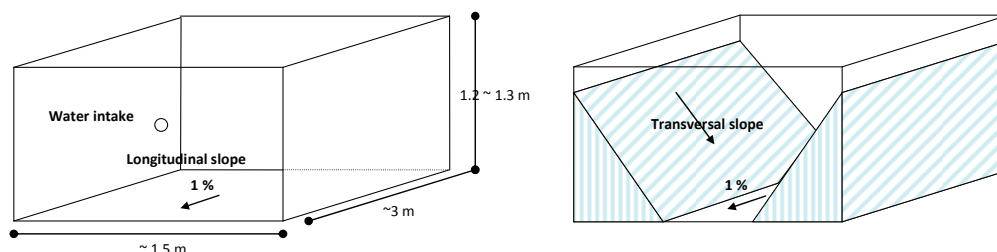


Figure 5.1 : Simplified reservoir geometries to be tested on the physical scaled model; rectangular shape (left), trapezoidal basin (right)

The physical scaled model aims to test the influence of the intake/outlet position and to change the basin geometry with simple means. The turbulence and the characteristics of sedimentation behaviour will then be linked to other parameters susceptible to affect these processes, like the duration of alternating pumping and generating modes, the in- and out-flowing discharge and the geometry of inlet/outlet structures. The material used to simulate the sediments in the physical experiments will consist of walnut shell powder. This material has been used at the LCH during former studies in the research field of sedimentation in shallow reservoirs (Kantoush 2008) and has been proved to be very well adapted to this problematic.

5.3 Numerical models

As it has been mentioned before, numerical simulation of the lower reservoir (Lake Grimsel) of the Grimsel II power plant is about to start in order to compare the field measurements to results obtained by numerical flow calculation.

Both ANSYS and Flow3D® could be used likewise to simulate the experimental setup. This allows testing and estimating the influence of changes in reservoir or intake/outlet geometry, discharge and duration of pumped storage cycles previously to hydraulic modeling.

5.4 Project timetable schedule

The time schedule of the different project phases that will spread over the next two to three years can be given as follows:

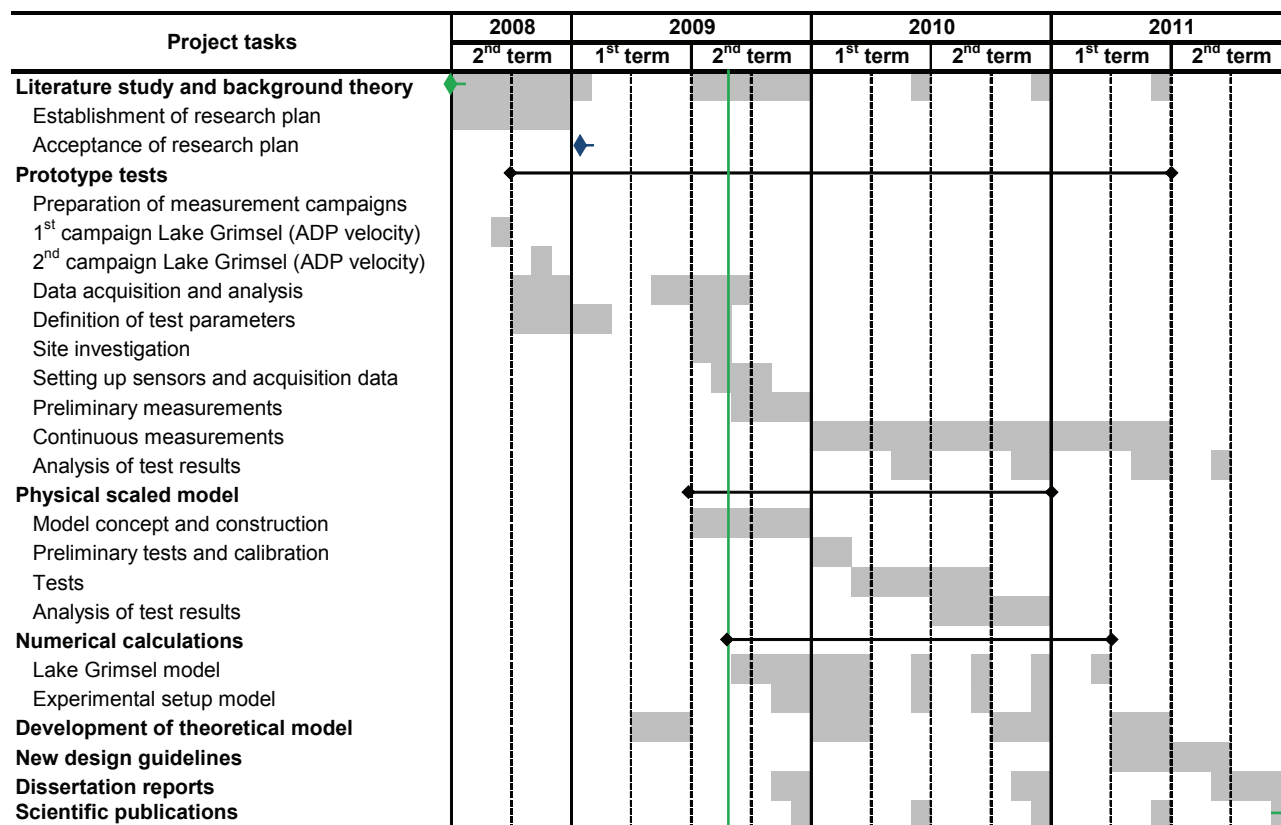


Figure 5.2 : PhD project schedule

5.5 Follow-up of the project

Beside the follow-up by the director of this research work, Prof. Anton Schleiss, the PhD thesis is closely supervised by the senior research associates, Dr Giovanni De Cesare and Dr Jean-Louis Boillat. Accordingly, progress meetings are planned regularly every six weeks, with the three afore mentioned people.

Twice a year, the progress state of the project is presented in the framework of internal conferences at LCH (the first presentation has been given on the 28th of November 2008, the second will take place on the 25th of September 2009). Two intermediate reports at the end of the first and the second year will be prepared.

The multidisciplinary CCEM-consortium organizes periodical sessions (two per year), where information is shared, progress is discussed and common future work is defined. By now, three technical meetings have taken place.

Knowledge transfer to practionners will be guaranteed by the organization of workshops.

6 REFERENCES

- Bühler, J., Siegenthaler, C. (2003). *Veränderungen im Ökosystem Brienzersee. Teilprojekt 3.2: Korngrößenverteilung, Zusammensetzung und Transport von Schwebstoffen im Grimselgebiet*. Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern (GSA), Gewässer- und Bodenschutzlabor (GBL).
- Bühler, S. B., Bühler, J. (2001). *Werden durchlaufende Sedimentpartikel in hydraulischen Maschinen fragmentiert?* "wasser, energie, luft", 93. Jahrgang, 2001, Heft 11/12.
- Jenzer, J. (2006). *Measures against reservoir sedimentation*. Thesis research plan, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Doctoral program in environment, Laboratory of Hydraulic Constructions (LCH), EPFL-ENAC-ICARE, Lausanne, Switzerland.
- Kantoush, S. A. (2008). *Experimental Study on the Influence of the Geometry of Shallow Reservoirs on Flow Patterns and Sedimentation by Suspended Sediments*. Diss. ETH Lausanne Nr. 4048, EPFL, Lausanne.
- Lyons, R. G. (2004). *Understanding digital signal processing*. 2nd Edition, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Müller, M., Schleiss, A. (2009). *Monitoring und Vorhersage der Sedimentation in Pumpspeicherwerken*. 11. Treffen junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an Wasserbauinstituten, 26.-29. August 2009, Lausanne, Schweiz. Communication No 40 du Laboratoire de Constructions Hydrauliques, EPFL, S. 153-158.
- Oehy, C. (2002). *Effects of obstacles and jets on reservoir sedimentation due to turbidity currents*. Diss. ETH Lausanne Nr. 2684, EPFL, Lausanne.

7 APPENDIX

- A.1 Artikel zum 11. JUWI-Treffen, 26. – 29. August 2009: „Monitoring und Vorhersage der Sedimentation in Pumpspeicherwerken“

A.1

Artikel zum 11. JUWI-Treffen, 26. – 29. August 2009:

„Monitoring und Vorhersage der Sedimentation in Pumpspeicherwerken“

11. Treffen junger WissenschaftlerInnen an Wasserbauinstituten

Monitoring und Vorhersage der Sedimentation in Pumpspeicherwerken

Michael Müller und Anton Schleiss

Zusammenfassung

Wie die Speicher herkömmlicher Kraftwerke sind die Staubecken von Pumpspeicheranlagen, welche durch die steigende Energienachfrage in der Schweiz und weltweit stets an Bedeutung gewinnen, von Verlandungsproblemen betroffen. Doch wie werden die Turbulenz und die Ablagerung von Feinsedimenten in solchen Speichern durch die stetig wechselnden Pump- und Turbiniersequenzen beeinträchtigt? Wie kann die Turbulenz durch die Position sowie die Geometrie der Ein- und Auslaufbauwerke beeinflusst werden, um das Absetzen von Feinsedimenten zu reduzieren? Diese Fragen werden in einem Forschungsprojekt untersucht. Ziele, Methodik und erste Resultate von Prototypmessungen sind im vorliegenden Beitrag beschrieben.

Abstract

To satisfy a continuously increasing energy demand, pumped storage hydropower projects become more and more relevant on a worldwide scale. As in traditional hydropower plants, reservoirs are often affected by sedimentation. Long-term sedimentation issues due to fast and repeated change of operations between generating and pumping modes are relatively unknown compared to traditional hydropower schemes. How does the pumping and generating activity affect turbulence in the reservoir and sedimentation process by fine sediments? How could the turbulence be influenced by the geometry of intakes and outlets in order to reduce settling down the fine sediments? These main questions are to be examined in a PhD project, whose objectives, methodology and results of first prototype measurements are described in the present paper.

1. Einleitung

Die Verlandung von Stauseen ist eines der anspruchsvollsten Probleme des Wasserbaus des 21. Jahrhunderts. Die daraus entstehenden Kapazitätsverluste und die Bildung von Ablagerungen vor Einlaufbauwerken oder Grundablässen gefährden die Zuverlässigkeit und die Lebensdauer der Wasserkraftanlagen sowie die Kontinuität der Energieproduktion und die Sicherheit der Bauwerke.

Um die steigende Energienachfrage zu befriedigen werden Pumpspeicheranlagen sowohl in der Schweiz, wie auch weltweit stets wichtiger. Solche Projekte bestehen im Allgemeinen aus einem oberen und unteren Reservoir, zwischen welchen das Wasser turbiniert oder gepumpt wird. Die langfristigen Ablagerungsprozesse in den Speichern

unter Einfluss von stetig wechselnden Pump- und Turbiniersequenzen sind im Vergleich zur Sedimentation in herkömmlichen Kraftwerken verhältnismäßig unbekannt.

Im Rahmen des Projekts *HydroNet – a standardised methodology for pumped storage power plants* forschen schweizweit sieben Institute in den Bereichen Hydrodynamik, Elektronik, Hydraulik, Umwelt und Datentransfer, um Lösungsansätze für die Überwachung und die Vorhersage relevanter Phänomene in Pumpspeicherkraftwerken zu finden. Das *Laboratoire de Constructions Hydrauliques* (LCH) der *Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne* (EPFL) beteiligt sich mit einer Forschungsarbeit, die sich mit der Sedimentation in den Speichern solcher Anlagen, insbesondere dem Einfluss des Pumpspeicherbetriebs, sowie der Position und der Geometrie des Ein-/Auslaufbauwerkes auf die Turbulenz im Becken beschäftigt.

2. Ziele und Vorgehen

Um Lösungen für eine nachhaltige Sedimentbewirtschaftung in Pumpspeicherkraftwerken zu entwickeln, soll im Verlauf der vorgestellten Dissertation folgende Schlüsselfrage beantwortet werden: Wie können die durch den Pumpspeicherbetrieb hervorgerufenen Turbulenzen genutzt werden, um das Absetzen von Feinsedimenten zu verhindern?

Basierend auf einer Literaturstudie, welche die Bereiche Turbulenz, Sedimentation von Stauseen, Sedimenttransport in Druckleitungen, und Strömungsfelder vor Fassungen behandelt, soll eine theoretische Grundlage ausgearbeitet werden, um die wichtigsten physikalischen Prozesse hinter den relevanten Phänomenen zu beschreiben.

Auf einer existierenden Kraftwerksanlage werden Prototypmessungen durchgeführt. Messinstrumente und Wasserentnahmen am Triebwasserweg ermöglichen eine Analyse der Sedimentkonzentration in Funktion von Durchfluss, Fallhöhe, Geschwindigkeitsmessungen und somit eine Quantifizierung des Feststofftransports zwischen den beiden Becken. Da die sedimentologischen Phänomene eng mit den Strömungsbedingungen im See zusammenhängen, werden im Bereich der Wasserfassungen vertikale Geschwindigkeitsprofile studiert.

In hydraulischen Modellversuchen werden Sedimentbilanzen sowie Ablagerungsprozesse in einfachen Beckengeometrien untersucht. Dabei wird der Einfluss der Dauer des Pumpens resp. Turbinierens, der umgewälzten Wassermenge sowie der Position und der Form der Ein-/Auslaufbauwerke analysiert.

Die numerische Simulation der in Laborversuchen getesteten Geometrien und des Prototyps dient zur Bestätigung der beobachteten Vorgänge in Prototyp und Versuchsbecken. Dazu werden ANSYS CFX11, sowie Flow3D[®] verwendet.

3. Resultate: Strömungsfelder vor dem Ein-/Auslaufbauwerk Grimselsee

Messungen im Prototyp sowie die Entwicklung von Methoden zum Monitoring und der Vorhersage der verschiedenen Phänomene sind ein wichtiger Bestandteil des *HydroNet*-Projekts. Unter Mithilfe der *Kraftwerke Oberhasli AG* (KWO) werden solche Analysen am Pumpspeicherwerk Grimsel 2 im Berner Oberland, Schweiz, durchgeführt (Abb. 1). Dieses unterirdisch angelegte Kraftwerk wälzt die Wassermassen zwischen dem Grimselsee (1909 m ü.M.) und dem Oberarsee (2303 m ü.M.) um.

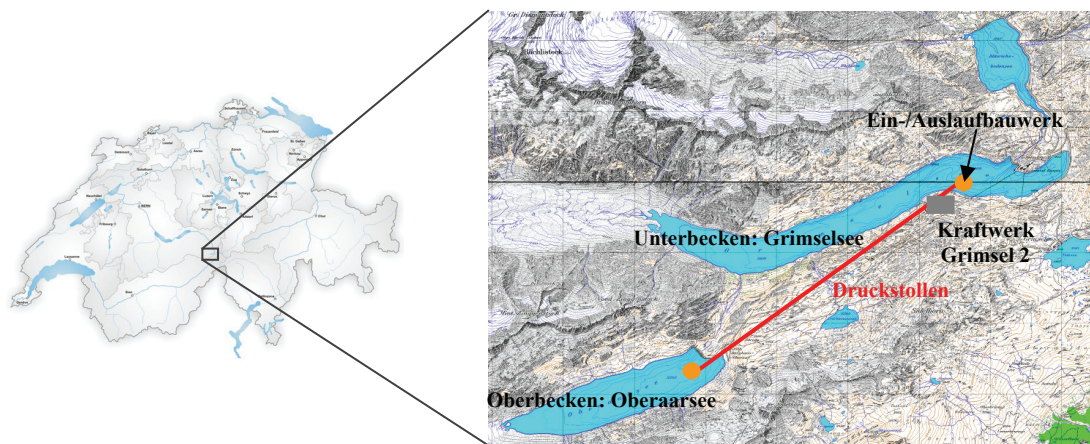


Abbildung 1: Situationsplan Pumpspeicherkraftwerk Grimsel 2

Mit dem Ziel, Geschwindigkeiten vor dem Ein-/Auslaufbauwerk im Grimselsee zu messen, wurden im Herbst 2008 erste Prototypmessungen durchgeführt. Diese Aufzeichnungen ermöglichen, die Auswirkungen des alternierenden Pump- und Turbinierbetriebs auf die Strömungseigenschaften im Becken, sowie den Einfluss einer spezifischen Geometrie des Auslaufbauwerkes zu beobachten.

3.1 Beschreibung des Prototyps

Das Ein-/Auslaufbauwerk im Grimselsee ist zylinderförmig mit einem Durchmesser von 21.70 m auf einer Plattform in einer Nische der Seetopographie auf 1942 m ü.M. eingebettet ist. Das Turbinenwasser gelangt durch einen senkrecht nach oben gerichteten Stollen in den Zylinder und strömt radial durch zehn seitliche Öffnungen aus, welche durch Leitwände getrennt sind (Abb. 2).

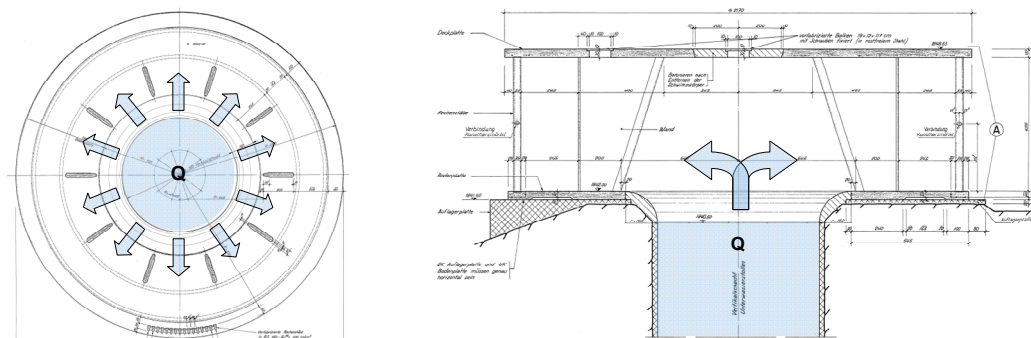


Abbildung 2: Grundriss und Aufriss des Ein-/Auslaufbauwerkes im Grimselsee

Westlich ist das Bauwerk von relativ steilen Felswänden umgeben, im Osten, in Richtung der Talsperre Spittellamm, ist der Seeboden flach und liegt rund 10 m unter der Fassung. Diese Eigenschaften sowie die Anwendungskriterien der Messinstrumente (Abschnitt 3.2), führen zu folgenden Messkonfigurationen (Abb. 3 links):

- Die Ausrichtung der drei Messsonden in der Achse eines Zylindersektors erlaubt das Erfassen der vermuteten Hauptrichtung des ausfließenden Wasserstrahls.
- Die Platzierung der Sonden in mindestens 25 m Entfernung zum Bauwerk sowie 5 m unterhalb der Auslaufplattform garantiert eine stabile Position der

Messinstrumente und limitiert die Interferenzen zwischen dem ausgesendeten Signal und dem Bauwerk.

- Der Abstand zwischen den jeweiligen Messgeräten von mindestens 50 m limitiert die seitliche Interferenzen zwischen zwei Sonden.

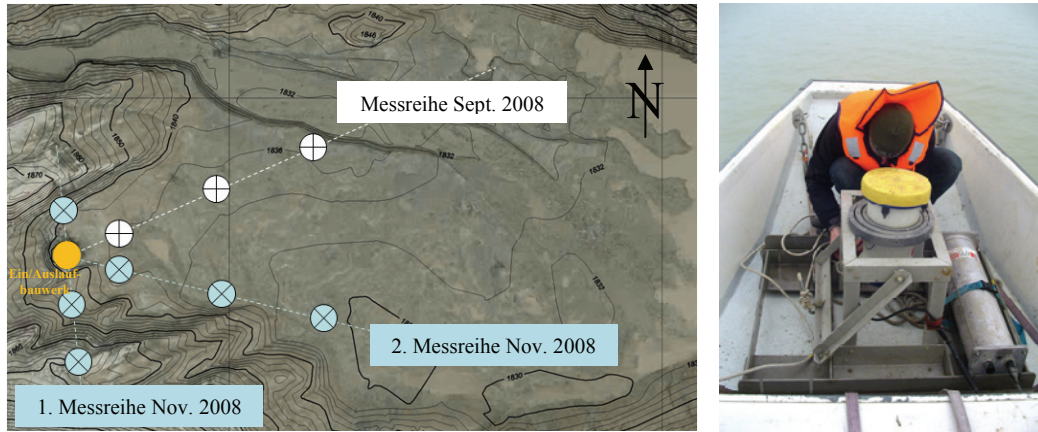


Abbildung 3: Messpunkte vor dem Ein-/Auslaufbauwerk im Grimselsee (links),
Vorbereitung der ADP-Sonde (rechts)

3.2 Messeinrichtung

Die auf dem Seegrund platzierte Sonden, sog. „Acoustic Doppler Profiler“ (ADP), sind in der Lage, die Strömungsgeschwindigkeiten über mehrere Wochen aufzuzeichnen. Das Gerät sendet ein akkustisches Signal aus, welches von Partikeln im Wasser zur Sonde zurückreflektiert wird, und errechnet die Geschwindigkeiten der Wassermassen mit Hilfe des physikalischen Grundsatzes der Dopplerverschiebung. Der Standort der Sonden wurde per GPS von einem Boot aus bestimmt und durch eine Messung der Wassertiefe mit einem einfachen Echo-Sounder kontrolliert. Im Moment des Absenkens wird der Akku ans Gerät angeschlossen, was die Aufzeichnung von Druck, Temperatur und Nord- resp. Ostkomponenten der Strömungsgeschwindigkeit auslöst. Erreicht die Sonde den Grund, erlaubt eine doppelachsige Aufhängung die vertikale Ausrichtung der Messoberfläche. Das Gerät speichert diese Bewegungen in Form zweier Winkel, welche die horizontale und vertikale Verschiebung im Bezug auf die Waagrechte angeben. Sind diese beiden Parameter konstant, befindet sich das Messgerät in einer stabilen Lage und die Aufzeichnungen sind zuverlässig. Abbildung 3 (rechts) zeigt eine der verwendeten ADP-Sonden.

3.3 Auswertung der Geschwindigkeitsdaten

Während der ersten Feldkampagne im September 2008 betrug die Dauer der Geschwindigkeitsmessungen fünf Wochentage. Im November 2008 wurden die Profile zusätzlich auch an Wochenenden aufgezeichnet, was eine Messdauer von sechs, resp. acht Tagen ergab. So konnten charakteristische Zyklen erfasst werden, welche sowohl kurzfristige (tags Turbinieren, nachts Pumpen), als auch mittelfristige Sequenzen (sukzessive Entleerung des Speichers im Verlaufe der Woche, Pumpbetrieb an den Wochenenden) beschreiben. Die KWO lieferte für die entsprechenden Perioden sämtliche Durchflussdaten und Pegelstände des Grimselsees zur Kontrolle der ADP-Druckmessung. Die ADP-Sonden messen die Geschwindigkeitskomponenten auf jedem Meter der Wassersäule bis zur Seeoberfläche, in einem Zeitintervall von 5 Minuten. So

können nach der Extraktion der Daten zeitabhängige dreidimensionale Geschwindigkeitsprofile vor dem Ein-/Auslaufbauwerk generiert werden, die Aufschluss über die Strömungsverhältnisse vor der Fassung geben.

In Abbildung 4 sind zwei typische Geschwindigkeitsfelder dargestellt, die während dem Pump- resp. Turbinierbetrieb beobachtet wurden. Die Strömungsrichtung entspricht in diesem Falle der zu erwartenden Hauptrichtung der aus- bzw. zuströmenden Wassermassen.

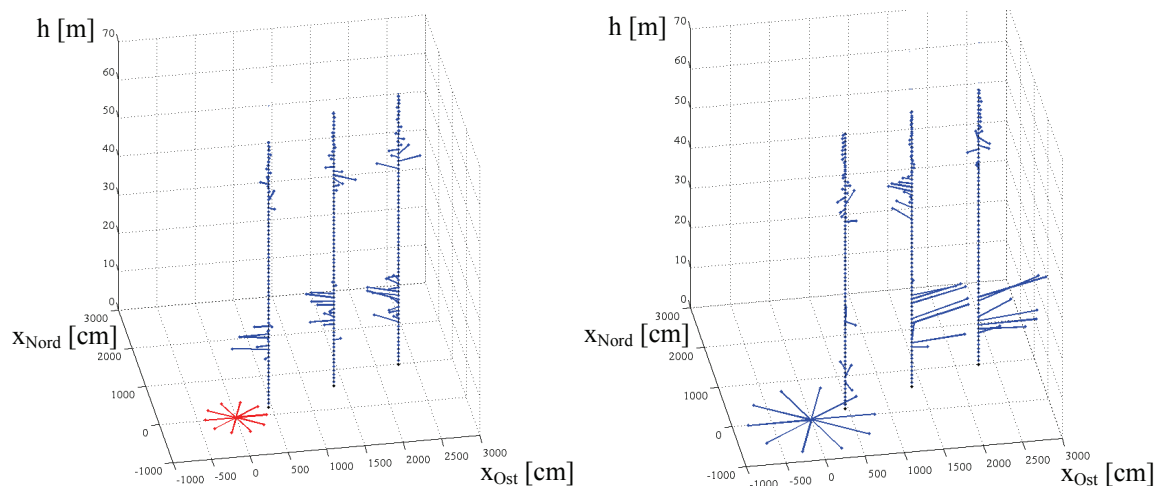


Abbildung 4: Geschwindigkeitsprofile vor dem Ein-/Auslaufbauwerk, Messreihe Sept. 2008; Pumpbetrieb (links), Turbinierbetrieb (ausströmende Wassermassen, rechts)

Es treten allerdings auch Perioden auf, in denen die Ausrichtung der Geschwindigkeitsvektoren nur bedingt mit der vermuteten Ein-/Austrittsrichtung des Wasserstrahls übereinstimmt. Unter anderem wird festgestellt, dass die Wassermassen auch während Perioden ohne Betrieb in Bewegung sind, wobei eine klare Tendenz der Strömungsausrichtung auf den ersten Blick fehlt. Zudem ist eine zweite Hauptrichtung der Geschwindigkeitsvektoren in Richtung Nord-Nordwesten vorhanden, was auf den Einfluss der Seetopographie hinweisen könnte.

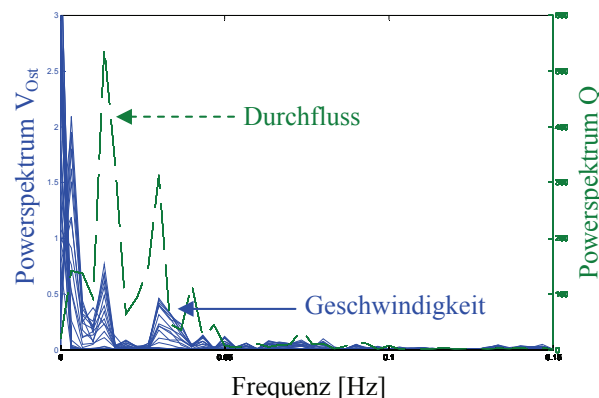


Abbildung 5: Vergleich der Powerspektren der Geschwindigkeits- und Abflussdaten, 1. Messreihe Nov. 2008, Profiler 1 (nördlich des Bauwerkes, Abb. 3 links)

Um zu bestimmen, ob die gemessenen Geschwindigkeiten in direkter Korrelation mit dem Pumpspeicherbetrieb stehen, wurden die Powerspektren der Messreihen und der

Abflussdaten verglichen. Diese in der Signalanalyse häufig verwendete Methode erlaubt mithilfe einer Fourieranalyse die Frequenz einer Datenreihe zu finden, welche am meisten Energie besitzt (Lyons 2004). Abbildung 5 zeigt, dass die Hauptfrequenzen der beiden Signale (Peaks) nahe beieinander liegen und deshalb einen direkten Zusammenhang vermuten lassen.

4. Ausblick

Die Prozesse im Grimsensee werden noch eingehender studiert, um die ersten Beobachtungen zu bestätigen und die Strömungsphänomene zu verstehen. Dazu werden numerische Simulationen durchgeführt, wobei nicht nur das Ein-/Auslaufbauwerk Grimsel 2, sondern auch die weiteren Wasserrfassungen und Bauwerke im Becken einbezogen werden.

Im Herbst 2009 erfolgen Umbauarbeiten an einem bestehenden hydraulischen Modell, welches für Laborversuche zur Verlandung von Stauseen konzipiert wurde (Jenzer 2006). Ziel ist es, variable Positionen der Fassungen testen und die Beckengeometrie mit einfachen Mitteln verändern zu können. Die Sedimente werden durch gemahlene Walnusschalen simuliert, ein Material, welches bereits in anderen Forschungsprojekten am LCH mit Erfolg verwendet wurde (Kantoush 2008).

Das Projektziel von *HydroNet*, ein kontinuierliches Monitoringsystem an einer bestehenden Anlage einzurichten und zu testen konkretisiert sich in Zusammenarbeit mit den KWO. Zur Abschätzung der transportierten Schwebstoffmenge, sowie zur Beobachtung des Einflusses des Betriebs werden derzeit Trübungsmessungen des Pumpen-/Turbinenwassers im Druckstollen des Kraftwerks Grimsel 2 geplant und installiert.

Verdankung

Das vorgestellte Forschungsprojekt wird vom *Competence Center Energy and Mobility* (CCEM), dem Bundesamt für Energie sowie *swiss electric research* finanziert. Die Autoren danken den Partnern für ihre Unterstützung und ihr Engagement.

Bibliographie

Energy Center EPFL (2008). <http://hydronet.epfl.ch>

Jenzer, J. (2006). *Measures against reservoir sedimentation*. Forschungsplan, Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH), ETH Lausanne, Lausanne, Schweiz.

Kantoush, S. A. (2008). *Experimental Study on the Influence of the Geometry of Shallow Reservoirs on Flow Patterns and Sedimentation by Suspended Sediments*. Diss. ETH Lausanne Nr. 4048, EPFL, Lausanne, Schweiz.

Lyons, R. G. (2004). *Understanding digital signal processing*. 2nd Edition, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey, USA.

Adresse der Autoren

Michael Müller und Prof. Dr. Anton Schleiss
Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH)
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
Station 18, 1015 Lausanne, Schweiz
michael.mueller@epfl.ch, anton.schleiss@epfl.ch