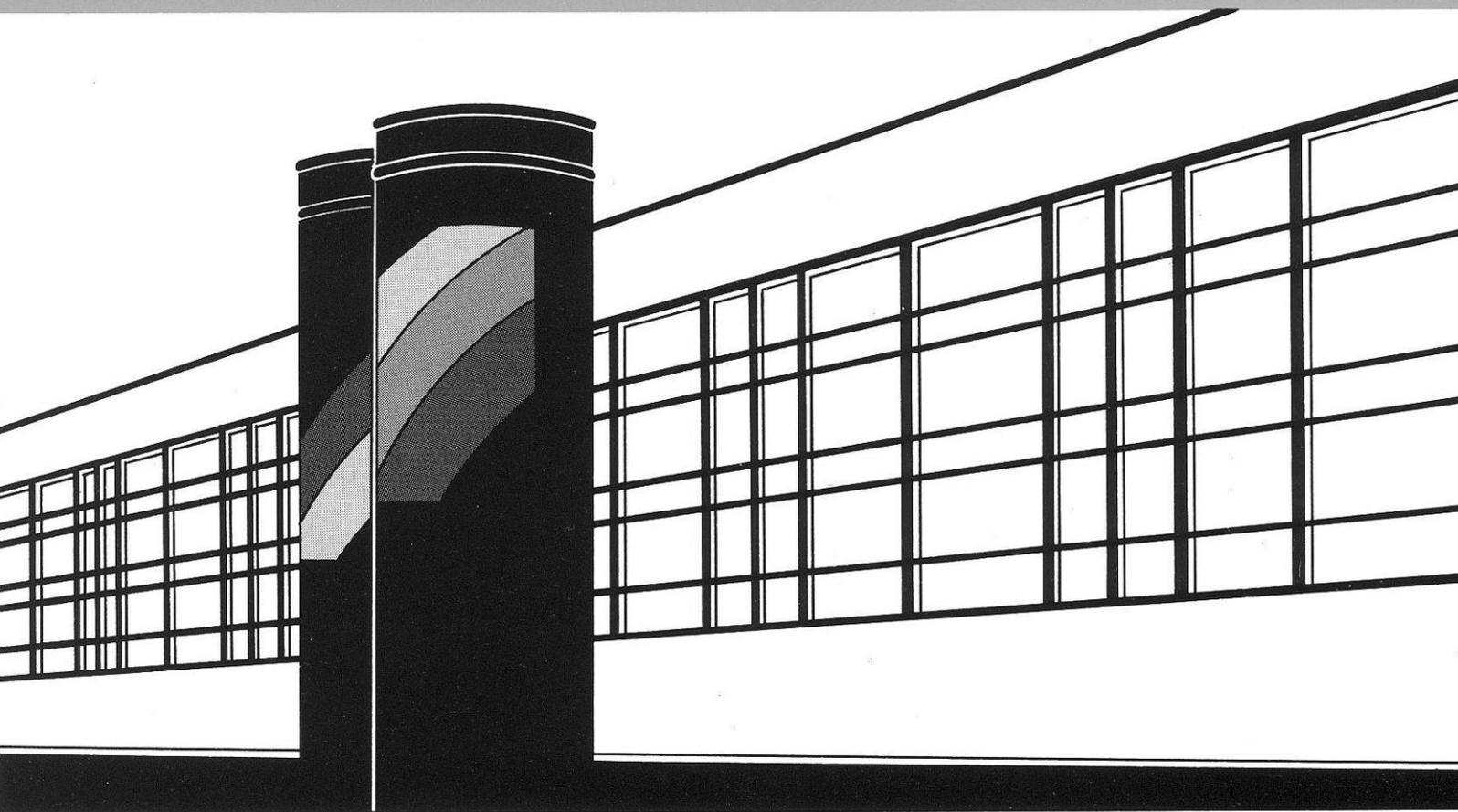


Institut für Wasserbau · Universität Stuttgart

Mitteilungen



Heft 193 K. Weber, E. Fenrich, T. Gebler
M. Kramer und M. Noack

12. Treffen junger WissenschaftlerInnen
an Wasserbauinstituten

Heft 193 12. Treffen junger
WissenschaftlerInnen
an Wasserbauinstituten

Herausgeber:
Karolin Weber
Eva Fenrich
Tobias Gebler
Matthias Kramer
Markus Noack

Tagungsband zur Veranstaltung
vom 11. bis 14. August 2010
an der Universität Stuttgart

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://www.d-nb.de> abrufbar

K. Weber, E. Fenrich, T. Gebler, M. Kramer und M. Noack (Hrsg.):
12. Treffen junger WissenschaftlerInnen an Wasserbauinstituten
von Karolin Weber et al. (Hrsg.), Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart.
Stuttgart: Inst. für Wasserbau, 2010

(Mitteilungen / Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart: H. 193)
ISBN 978-3-933761-97-2

Gegen Vervielfältigung und Übersetzung bestehen keine Einwände, es wird lediglich um Quellenangabe gebeten.

Herausgegeben 2010 vom Eigenverlag des Instituts für Wasserbau

VORWORT

Das JuWi-Treffen findet nun bereits zum 12. Mal statt und wird dieses Jahr vom Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft der Universität Stuttgart organisiert. Die Tagung vermittelt einen guten Einblick in die Forschungsarbeiten junger Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen im Tätigkeitsbereich Wasserbau, vornehmlich im deutschsprachigen Raum. Die Themenvielfalt dieses Tagungsbandes zeigt das breite Aufgabenspektrum der forschenden Wissenschaftler und spiegelt einmal mehr die Aktualität des Wasserbaus wieder. Inhaltlich reichen die Beiträge von numerischen und physikalischen Modellierungen bis hin zu energiewirtschaftlichen, verkehrstechnischen und ökologischen Untersuchungen.

Gerade die bei den JuWi-Treffen stets vorhandene ungezwungene Atmosphäre unter „Gleichgesinnten“ eignet sich nicht nur hervorragend zur Präsentation der eigenen Tätigkeiten, sondern bietet vor allem die Möglichkeit in vertieften Gesprächen Anregungen und Hilfestellungen, sowohl für weitere Projekte als auch für die Promotion, zu erlangen.

Neben der Tagung selbst befinden sich ein kulturelles Rahmenprogramm und eine gemeinsame Exkursion auf der Agenda des diesjährigen Juwi-Treffens. Diese führt uns zur Staustufe Iffezheim und zur Wehranlage Wieblingen, welche sich momentan im Sanierungszustand befindet.

Wir möchten uns ganz herzlich bei den Referenten für die hervorragenden Beiträge in diesem Tagungsband bedanken. Des Weiteren gilt unser Dank den Institutmitarbeitern und Hiwis, die bei der Organisation mitgewirkt haben und für den reibungslosen Ablauf der Veranstaltung sorgen.

Stuttgart, im August 2010 Karolin Weber,
Eva Fenrich,
Tobias Gebler,
Matthias Kramer,
Markus Noack

Wir danken folgenden Sponsoren für die Unterstützung des JuWi-Treffens 2010:



Inhaltsverzeichnis

1	HN-Modellierung einer Fließgewässereinleitung in den Süßen See	1
	Tobias Gierra	
2	Kombinierte 2D- und 3D-numerische Strömungssimulation anhand eines beispielhaften UW-Kanals	7
	Robert Klar und Roman Gabl	
3	3D-numerische Strömungssimulation von hydraulischen Rückstromdrosseln in Wasserschlössern	14
	Wolfgang Richter und Roman Gabl	
4	Sei mal konstruktiv	20
	Rupert Feldbacher	
5	Räumliches Tragverhalten von Schwergewichtsmauern	27
	Tobias Gebler, Silke Wieprecht und Walter Marx	
6	Hydraulische Untersuchungen an einem Bifurkator	34
	Wolfgang Dobler, Helmut Knoblauch und Gerald Zenz	
7	Überprüfung der Verklauungssicherheit von Brücken anhand eines physikalischen Modells	46
	Andreas Sendlhofer und Bernhard Gems	
8	Hydraulische Modellversuche Odertalsperre	54
	Holger Haufe	
9	Auflaufen von Impulswellen	60
	Helge Fuchs	
10	Development of a Physical Model for flood defense in the Bregenzer River	66
	Claudio Ravazzini	
11	Modellversuche zum Einfluss von Pumpspeichersequenzen auf Strömungsverhältnisse in einem quaderförmigen Becken	72
	Michael Müller, Luca Bremen und Anton J. Schleiss	
12	Modellversuch zur neuen Hochwasserentlastung des „Degerforsen dam“ in Schweden	79
	Valerie Neisch	
13	Zur Widerstandsfähigkeit von verzahnten Setzsteindeckwerken gegen Seegangsbelastung	84
	Fabian Gier	

14	Water and Energy – Challenges for the Future	92
	Gabriele Harb und Gerald Zenz	
15	Hydrologisch-hydraulische Modellierung von alpinen Einzugsgebieten mit komplexen Kraftwerksanlagen	99
	Martin Bieri und Anton J. Schleiss	
16	Untersuchung und Optimierung eines Dethridge Wheels zur simultanen Energiegewinnung und Durchfluss-messung	106
	Matthias von Harten	
17	Untersuchungen an einer Wasserdruckmaschine: Nutzung von geringen Fallhöhen zur Energiegewinnung	107
	Silke Schneider	
18	Ein Input-Output-Modell für die Nutzung von Gezeitenenergie am Severn Estuary	108
	Eva Fenrich	
19	3D-numerische Berechnung des Geschiebetransports mit der Strömungssimulationssoftware FLOW-3D	116
	Roland Covini, Robert Klar und Roman Gabl	
20	Erste Schritte zur Simulation der Qualität des hyporheischen Interstitials	122
	Markus Noack und Silke Wieprecht	
21	3D-numerische Optimierung von Tosbecken und Unterwasserstrecke des Staubalkenwehrs Dagachhu	134
	Regina Mayer und Roman Gabl	
22	Gewässerkreuzung in der Bergbaufolgelandschaft Goitzsche – Ermittlung und Bewertung technischer Lösungen	139
	Sophia Stoebenau	
23	Konzeptionelle Entwicklung von Ansätzen für ein Lebensdauermanagement von Hafeninfrastrukturen	146
	Nannina Horstmann	
24	Modellversuche zum Einsatz von Küstenschutzelementen mit Eisensilikat-Gestein als Betonzuschlag	153
	Christine Hegemann, Mayumi Wilms und Torsten Schlurmann	
25	Versuche zur Überströmung geotextilbewehrter Deiche	160
	Tobias Kubetzek	
26	Hydraulische Modellversuche zur Ermittlung mittlerer Überlaufmengen an Sturmflutschutzwänden und Deichen	166
	Nils B. Kerpen und Karl-Friedrich Daemrich	

- 27 Modellversuche zur Geschiebetransportproblematik am Fließgewässerkraftwerk an der Unteren Salzach** **173**
Barbara Brinkmeier
- 28 Optimierung von Einlaufbauwerken und Einrichtungen zur Spülung von Sedimenten anhand physikalischer Modellversuche – Vergleich zweier Fallstudien** **181**
Blandine Feneuil und Rumiana Engel
- 29 Messen aus Photos im wasserbaulichen Versuchswesen mit der Software Monobild** **189**
Michael Mett

11 Modellversuche zum Einfluss von Pumpspeichersequenzen auf Strömungsverhältnisse in einem quaderförmigen Becken

Michael Müller, Luca Bremen und Anton J. Schleiss

Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH),
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

11.1 Kurzfassung

In systematischen hydraulischen Modellversuchen wird studiert, welchen Einfluss stetig wechselnde Pump- und Turbiniersequenzen auf die Turbulenz und die Ablagerung von Feinsedimenten in einem quaderförmigen Becken haben. Zudem wird untersucht, wie die Turbulenz durch Abfluss, Dauer der Pumpspeicherzyklen sowie Position der Ein- und Auslaufbauwerke beeinflusst werden kann, um das Absetzen von Feinsedimenten zu reduzieren.

Im Vorfeld der Laborversuche wurden erste Szenarien im numerischen Modell rein hydraulisch, dann mit Feinsedimenten simuliert. Der Vergleich der Resultate mit Beobachtungen im physikalischen Modell erlaubt, das Numerikmodell sowie die Versuchsanlage zu optimieren. Der vorliegende Beitrag beschreibt die Modellversuche, die Testanlage und die Resultate numerischer und hydraulischer Vorversuche.

11.2 Abstract

In systematic tests on a physical model, the influence of fast and repeated change of operations between generating and pumping modes on turbulence and sedimentation process by fine sediments in a rectangular cuboid is examined. It is studied how turbulence and settling down of fine sediments is affected by discharge, duration of pumped storage sequences and the intake/outlet location.

Prior to laboratory tests, several scenarios with and without sediments were simulated in a numerical model. A comparison between the results and observations on the physical model allows optimizing both numerical and experimental setup. The present paper describes the physical modeling concept, the test rig and presents results of the preliminary numerical and hydraulic tests.

11.3 Einleitung

Sedimentablagerungen in Speichern führen zu Stauvolumenverlusten und zur Bildung von Auflandungen vor Einlaufbauwerken oder Grundablässen. Sie gefährden damit die

nachhaltige Nutzung von Wasserkraftanlagen sowie die Sicherheit der Bauwerke (Schleiss & Oehy 2002, Schleiss et al. 2010).

Eingebettet in das CCEM-Forschungsprojekt HydroNet – *a standardised methodology for pumped storage power plants* hat die vorliegende Forschungsarbeit zum Ziel, die Verlandungsproblematik spezifisch in Pumpspeicherkraftwerken zu untersuchen, um Lösungsansätze für die Überwachung und Vorhersage relevanter Sedimentationsphänomene in solchen Anlagen zu finden. Studiert wird insbesondere der Einfluss der im Betrieb stetig wechselnden Pump- und Turbinierzyklen auf die Turbulenz im Speicher und damit auf die Ablagerungsprozesse von Feinsedimenten.

Nach ersten Prototypmessungen auf der existierenden Kraftwerksanlage Grimsel II (Müller, 2009) werden nun in hydraulischen Modellversuchen Sedimentbilanzen, Strömungsbedingungen sowie Ablagerungsprozesse in einfachen Beckengeometrien untersucht. Im Vorfeld der systematischen Experimente wurden im Rahmen einer Masterarbeit am LCH erste Vorversuche durchgeführt, die zum Ziel hatten, ein numerisches Modell der Versuchsanlage zu erstellen und dessen Leistungsfähigkeit und Anwendungsgrenzen aufzuzeigen. In ersten Funktionstests auf der neu installierten Laboranlage wurden die Strömungsverhältnisse beobachtet und mit den Resultaten aus der Numerik verglichen.

11.4 Hydraulische Modellversuche

11.4.1 Grundkonzept

Die Laborversuche bilden die Grundlage des Forschungsprojekts. Testserien im hydraulischen Modell sollen Aufschluss darüber geben, wie wiederholte IN-OUT-Sequenzen (die in Realität den Pumpspeicherzyklen entsprechen) in Funktion des Abflusses, der Dauer, der initialen Sedimentkonzentration und der Position des Ein-/Auslaufbauwerks die Turbulenz in einem quaderförmigen Becken beeinflussen. In Abhängigkeit der oben genannten Parameter soll herausgefunden werden, welche Konfigurationen das Absetzen von Feinsedimenten zu reduzieren vermögen.

11.4.2 Beschrieb der Versuchsanlage

Das Hauptbecken der Anlage besteht aus einem quaderförmigen Stahlbehälter mit einer Grundfläche von $2.0 \times 4.0 \text{ m}^2$ und einer Höhe von 1.5 m (Abb. 11.1 a). Dieses kann als Oberbecken des Pumpspeicherwerks betrachtet werden. Die Front- und eine Seitenwand des Quaders bestehen aus Glas, um den Einblick in den Behälter und die Beobachtung der Strömungsbedingungen während der Experimente zu ermöglichen. Die restlichen Stahlwände wurden zur Auswertung des Bild- und Filmmaterials mit einem Raster von $25 \times 25 \text{ cm}$ versehen. Sämtliche Messungen (Strömungsgeschwindigkeiten,

Temperatur Trübung) und Aufzeichnungen (Filme, Fotos) werden in diesem Becken vollzogen.

Ein kleineres Becken mit einem Volumen von $1.0 \times 2.0 \times 1.2 \text{ m}^3$ stellt die für die Versuche benötigte Wassermenge zur Verfügung. In diesem Behälter wird die Trübung des Wassers gemessen, um den Sediment austausch zwischen den beiden Becken zu studieren.

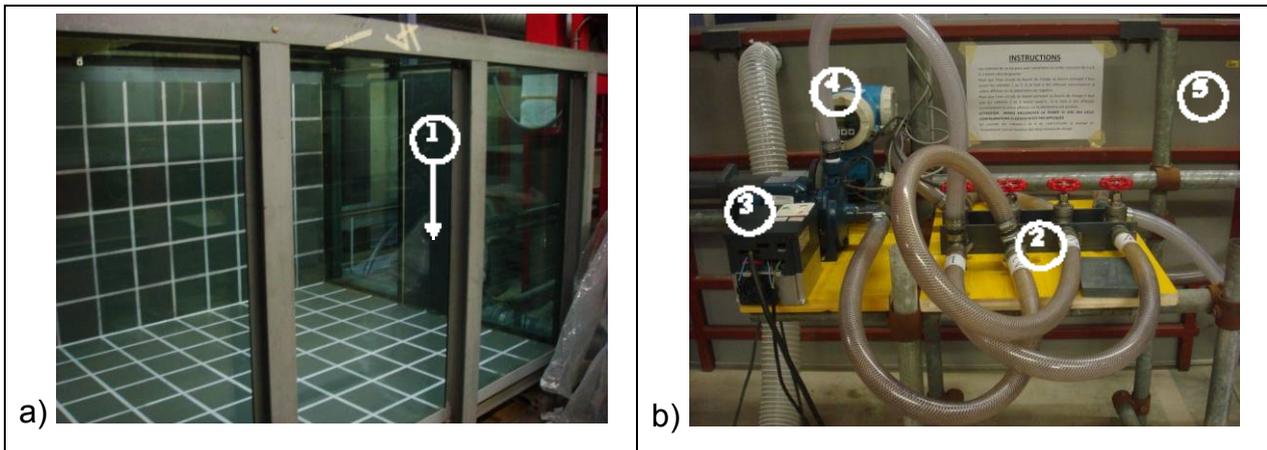


Abb. 11.1: a) Hauptbecken der Anlage, Frontseite mit Ein-/Auslaufbauwerk (1) b) Reversibler Speisungskreislauf mit Verteiler (2), regulierbarer Pumpe (3) und Durchflussmesser (4). Im Hintergrund: Sekundärbecken der Anlage (5)

Während der Versuchsvorbereitung werden die beiden Becken aus dem laboreigenen Wasserkreislauf gespiesen und danach von letzterem abgekoppelt. Die Testreihen werden dann in einem reversiblen, geschlossenen Wasserkreislauf (Abb. 11.1 b) durchgeführt, wobei die beiden Betriebsrichtungen des Systems folgendermassen definiert sind:

- IN (Pumpen): ins Becken eintretender Wasserstrahl („Auslaufbauwerk“)
- OUT (Turbinieren): Wasserentnahme aus dem Becken („Einlaufbauwerk“)

Die zu- und abgeführte Wassermenge wird mithilfe eines Geschwindigkeitsregulators der Pumpe konstant gehalten und mit einem Durchflussmesser kontrolliert. Das Leitungssystem zwischen Durchflussmesser und Mischbecken besteht aus beweglichen Plastikrohren. Die Zuleitung ins Hauptbecken erfolgt über ein 1.0 m langes, starres PVC-Rohr von 4.8 cm Innendurchmesser, das auf der Frontseite des Quaders an ein aus strömungstechnischen Gründen trompetenförmiges Ein-/Auslaufbauwerk anschliesst (Abb. 11.2 a und b).



Abb. 11.2: a) Zeichnung und b) Foto des trompetenförmigen Ein-/Auslaufbauwerks c) Im Modell als Feinsedimente verwendete gemahlene Baumnußschalen

11.4.3 1.43. Sedimente

Für die Sedimentversuche im hydraulischen Modell werden gemahlene Wallnusschalen gewählt (Abb. 11.2 c). Diese sind nahezu kohäsionslos, leicht (spezifisches Trockengewicht $\rho_s = 1480 \text{ kg/m}^3$) und homogen. Ihre geringe Dichte erlaubt ein ähnliches Verhältnis zwischen Strömungsgeschwindigkeiten im Behälter und Absetzgeschwindigkeit der Sedimente wie in natura herzustellen. Der mittlere Durchmesser des verwendeten Materials liegt bei $d_m = 120 \text{ }\mu\text{m}$.

Die Sedimente können zu Versuchsbeginn in beiden Becken durch am Behälterboden zugeführte Druckluft aufgewirbelt werden, so dass eine homogene Wasser-Sediment-Mischung gewährleistet wird.

11.4.4 Parametervariationen

Die hin und her gepumpte Wassermenge variiert im Modell zwischen 0.3 und 1.1 l/s, wobei insgesamt fünf verschiedene Abflüsse getestet werden. Das Niveau des Ein-/Auslaufs kann auf drei Höhen, 0.25, 0.5, oder 0.75 m über dem Behälterboden, eingebaut werden. Drei unterschiedliche initiale Sedimentkonzentration von 0.3, 0.8 und 1.5 g/l in den Becken erlauben, den Einfluss des Feinstoffs zu evaluieren. Schlussendlich bleibt festzulegen, wie lange die jeweiligen IN-OUT-Sequenzen zu dauern haben. In den nachfolgend beschriebenen Vorversuchen wurde zu diesem Zweck die Zeit definiert, die benötigt wird, um ein stationäres Geschwindigkeitsfeld im Hauptbecken zu erreichen.

11.5 Resultate der Vorversuche

11.5.1 Numerische Simulationen

Die numerischen Simulationen wurden mit der ANSYS-Software durchgeführt, wobei das Modell das Hauptbecken mitsamt Ein-/Auslaufbauwerk und starrem Zuflussrohr

abbildet. Die rein hydraulischen Simulationen dienen zur Definition der im Labor anzuwendenden Zyklendauer und zum Vergleich verschiedener Turbulenzmodelle.

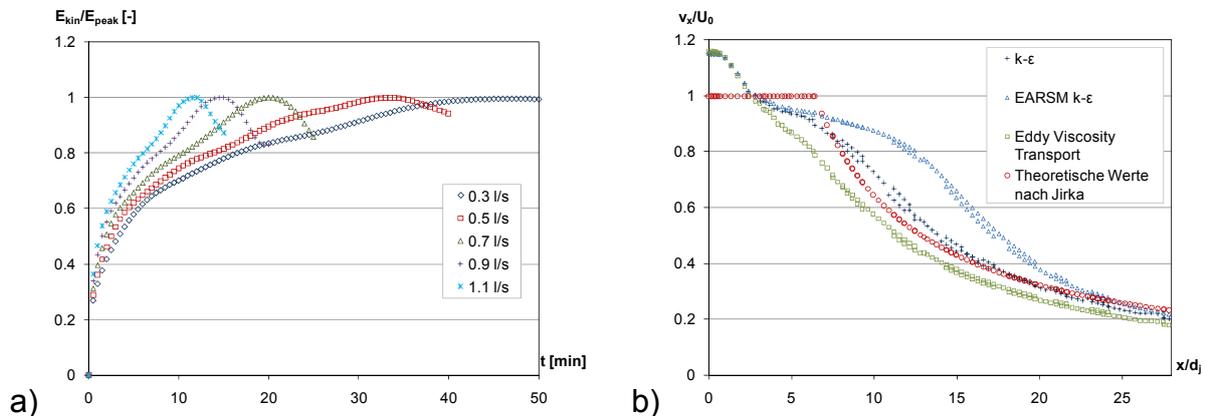


Abb. 11.3: a) Zeitliche Entwicklung von E_{kin}/E_{peak} (IN-Zyklus) b) Axialgeschwindigkeit des einströmenden Jets in Funktion der Distanz zum Einlauf (U_0 , d_j : Strahlggeschwindigkeit, resp. Strahldurchmesser am Austrittsquerschnitt)

Als Indikatoren des benötigten Zeitschritts Δt im numerischen Modell und der Zyklendauer wurden die kinetische Energie E_{kin} sowie die turbulente kinetische Energie $E_{kin,turb}$ des Testvolumens verwendet. Ein Δt von 5 s ist erforderlich, um zuverlässige Resultate zu erhalten, wobei vor allem $E_{kin,turb}$ erst bei relativ kleinen Zeitschritten gegen einen konstanten Wert strebt. Die Abb. 11.3a illustriert die zeitliche Entwicklung des adimensionalen Indikators E_{kin}/E_{peak} (IN-Sequenz) für verschieden Abflüsse. Die Versuchsdauer TP bis zum Erreichen eines stationären Strömungsfeldes im Becken ($E_{kin}/E_{peak} = 1$) beträgt demnach 10 bis 40 Minuten.

Der Vergleich der Geschwindigkeitsprofile quer zur Strahlachse und der Entwicklung der Axialgeschwindigkeit v_x/U_0 des Strahls mit den von Jirka (2004) beschriebenen Werten zeigt, dass sich ein $k-\epsilon$ -Turbulenzmodell am besten eignet (Abb. 11.3 b). Beide Strahleigenschaften werden sowohl für hohe, als auch für kleine Abflüsse zufriedenstellend abgebildet. Die erhöhte Axialgeschwindigkeit beim Eintritt ins Becken ($v_x/U_0 > 1$) ist durch eine nicht exakt symmetrische Verteilung der Eintrittsgeschwindigkeit des Strahls im Modell bedingt.

Schliesslich wurden zwei Abflusskonfigurationen mit Zugabe von Feinsedimenten getestet, wobei ein Wasser-Sediment-Gemisch in klares Wasser im Hauptbecken strömt. Die Absetzvorgänge basieren auf der Schiller-Naumann-Gleichung, die den Widerstandskoeffizienten in Abhängigkeit der Reynoldszahl beschreibt.

11.5.2 Vergleich der Resultate aus Numerik und physikalischem Modell

Die Versuchsszenarien ohne Feststoffzugabe zeigen kohärente Resultate zwischen den beiden Modellen. Für den IN-Zyklus sagt die Numerik einen stabilen, geradlinig ins Be-

cken eintretenden Wasserstrahl voraus, der im physikalischen Modell ebenso beobachtet werden kann (Abb. 11.4). Die Wasserentnahme aus dem Hauptbecken verursacht in beiden Modellen ein sehr lokales potentiell Geschwindigkeitsfeld in unmittelbarer Nähe des Einlaufbauwerks, wobei das restliche Wasservolumen quasi stagniert. Die Strömungen können in der Versuchsanlage mit Farbstoff, oder mit sich in Strömungsrichtung orientierenden Nylonfäden nachgewiesen werden.

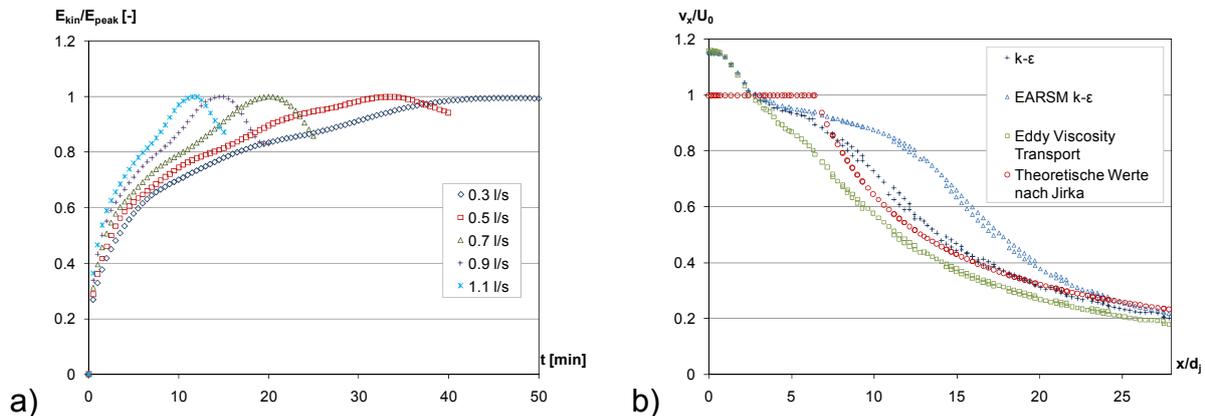


Abb. 11.4: Ins Hauptbecken eintretender Wasserstrahl, $Q = 0.5 \text{ l/s}$, $t = T_P/4$
a) Berechnetes Geschwindigkeitsfeld im numerischen Modell (Höhe Strahlachse)
b) Visualisierung durch Farblösungszugabe im hydraulischen Modell (Zenithalfoto)

Beim Eintritt des sedimentbeladenen Strahls in klares, ruhendes Wasser tritt ein deutlicher Unterschied auf zwischen simuliertem und im physikalischen Modell beobachtetem Strömungsbild. Im Gegensatz zur Numerik zeigt der Wasserstrahl im Labor eine geringere Tendenz des Absenkens in Richtung Beckenboden, was auf eine zu hohe Absetzgeschwindigkeit im numerischen Modell hinweist.

11.6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Vorversuche haben gezeigt, dass die Numerik die Strömungsverhältnisse in klarem Wasser ausreichend genau abbildet. Trotzdem sind Langzeitsimulationen nötig, um zu zeigen, dass der stationäre Zustand im numerischen Modell effektiv erreicht wird. Die gerechneten Geschwindigkeitsfelder werden im hydraulischen Modell durch UVP-Messungen (Ultrasonic Velocity Profiler) überprüft und das ANSYS-Modell allenfalls überarbeitet.

Da Sedimentversuche in der vorgestellten Forschungsarbeit von zentraler Rolle sind, muss die Funktionsweise des numerischen Modells für diese Szenarien optimiert werden. In zukünftigen Experimenten wird dabei auch das Hauptbecken eine initiale Feststoffkonzentration aufweisen, damit studiert werden kann, für welche IN-OUT-

Sequenzen und für welche Parameterkonfiguration ein maximaler Sedimentaustrag aus dem Becken erreicht werden kann.

11.7 Verdankung

Das vorliegende Forschungsprojekt wird vom *Competence Center Energy and Mobility (CCEM)*, *swiss electric research und swiss energy – hydropower research* (Bundesamt für Energie) finanziert. Die Autoren danken allen Partnern für ihr Engagement.

11.8 Literatur

ANSYS CFX. User's guide, Release 12.1.

Jirka, H.G. 2004. Integral Model for Turbulent Bouyant Jets in Unbounded Stratified Flows. Part 1: Single Round Jet. *Environmental Fluid Mechanics* 4(1), 1-56.

Müller, M., Schleiss, A.J. 2009. Monitoring und Vorhersage der Sedimentation in Pumpspeicherwerken. Communication 40 du Laboratoire de Constructions Hydrauliques: 11. Treffen junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an Wasserbauinstituten, EPFL, Lausanne, Schweiz.

Schleiss, A., De Cesare, G., Jenzer Althaus, J. 2010. Verlandung der Stauseen gefährdet die nachhaltige Nutzung der Wasserkraft. *Wasser Energie Luft*, Heft 1, 31-40.

Schleiss, A., Oehy, C. 2002. Verlandung von Stauseen und Nachhaltigkeit. *Wasser Energie Luft*, Heft 7/8, 227-234.