

# Feinsedimentdynamik in revitalisierten Flüssen

Anton J. Schleiss, Iria Bühlmann, Matthias Thalmann, Gaétan Maechler, Carmelo Juez (Lausanne/Schweiz) und Mário J. Franca (Delft/Niederlande)

## Zusammenfassung

Im Rahmen von Flussrevitalisierungen werden oftmals seitliche Aufweitungen geschaffen, in denen sich Feinsedimente ablagern können. Insbesondere in Flüssen, die von Schwall und Sunk betroffen sind, stellt sich die Frage, wie der Ablagerungsprozess von Feinsedimenten in solch lokalen Aufweitungen verläuft. Werden die Ablagerungen bei Hochwasser- oder Schwallabfluss wieder ausgewaschen oder verlanden die Aufweitungen? Die durchgeführten systematischen Experimente geben Hinweise, welche Geometrien der Aufweitungen die Sohlenstrukturen nachhaltig erhalten können.

Schlagwörter: Flussrevitalisierung, Sediment, Feinsedimentdynamik, Schwall, Sunk, Sohle

DOI: 10.3243/kwe2018.04.004

## Abstract

### Fine sediment dynamics in revitalised rivers

Local widening is a common practice during river revitalisation projects. The lateral embayments created in river banks for this purpose may be often filled up by fine sediments. Rivers affected by hydropeaking in particular face questions about how fine sediment is deposited in these local cavities. Are sediment deposits remobilised during flooding or surge discharge or are they protected by the cavities themselves? Systematic experiments that have been performed provide indications about the sustainable design of lateral embayments in terms of in-cavity fine sedimentation.

Key words: river revitalisation, sediment, fine sediment dynamics, hydropeaking, river bed

## Einleitung

Um die größtenteils kanalisierten Flüsse im Alpenraum ökologisch aufzuwerten, werden viele Revitalisierungsprojekte umgesetzt. Dabei werden neben Buhnen oftmals lokale Aufweitungen als Elemente verwendet, um mehr Struktur in die monotonen Uferlinien der kanalisierten Gewässer zu bringen. Diese Zonen mit geringen Fließgeschwindigkeiten bilden Schutzräume für aquatische Lebewesen sowie die Ufervegetation. Durch die reduzierte Fließgeschwindigkeit sinkt jedoch auch die Schleppkraft der Strömung und Sedimente setzen sich ab [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

In vielen Gebirgsflüssen erfolgt der Eintrag von Feinsedimenten aus hochgelegenen alpinen Stauseen. Zukünftig könnte sich dieser Eintrag in Fließgewässer erhöhen, denn das Abturbinieren von Feinsedimenten durch künstlich erzeugte Turbulenz in Stauseen ist eine erfolgversprechende Maßnahme gegen Stauraumverlandung und kann alternativ zu Spülungen eingesetzt werden [8]. Die Kenntnis des Verhaltens von Feinsedimenten in revitalisierten Gewässern sowie in Auenlandschaften ist somit insbesondere im Zusammenhang mit Schwall-Sunk-Betrieb von besonderem Interesse.

Obwohl der Kolmationsprozess von Flusssohlen schon weitgehend erforscht wurde, sind Transport- und Absetzungsvorgänge von Feinsedimenten in revitalisierten Gewässern noch

kaum bekannt. Um Vorhersagen über die Effekte von Renaturierungs- und Hochwasserschutzprojekten machen zu können, stellt sich aus hydraulischer Sicht die Frage, welche Flussmorphologien anfällig gegen die Absetzung von Feinsedimenten und die Kolmation der Sohle sind. Deshalb wurde untersucht, welche Auswirkungen seitliche Aufweitungen auf die Strömungsbedingungen haben, wie schnell sie mit Sedimenten verfüllt werden und welche Strukturen sich aus den Ablagerungen bilden.

Im Zusammenhang mit den Schwall-Sunk-Phänomenen ist das Verhalten der abgesetzten Sedimente bei einem Spülstoß von besonderem Interesse. Bei Niedrigabfluss ausserhalb der Turbinierzeiten können sich Sedimente in gewissen Anordnungen von lokalen Aufweitungen absetzen. Es stellt sich deshalb auch die Frage, ob diese während dem Turbinierschwall wieder mobilisiert werden können.

Die obenstehenden Fragen wurden im Rahmen von drei experimentellen Studien am Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH) der EPFL in Lausanne untersucht [9]. Im Folgenden werden die wesentlichen Resultate zusammengefasst, welche für die Anwendung bei Revitalisierungsprojekten relevant sind und damit für die konkrete Umsetzung hilfreich sein können.

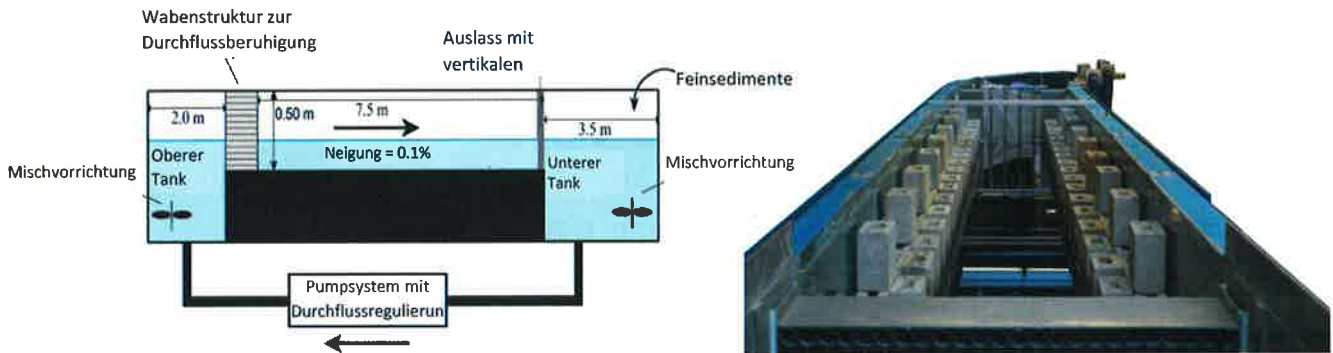


Abb. 1: Vereinfachte Darstellung der Versuchsrinne (links); Ansicht des Kanals (rechts)

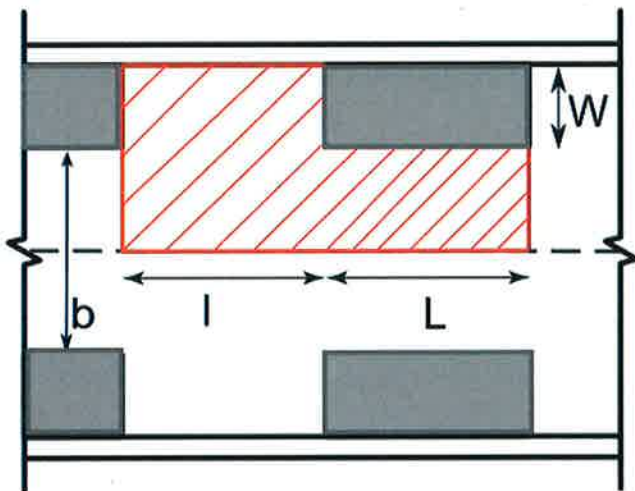


Abb. 2: Ausschnitt aus der Versuchsrinne mit den charakteristischen Größen zur Beschreibung der verschiedenen Aufweitungskonfigurationen: Aufweitungslänge  $l$ , Distanz zwischen zwei Aufweitungen  $L$ , Tiefe der Aufweitung  $W$  und innere Rinnenbreite  $b$  (Referenzbreite)

## Hydraulische Modellversuche

Die Versuche wurden in einem 7,5 m langen Kanal mit einer Sohlenneigung von 0,1 % durchgeführt (Abbildung 1), welcher in einem geschlossenen Kreislauf mit Pumpen beschickt wurde. Um die lokalen Aufweitungen zu modellieren, wurden an beiden Rinnenseiten nicht überströmte Zementsteine angeordnet [2]. Die Referenzbreite des nicht aufgeweiteten Kanals beträgt 0,5 m. Um Randeffekte minimal zu halten, wurden die lokalen Aufweitungen in regelmäßigen Abständen symmetrisch angeordnet.

Für die unterschiedlichen Aufweitungskonfigurationen in regelmäßigen Abständen  $L$  wurden wie in Abbildung 2 dargestellt zwei geometrische Verhältnisse variiert: Das Seitenverhältnis  $SV = W/l$  (Tiefe der Aufweitung  $W$  im Vergleich zu ihrer Länge  $l$ ) sowie das Expansionsverhältnis  $EV = (b+2W)/b$  (gesamte Kanalbreite in der Aufweitung im Vergleich zur Referenzbreite). Zudem wurde die relative Abflusstiefe  $h/b$  (das heißt der Abfluss) und die Feinsedimentkonzentration verändert. In Tabelle 1 ist der Untersuchungsbereich der Parameter für die untersuchten Konfigurationen zusammengefasst.

Die Änderungen der Strömungsverhältnisse wurden unter Zugabe von Styroporpartikeln an der Oberfläche mit 2D-Oberflächen-PIV (particle imaging velocimetry; [8]) beobachtet. Durch die Auswertung dieser Experimente konnten sowohl die

Parameter	Untersuchungsbereich
Seitenverhältnis $SV = W/l$	0.2 – 0.8
Expansionsverhältnis $EV = (b+2W)/b$	1.3 – 2.0
Relative Abflusstiefe $h/b$	0.06 – 0.12
Feinsedimentkonzentration	0.5 – 1.5

Tabelle 1: Geometrien der untersuchten Aufweitungskonfigurationen

mittleren Geschwindigkeitsfelder in Fließrichtung und orthogonal zur Fließrichtung als auch die Schubspannungsverteilung und die Turbulenz an der Wasseroberfläche berechnet werden.

Zur Beobachtung des Transportverhaltens wurden dem Wasser feine Polyurethanpartikel beigemischt, die sich im Modell als Schwebstoffe verhalten. Das Verhalten dieser Sedimente wurde auf drei Arten dokumentiert. Erstens wurde der Verlauf der Schwebstoffkonzentration während des Experiments mit zwei fest installierten Turbidimetern gemessen. Zweitens wurde eine lokale Aufweitung in regelmäßigen Abständen fotografiert, um die Ausdehnungsfläche der abgesetzten Sedimente nachzuverfolgen. Drittens wurde nach Erreichen des Gleichgewichtszustandes am Ende der Experimente die Masse der in den Aufweitungen zurückgehaltenen und abgelagerten Feinstoffe gewogen.

## Untersuchte Abflusszenarien

In einem ersten Schritt wurden für zehn Konfigurationen Versuche mit drei unterschiedlichen konstanten Abflüssen durchgeführt. Dazu wurden dem Abfluss Feinsedimente zugeführt, bis die Sättigungskonzentration erreicht war, welche im Referenzkanal ohne Aufweitungen keine Ablagerungen verursacht. Anschließend wurde das Wasser mit Feinsedimenten solange im Kreislauf gepumpt, bis sich im Kanal ein Gleichgewichtszustand bezüglich Ablagerungen einstellte und sich danach die Schwebstoffkonzentration nur noch unwesentlich veränderte. Für diese Versuchsreihe wurde zusätzlich die 2D-Oberflächen-PIV Messungen durchgeführt.

In einem weiteren Schritt wurden für fünf ausgewählte Konfigurationen verschiedene Spülstöße simuliert. Die dabei verwendeten Ganglinien unterscheiden sich in Dauer, Abflussspitze und Abflussveränderungsrate wie in Abbildung 3 dargestellt. Sie simulieren unterschiedliche Schwall und Sunk Verhältnisse.

### Strömungsverhältnisse in den Aufweitungen

Für die Konfiguration mit  $SV=0,4$  und  $EV=1,7$  sind in Abbildung 4 die Oberflächenströmung (PIV-Ergebnisse) für die drei untersuchten Abflüsse und die Geschwindigkeitsfelder in sowie orthogonal zur Strömungsrichtung mit dem PIV-Verfahren visualisiert worden. Dargestellt sind die Verteilung der durchschnittlichen Schubspannungen sowie die Wirbelstärke (Turbulenz).

Es zeigt sich, dass in den Aufweitungen die Rotationsströmung einen Wirbel erzeugt und dies unabhängig von deren untersuchten Geometrie. Werden die Aufweitungen länger, so bildet sich an deren Anfängen eine Totwasserzone und oberstrom

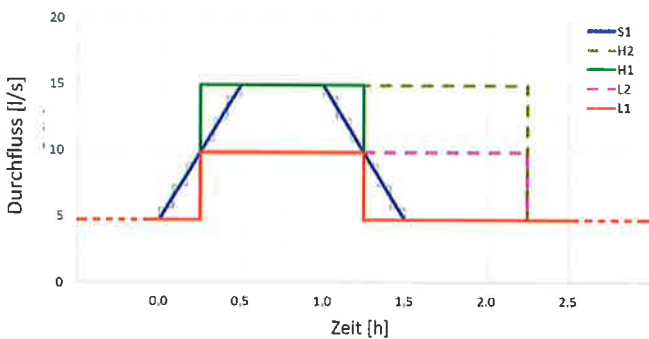


Abb. 3: Ganglinien der untersuchten Schwall- und Sunkverhältnisse.

tritt teilweise sogar ein zweiter Wirbel aus. Zudem kann beobachtet werden, dass die Wirbel mit zunehmendem Abfluss an Stärke gewinnen.

Vergleicht man die Aufnahmen der Oberflächenströmung mit den Sedimentablagerungen, zeigt sich, dass Zonen von großer Wirbelstärke (Turbulenz) und/oder großer Schleppspannung frei sind von Ablagerungen. Erhebliche Ablagerungen entstehen im Zentrum der Wirbel und in den Totwasserzonen.

### Absetzprozesse und Konzentrationsverlauf der Feinsedimente

Nach Erreichen des Gleichgewichtszustandes am Ende der Versuche mit konstantem Abfluss wurden jeweils die Massen der abgesetzten Sedimente gewogen. Diese Sedimentmasse normalisiert mit der Fläche der Aufweitungen der jeweiligen Konfiguration wird als Absetzeffizienz bezeichnet. Abbildung 5 zeigt diese für drei Konfigurationen mit abnehmendem Seitenverhältnis und für die drei untersuchten Abflüsse. Es ist ersichtlich, dass die Absetzeffizienz keinem klaren Trend unterworfen ist. Vielmehr ändern sich die Strömungsverhältnisse je nach Aufweitungsgeometrie und Abfluss, wie oben beschrieben. Totwasserzonen oder Sekundärwirbel bestimmen die Absetzeffizienz.

Nebst der Absetzeffizienz wurde das Absetzverhalten der Sedimente während der Experimente mit den beiden Turbidimetern überwacht. Wie Abbildung 6 zeigt, sinkt die Konzentration

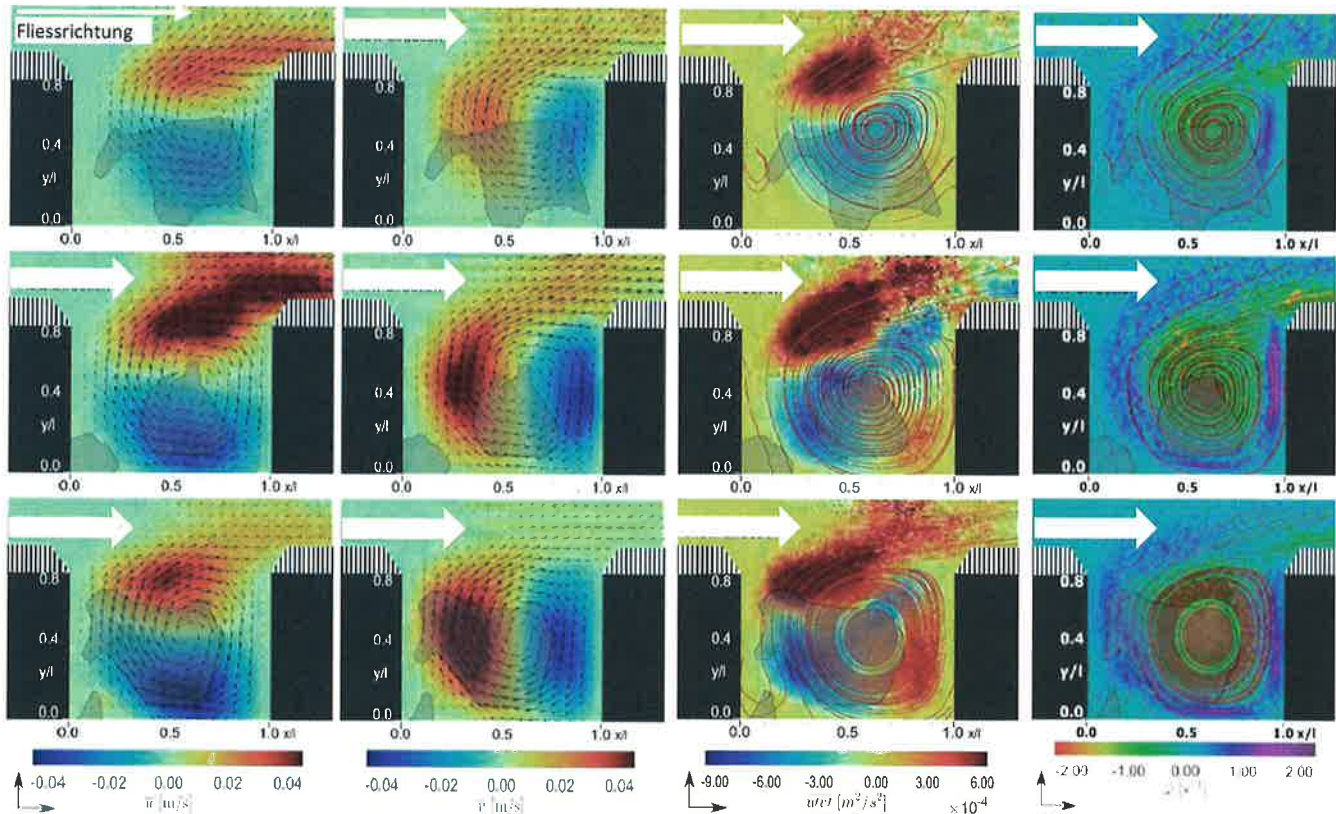


Abb. 4: Verteilung der mittleren Fließgeschwindigkeiten in Fließrichtung überlagert mit den Geschwindigkeitsvektoren (erste Kolonne von links), Verteilung der mittleren Fließgeschwindigkeiten orthogonal zur Fließrichtung überlagert mit den Geschwindigkeitsvektoren (zweite Kolonne), Verteilung der mittleren Schubspannung überlagert mit einigen Feldlinien (dritte Kolonne) und Verteilung der mittleren Wirbelstärke (Turbulenz) überlagert mit einigen Feldlinien (letzte Kolonne von links nach rechts). Dargestellt sind die drei Abflüsse 4, 8 l/s, 8, 5 l/s und 15 l/s (von oben nach unten). Grau hinterlegt sind Flächen, in denen sich Sedimente abgesetzt haben und gestreift, für die keine Daten erhoben wurden.



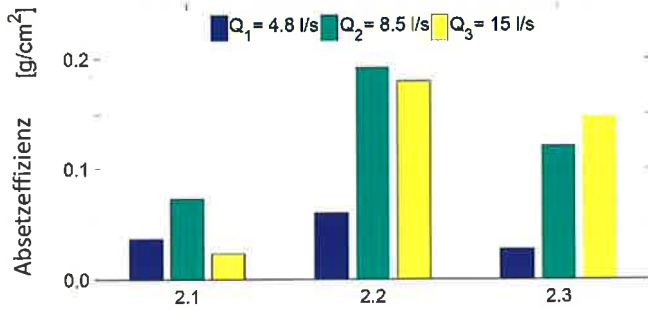


Abb. 5: Absetzeffizienz für Konfigurationen mit abnehmendem Seitenverhältnis ( $SV_{2,1} = 0,8$ ,  $SV_{2,2} = 0,4$  und  $SV_{2,3} = 0,2$ ) von links nach rechts. Für jede Konfiguration sind drei Abflüsse dargestellt (blau: 4,8 l/s, grün: 8,5 l/s und gelb: 15 l/s).

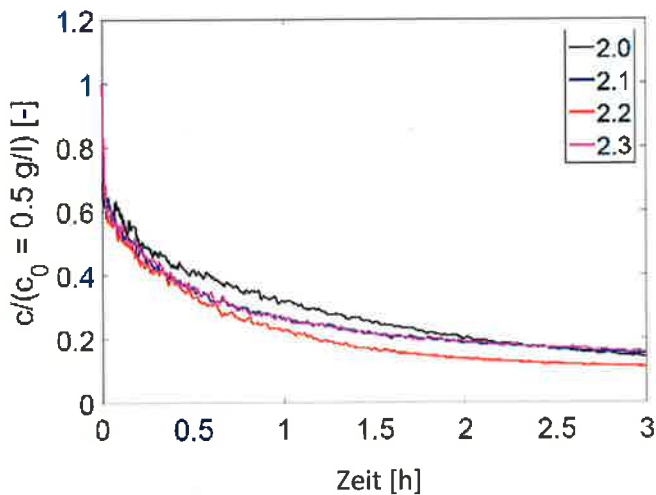


Abb. 6: Verlauf der suspendierten Sedimentkonzentration für Konfigurationen unterschiedlicher Seitenverhältnisse ( $SV_{2,1} = 0,8$ ,  $SV_{2,2} = 0,4$  und  $SV_{2,3} = 0,2$ ). Die Konfiguration 2.0 entspricht dem Referenzkanal ohne Aufweitungen.

on der suspendierten Sedimente kontinuierlich mit der Zeit. Dies bedeutet, dass die Ablagerungen anwachsen, bis der Gleichgewichtszustand erreicht wird. Der Vergleich des Konzentrationsverlaufes des Referenzkanals (ohne Aufweitungen) mit den Aufweitungskonfigurationen gibt einen Hinweis auf deren Ablagerungskapazität.

Für die Versuche mit einem Schwall- und Sunkabfluss zeigt sich zu Beginn das gleiche Absetzverhalten. In Abbildung 7 ist ersichtlich, dass nach der Phase mit konstant geringem Abfluss (nach drei Stunden) bei Beginn des Spülstoßes die suspendierte Sedimentkonzentration sprunghaft ansteigt. Die Sedimente werden demnach aus den Aufweitungen gespült. Beim erhöhten Abfluss nimmt die Konzentration wiederum ab, da sich die remobilisierten Sedimente erneut absetzen. Am Ende des Spülstoßes kommt es zu einem weiteren Abfall der Konzentration, da sich die Schleppkraft verringert und sich die Sedimente dadurch verstärkt absetzen. Anschließend strebt die Konzentration denselben Gleichgewichtswert wie vor dem Spülstoß an.

Abbildung 8 zeigt die Entwicklung der mit Sedimenten bedeckten Fläche in den Aufweitungen während der Schwall- und Sunkversuche.

Die zu den Konzentrationsverläufen gemachte Feststellung wird hier bestätigt. Zu Beginn des Schalles werden die Sedi-

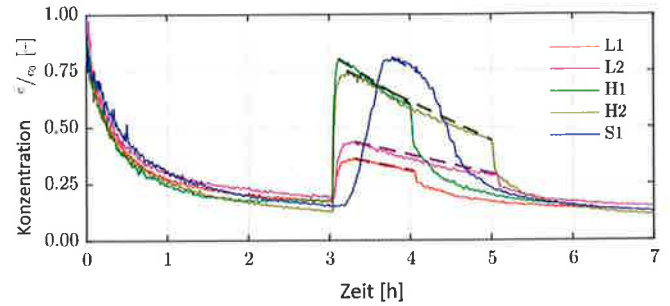


Abb. 7: Normalisierte Konzentrationsverläufe für eine Konfiguration mit den fünf Schwall- und Sunkszenarien gemäß Abbildung 3.

mente mobilisiert (Rückgang der sedimentbedeckten Fläche). Nach dem Sunk bilden sich die Ablagerungen wieder.

### Diskussion der Versuchsergebnisse

Es zeigt sich, dass das Seitenverhältnis  $SV$  den wichtigsten Parameter bei der Charakterisierung von seitlichen Aufweitungen darstellt. Bei kleinen Seitenverhältnissen ( $SV < 0,3$ , lange Aufweitungen) treten bei allen untersuchten Abflüssen Totwasserzonen auf, in welchen es zu Ablagerungen kommt. Bereits ab einem Seitenverhältnis von 0,4 kann dies zudem an der Oberflächenströmungsverteilung (Abbildung 4) beobachtet werden. In der Totwasserzone sind die Schubspannung sowie die Wirbelstärke auch für große Abflüsse ( $h/b = 0,12$ ) gering und begünstigen so die Sedimentablagerungen. Diese sind sehr resistent gegen Ausspülung durch Spülstoße, da die Strömungsgeschwindigkeit und damit die Schleppkraft in diesen Zonen auch bei hohem Abfluss nicht wesentlich zunimmt.

Aufweitungen mit großen Seitenverhältnissen ( $SV > 0,6$ , kurze Aufweitungen) können Sedimente bei kleinen und mittleren Abflüssen ebenfalls gut zurückhalten. Sie begünstigen die Ablagerung von Feinsedimenten in der Mitte (im Zentrum des Wirbels) der Uferbuchten. Der Wasserkörper dieser Aufweitungen ist weitgehend von der Strömung im Hauptkanal entkoppelt. Der Wasseraustausch zwischen den Aufweitungen und dem Hauptkanal ist begrenzt. Folglich bleiben viele Sedimente in den Aufweitungen liegen. Für konstante große Abflüsse ( $h/b > 0,10$ ) sind die Resultate etwas anders. Obwohl von der Hauptkanalströmung entkoppelt, besitzen die Wirbel genügend Kraft, um die Sedimente auch in den Aufweitungen in der Schwebe zu halten. Es finden daher nur geringe Ablagerungen statt. Dies zeigt sich im Rückgang der Absetzeffizienz für hohe Abflüsse (siehe Konfiguration 2.1 in Abbildung 5).

Aufweitungen mit Seitenverhältnissen mittlerer Länge lagern Feinsedimente bei geringem Abfluss sowohl in einer kurzen Totwasserzone als auch in der Mitte der Aufweitung ab. Sie sind jedoch kaum geschützt vor der Strömungskraft bei erhöhtem Abfluss. Deshalb werden Ablagerungen während eines Spülstoßes weitgehend weggeschwemmt.

Für das Expansionsverhältnis – das zweite untersuchte geometrische Verhältnis – zeigt sich, dass große Expansionsverhältnisse ( $EV > 1,5$ , breite Aufweitungen) generell und unabhängig von den Abflüssen einen erhöhten Rückhalt von Feinsedimenten bewirken. In der Kombination mit großen Seitenverhältnissen ( $SV > 0,6$ , kurze Aufweitung) verhindern die starken Wirbel und die Entkopplung der Aufweitung vom Hauptkanal eine starke Sedimentation.

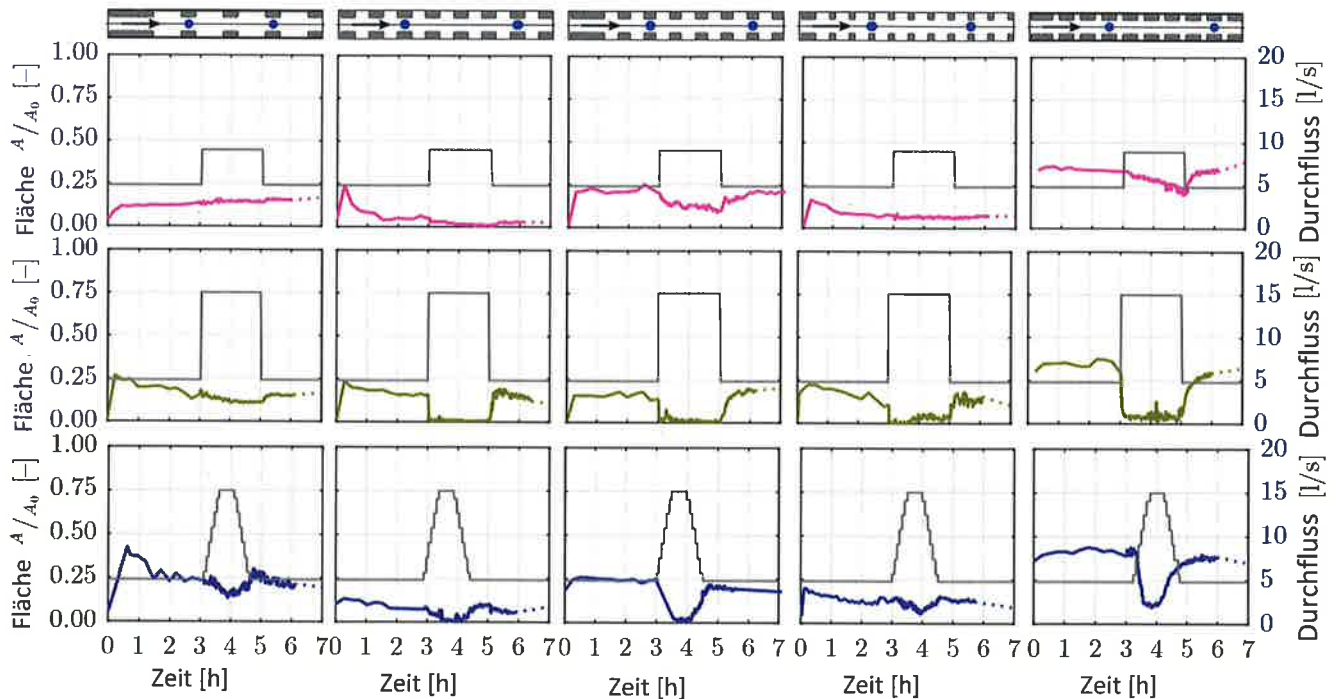


Abb. 8: Mit Sedimenten bedeckte Fläche während der Schwall- und Sunkversuche. Von links nach rechts nimmt das Seitenverhältnis der Aufweitungen zu oder ab (entsprechend der Darstellung oberhalb der Figur; der blaue Punkt zeigt die Position der Konzentrationsmessung). Die grauen Linien zeigen den Verlauf des Abflusses mit Schwall und Sunk (kleiner Schwall, großer Schwall mit plötzlichem und kontinuierlichem Anstieg; von oben nach unten).

Die Abflussganglinie bei Schwall und Sunk ist ebenfalls ein relevanter Parameter. Je größer die Abflussspitze des Schalles ist, desto schneller werden die abgesetzten Sedimente in Schweb gebracht, also resuspendiert. Einen geringeren Einfluss hat hingegen die Anstiegsrate des Abflusses. Auch bei langsamer Änderung des Abflusses wird beim Maximalabfluss dieselbe Resuspendierung erreicht wie bei einem plötzlichen Anstieg.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass abgesetzte Sedimente durch Schwall und Sunk nicht resuspendiert werden, wenn die Aufweitungen lang ( $SV < 0,3$ ) sind. Auch bei kurzen Aufweitungen ( $SV > 0,6$ ) ist dies der Fall, sofern der Maximalabfluss nicht zu hoch ist.

Es ist zu beachten, dass die Resultate nicht direkt mit der Wirkungswiese von Bühnensfeldern verglichen werden kann [5,6,7], da deren Geometrie stark von den untersuchten Aufweitungen (Abbildung 8) abweicht. Die Wirbelablösungen an den Bühnenspitzen verringern den Massenaustausch zwischen dem Hauptkanal und dem Bereich zwischen den Bühnen [10]. Hingegen können entsprechend gestaltete Aufweitungen den Wasseraustausch mit dem Hauptkanal vergrößern und auch als Fischrefugien bei Schwall und Sunk dienen [11].

### Schlussfolgerungen für praktische Anwendungen

In Flüssen mit geringer relativer Abflusstiefe ( $h/b < 0,07$ ) können Uferbuchten mit kleinen oder mittleren Seiten- und Expansionsverhältnissen lokale Ablagerungen von Feinsedimenten begünstigen. Durch die unterschiedlichen Strömungsbereiche bilden sich stabile Sandbänke und diverse Sohlenstrukturen.

Generell löst ein größeres Expansionsverhältnis ( $EV > 1,6$ ) eine schnelle Verlandung von Uferbuchten bei mittleren relativen Abflusstiefen aus, welche bei Hochwasser ( $h/b > 0,10$ )

oder durch Spülstöße jedoch wieder mobilisiert werden können. Durch die Kombination mit großen Seitenverhältnissen ( $SV > 0,6$  und  $EV > 1,6$ ) kann in der Aufweitung für genügend Turbulenz gesorgt werden. Dadurch lässt sich verhindern, dass Uferbuchten schnell verlanden.

Wird an einem Fluss, der von Schwall-Sunk-Betrieb betroffen ist, ein Revitalisierungsprojekt mit lokaler Aufweitung geplant, so gibt es zwei Möglichkeiten, das Absetz-/Resuspensionsverhalten zu beeinflussen. Einerseits über die Ausprägung von Schwall und Sunk und andererseits über die Gestaltung beziehungsweise Geometrie der Aufweitungen. Eine Verminderung der Abflussspitze beim Schwall kann zwar unter Umständen das Auswaschen von Sedimenten einschränken, ist aber mit Verlusten in der Stromproduktion verbunden. Es bleibt die Dimensionierung der lokalen Aufweitungen. Werden diese genügend lang gewählt, so vermögen sie auch bei hohen Maximalabflüssen mit einem hohen Sedimentrückhalt diverse Sohlenstrukturen zu wahren.

### Dank

Die Forschungsarbeiten wurden vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) im Rahmen des Forschungsprogrammes „Wasserbau und Ökologie – Geschiebe- und Habitatsdynamik“ unterstützt.

### Literatur

- [1] Akutina, Y., 2015. *Experimental investigation of flow structures in a shallow embayment using 3D-PTV*. PhD Thesis. McGill University, Montréal.
- [2] Meile, T., Boillat, J.-L., Schleiss, A.J. 2011. *Flow resistance caused by large-scale bank roughness in a channel*. Journal of Hydraulic Engi-



- neering, 137(12):1588-1597. DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000469.
- [3] Mignot, E., Cai, W., Launay, G., Rivière, N., Escarriaza C., 2016. *Coherent turbulent structures at the mixing-interface of a square open-channel lateral cavity*. Physics of Fluids, 28:045104. doi: 10.1063/1.4945264.
- [4] Sukhodolov, A., 2014. *Hydrodynamics of groyne fields in a straight river reach: insight from field experiments*. Journal of Hydraulic Research, 52(1):105-120. DOI: 10.1080/00221686.2014.880859.
- [5] Uijtewaal, W.S.J., Lehmann, D.V., Mazijk, A.V., 2001. *Exchange processes between a river and its groyne fields: Model experiments*. Journal of Hydraulic Engineering, 127(11):928-936.
- [6] Weitbrecht V, Socolofsky SA, Jirka GH, 2007. *Experiments on mass exchange between groin fields and main stream rivers*. Journal of Hydraulic Engineering, 134(2):173-83. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:2(173).
- [7] Yossef, M.F.M., de Vriend, H.J., 2010. *Sediment exchange between a river and its groyne fields: Mobile-bed experiment*. Journal of Hydraulic Engineering, 136(9):610-625. DOI:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000226.
- [8] Schleiss A.J., Franca M.J., Juez C. & De Cesare G., 2016. *Reservoir Sedimentation – Vision Paper*. Journal of Hydraulic Research, 54(6):595-614. DOI: 10.1080/00221686.2016.1225320.
- [9] Juez, C., Bühlmann, I., Maechler, G., Schleiss, A. J. & Franca, M. J., 2017. *Transport of suspended sediments under the influence of bank macro-roughness*. Earth Surface Processes and Landforms. DOI: 10.1002/esp.4243.
- [10] McCoy A, Constantinescu G, Weber L., 2008. *Numerical investigation of flow hydrodynamics in a channel with a series of groynes*. Journal of Hydraulic Engineering, 134(2):157-72. Doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:2(157).
- [11] Ribí J.M., Boillat J-L., Peter A., Schleiss A.J., 2014. *Attractiveness of a lateral shelter in a channel as a refuge for juvenile brown trout during hydropeaking*. Aquatic Sciences, 76(4):527-41. Doi:10.1007/s00027-014-0351-x.

### Autoren

M. Sc. Iris Bühlmann

M. Sc. Matthias Thalmann

M. Sc. Gaëtan Maechler

Dr. M. Sc. Carmelo Juez

Prof. Dr. Dipl.-Bauing. Anton J. Schleiss

Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH)

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

Station 18

1015 Lausanne, Schweiz

E-Mail: anton.schleiss@epfl.ch

Prof. Dr. Mário J. Franca

IHE Delft Institute for Water Education

Westvest 7

2611 AX Delft

PO Box 3015

2601 DA Delft, Niederlande

KW

www.dwa.de/ifat

**DWA**  
Klare Konzepte. Saubere Umwelt.

# Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken

Forum



Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken – Strategien zur Anpassung an den Klimawandel

Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die Wasserkraftnutzung

Tiefenwasserbelüftung in Talsperren zur optimierten Nutzung des Wasserdargebotes

Kostengünstiger Hochwasserrückhalt an Straßen- und Wegedämmen

Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken – Strategien zur Anpassung an den Klimawandel

Wann: 17. Mai 2018, 14:00 – 15:30 Uhr

Wo: IFAT München  
Halle B2: Session Area Water

**IFAT**  
Hydro Power & Water