

# Auswirkung seitlicher Spundwände auf die Hydraulik von Schlitzpässen

In Zusammenhang mit wasserbaulichen Maßnahmen finden Spundwände vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Wegen ihrer wassersperrenden Funktion sowie der vollflächigen Wandstützung sind sie besonders für die Absicherung von Baugruben in bzw. an offenen Gewässern geeignet. So kann ihre Verwendung auch beim Bau von Fischaufstiegsanlagen wesentliche Vorteile bieten. Im Zuge aktueller Forschungsarbeiten am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) wurden die hydraulischen Auswirkungen von Spundwänden in beckenartigen Fischaufstiegsanlagen (Schlitzpassbauweise) analysiert. Im vorliegenden Beitrag werden die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen und Schlussfolgerungen vorgestellt.

Peter Oberle, Tim Kerlin, Mark Musall und Franz Nestmann

## 1 Hintergrund und Motivation

Zur Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit werden derzeit an vielen Gewässern existierende Querbauwerke mit Fischaufstiegsanlagen (FAA) nachgerüstet. Im Rahmen der Bauausführung wird gerade bei Schlitzpässen und Raugerinne-Beckenpässen oftmals auf Stahlspundwände als seitliche Begrenzung zurückgegriffen (**Bild 1**). Zusätzlich zur Vermeidung von Böschungen und somit einer kompakteren Baugrube kann durch eine Kombination mit Unterwasserbeton vergleichsweise schnell eine trockene Baugrube errichtet werden, so dass keine weiteren Maßnahmen zur Wasserhaltung erforderlich sind. Dieses Vorgehen bietet sich vor allem in sensiblen Schutzgebieten an oder in Fällen, bei denen das anstehende Grundwasser nicht abgesenkt werden darf bzw. kann.

Gemäß gängiger Vorgaben (z. B. DWA-Merkblatt M 509 [1]) werden u. a. die Einhaltung maximaler Fließgeschwindigkeiten, Mindestwassertiefen und eine eindeutige, durchgehende Leitströmung in der gesamten Beckenkaskade einer FAA gefordert. Eine Beeinflussung dieser Bewertungsgrößen durch offene Spundwandprofile als Anlagenberandung ist aufgrund der großen geometrischen Ungleichförmigkeiten geeigneter Spundwandprofile nicht auszuschließen, weshalb die Spundwandtaschen in der derzeitigen Praxis i. Allg. durch Vorschaltungen verschlossen werden. Alternativ muss im Einzelfall die Zulassung einer offenen, seitlichen Spundwandberandung geprüft werden [2]. Beide Vorgehensweisen sind mit entsprechend höheren Kosten für den Bau-

### Kompakt

- Spundwände können beim Bau von Fischaufstiegsanlagen ökonomische Vorteile bieten.
- Je nach Anlagengeometrie führt die Profilierung tendenziell zu einem weniger gekrümmten Strömungsverlauf mit ggf. leichter Abflusserhöhung.
- Aufgrund des größeren Beckenvolumens verringert sich zudem die Leistungsdichte.

herrn verbunden. Um das diesbezügliche Wissensdefizit auszugleichen, wurden am Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) umfassende Analysen auf Basis physikalischer Laborversuche und numerischer Simulationen durchgeführt.

## 2 Strömungscharakteristik von Schlitzpässen

In Schlitzpässen können sich verschiedene charakteristische Strömungsmuster ausbilden. Das DWA-Merkblatt M 509 [1] unterscheidet zwischen zwei typischen Strömungsmustern, welche sich durch „strömungsstabile“ oder „strömungsdissipierende“ Verhältnisse auszeichnen (**Bild 2**).

„Strömungsstabile“ Verhältnisse liegen vor, wenn sich ein von Schlitz zu Schlitz führender, leicht gebogener Hauptströmungspfad ausbildet. Die Hauptströmung wird von zwei ausgeprägten Rezirkulationswirbeln gestützt.

Demgegenüber zeichnet sich das „strömungsdissipierende“ Strömungsmuster durch einen stark gebogenen Strömungspfad aus. Die Hauptströmung prallt zunächst auf die gegenüberliegende Außenwand, danach wird sie an der Leitwand stark umgelenkt, um sich im Weiteren zum nächsten Schlitz hin auszurichten. Hinter dem Umlenkbereich entwickelt sich hierbei eine große Rezirkulationszone.

Zusätzlich existiert ein Übergangsbereich, in welchem der Strömungspfad keinem der beiden Muster eindeutig zuzuordnen ist. Er ist durch eine instabile bzw. schwankende Strömungscharakteristik gekennzeichnet [3].

Welches Strömungsmuster im Einzelfall vorliegt, ist maßgeblich von den gegebenen geometrischen Verhältnissen abhängig. So führen große Sohlenneigungen und vergleichsweise langgezogene Becken eher zu „strömungsdissipierenden“ Verhältnissen, wohingegen „strömungsstabile“ Verhältnisse tendenziell eher bei geringen Sohlenneigungen und kurzen, breiten Becken auftreten [4].

Zu den Auswirkungen weiterer Einflussgrößen, wie z. B. dem Schlitzwinkel oder der Anordnung der Leitelemente, werden



**Bild 1:** Vorbereitung zum Einbringen der Spundbohlen mittels Vibrationsramme (links); Schlitzpass mit Spundwänden als Tragkonstruktion (rechts)

derzeit am IWG in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) eingehende Untersuchungen durchgeführt [5].

### 3 Modellkonzept

Zur Analyse möglicher Einflüsse offener Spundwandprofile auf die Strömungscharakteristik wurden verschiedene Szenarien unter Einsatz physikalischer und 3-D-numerische Modelle, der sogenannten hybriden Modelltechnik, untersucht. Im physikalischen Modell erhobene, fischökologisch relevante Messdaten ermöglichten dabei die Bewertung der hydraulischen Auswirkungen der unterschiedlichen Wandgestaltung. Des Weiteren dienten sie der Kalibrierung 3-D-numerischer Strömungsmodelle, deren Übertragung auf andere standortspezifische Geometrien weiterführende Aussagen zur Allgemeingültigkeit der gewonnenen Erkenntnisse ermöglichten.

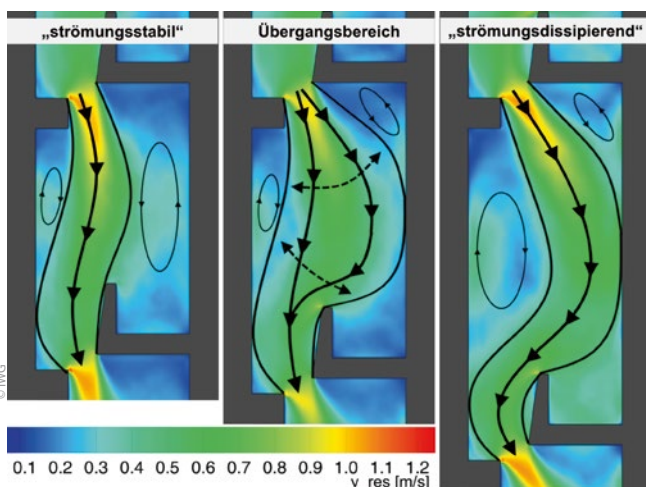
#### 3.1 Labormodell

Zur Bearbeitung der Fragestellung wurde der Ausschnitt einer aktuell in Planung befindlichen FAA an einem Nebengewässer im Oberrheingebiet als Froude-Modell im Maßstab 1:3 im Wasserbaulaboratorium des IWG nachgebildet (**Bild 3**). Die Schlitzebauten wurden als einzelne, variabel verschiebbare Module

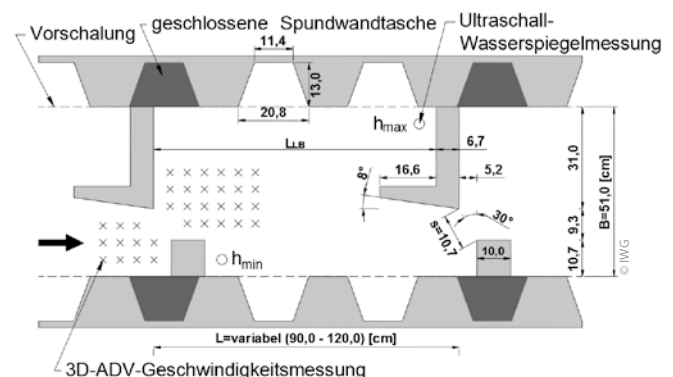
gefertigt. Die Neigung der 12 m langen Rinne beträgt ca. 4 %. Da das Hauptaugenmerk auf den Einflüssen der Spundwandberandung lag, wurde auf eine raue Sohle verzichtet. In Abhängigkeit von der jeweils untersuchten Variante belief sich die Anzahl der Becken auf 7 bis 10.

Die Geometrie der seitlichen Spundwandberandung orientierte sich an einem für derartige wasserbauliche Anlagen typischen Larssen-Profil 24 [6]. Die Spundwände oder bei Bedarf auch nur einzelne Spundwandtaschen ließen sich im Modell mit Blechen abdecken, um die Versuche mit einer geschlossenen Beckenwand (Vorschalung) durchführen zu können. Der Modelldurchfluss wurde mit einem Zulaufschieber eingestellt und über einen magnetisch-induktiven Durchflussmesser überwacht. Der Unterwasserstand konnte mit einer am Modellauslauf angeordneten Überfallklappe kontrolliert werden.

Um qualitative Aussagen zum Strömungsverhalten zu treffen, wurden die Strömungspfade bzw. die sich einstellenden Wirbelstrukturen mittels Farbtracer analysiert und durch Fotos und Videos dokumentiert. Zudem wurden die Fließgeschwindigkeiten im Schlitzbereich repräsentativer von den Randbedingungen möglichst unbeeinflusster Becken in der mittleren Wassertiefe mit einer ADV-Sonde aufgenommen. Diese auf dem Akustik-Doppler-Messprinzip basierende Sonde erfasst punktuell dreidimensionale Fließgeschwindigkeiten mit einer Frequenz von 25 Hz, wobei die Messdauer 180 s betrug. Zusätzlich wurden die Wasserstände an jeweils zwei charakteristischen Positionen pro Becken über einen Zeitraum von 180 s bei einer Frequenz von 100 Hz aufgezeichnet. Zum Einsatz kam hierbei eine über der Wasseroberfläche positionierte Ultraschallsonde (**Bild 3**).



**Bild 2:** Verschiedene Strömungsmuster eines Schlitzpasses: links: „strömungsstabile“ Verhältnisse; Mitte: Übergangsbereich; rechts: „strömungsdissipierende“ Charakteristik



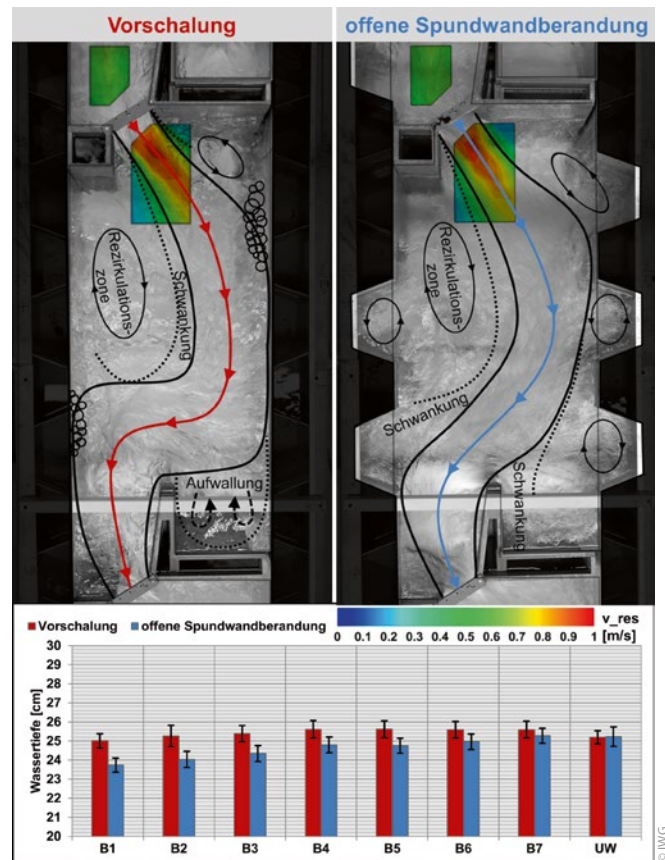
**Bild 3:** Planskizze des Modellaufbaus im Modellmaßstab 1:3



### 3.2 Hydrodynamisch-numerische Modellierung

In Ergänzung zu den physikalischen Modelluntersuchungen erfolgte eine numerische Simulationsstudie mit dem Verfahren Flow3D [7]. Dieses basiert auf einer Finite-Differenzen-Methode, womit die geringfügig erweiterten, reynoldsgemittelten Navier-Stokes-Gleichungen sowie eine zusätzliche Fluidvolumenfunktion zur Bestimmung der freien Wasseroberfläche auf einem regelmäßig strukturierten Berechnungsnetz gelöst werden. Die Einschränkungen durch das strukturierte Rechengitter werden in den Gleichungen durch zusätzliche Flächen-/Raumanteilsparameter, welche eine realistischere Geometrierepräsentation ermöglichen, reduziert. Zur Quantifizierung der Turbulenzeinflüsse wurden Untersuchungen mit statistischen Modellen ( $k\epsilon$ -Modell, RNG-Ansatz) und Grobstruktursimulationen (LES) durchgeführt. Über eine LES lassen sich entstehende Wirbel ab einer bestimmten Skalengröße samt ihren zeitlichen Schwankungen naturähnlich abbilden. Bereits in vorausgegangenen Studien [2] wurde die bessere Aussagekraft des LES-Ansatzes gegenüber statistischen Modellen, insbesondere vor dem Hintergrund der betrachteten Strömungsgrößen unter Berücksichtigung deren räumlicher und zeitlicher Schwankungen, dargelegt. Dies konnte auch durch die aktuellen Untersuchungen bestätigt werden. Im vorliegenden Beitrag wird daher lediglich auf die Ergebnisse der LES eingegangen.

Mithilfe der gewonnenen Daten aus dem Laborversuch war eine Kalibrierung des 3-D-numerischen Modells möglich. Das 3-D-Modell bildet das physikalische Modell in einem Maßstab von 1:1 ab, um die Übertragbarkeit von Ergebnissen zu vereinfachen. Es wurde eine Modelldiskretisierung von kubischen



**Bild 5:** Strömungssituation bei  $B/L_{LB} = 0,45$  mit Vorschalung (links) und Spundwandberandung (rechts) sowie zugehörige Wassertiefen (unten)

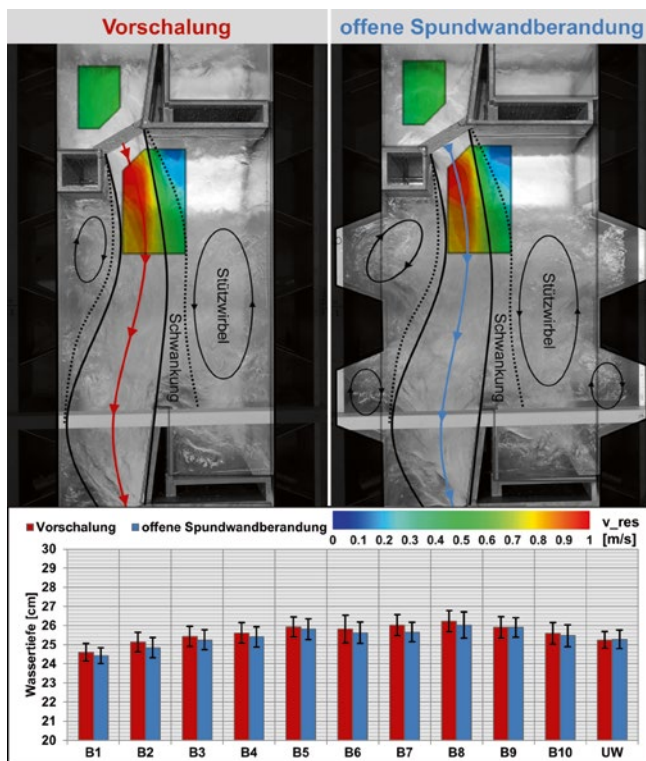
1-cm-Zellen gewählt, woraus sich eine Anzahl von ca. 4,8 Mio. aktiven Berechnungszellen ergab. Wesentliche Modellrandbedingungen stellten Zufluss und Unterwasserstand dar.

Abschließend wurden auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse weitere Anlagengeometrien numerisch untersucht.

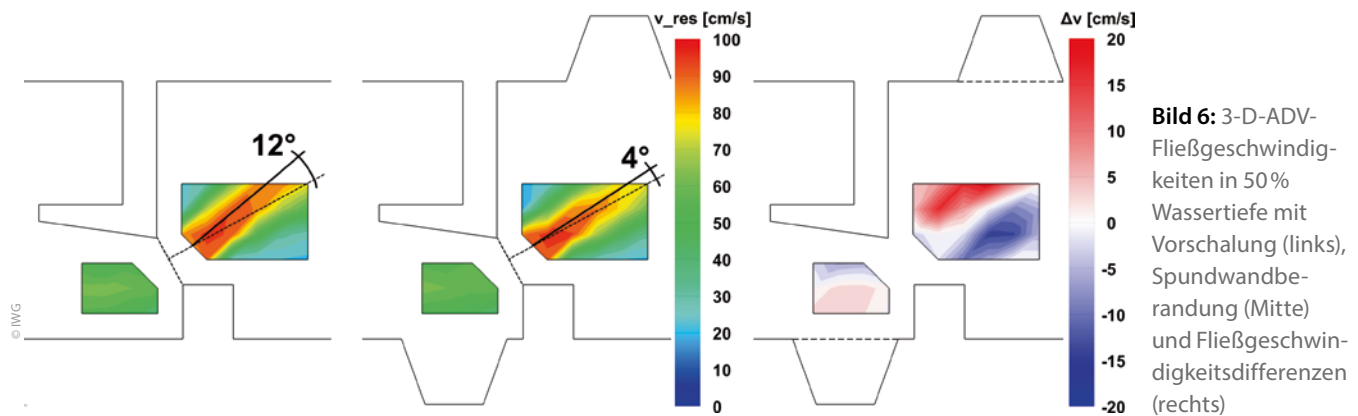
## 4 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

### 4.1 Anlagengeometrie mit „strömungsstabiler“ Charakteristik

Zunächst wurde der Ausschnitt des Schlitzpasses gemäß der realen Planung mit einem Breiten-zu-Längen-Verhältnis  $B/L_{LB} = 0,61$  untersucht. Der Einsatz von Spundwänden im Gegensatz zu einer Vorschalung führte zu keiner erkennbaren Beeinflussung der Strömungscharakteristik. In beiden Fällen wurde ein „strömungsstabiler“ Zustand mit nur leichten Schwankungen beobachtet. Die Rezirkulationszone im Strömungsschatten des Umlenkblocks reichte nun allerdings bis in die offene Spundwandtasche hinein, während sich in den anderen Spundwandtaschen beruhigte Bereiche oder nur kleinere Wirbel ohne Auswirkung auf die Hauptströmung ausbildeten (**Bild 4**). Eine offene Spundwandtasche direkt vor dem Umlenkblock ergab keinen erkennbaren Einfluss auf den Durchströmungswinkel des Schlitzes. Der in Bild 4 erkennbare Effekt leicht erhöhter Wassertiefen der mittleren Becken der Kaskade konnte nach ein-



**Bild 4:** Strömungssituation bei  $B/L_{LB} = 0,61$  mit Vorschalung (links) und Spundwandberandung (rechts) sowie zugehörige Wassertiefen (unten)



**Bild 6:** 3-D-ADV-Fließgeschwindigkeiten in 50% Wassertiefe mit Vorschalung (links), Spundwandberandung (Mitte) und Fließgeschwindigkeitsdifferenzen (rechts)

gehender Analyse auf bauliche Unregelmäßigkeiten der Modellsohle zurückgeführt werden. Er ist somit in allen Untersuchungsszenarien vorhanden und ohne weitere Bedeutung für die vergleichende Bewertung. Die Wassertiefen mit offener Spundwandberandung liegen nur unwesentlich unter denen mit Vorschalung, wobei die Differenzen durchaus auf Modell- bzw. Messungenauigkeiten zurückgeführt werden können. Auch die detektierten Fließgeschwindigkeiten waren in den untersuchten Becken nahezu identisch.

Als einzig ggf. planungsrelevanter Unterschied zwischen Vorschalung und offener Spundwandberandung ist die Leistungsdichte der Becken anzuführen. So ergibt sich aufgrund des zusätzlichen Beckenvolumens durch die Spundwandtaschen rein rechnerisch eine Verringerung der Leistungsdichte um ca. 10 % gegenüber der Vorschalung.

Auch die numerische Simulation ergab für beide Berandungsarten die Ausbildung einer eindeutigen „strömungsstabilen“ Charakteristik. Der Strömungspfad ist klar erkennbar und grenzt sich deutlich von den beruhigten Bereichen und Rezirkulationszonen ab. Hierbei stimmen die berechneten Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten des kalibrierten Modells gut mit den im Labor gemessenen Werten überein (Abweichungen <5 %).

#### 4.2 Anlagengeometrie mit „strömungsdissipierender“ Charakteristik

Nach Verlängerung der Becken zu  $B/L_{LB} = 0,45$  konnte sowohl mit offener Spundwandberandung als auch mit Vorschalung ein „strömungsdissipierendes“ Verhalten beobachtet werden. Mit Vorschalung bildete sich ein stark gebogener Strömungspfad aus, welcher zunächst auf die linke Außenwand prallte, an der querstehenden Leitwand umgelenkt wurde und schließlich noch auf die rechte Außenwand traf. Unterstrom des Umlenkblocks entwickelte sich hierbei eine große Rezirkulationszone (Bild 5). Die offene Spundwandprofilierung führte demgegenüber bedingt durch kleine Wirbelstrukturen in den Spundwandtaschen, welche den Strahl zur Mitte hin drückten, zu einer vergleichsweise geradlinigeren Strömungssignatur. Ein zusätzlicher, starker Aufprall auf die rechte Außenwand blieb i. Allg. aus bzw. erfolgte nur noch gelegentlich im Rahmen unregelmäßiger Schwankungen.

Die Betrachtung der Wassertiefen zeigt ausgehend von einem identischen Unterwasserstand eine nach oben hin zunehmende Differenz. Diese liegt in den ersten drei Becken bei 1,0 bis 1,5 cm

und entspricht einer Erhöhung der Abflussleistung um ca. 4 bis 5 % bei offener Spundwandberandung (Bild 5). Ursächlich dafür erscheinen im Wesentlichen die geringeren Umlenkungsverluste bedingt durch den tendenziell geradlinigeren Strömungsverlauf.

Auch in dieser Geometrievariante ergibt sich aufgrund des größeren Beckenvolumens bei offenen Spundwandtaschen rechnerisch eine um ca. 15 % reduzierte Leistungsdichte innerhalb der Becken.

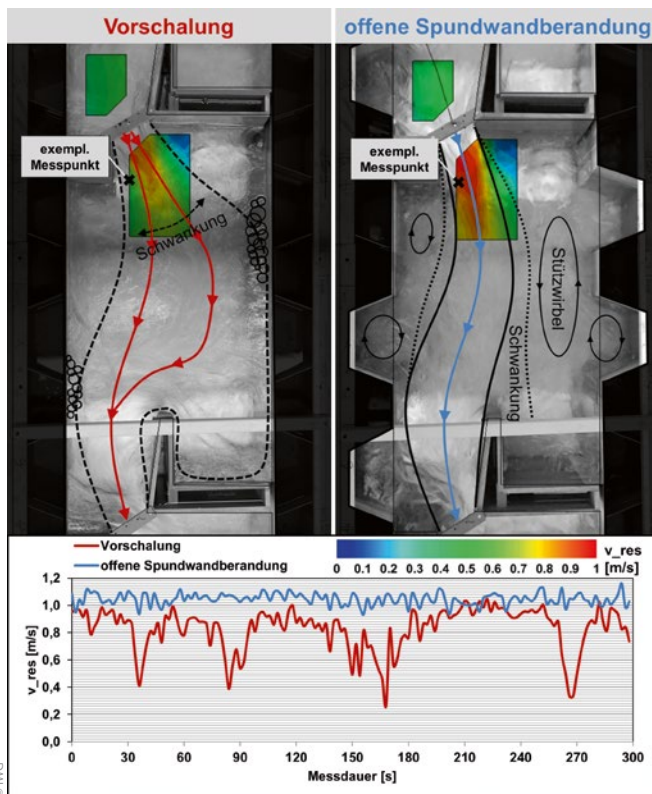
Die durch die Spundwandberandung verursachte Abnahme der Wassertiefen (bei gleichbleibendem Durchfluss) führte im vorliegenden Fall allerdings nicht zu der erwarteten Zunahme der maximalen Fließgeschwindigkeiten. Die Abweichung vom optimalen Anströmwinkel der Schlitze ändert sich durch die offene Spundwandberandung von 12° auf 4°, wodurch sich der wirksame Strömungsanteil erhöht und der Querschnitt besser genutzt wird (Bild 6).

Im 3-D-numerischen Modell werden sowohl der Hauptströmungspfad als auch die Rezirkulationszonen für beide Zustände sehr gut wiedergegeben. Auch die durch die offene Spundwandprofilierung verursachte Verschiebung der Hauptströmung zur Mitte hin konnte nachgewiesen werden. Lediglich die zweite starke Umlenkung mit Vorschalung wird in der Simulation etwas unterschätzt. Die Abweichungen der Wassertiefen des kalibrierten Modells von den Laborwerten betragen <5 %. Die von Aufpralleffekten und hohen Instationaritäten gekennzeichneten Fließgeschwindigkeiten wichen um maximal bis zu 10 % ab.

#### 4.3 Anlagengeometrie mit Übergangsbereich

Bei einem  $B/L_{LB} = 0,56$  mit Vorschalung stellte sich in den obersten drei Becken ein „strömungsstabiler“ und in den untersten drei Becken ein „strömungsdissipierender“ Zustand ein. Die mittleren Becken 4 bis 6 wiesen hingegen kein eindeutiges Strömungsmuster auf und ließen sich folglich dem Übergangsbereich zuordnen. Hier lag ein unregelmäßiger Wechsel zwischen leicht geschwungener Hauptströmung von Schlitz zu Schlitz bis hin zu einem stark gekrümmten Strahl, welcher auf beide Außenwände traf (Bild 7), vor. Zeitweise kam es auch zu Strömungsverhältnissen, die keinem der beiden Muster zuzuordnen waren, wobei diese Übergangsphasen im Modell ca. 4 bis 35 s (Naturmaßstab: 7 bis 60 s) andauerten und die jeweiligen charakteristischen Strömungsmuster für ca. 7 bis 20 s (Naturmaßstab: 12 bis 35s) erkennbar waren. Diese instationären Schwankungen werden bei Betrachtung der in Bild 7 exempla-





**Bild 7:** Strömungssituation bei  $B/L_{LB} = 0,56$  mit Vorschalung (links) und Spundwandberandung (rechts) sowie exemplarische Fließgeschwindigkeitszeitreihe (unten, 2 s gemittelt)

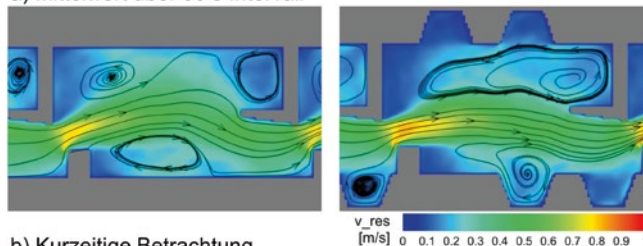
risch dargestellten Zeitreihen der gemessenen Fließgeschwindigkeiten deutlich.

Bei offener Spundwandberandung stellte sich in der gesamten Anlage durchgehend eine „strömungsstabile“ Charakteristik ein, so dass es in einigen Becken zu einer vollständigen Änderung der Strömungscharakteristik kam. Die starke Instationarität der Hauptströmung wie mit eingebauter Vorschalung war in den mittleren Becken (4 bis 6) folglich nicht mehr zu erkennen (Bild 7).

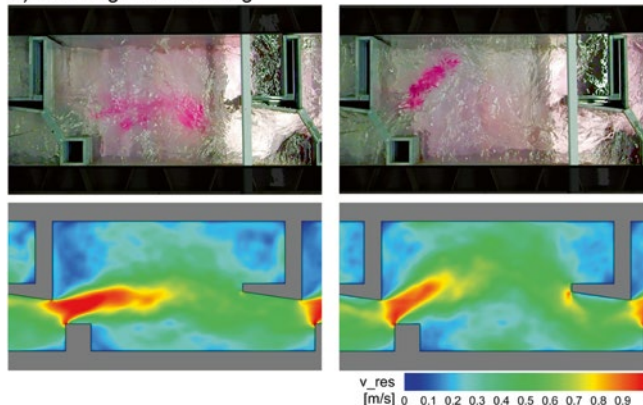
Die Mittelwerte der Fließgeschwindigkeiten im Nachlaufbereich des Schlitzes in Becken 5 lagen mit Vorschalung ca. 15 % unter denen mit offener Spundwandberandung. Kurzzeitige Maxima liegen jedoch in einer vergleichbaren Größenordnung wie bei „strömungsstabilen“ Verhältnissen.

Das unterschiedliche Strömungsverhalten in den einzelnen Becken wurde vom 3-D-numerischen Modell (LES) weitgehend korrekt abgebildet, wobei die Präsenz einer „strömungsdissipierenden“ Strömungscharakteristik in den unteren Becken nicht ganz so deutlich ausgeprägt war wie im Laborversuch. In **Bild 8a** wird das zeitlich gemittelte Strömungsverhalten über eine Dauer von 60 s in Becken 4 dargestellt. Mit Vorschalung ist weder der große Stützwirbel (typisch für „strömungsstabile“ Verhältnisse) noch ein Auftreffen der Hauptströmung auf die linke Berandungssseite (typisch für „strömungsdissipierende“ Verhältnisse) erkennbar. Folglich lässt sich die Strömungssituation keinem der beiden charakteristischen Muster zuordnen und entspricht wie auch im Laborversuch dem Übergangsbereich. Auch die bei offener Spundwandberandung in der

a) Mittelwert über 60 s Intervall



b) Kurzeitige Betrachtung



**Bild 8:** a) Simulationsergebnisse des 3-D-numerischen Modells (60 s gemittelt) bei  $B/L_{LB} = 0,56$  mit Vorschalung (links) und Spundwandberandung (rechts); b) Gegenüberstellung der realen Strömungssituation mit kurzzeitiger Ausbildung der Strömungsmuster (oben) und der 3-D-numerischen Simulation (unten, 10 s gemittelt)

gesamten Anlage beobachteten „strömungsstabilen“ Verhältnisse wurden entsprechend wiedergegeben. Bei Auswertung der Simulationsergebnisse über eine kürzere Zeitspanne konnten weiterhin die instationären Schwankungen der Hauptströmung mit Ausschlag zu den einzelnen Strömungsmustern wiedergegeben werden (**Bild 8b**).

#### 4.4 Analyse weiterer Anlagengeometrien

Im Rahmen der oben beschriebenen Untersuchungen für eine exemplarische Modellgeometrie konnte die Prognosefähigkeit der 3-D-numerischen Modellierung mittels LES für beide Strömungsmuster und insbesondere auch in Bezug auf den stark instationären Übergangsbereich nachgewiesen werden.

Um die Allgemeingültigkeit der gewonnenen Erkenntnisse zur Auswirkung von Spundwandberandungen auf die Strömungscharakteristik einer Beckenkaskade besser bewerten zu können, wurden zwei weitere Geometrievarianten numerisch untersucht. Beide Varianten orientieren sich dabei ebenfalls an realen Bauwerken. Sie unterscheiden sich durch ihr  $B/L_{LB}$  (0,71; 0,75) sowie die Sohlenneigung (3,8 %; 2 %) und weisen zudem geänderte Schlitzwinkel und Abmessungen der Einbauten auf. Es wurden jeweils 10 Becken mit ca. 10 Berechnungszellen pro Schlitzweite analog dem bisherigen Vorgehen (Abschnitt 3.2) simuliert.

In beiden Varianten bildete sich mit eingesetzter Vorschalung eine „strömungsstabile“ Charakteristik aus. Der alternative Einsatz einer offenen Spundwandberandung ergab in beiden Fällen keinen grundlegenden Einfluss auf das Strömungsbild. Es

deutet sich lediglich eine leichte Verschiebung der Hauptströmung von der Spundwandberandung in Richtung Beckenmitte an.

Die simulierten Ergebnisse der geänderten Anlagengeometrien stützen somit die gewonnenen Erkenntnisse aus Abschnitt 4.1.

## 5 Zusammenfassung

Im Rahmen hybrider Modelluntersuchungen wurde der Einfluss einer offenen Spundwandberandung als seitliche Berandung bei FAA in Schlitzpassbauweise analysiert.

Es konnte nachgewiesen werden, dass bei Anlagentypen, in welchen „strömungsstabile“ Verhältnisse vorherrschen, eine Spundwandprofilierung zu keiner signifikanten Veränderung der hydraulischen Charakteristik innerhalb der Becken führt. Bei Anlagen, die aufgrund ihrer geometrischen Abmessungen ( $B/L_{LB}$ , Neigung) eine „strömungsdissipierende“ Charakteristik aufweisen, kann eine offene Spundwandberandung tendenziell zu einem weniger gekrümmten Verlauf der Hauptströmung und zu einer geringfügigen Erhöhung des Anlagenabflusses führen. Diese Abflusserhöhung lag in den untersuchten Varianten bei bis zu 5 %. Ursächlich für die Verschiebung der Hauptströmung sind Wirbelstrukturen in den Spundwandtaschen, die den Strömungsverlauf von der Wand in Richtung Beckenmitte verlagern.

Im hydraulisch sensiblen Übergangsbereich zwischen den beiden Strömungsmustern konnte eine deutliche Veränderung des zuvor stark instationären Strömungsverhaltens hin zu einem „strömungsstabilen“ Zustand beobachtet werden.

Insgesamt kann geschlossen werden, dass sich die offene Spundwandberandung nur bei direktem Kontakt mit der Hauptströmung nachweisbar auf die Strömungscharakteristik auswirkt. Des Weiteren ist festzustellen, dass die offene Spundwandprofilierung zu einer Vergrößerung der Beckenvolumina führt und somit rechnerisch zu einer Abnahme der Leistungsdichte, welche im Bemessungsfall nach DWA-Merkblatt M 509 [1] als einzuhaltende Größe aufgeführt wird. Dies kann unter

Peter Oberle, Tim Kerlin, Mark Musall and Franz Nestmann

### Effects of lateral sheet pile walls on vertical slot fishway hydraulics

This article gives an overview of the hydraulic effects of sheet pile walls as lateral boundaries in vertical slot fishways. In this process the impact of a sheet pile wall compared to a straight boundary is examined in a hydraulic-engineering laboratory model. The model is characterized by mobile slot installations allowing for various length-to-width ratios, which result in various flow patterns. The tests show that there is no recognizable effect on the flow characteristics in the original model. However, the extension of the basin length shows marked tendencies towards a „smoothing“ of the main flow leading to an increased performance of the plant. Depending on the basin geometry selected the flow pattern in individual cases can completely change due to the boundary. Additionally, the results are used to validate 3D-numeric simulation studies of the various models. In this case the turbulence is modelled with a Large Eddy Simulation (LES). The LES models show an excellent compliance with the laboratory results. The simulation is merely inaccurate in flow details and in sensitive areas. However, the simulation is a reliable prediction tool.

Umständen unter Einhaltung anderer maßgeblicher Parameter, wie z. B. der maximalen Fließgeschwindigkeit oder Geometrievorgaben, zu einer Verkleinerung der Gesamtanlage führen. Hinzukommen ggf. ökonomische bzw. bauliche Vorteile bedingt durch den Spundwandeinsatz.

Durch die Modellstudie konnte außerdem zum wiederholten Male gezeigt werden, dass bei den untersuchten Bauweisen auf die 3-D-numerische Simulation mittels LES als zuverlässiges Prognosewerkzeug zurückgegriffen werden kann.

## Autoren

**Dr.-Ing. Peter Oberle**

**Tim Kerlin, M. Sc.**

**Dr.-Ing. Mark Musall**

**Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Franz Nestmann**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG)

Kaiserstraße 12

76131 Karlsruhe

peter.oberle@kit.edu

tim.kerlin@kit.edu

mark.musall@kit.edu

franz.nestmann@kit.edu

## Literatur

- [1] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.): Fischauftiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. In: DWA-Merkblätter (2014), M 509.
- [2] Oberle, P.; Musall, M.; Riesterer, J.; Nestmann, F.: Numerische Modelluntersuchungen im Rahmen der Planung der Fischauftiegsanlage Geesthacht. In: WasserWirtschaft 102 (2012), Heft 4, S. 28-33.
- [3] Wang, R. W.; David, L.; Larinier, M.: Contribution of experimental fluid mechanics to the design of vertical slot fish passes. In: Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems (2010), Nr. 2, S. 396.
- [4] Musall, M.; Oberle, P.; Baeza, R. C. et al.: Beitrag zu detaillierten Analysen der Hydraulik von Schlitzpässen. In: WasserWirtschaft 105 (2015), Heft 8, S. 67-72.
- [5] Höger, V.; Henning, M.; Nestmann, F.: Experimental study on the influence of pool geometry on flow patterns in vertical-slot fishways. In: Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Symposium on Ecohydraulics. Trondheim, Norwegen, 2014.
- [6] ThyssenKrupp: Spundwandhandbuch. 4. A. Essen: ThyssenKrupp Gft Bautechnik GmbH, 2010.
- [7] Flow Science Inc.: FLOW-3D(R) Documentation. Release 10.1.0. Santa Fe, USA, 2012.



Weitere Empfehlungen aus  
[www.springerprofessional.de](http://www.springerprofessional.de):

### 🔍 Schlitzpass

Thonhauser, St.; et al.: Fischlift Runserau — Eine innovative Lösung für schwierige Standorte. In: WasserWirtschaft, Ausgabe 02-03/2017. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.  
[www.springerprofessional.de/link/12114404](http://www.springerprofessional.de/link/12114404)

Gantert, C.; Dembinski, M.: Erfolgskontrolle einer Wanderhilfe für Fische. In: Wasser, Energie und Umwelt. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.  
[www.springerprofessional.de/link/12350200](http://www.springerprofessional.de/link/12350200)