

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Musall, Mark; Kerlin, Tim; Seidel, Frank; Oberle, Peter; Schmidt, Daniel Untersuchungen zum Einfluss seitlicher Spundwände auf die Strömungscharakteristik in technischen Fischaufstiegsanlagen

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:
**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische
Hydromechanik**

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103285>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Musall, Mark; Kerlin, Tim; Seidel, Frank; Oberle, Peter; Schmidt, Daniel (2017):
Untersuchungen zum Einfluss seitlicher Spundwände auf die Strömungscharakteristik in
technischen Fischaufstiegsanlagen. In: Technische Universität Dresden, Institut für
Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Bemessung im Wasserbau -
Klimaanpassung, Untersuchungen, Regeln, Planung, Ausführung. Dresdner Wasserbauliche
Mitteilungen 58. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und
technische Hydromechanik. S. 301-310.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Untersuchungen zum Einfluss seitlicher Spundwände auf die Strömungscharakteristik in technischen Fischaufstiegsanlagen

Mark Musall, Tim Kerlin,
Frank Seidel, Peter Oberle und Daniel Schmidt

Im Rahmen aktueller Forschungsarbeiten werden am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) die hydraulischen Auswirkungen unterschiedlicher seitlicher Berandungen bei technischen Fischaufstiegsanlagen (FAA) analysiert. Im Beitrag werden die wesentlichen Ergebnisse und Schlussfolgerungen der bisherigen Untersuchung vorgestellt.

Stichworte: Fischaufstiegsanlagen, Spundwände, Strömungscharakteristik

1 Einleitung

Zur Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit werden derzeit an vielen Gewässern existierende Querbauwerke mit Fischaufstiegsanlagen nachgerüstet bzw. es werden alte, nicht ausreichend funktionsfähige Aufstiegsbauwerke ersetzt. Insbesondere bei Schlitzpässen und Raugerinne-Beckenpässen kommen dabei aus bautechnischen Gründen häufig Stahlspundwände als seitliche Begrenzung zum Einsatz (vgl. Abschnitt 2). Bedingt durch die Bauform geeigneter Spundwandprofile und den daraus resultierenden, großen geometrischen Unregelmäßigkeiten der seitlichen Berandungen, sind jedoch Auswirkungen auf die hydraulische Situation innerhalb der eigentlichen Anlage nicht auszuschließen. Diese soll sich gemäß gängiger Vorgaben [z.B. DWA, 2014] durch eine eindeutige, durchgehende Leitströmung in der gesamten Beckenkaskade kennzeichnen. In der Praxis werden deshalb derzeit vor allem bei größer dimensionierten Anlagen oftmals Betonvorschaltungen vorgesehen bzw. von Behördenseite gefordert, welche mit entsprechend höheren Kosten für den Bauherrn verbunden sind.

Da zu dieser Thematik bislang keine systematischen Untersuchungen vorliegen, werden aktuell am Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) umfassende Analysen unter Einsatz physikalischer Laborversuche und numerischer Simulationen durchgeführt. Im physikalischen Modell erhobene, fischökologisch relevante Messdaten ermöglichen dabei die Bewertung der hydraulischen Auswirkungen der unterschiedli-

chen Wandgestaltung. Des Weiteren dienen sie der Kalibrierung eines 3D-numerischen Strömungsmodells, welches zukünftig mittels Übertragung auf andere standortspezifische Geometrien abschließende Aussagen zur Allgemeingültigkeit der gewonnenen Erkenntnisse liefern soll.

2 Vorteile des Einsatzes von Spundwänden

Spundwände stellen ein sehr flexibel einsetzbares Element im konstruktiven Wasserbau dar. Insbesondere werden sie zur Herstellung und Sicherung von Baugruben eingesetzt, sie können aber gleichzeitig auch als Bestandteil der Tragkonstruktion Verwendung finden. Maßgebend für die Ausführung von Spundwandbauwerken ist die DIN EN 12063. Das Einbringen der Spundwände erfolgt in der Regel im Press-, Vibrations- oder Rammverfahren.

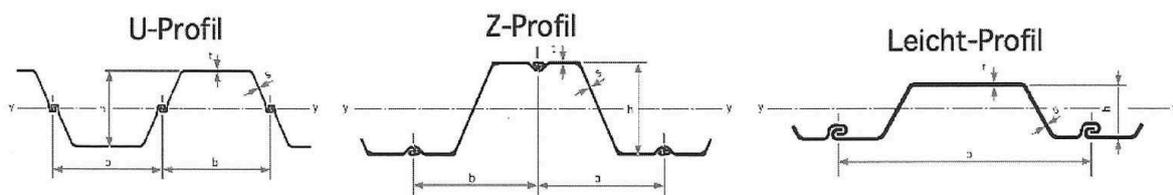


Abbildung 1: Spundwandprofile für die Anwendung bei Baugruben [Wietek 2011], eingesetzt werden vor allem die statisch sehr tragfähigen U- und Z-Profile

Ein Verbau mit Spundwänden ist wegen seiner wasserabsperrenden Funktion und der vollflächigen Wandstützung besonders geeignet für die Absicherung von Baugruben in offenen Gewässern sowie in Fällen, in denen anstehendes Grundwasser nicht abgesenkt werden darf bzw. kann (DIN 4124, 2012).

Insbesondere bei Schlitzpässen und Raugerinne-Beckenpässen kommen häufig Stahlspundwände als seitliche Begrenzung zum Einsatz (vgl. Abbildung 2). In Kombination mit der Verwendung von Unterwasserbeton ermöglicht dies die sehr schnelle Errichtung einer trockenen Baugrube ohne zusätzliche Maßnahmen zur Wasserhaltung wie z.B. Nadelfilteranlagen. Dadurch kann insbesondere auch das Absenken des Grundwassers (Absenkungstrichter) im Umfeld der Baugrube vermieden werden, was z.B. bei Lage des Vorhabens in sensiblen Schutzgebieten von Bedeutung ist. Gleichzeitig kann die räumliche Ausdehnung der Baugrube auf ein Minimum beschränkt werden und auch geneigte Böschungen sind nicht erforderlich.



Abbildung 2: Links: Vorbereitung zum Einbringen der Spundbohlen mittels Vibrationsramme, rechts: Schlitzpass mit Spundwänden als Tragkonstruktion

3 Modellierung

3.1 Physikalisches Modell und Messtechnik

Es wurde der Ausschnitt eines aktuell in Planung befindlichen Schlitzpasses an einem Nebengewässer im Oberrheingebiet im Maßstab 1:3 im Labor nachgebildet (vgl. Abbildungen 3 und 4). Das Modell zeichnet sich durch eine variable Wandgestaltung (Spundwände bzw. Vorschalung) sowie in Längsrichtung variabel positionierbare Schlitzeinbauten aus und bietet somit umfangreiche Optionen zur Parametervariation. Durch unterschiedliche Beckenlängen ließen sich je nach Untersuchungszustand 7 bis 10 Becken in der Modellrinne von 12 m Länge realisieren. Die verwendeten Spundwände sind dem U-Spundwandprofil Larssen 24 [ThyssenKrupp, 2010] nachempfunden. Um eine Umströmung der Schlitzeinbauten bei direkt angrenzenden, offenen Spundwandtaschen auszuschließen, wurden diese mit Metallblechen verschlossen (vgl. Abbildung 4). Die Sohlneigung der Rinne beläuft sich auf ca. 4 %.

Zur messtechnischen Erfassung der Strömungsverhältnisse wurden Fließgeschwindigkeiten im Schlitzbereich und Wasserstände aufgenommen. Mit der eingesetzten auf dem Akustik-Doppler-Messprinzip basierenden ADV-Sonde sind punktuelle dreidimensionale Geschwindigkeitsbestimmungen möglich. Es wurde in ausgewählten Becken in mittlerer Wassertiefe gemessen, wobei die Messdauer jeweils 180 s bei einer Frequenz von 25 Hz betrug. Die Wasserstände wurden an jeweils zwei charakteristischen Positionen pro Becken mittels einer über der Wasseroberfläche positionierten Ultraschallsonde aufgezeichnet,

wobei die Daten mit einer Frequenz von 100 Hz über 180 s erfasst wurden (Messpositionen vgl. Abbildung 4).



Abbildung 3: Modellaufbau im Wasserbaulabor

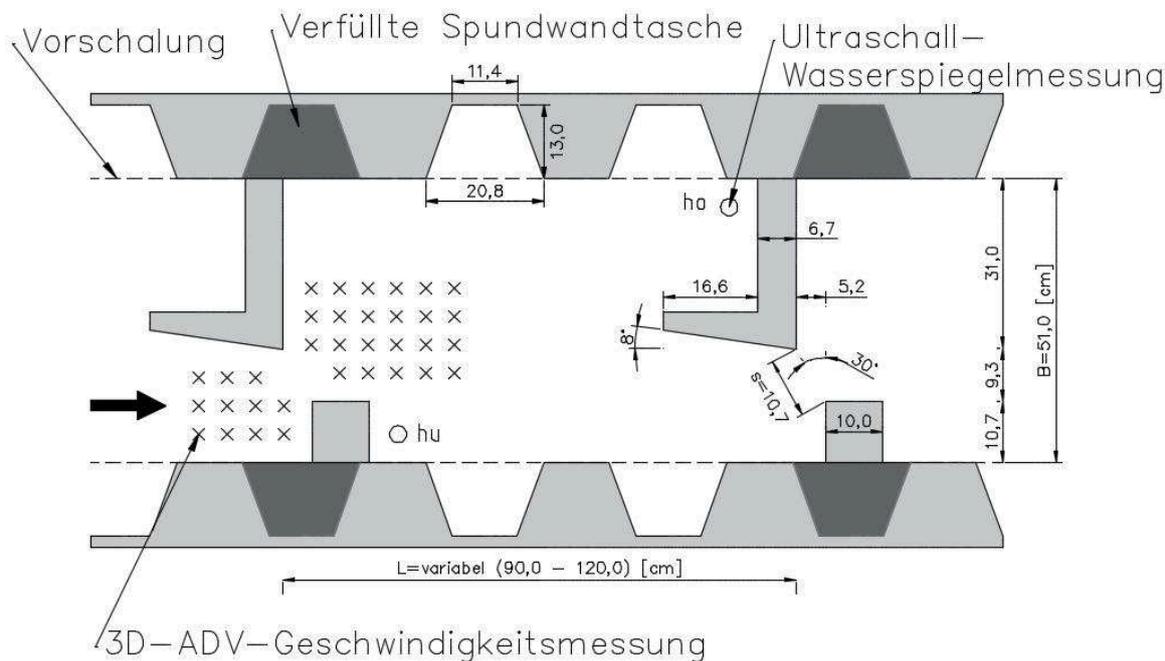


Abbildung 4: Planskizze des Modellaufbaus im Modellmaßstab 1:3

Der Unterwasserstand und der Durchfluss wurden mittels einer am Modellauslauf angeordneten Klappe bzw. einem Zulaufschieber eingestellt und mit einem magnetisch-induktiven Durchflussmesser überwacht. Des Weiteren wurden qualitative Tracerversuche zur visuellen Detektion von Strömungspfaden und Verwirbelungen durchgeführt, welche zur späteren Auswertung über Fotos und Videos dokumentiert wurden.

4 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Frühere Untersuchungen [z.B. Wang et al., 2010, Musall et al., 2014] haben aufgezeigt, dass die Strömungscharakteristik in Fischaufstiegsanlagen maßgebend vom Breiten-zu-Längen-Verhältnis (B/L_{LB}) bestimmt wird. Zur Analyse möglicher Spundwandinflüsse wurden deswegen drei verschiedene Situationen mit unterschiedlichen B/L_{LB} -Verhältnissen und daraus resultierenden unterschiedlichen Strömungsmustern in den Einzelbecken ausgewählt.

Zunächst wurde der Ausschnitt des Schlitzpasses gemäß der realen Planung mit einem $B/L_{LB} = 0,61$ untersucht, wobei sich ein „strömungsstabiler“ Zustand [vgl. DWA, 2014] einstellt. Es folgten ein $B/L_{LB} = 0,45$ mit „strömungsdissipierendem“ Strömungsbild und ein $B/L_{LB} = 0,56$, wo der Übergangsbereich zwischen den beiden eindeutigen Strömungsmustern identifiziert wurde.

4.1 $B/L_{LB} = 0,61$ – „Strömungsstabiler“ Zustand

Mit eingesetzter Vorschalung und einem $B/L_{LB} = 0,61$ wurde ein „strömungstabiles“ Strömungsverhalten beobachtet. Es bildete sich ein von Schlitz zu Schlitz fließender, leicht gebogener Hauptströmungspfad aus. Er schwankte leicht zwischen einem Auftreffen auf die Leiteinrichtung des Schlitzes und der in Fließrichtung rechten Außenwand. Die Hauptströmung wurde von zwei ausgeprägten Rezirkulationswirbeln gestützt (vgl. Abbildung 5, links).

Das Entfernen der Vorschalung zeigte bei diesem Untersuchungszustand nur geringe Auswirkungen. Es stellte sich mit Spundwänden ein nahezu unverändertes Strömungsmuster ein und auch die Schwankungsbreite des Strahles zeigte keine sichtbare Veränderung. Der Stützwirbel hinter dem Umlenckblock reichte nun allerdings bis in die offene Spundwandtasche, während sich in den anderen Spundwandtaschen beruhigte Bereiche oder nur kleinere Wirbel ohne Auswirkung auf die Hauptströmung ausbildeten (vgl. Abbildung 5, rechts). Auch eine offene Spundwandtasche direkt vor dem Umlenckblock ergab keinen erkennbaren Einfluss auf den Durchströmungswinkel des Schlitzes.

Die Analyse der Messwerte der Beckenwasserstände (vgl. Abbildung 8) sowie der Fließgeschwindigkeiten zeigt ebenfalls nur geringfügige Unterschiede, welche im Rahmen der natürlichen Schwankung bzw. der Messgenauigkeit liegen. Der in Abbildung 8 erkennbare Effekt leicht erhöhter Wassertiefen in Rinnenmitte ist auf bauliche Ungenauigkeiten der Modellsohle zurück zu führen und somit in allen Untersuchungsszenarien vorhanden und ohne weitere Bedeutung für die Analyse.

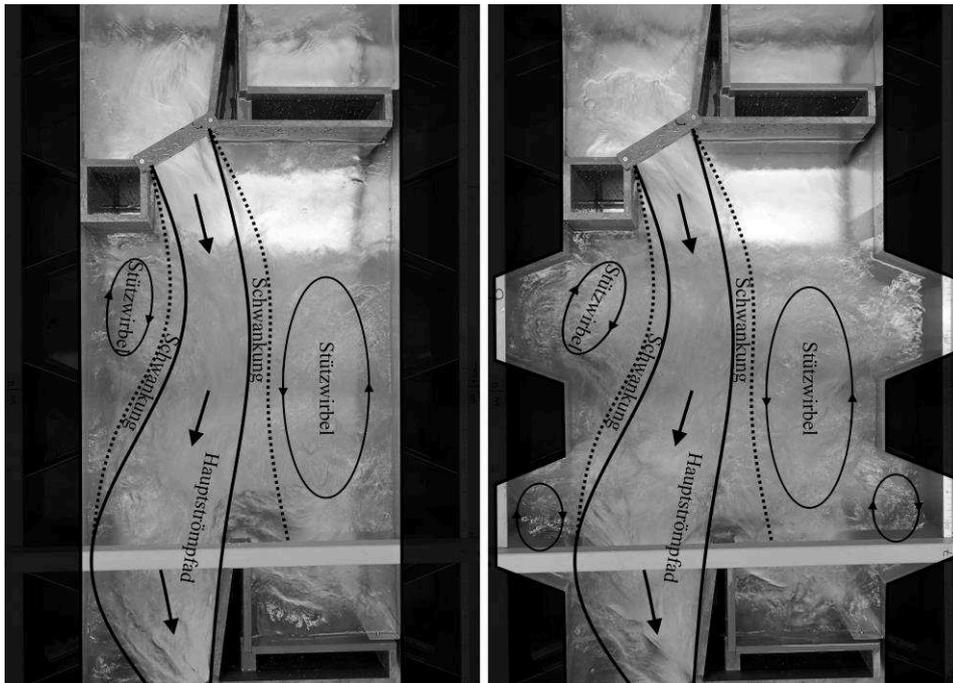


Abbildung 5: Strömungssituationen bei einem $B/L_{LB} = 0,61$ mit Vorschalung (links) und Spundwandberandung (rechts)

4.2 $B/L_{LB} = 0,45$ – „Strömungsdissipierender“ Zustand

Im weiteren Verlauf wurde ein Zustand mit $B/L_{LB} = 0,45$ untersucht. Bedingt durch die Verlängerung der Becken bildete sich hier bei eingesetzter Vorschalung erwartungsgemäß ein „strömungsdissipierendes“ Muster. Gekennzeichnet durch einen stark gebogenen Strömungspfad prallte die Hauptströmung zunächst auf die linke Außenwand, wurde an der querstehenden Leitwand stark umgelenkt und prallte schließlich noch auf die rechte Außenwand. Von dort floss die Strömung dann zum nächsten Schlitz. Es entwickelte sich eine große Rezirkulationszone unterstrom des Umlenkblocks (vgl. Abbildung 6, links).

Nach Entfernen der Vorschalung vor den Spundwänden konnten in diesem Zustand einige Unterschiede in der Strömungscharakteristik festgestellt werden. Die Hauptströmung prallte zwar immer noch gegen die linke Außenwand, wurde jedoch im weiteren Verlauf durch kleine Wirbel, welche sich in den Spundwandtaschen ausbildeten, zur Mitte gedrückt, wodurch sich insgesamt ein etwas „glatterer“ Strömungspfad durch das Becken hindurch mit geringer ausgeprägten Umlenkungen einstellte. Ein zusätzlicher, starker Aufprall auf die rechte Außenwand blieb i.A. aus bzw. erfolgte nur noch gelegentlich im Rahmen der Schwankung der Hauptströmung (vgl. Abbildung 6, rechts).

Die Betrachtung der Wassertiefen in Abbildung 8 zeigt ausgehend von einem identischen Unterwasserstand nach oben hin abnehmende Wassertiefen bei der Spundwandvariante. Die Wassertiefendifferenz in den oberen Becken (1, 2, 3)

liegt bei ca. 1 – 1,3 cm, was ca. 4 – 5 % der Beckenwassertiefe entspricht. Dies bedeutet aufgrund des identischen Modelldurchflusses bei beiden Varianten eine Erhöhung der Abflussleistung um ca. 4 – 5 % bei Einsatz einer Spundwandberandung. Ursächlich dafür erscheinen im Wesentlichen die geringeren Umlenkungsverluste bedingt durch den „glatteren“ Strömungsverlauf.

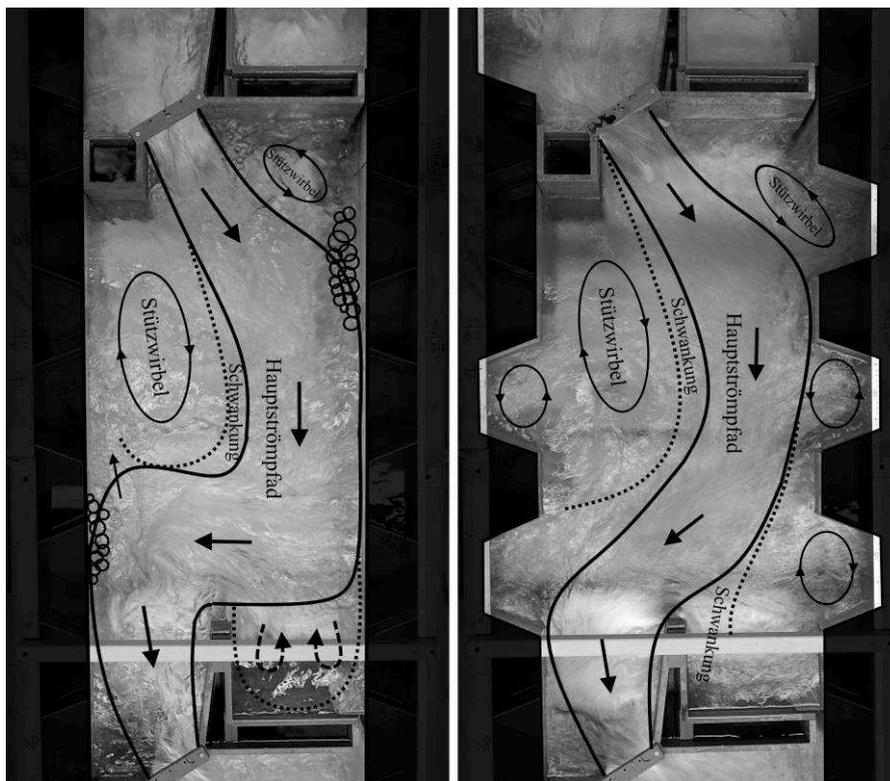


Abbildung 6: Strömungssituationen bei einem $B/L_{LB} = 0,45$ mit Vorschalung (links) und Spundwandberandung (rechts)

4.3 $B/L_{LB} = 0,56$ - Übergangsbereich

Beim dritten Modellzustand wurde ein $B/L_{LB} = 0,56$ eingestellt. Dabei wurde bei eingesetzter Vorschalung in den obersten Becken 1 bis 3 ein „strömungsstabiles“ Verhalten beobachtet, die untersten Becken 7 bis 9 waren demgegenüber durch „strömungsdissipierende“ Strömungscharakteristik gekennzeichnet und in den mittleren Becken 4 bis 6 bildete sich ein Übergangsbereich zwischen dem „strömungsstabilen“ und dem „strömungsdissipierenden“ Zustand aus. Hier lag ein unregelmäßiger Wechsel der Hauptströmung zwischen einem Strahl von Schlitz zu Schlitz (vgl. Abbildung 7, links) zu einem stark gekrümmten Strahl, welcher auf beide Außenwände traf (vgl. Abbildung 7, Mitte), vor. Es kam abschnittsweise zu Strömungsverhältnissen, die keinem der beiden Mustern zuzuordnen waren, wobei diese Übergangsphasen im Modell ca. 4 – 35 s (real: 7 – 60 s) andauerten und die jeweiligen Strömungsmuster für ca. 7 – 20 s (real: 12 – 35s) erkennbar waren.

Nach Entfernen der Vorschalung der Spundwände stellte sich demgegenüber in allen Becken der Rinne ein „strömungsstabiles“ Muster ein. In den Spundwandtaschen bildeten sich beruhigte Bereiche oder nur kleinere Wirbelsysteme (vgl. Abbildung 7, rechts).

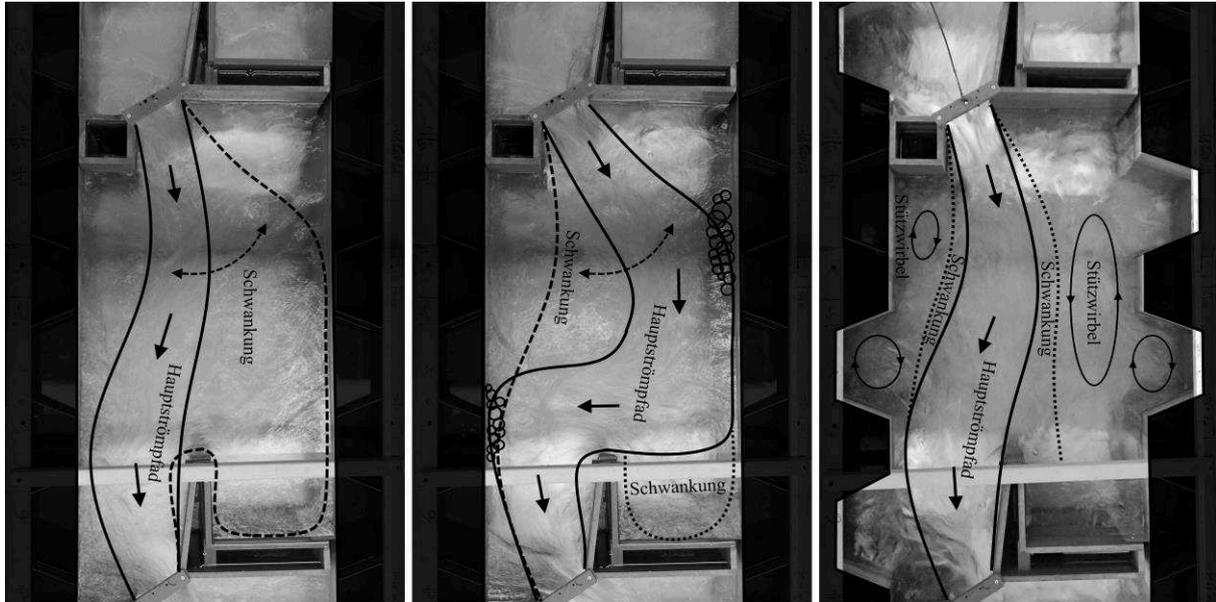


Abbildung 7: Strömungssituation bei einem $B/L_{LB} = 0,56$ mit Vorschalung und Ausschlag Richtung SM 1 (links), mit Ausschlag Richtung SM 2 (Mitte) und mit Spundwandberandung (rechts)

Betrachtet man die Wassertiefen in Abbildung 8, so sind bei eingesetzter Vorschalung generell deutlich größere Wassertiefen erkennbar, lediglich der modelltechnisch fixierte Unterwasserstand ist identisch. Die Unterschiede nehmen im Verlauf zunächst stark zu und reduzieren sich zum oberen Modellrand hin dann wieder etwas. In den Becken 4 bis 6 beträgt die Wassertiefendifferenz zwischen Vorschalung und Spundwandberandung ca. 3 – 3,5 cm. Dies ist gleichbedeutend mit ca. 11 - 13 % niedrigeren Wassertiefen im Übergangsbereich.

Betrachtet man diese Ergebnisse, erkennt man einen deutlichen Unterschied bezüglich der Anlagenleistungsfähigkeit im unteren Rinnenbereich bedingt durch die Änderung des Strömungsmusters. Hier kommt es im Falle einer Spundwandberandung bei identischem Abfluss zu deutlich geringeren Wassertiefen und damit auch zu höheren Fließgeschwindigkeiten. Die unterstrom des Schlitzes ermittelten maximalen Fließgeschwindigkeiten liegen hier mit Spundwänden um ca. 10 – 15 % höher. Im mittleren Rinnenabschnitt, wo sich mit Vorschalung ein strömungstechnischer Übergangsbereich einstellte, sind die Unterschiede vergleichsweise gering und aufgrund der im unteren Modellabschnitt verursachten großen Wasserspiegeldifferenz, welche hier nun etwas abgebaut wird,

nicht abschließend zu beurteilen. Im oberen Rinnenabschnitt zeigen sich kaum Veränderungen, was zu den Erkenntnissen aus Abschnitt 4.1 passt.

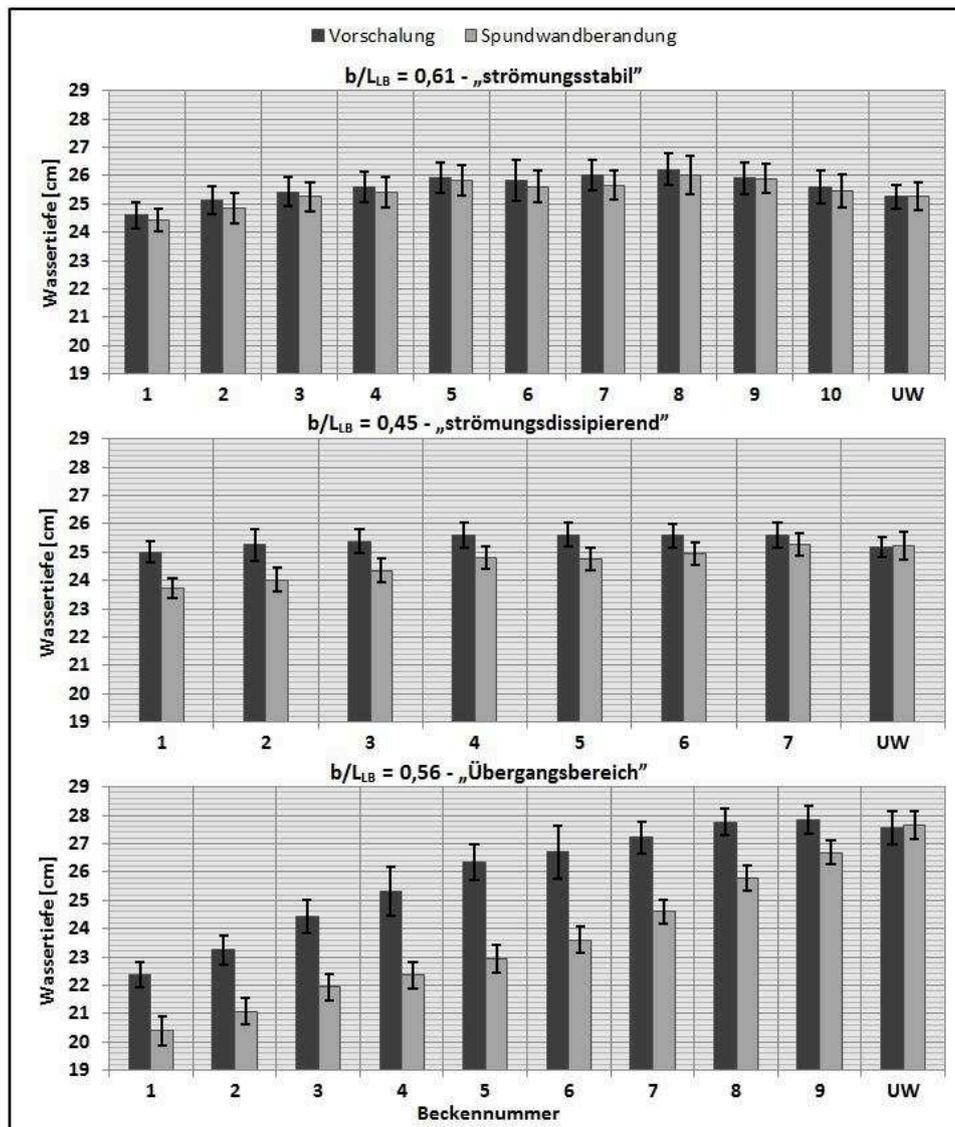


Abbildung 8: Wassertiefen in den einzelnen Becken bei den untersuchten Szenarien

5 Zusammenfassung & Ausblick

Der Einsatz von Spundwänden im Gegensatz zu einer ebenen Berandung führte bei dem untersuchten technischen Schlitzpass im Planungszustand zu keiner erkennbaren Beeinflussung der Strömungscharakteristik. Ergänzende Untersuchungen mit veränderter Beckengeometrie (Verlängerung der Becken zur Erzeugung abweichender Strömungsmuster) zeigten dagegen deutliche Tendenzen hin zu einer „Glättung“ der Hauptströmung. Abhängig von den gewählten Beckenabmessungen konnte es dabei auch zu einer vollständigen Veränderung des

Strömungsmusters bedingt durch die Art der Berandung kommen. Hier führte der Einsatz von Spundwänden tendenziell zu einer höheren Anlagenleistungsfähigkeit, was sich in etwas geringeren Wassertiefen und erhöhten Maximalgeschwindigkeiten unterstrom des Schlitzes zeigte.

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen werden die Ergebnisse durch numerische Berechnungen ergänzt, wobei insbesondere auch die Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse auf andere FAA-Geometrien analysiert werden soll.

6 Literatur

- DIN - Deutsches Institut für Normung e.V. (2012): 4124 - Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten. Beuth Verlag GmbH Berlin.
- DIN - Deutsches Institut für Normung e.V. (1999): EN 12063 Spundwandkonstruktionen. Beuth Verlag GmbH Berlin.
- DWA (2014): Merkblatt DWA-M 509: Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke, Hennef
- Musall, M., Oberle, P., Henning, M., Weichert, R., Nestmann, F.: „Analysen zu Strömungsmustern in technischen Fischaufstiegsanlagen“ In: 37. Dresdner Wasserbaukolloquium „Simulationsverfahren und Modelle für Wasserbau und Wasserwirtschaft“, Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen Heft 50, S. 353-362, 2014
- ThyssenKrupp (2010): Spundwandhandbuch, im Internet: <https://www.yumpu.com/de/document/view/8472688/spundwandhandbuch-thyssenkrupp-bautechnik/2>
- Wang, R. W., David, L., Larinier, M.: Contribution of experimental fluid mechanics to the design of vertical slot fish passes, Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems 396, 02, 2010
- Wietek, B. (2011): Böschungen und Baugruben – ohne und mit Verbau. Vieweg und Teubner Verlag – Springer Fachmedien Wiesbaden.

Autoren:

Dr.-Ing. Mark Musall
Tim Kerlin, cand. M.Sc.
Dr.-Ing. Frank Seidel
Dr.-Ing. Peter Oberle

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Schmidt

Institut für Wasser und Gewässerentwicklung,
Karlsruher Institut für Technologie,
Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe

IPP HYDRO CONSULT GmbH
Gerhart-Hauptmann-Str. 15
03044 Cottbus

Tel.: +49 721 6084 3163
Fax: +49 721 6084 2992
E-Mail: musall@kit.edu

Tel.: +49 355 75 70 05 19
Fax: +49 355 75 70 05 22
E-Mail: d.schmidt@ipp-hydro-consult.de