

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Weichert, Roman

Variable Strömungsprozesse in Engstellen – von der Bemessungs– zur Fischskala

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/110554>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Weichert, Roman (2021): Variable Strömungsprozesse in Engstellen – von der Bemessungs– zur Fischskala. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Die Variabilität natürlicher Prozesse – Eine Herausforderung bei der Planung von Fischaufstiegsanlagen. 7. Kolloquium zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen 18. und 19. November 2021 Onlineveranstaltung. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 68-74.

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.



Variable Strömungsprozesse in Engstellen – von der Bemessungs- zur Fischskala

Dr. sc. tech. Roman Weichert, Bundesanstalt für Wasserbau

Einleitung

Fischaufstiegsanlagen folgen häufig dem Grundprinzip, die an einer Stauanlage vorhandene Gesamtfallhöhe zwischen Ober- und Unterwasser über die Anordnung von Becken in kleine, für den Fisch überwindbare Wasserspiegeldifferenzen zu unterteilen. Bekannte Beispiele hierfür sind der Schlitzpass oder der Rundbeckenfischpass. Auch Raugerinne mit Beckenstruktur verfolgen diesen Ansatz, wenngleich die die Becken abgrenzenden Strukturen keine Trennwände aus Holz oder Beton sind, sondern aus Steinriegeln erstellt werden. Wenn Fische von einem Becken ins nächste schwimmen, müssen im Bereich der Trennwände bzw. Steinriegel Engstellen passiert werden. Im Bereich dieser Engstellen bzw. kurz unterhalb treten jeweils die höchsten Fließgeschwindigkeiten in der Fischaufstiegsanlage auf, die Fische zu überwindenden haben.

Die Bemessung von Engstellen nach den Vorgaben des DWA-Merkblatts 509 (DWA 2014) basiert auf der Verknüpfung fischökologischer und hydraulischer Parameter. Die zulässige Fließgeschwindigkeit in einer Engstelle ermittelt sich aus der Fischregion des Gewässers, der Fallhöhe der Stauanlage und einem Sicherheitsbeiwert. Mit der Gleichung $v = \sqrt{2g\Delta h}$ (v : maximal zulässige Fließgeschwindigkeit, g : Erdbeschleunigung) lässt sich die maximal zulässige Wasserspiegeldifferenz zweier aufeinanderfolgender Becken ermitteln und damit die Anzahl erforderlicher Becken der Fischaufstiegsanlage. Diese Vorgehensweise beinhaltet sowohl fischbiologische wie auch hydraulische Vereinfachungen, die erforderlich sind, um ein praktikables Vorgehen bei der Auslegung einer Fischaufstiegsanlage sicherzustellen.

Nachfolgend werden die hydraulischen Bedingungen in einer Engstelle am Beispiel des Schlitzpasses beschrieben, die wesentlich komplexer und variabler sind, als die oben skizzierten Annahmen aus der Bemessung. Die Auswirkungen des Unterschieds zwischen der variablen Realität und den erforderlichen Vereinfachungen im Rahmen der Bemessung werden vor dem Hintergrund von Fischverhalten und Hydraulik diskutiert.

Räumliche Variabilität der Fließgeschwindigkeiten in Engstellen

Die Hydraulik von Engstellen ist geprägt von einer zeitlichen wie auch räumlichen Variabilität der Fließgeschwindigkeiten und -richtungen sowie Wasserspiegellagen. Die räumliche Variabilität der Fließgeschwindigkeiten kann dabei auf zwei verschiedene Weisen beschrieben werden. So ist zum einen ein Schlitz für aufwärts schwimmende Fische keine zweidimensionale Engstelle („Schlitzquerschnitt“) zwischen Trennwand und Umlenkblock, sondern vielmehr ein Bereich, der von der Leitwand bis in die Zone unterhalb des eigentlichen Schlitzes reicht (Bild 1).

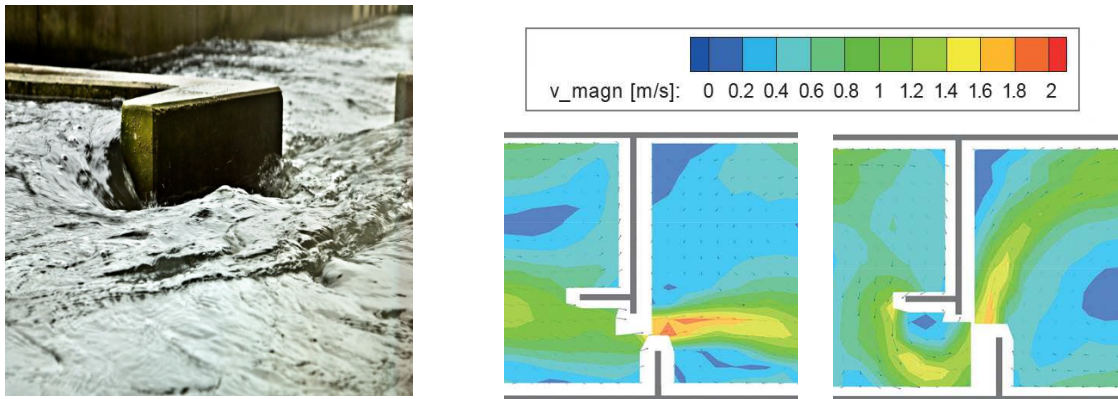


Bild 1: Räumliche Variabilität im Bereich der Engstelle eines Schlitzpasses, links Ablösung an der ins obere Becken reichenden Leitwand, rechts: Fließgeschwindigkeiten im Schlitzpass für verschiedene Strömungsmuster (angepasst aus Höger et al. 2020).

Während sich die Geschwindigkeiten in einer horizontalen Betrachtungsebene im Schlitzbereich deutlich unterscheiden, ist die Variabilität in vertikaler Richtung gering. In Schlitzpässen ist gemäß den Vorgaben des DWA (2014) eine raue Sohle vorgesehen. Eine ggf. zu erwartende räumliche Variabilität der Fließgeschwindigkeiten über die Fließtiefe stellt sich jedoch, selbst in Sohlhöhe, nicht ausgeprägt ein (Bild 2). Dies bedeutet, dass die hydraulischen Verluste im Schlitzbereich im Wesentlichen durch die Strömungsablösungen an Trenn- und Leitwand sowie durch Vermischungsprozesse im Becken bestimmt werden.

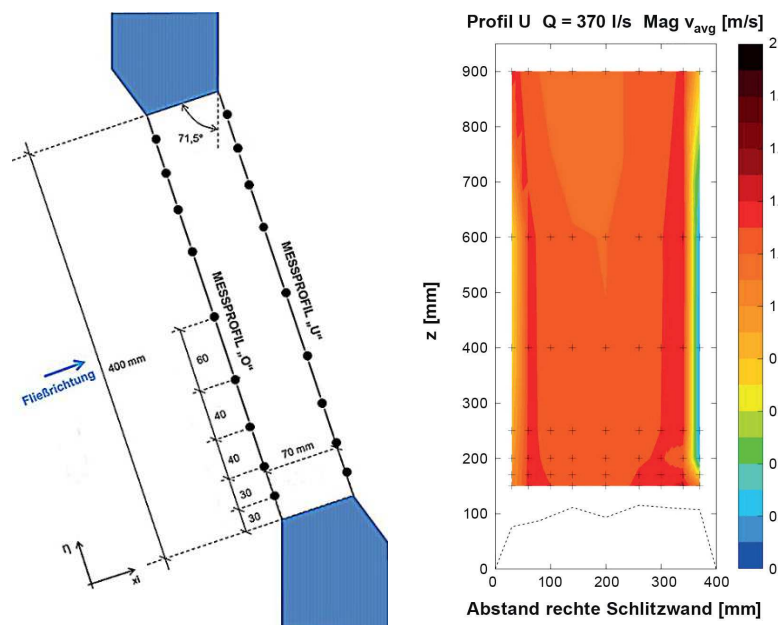


Bild 2: Räumliche Variabilität in der Engstelle eines Schlitzpasses über die Fließtiefe, links: Lage des Messprofils „U“, rechts: zeitgemittelte Fließgeschwindigkeiten des Profils „U“ mit Darstellung der Sohlrauheit.

Des Weiteren liegt eine räumliche Variabilität nicht nur für einen einzelnen Schlitzbereich, sondern auch zwischen den unterschiedlichen Schlitzten eines Schlitzpasses vor. Es zeigt sich, dass an

gleichen Messpositionen baugleicher Schlitzes signifikante Unterschiede der Fließgeschwindigkeiten gemessen werden können. Grund hierfür ist, dass Beckengeometrien, die nach den Empfehlungen des DWA (2014) realisiert werden, im Übergangsbereich der beiden beobachtbaren Strömungsmuster in Schlitzpässen liegen (Höger et al. 2020). Unter dieser Randbedingung können beispielsweise kleine Unterschiede in der Geometrie, also z. B. sich entwickelnder Bewuchs, Geschwemmsel oder die sich ändernden hydrologischen Bedingungen im Ober- bzw. Unterwasser zu Veränderungen in der Anströmung des betrachteten und weiter unterstrom liegender Schlitzes führen, was in Unterschieden der gemessenen Fließgeschwindigkeiten resultieren kann. Am Beispiel von Fließgeschwindigkeitsmessungen in einem gegenständlichen Modell eines Schlitzpässes mit mehreren Becken am KIT (Höger et al. 2020) zeigte sich, dass die Unterschiede der in verschiedenen Schlitzes gemessenen maximalen Geschwindigkeiten (im Schlitzquerschnitt wie auch unterhalb der Schlitzes) vom Strömungsmuster und vom Ort der Messung abhängen (Bild 3). Die maximalen Abweichungen zur Bemessungsgeschwindigkeit können dabei bis zu etwa 15 % betragen, d.h. übersteigen die über den Sicherheitsbeiwert in DWA (2014) abgedeckten Bereich von 5 %.

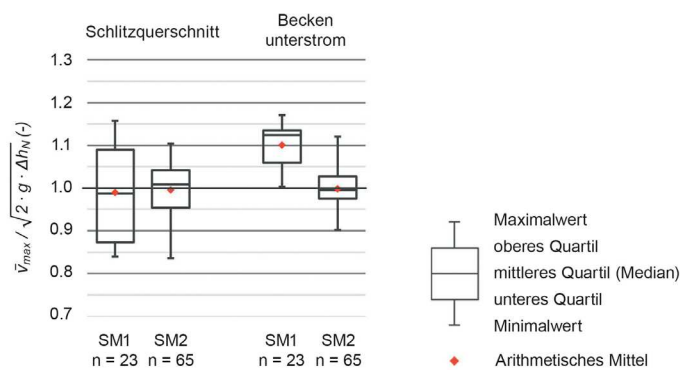


Bild 3: Räumliche Variabilität in verschiedenen Schlitzes einer Fischaufstiegsanlage, Darstellung gemessener maximaler Fließgeschwindigkeiten $\overline{v_{max}}$ (zeitlicher Mittelwert) normiert mit der Bemessungsgeschwindigkeit, differenziert nach Schlitzquerschnitt und Bereich unterhalb des Schlitzes sowie in Abhängigkeit des Strömungsmusters (aus Höger et al. 2020).

Zeitliche Variabilität der Fließgeschwindigkeiten in Engstellen

Neben räumlichen Unterschieden sind die Strömungsverhältnisse in Engstellen geprägt von einer zeitlichen Variabilität, d.h. die Fließgeschwindigkeit schwankt an einem betrachteten Punkt über die Zeit. Ein beispielhaft betrachteter Messpunkt aus Höger et al. (2020) zeigt, dass die Schwankungen der Fließgeschwindigkeit dabei durchaus in für Fische relevanten Bereichen liegen können (Bild 4).

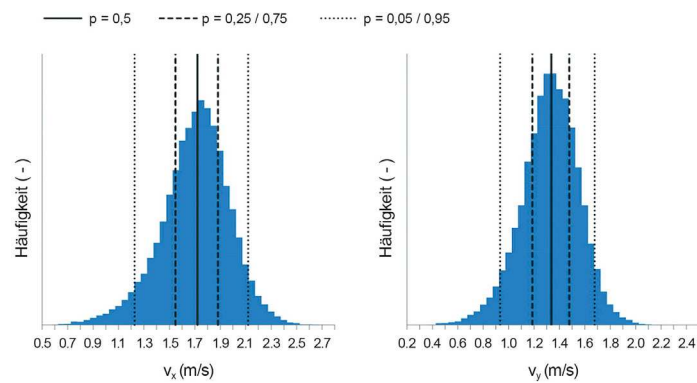


Bild 4: Verteilung der gemessenen Geschwindigkeitskomponenten v_x und v_y an einem beispielhaft ausgewählten Messpunkt für Strömungsmuster 1 (links) und Strömungsmuster 2 (rechts) (aus Höger et al 2020).

In Bild 5 sind die Resultate einer zeitaufgelösten, dreidimensionalen numerischen Simulation (DDES-Simulation) eines Schlitzpasses dargestellt. Der linke Teil des Bildes zeigt die zeitlichen Mittelwerte des Schlitzquerschnitts zwischen Trennwand und Umlenkblock, im rechten Bildteil sind die Standardabweichungen der Fließgeschwindigkeiten des gleichen Querschnitts dargestellt. Es wird deutlich, dass die größten Schwankungen (maximale Standardabweichungen in der Größenordnung von ca. 0.4 m/s) insbesondere an der Wasseroberfläche (schwankender Wasserspiegel) und im Bereich von Scherzonen (Ablösungen) auftreten.

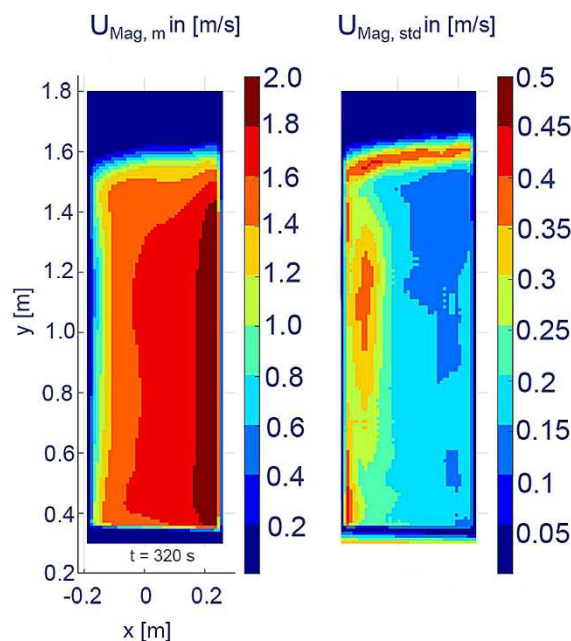


Bild 5: Zeitgemittelte Fließgeschwindigkeiten eines Schlitzquerschnitts (links) und dazugehörige Standardabweichung (rechts).

Bild 6 zeigt die Fließgeschwindigkeiten des in Bild 5 gezeigten Schlitzquerschnitts einer DDES-Simulation zu verschiedenen Zeitpunkten. Es lässt sich erkennen, dass die Variation der Fließgeschwindigkeiten an jeweils unterschiedlichen Stellen im Fließquerschnitt auftritt.

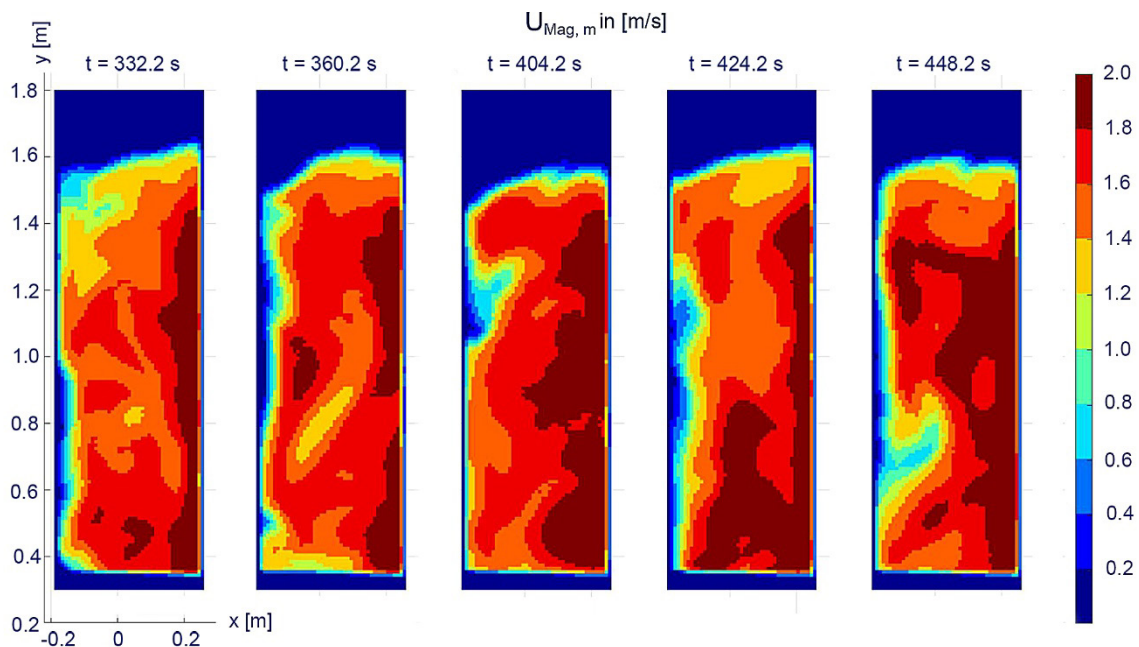


Bild 6: Momentane Fließgeschwindigkeiten im Schlitzquerschnitt zu unterschiedlichen Zeitpunkten aus einer DDES-Simulation.

Sokoray-Varga (2016) zeigte auf Basis von PIV-Messungen, dass die zeitabhängigen Strömungsprozesse in einem Schlitzpassbecken nicht periodischer Natur sind. Trotzdem konnten in den Strömungsdaten Strömungsereignisse identifiziert werden, die in einer bestimmten zeitlichen Abfolge aufzutreten scheinen (siehe auch Sokoray-Varga und Weichert 2020).

Diskussion

Die Hydraulik von Engstellen ist geprägt von einer räumlichen und zeitlichen Variabilität der Fließgeschwindigkeiten. Diese Tatsache spielt sowohl für den Umgang mit Bemessungswerten, d. h. für die Planung, wie auch für die Durchführung von hydraulischen Funktionskontrollen eine wichtige Rolle.

Bei der Bemessung von Fischaufstiegsanlagen wird nach DWA (2014) der Variabilität von Fließgeschwindigkeiten über die Anwendung eines Sicherheitsbeiwerts Rechnung getragen. Aus einem fischökologisch begründeten Grenzwert wird mit Multiplikation eines Sicherheitsbeiwerts der Bemessungswert für die Fließgeschwindigkeit ermittelt. Die im vorliegenden Beitrag dargestellten Ergebnisse aus Höger et al. (2020) für einen Labor-Schlitzpass zeigen, dass die Variabilität der Fließgeschwindigkeiten den über die Sicherheitsbeiwerte nach DWA (2014) abgedeckten Bereich teilweise übersteigen. Es stellt sich daher die Frage, ob die empfohlenen Sicherheitsbeiwerte anzupassen wären, um sicherzustellen, dass Fische Schlitzpässe überwinden können. Die dargestellten Ergebnisse zeigen jedoch, dass die Hydraulik einer Engstelle nicht mit einem einzigen

charakteristischen Wert für die Fließgeschwindigkeit beschrieben werden kann, sondern dass die Strömungsprozesse in Realität deutlich komplexer sind. Die hier dargestellten Ergebnisse stellen dabei ebenfalls eine starke Vereinfachung der Realität dar. Auf einer von Fischen wahrgenommenen Skala kann eine turbulente Strömung eher als ein System interagierender Wirbel unterschiedlicher Größen beschrieben werden. Eine Nutzung dieser, tatsächlich von Fischen wahrgenommenen Strömungsverhältnisse im Rahmen einer Bemessung ist aufgrund der gegebenen Komplexität derzeit kaum möglich.

Eine Variabilität der Fließgeschwindigkeiten bietet für Fische potenziell Möglichkeiten, Zeiten oder Zonen mit geringeren Fließgeschwindigkeiten für den Aufstieg zu nutzen. Grenz- und Sicherheitsbeiwerte nach DWA (2014) sind Empfehlungen, die nicht klaren fischbiologischen oder physikalischen Grenzen folgen, sondern stellen vielmehr einen Kompromiss aus fischökologischen und baupraktischen Anforderungen dar (siehe hierzu Heneka 2021), der sich in der Praxis bewährt hat. Festzuhalten ist aber auch, dass hinsichtlich der Funktionalität eines Schlitzpasses Wissenslücken bestehen, z. B. wie gut die Passage kleiner oder junger Fische möglich ist oder wie sich die kumulative Wirkung von Engstellen bei sehr langen Anlagen darstellt. Die Folge einer Anpassung der Sicherheitsbeiwerte wären geringere Wasserspiegeldifferenzen zwischen den Becken und damit längere Fischaufstiegsanlagen, die wiederum baupraktische Schwierigkeiten und letztendlich Unsicherheiten in der Funktionalität mit sich bringen können. Eine Anpassung der Sicherheitsbeiwerte (und damit der Bemessungswerte) scheint demnach erst dann gerechtfertigt, wenn die Wirkung der aus pragmatischen Gründen sehr sinnvollen Vereinfachung der Hydraulik von Engstellen besser beurteilt werden kann.

Neben der Bemessung spielt die Kenntnis der räumlichen und zeitlichen Variabilität auch für die Durchführung und die Bewertung der Ergebnisse von hydraulischen Funktionskontrollen eine wichtige Rolle. Hydraulische Funktionskontrollen werden in der Regel durchgeführt, um zu prüfen, ob in einer Anlage der zugrunde gelegte Grenzwert aus der Bemessung eingehalten wird. Für die Durchführung ist relevant, wo ein repräsentativer Wert gemessen werden soll, der mit den vorgegebenen Grenzwerten verglichen werden kann, und wie lange dort gemessen werden muss. Die Bewertung der Ergebnisse einer hydraulischen Funktionskontrolle muss vor dem Hintergrund der zeitlichen und räumlichen Variabilität und der Unschärfe, die ein vereinfachter Grenzwert mit sich bringt, erfolgen. Die hier dargestellten Ergebnisse sind dabei exemplarisch zu sehen und nicht verallgemeinerbar, da die Ausprägung der Variabilität in einer Engstelle von vielen Randbedingungen abhängt, wie z. B. Bautyp (Schlitzpass, Rundbeckenfischpass, Raugerinne mit Beckenstruktur etc.), detaillierte Ausgestaltung und Anordnung der Engstelle und den aktuellen hydrologischen Gegebenheiten.

Fazit

Die Kenntnis der zeitlichen und räumlichen Variabilität spielt in Engstellen von Fischaufstiegsanlagen in der Bemessung und im Kontext von hydraulischen Funktionskontrollen eine wichtige Rolle. Es ist daher sinnvoll, sich mit der Beschreibung der zeitlichen und räumlichen Variabilität von Strömungsparametern zu beschäftigen. Aufgrund der vergleichsweise großen Variabilität der Fließgeschwindigkeiten in Engstellen kann unter Umständen eine hydraulische Funktionskontrolle über die Messung von Wasserspiegeldifferenzen zwischen zwei identischen Messpunkten

zweier aufeinanderfolgender Becken zielführend sein, wenngleich auch hier einer vorhandenen räumlichen und zeitlichen Variabilität bei Messort und Messdauer Rechnung getragen werden muss.

Die Ergebnisse der vorgestellten Untersuchungen geben einen vertieften Eindruck über die hydraulischen Verhältnisse in Engstellen, auch wenn weiterhin Wissenslücken vorhanden sind. Diese betreffen die Beschreibung der Strömungsverhältnisse und vor allem das Verhalten der Fische in Engstellen. Bei der Übertragung der Ergebnisse solcher Untersuchungen in Bemessungsempfehlungen sind baupraktische und wirtschaftliche Aspekte mit zu berücksichtigen.

Literatur

- DWA (2014): Merkblatt 509, Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hg.), Hef. Hennef.
- Heneka, P. (2021): Bemessungskriterien für den Bau von Fischaufstiegsanlagen unter stark variablen Randbedingungen. Tagungsband des BAW/BfG-Kolloquiums zur ökologischen Durchgängigkeit „Die Variabilität natürlicher Prozesse – Eine Herausforderung bei der Planung von Fischaufstiegsanlagen“, 18./19.11.2021.
- Höger, V., Prinz, F., von Meltzer, J., Weichert, R. (2020): Die Variabilität der Fließgeschwindigkeit in Schlitzpässen. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): BAWMitteilungen Nr. 106, Karlsruhe: BAW, S: 23-32.
- Sokoray-Varga, B. (2016): Detecting flow events in turbulent flow of vertical slot fish passes. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), DOI: 10.5445/IR/1000072000.
- Sokoray-Varga, B., Weichert, R. (2020): Analyse turbulenter Strömungsprozesse in Schlitzpässen aus Sicht der Fischpassage. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): BAWMitteilungen Nr. 106, Karlsruhe: BAW, S: 59-65.