

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Sokoray-Varga, Béla; Läkemäker, Katrin**

## **Untersuchungen zur Optimierung der Passierbarkeit**

BfG-Veranstaltungen

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100848>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Sokoray-Varga, Béla; Läkemäker, Katrin (2012): Untersuchungen zur Optimierung der Passierbarkeit. In: Monitoring, Funktionskontrollen und Qualitätssicherung an Fischaufstiegsanlagen. Kolloquiumsreihe "Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen", 2. Kolloquium. BfG-Veranstaltungen 7/2012. Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde. S. 58-67.

### **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 zur Optimierung der Passierbarkeit

Béla Sokoray-Varga und Katrin Läkemäker

## 1 Einleitung

Ein wichtiger Bestandteil bei der Gewährleistung der Funktionsfähigkeit von Fischaufstiegsanlagen ist die Anwendung von qualitativ hochwertigen Planungsgrundlagen. Die Planungsgrundlagen weisen allerdings in einigen Bereichen noch Unsicherheiten auf, so dass im Bereich der Bemessungsvorgaben noch Forschungsbedarf besteht. Um diese Unsicherheiten zu mindern, sind diese Schwachstellen mittels Grundsatzuntersuchungen zu analysieren.

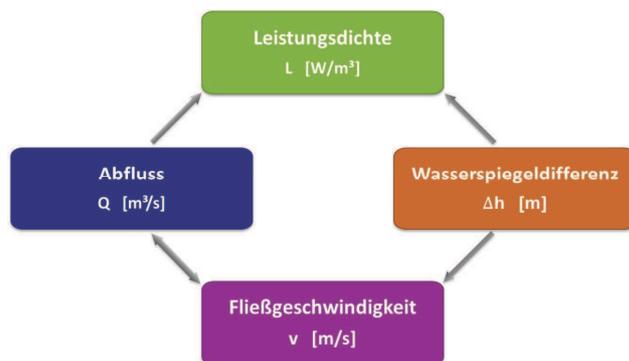
Am Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (KIT) wird u. a. im Rahmen eines Kooperationsprojekts mit der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) die Hydraulik des Vertical-Slot-Fischpasses untersucht. Ziel ist die Erforschung der Wissensdefizite bei der Berechnung von maximalen Geschwindigkeiten sowie die Auswirkungen der Geometrie auf die Strömungscharakteristik und auf die Eigenschaften der Turbulenz in den Becken. Die beiden laufenden Forschungsarbeiten sind in die Forschungsschwerpunkte „Strömungscharakteristik“ und „Turbulenz“ gegliedert.

In diesem Beitrag soll die Notwendigkeit für weitere Forschungen aufgezeigt werden. Der Beitrag ist keine wissenschaftliche Abhandlung der Regelwerke, sondern hat sich zum Ziel gesetzt, zwei wesentliche Schwachstellen der in der Praxis verbreiteten Ansätze aufzuzeigen. Die wesentlichen Ergebnisse der Laboruntersuchungen werden in weiteren Veröffentlichungen publiziert.

## 2 Untersuchungen zur Strömungscharakteristik

Bei der Planung und Bemessung von Vertical-Slot-Fischpässen stehen dem Planer derzeit die in den Regelwerken (DVWK 1996, MUNLV 2005) angegebenen Bemessungsvorgaben zur Verfügung. Neben den geometrischen Grenzwerten werden auch die hydraulischen Parameter Fließgeschwindigkeit, Abfluss, Leistungsdichte sowie das Gefälle durch den Parameter der Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken, zur Bemessung herangezogen. Die funktionalen Zusammenhänge der Parameter untereinander sind in Abb. 1 dargestellt.

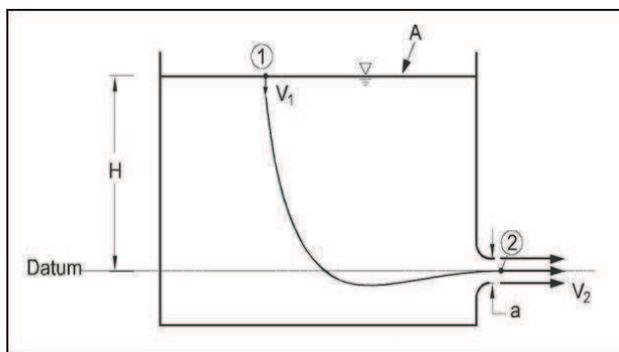
Die in den oben genannten Regelwerken postulierten Bemessungsformeln beruhen auf ein-dimensionalen Bemessungsansätzen. Die Erfahrungen in der Praxis sowie bereits erfolgte Untersuchungen haben gezeigt, dass dies nicht auf die sich tatsächlich einstellende Strömung in Schlitzpässen zutrifft (RAJARATNAM et al. 1986, WU et al. 1999, IWG 2009, ADAM et al. 2009). Folglich ist eine Planungssicherheit für den planenden Ingenieur nicht gegeben und es besteht im Bereich der Bemessungsvorgaben weiterer Forschungsbedarf.



**Abb. 1:** Funktionaler Zusammenhang der hydraulischen Parameter zur Bemessung eines Vertical-Slot-Fischpasses (Abb.: LÄKEMÄKER).

## 2.1 Die maximale Fließgeschwindigkeit

Der bestehende Forschungsbedarf soll im Folgenden anhand des planungsrelevanten Parameters maximale Fließgeschwindigkeit aufgezeigt werden. Der Parameter maximale Fließgeschwindigkeit, der als Grenzwert für die maximale Schwimmleistung der Fische herangezogen wird, zeigt, dass der hier gewählte eindimensionale Ansatz nicht die Verhältnisse in einem Vertical-Slot-Fischpass widerspiegelt. Die in den Regelwerken gegebene Bemessungsformel basiert auf der Toricelli-Gleichung. Sie beschreibt den Ausfluss aus einem Behälter (vgl. Abb. 2). Dabei wird die Annahme getroffen, dass die Anströmgeschwindigkeit  $v_1$  Null beträgt (JIRKA 2007).



**Abb. 2:** Ausfluss aus einem Behälter nach Toricelli (Quelle: JIRKA 2007)

Überträgt man dies auf die Verhältnisse in einem Vertical-Slot-Fischpass, wird der Schlitz mit der Ausflussöffnung des Behälters gleichgesetzt. Die Anströmgeschwindigkeit eines Schlitzes erreicht hier aber deutlich einen Wert, der über Null liegt. Folglich erreichen die maximalen Fließgeschwindigkeiten unterhalb des Schlitzes höhere Werte als die aus der theoretischen Berechnung erhaltenen Werte, da der Betrag der Anströmgeschwindigkeit hinzuzugediert werden müsste.

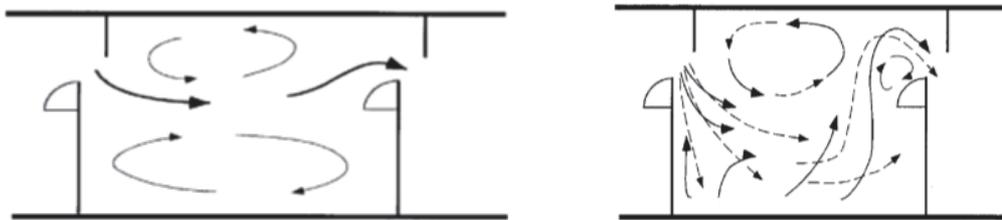
Um dieselbe Annahme, die der Toricelli-Gleichung zugrunde liegt, treffen zu können, muss die Anströmgeschwindigkeit vernachlässigbar klein sein. Dies kann nur erreicht werden, wenn die Energie im Becken nahezu vollständig dissipiert wird. Auf die sich daraus ergebenden Unsicherheiten bei der Bemessung wird im DWA-Merkblatt – M509 (DWA 2010) be-

reits hingewiesen. Es werden jedoch keine Angaben dazu gemacht, wie die Anströmgeschwindigkeit ermittelt werden kann. Dem Planer stellt sich daher die Frage wie die Anströmgeschwindigkeit bzw. die tatsächliche maximale Fließgeschwindigkeit berechnet werden kann. Daher finden am Institut für Wasser und Gewässerentwicklung großskalige physikalische Modellversuche statt, um durch Grundsatzuntersuchungen die bestehenden Bemessungsansätze zu erweitern und anzupassen. Die Zielsetzung ist dabei, dem Planer verlässliche Vorgaben für die Bemessung zur Verfügung zu stellen.

## 2.2 Strömungssignatur

Um den Fischen eine erfolgreiche Aufwanderung zu ermöglichen, wird eine möglichst geringe Turbulenz in den Fischaufstiegsanlagen angestrebt (LARINIER et al. 1998). Ein Maß für die in den Becken auftretende Turbulenz ist die Leistungsdichte. Sie ist ein Koppelparameter zwischen der Menge der eingetragenen potenziellen hydraulischen Energie und dem vorhandenen Beckenvolumen.

Betrachtet man die Strömungscharakteristik in einem Vertical-Slot-Pass können sich nach WU et al. (1999) grundsätzlich zwei Strömungssignaturen, sog. flow patterns, einstellen (Abb. 3).



**Abb. 3:** Strömungssignaturen in Schlitzpässen: flow pattern I (links), flow pattern II (rechts)  
(Quelle: WU et. al 1999)

Der flow pattern I ist durch einen durchgängigen Wanderkorridor (dicke Pfeile) gekennzeichnet. Dieser führt mit einem mehr oder weniger geschwungenen Strömungspfad vom ober- zum unterstromigen Schlitz. Hier können relativ große Fließgeschwindigkeiten auftreten. Diese sind für eine durchgehende rheotaktische Orientierung für die Fische sicherzustellen. In den Bereichen links und rechts neben dem Wanderkorridor bilden sich große Walzen aus, in denen geringere Fließgeschwindigkeiten herrschen, so dass diese Bereiche von den Fischen als Ruhezonen genutzt werden können. Bei der Strömungssignatur „durchgängiger Wanderkorridor“ wird die Strömung vor allem durch die Beckenlänge beeinflusst. Wird die Beckenlänge zu kurz gewählt, entsteht eine Kurzschlussströmung, d. h. es bildet sich ein gerader Strömungspfad, der direkt von Schlitz zu Schlitz verläuft und damit sehr große Fließgeschwindigkeiten hervorruft. Bei einer zu großen Beckenlänge besteht die Gefahr, dass der Wanderkorridor aufgrund zu geringer Fließgeschwindigkeiten abreißt und es zu einem Verlust der rheotaktischen Orientierung für die Fische kommt.

Der flow pattern II ist durch einen abreißenden Wanderkorridor gekennzeichnet. Bei diesem flow pattern trifft der aus dem oberstromigen Schlitz austretende Wasserstrahl auf die nächste unterstrom liegende Trennwand im Ruhebecken. Dabei wird der Strahl stark abgebremst. Die Bewegungsenergie des Strahles wird in Lageenergie umgewandelt. Es kommt im Ruhebecken im Bereich oberhalb der Trennwand lokal zu einer Erhöhung des Wasserspiegels. Durch

das zusätzlich entstandene Wasserspiegelgefälle erfährt das zuvor abgebremste Wasser eine Beschleunigung in Richtung Schlitzöffnung. Dies führt im Bereich des Schlitzes zu Strahlablösungen an den Trennwänden, die zu einer Einengung des Strömungskorridors führen. Es entsteht eine stark turbulente Strömung mit keinem durchgehenden Strömungspfad, dieser ist jedoch aus fischökologischer Sicht bedeutsam für ein effektives Wanderverhalten.

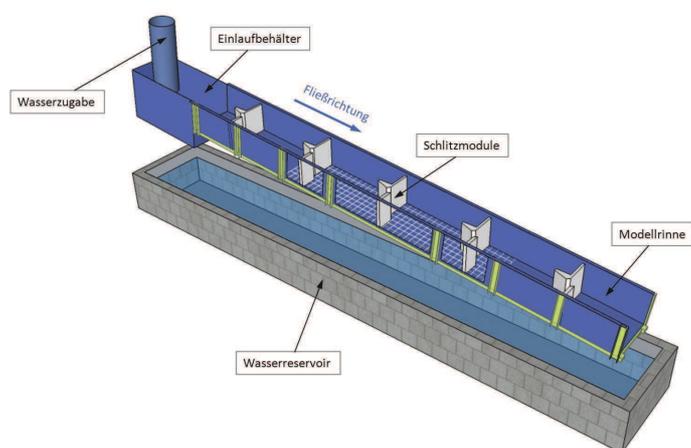
Beide Strömungssignaturen können nach den derzeitigen Bemessungsvorgaben der Regelwerke in einem Schlitzpass auftreten. Bisher ist noch nicht abschließend geklärt, bei welchen geometrischen Konfigurationen Strömungssignatur I, durchgehender Wanderkorridor, bzw. Strömungssignatur II, abreißender Wanderkorridor, auftritt. Die Klärung der Ursachen für das Auftreten der unterschiedlichen Signaturen ist von Bedeutung, da die Art der Signatur einen signifikanten Einfluss auf die hydraulischen Bedingungen in einem Schlitzpass und somit auf die Passierbarkeit hat.

WU et al. (1999) haben als eine Ursache für das Auftreten von unterschiedlichen flow patterns das Sohlgefälle genannt. TARRADE et al. (2008) sowie WANG et al. (2010) konnten eine zusätzliche Beeinflussung durch die Beckenbreite feststellen. Eine weitere Ursache kann ferner in der Beckenlänge liegen. Inwieweit unterschiedliche Kombinationen aus Sohlgefälle und Beckenlänge das Auftreten eines flow patterns beeinflussen, gilt es systematisch zu untersuchen.

### 2.3 Modellversuche

Im Rahmen des Forschungsvorhabens werden am Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) großskalige physikalische Modellversuche durchgeführt. Dabei ist das Ziel, Bemessungsansätze bzw. Designs zu entwickeln, die – unter Berücksichtigung der fischökologischen Kriterien – konstruktive Vorgaben für den Planer darstellen. Dabei wird das Hauptaugenmerk insbesondere auf die Bestimmung der maximalen Fließgeschwindigkeit sowie auf die auftretenden Strömungssignaturen in Abhängigkeit des gewählten Designs gelegt.

Dazu wurde im Theodor-Rehbock-Wasserbaulaboratorium am IWG ein Versuchsstand in Form einer 10 m langen und 80 cm breiten, höhenverstellbaren Rinne aufgebaut. In diesen werden Schlitzpasseinbauten als modulare Elemente installiert (vgl. Abb. 4). Dies ermöglicht eine große Variabilität in Bezug auf die geometrischen Abmessungen der Becken und Schlitzze, so dass unterschiedliche Strömungssignaturen erzeugt werden können. Die Fließgeschwindigkeiten werden hochaufgelöst mit einem 3D-ADV gemessen.



**Abb. 4:**  
Versuchsstand  
(Abb.: LÄKEMÄKER)

### 3 Untersuchungen zur Turbulenz

Es wurde schon vor längerer Zeit erkannt, dass Turbulenz die Schwimmleistung der Fische und damit die Passierbarkeit einer Fischaufstiegsanlage beeinflusst. Dennoch herrschen in solchen Anlagen bis heute oft sehr turbulente Strömungsverhältnisse.

Welche Eigenschaften der Turbulenz für das Schwimmverhalten der Fische maßgebend sind, wurde jedoch bis heute nicht geklärt. Planungsgrundlagen beinhalten deshalb kaum Empfehlungen, welche Veränderung in den Beckenbauteilen welche Auswirkungen auf die Ausbildung bestimmter Turbulenzmerkmale haben.

Die Untersuchungen in Kooperation mit der Bundesanstalt für Wasserbau haben die Ziele, durch hochaufgelöste Strömungsmessungen Eigenschaften und Skalen der Turbulenz in Vertical-Slot-Fischpässen zu bestimmen und Möglichkeiten zur Beeinflussbarkeit der Turbulenzverhältnisse durch gezielte Auswahl von Bauelementen aufzuzeigen.

#### 3.1 Relevanz der Turbulenzskalen und der verschiedenen Messverfahren

Turbulenz kann als die Gesamtheit der kleinräumigen Strömungsstrukturen (Wirbel) einer Strömung betrachtet werden, die über unterschiedliche zeitliche und räumliche Skalen verfügen.

Verschiedene Messverfahren erfassen Turbulenz unterschiedlich. In punktuellen Fließgeschwindigkeitsmessungen (z. B. Acoustic Doppler Velocimetry) wird Turbulenz als Geschwindigkeitsschwankung um den Mittelwert erfasst, die sich aus der Überlagerung der im Messpunkt durchfließenden Wirbel ergibt. Anhand punktueller Messergebnisse wird Turbulenz üblicherweise mittels der mittleren Schwankungsgrößen der Geschwindigkeit (z. B. turbulente kinetische Energie, Reynolds Schubspannungen) quantifiziert, wobei die Größen der Strukturen nicht gemessen werden. Ganzfeldmessverfahren wie z. B. Particle Image Velocimetry ermöglichen darüber hinaus die räumliche Erfassung der Strömungsstrukturen (z. B. SOKORAY-VARGA & JOZSA 2008).

Turbulente Strömungsstrukturen können in Abhängigkeit ihrer Skalen unterschiedliche Eigenschaften haben. Die großskaligen turbulenten Wirbel werden im Allgemeinen von den Instabilitäten der Hauptströmung erzeugt (z. B. Ablösung an Bauelementen, Scherzonen), ihre Eigenschaften (z. B. Ausdehnung in den Raumrichtungen) sind von der Geometrie und den Randbedingungen abhängig und besitzen deshalb Richtungseigenschaften, d. h. sie sind anisotrop. Aus größeren turbulenten Wirbeln entstehen durch den turbulenten Zerfallprozess kleinskalige turbulente Wirbel. Dabei bauen sich die Richtungseigenschaften ab, d. h. die Wirbel werden isotrop. In vielen wissenschaftlichen Untersuchungen wird feinskalige, isotrope Turbulenz erzeugt, indem die Strömung durch ein Gitter geleitet, und so in relativ kleine anisotrope Wirbel zerlegt wird, welche durch Zerfallprozesse schnell in isotrope Wirbel zerfallen.

Der Einfluss von Turbulenz auf Fische war in der Vergangenheit Inhalt zahlreicher Versuche, in denen das Schwimmverhalten von Fischen unter verschiedenen Strömungs- und Turbulenzrandbedingungen in unterschiedlichster Form erfasst wurde. Die einzelnen Experimente unterscheiden sich v. a. in der Art der Turbulenzerzeugung (z. B. Bauwerke oder Gitter) und der Art der Turbulenzmessung (punktueller Messung oder Ganzfeldmessverfahren).

### **3.2 Untersuchungen zum Einfluss von Turbulenz auf Fische in der Literatur**

Einige Veröffentlichungen zum Schwimmverhalten der Fische unter turbulenten Strömungsbedingungen betrachten ausschließlich feinskalige, isotrope Turbulenz unterschiedlicher Intensität, die z. B. durch Gitter erzeugt wird. Die Turbulenz wird punktuell statistisch, i. d. R. durch ADV-Messungen (z. B. ODEH et al. 2002, ENDERS et al. 2003) erfasst. Solche Versuche können den Einfluss der großskaligen turbulenten Strukturen nicht berücksichtigen.

Andere Untersuchungen erfolgten in Strömungen mit großskaliger, anisotroper Turbulenz, die meistens mit annähernd realmaßstäblichen Fischpassmodellen oder in Untersuchungsringen mit gezielt durch Zylinder erzeugten Strömungsstrukturen durchgeführt wurden. Anhand der angewendeten Messverfahren zur Erfassung von Turbulenz lassen sich solche Untersuchungen in zwei Untergruppen aufteilen.

In der einen Untergruppe wurde die großskalige, anisotrope Turbulenz zwar berücksichtigt, die Strömungseigenschaften aber punktuell gemessen, und damit die Größen der turbulenten Strukturen nicht erfasst (NIKORA et al. 2003, GUINY et al. 2005, SMITH et al. 2005, KAMPKE et al. 2008, SILVA et al. 2011).

In der anderen Untergruppe wurden die Eigenschaften der großskaligen, anisotropen Turbulenz mit Ganzfeldmessverfahren erfasst und so ein direkter Zusammenhang zwischen dem Schwimmverhalten der Fische und den Eigenschaften der turbulenten Strukturen erforscht (WEBB 1998, LIAO et al. 2003, BLECKMANN et al. 2004, LIAO 2007, TRITICO & COTEL 2010, PRYZBILLA et al. 2010). Wie realistisch die meist durch Zylinder oder Halbzylinder erzeugten Wirbelgrößen, ihre räumliche Ausdehnungen und ihr zeitliches Vorkommen die Verhältnisse in realen Fischpässen abbilden, ist jedoch aufgrund fehlender Messergebnisse weitgehend unbekannt.

### **3.3 Hochaufgelöste Turbulenzmessungen in Vertical-Slot-Fischpässen**

Für die zeitlich und räumlich hochaufgelösten PIV-Messungen wurde ein Vertical-Slot-Fischpass in einem physikalischen Modell mit 4 % Sohlneigung in der Bundesanstalt für Wasserbau aufgebaut. Das Modell enthält neun Becken von einem Meter Länge und 80 cm Breite.

Mit dem Stereo-PIV-System werden die Geschwindigkeiten in den Becken in horizontalen Ebenen gemessen. Die Taktrate des Messsystems erlaubt die zeitaufgelöste Aufnahme des Geschwindigkeitsfeldes, durch räumliche Analyse des Strömungsfeldes sollen die turbulenten Strukturen erfasst und deren Charakteristika bestimmt werden.

Ziel der Untersuchungen ist die Erfassung turbulenter Strukturen in den Becken und die Entwicklung von Methoden zu ihrer Charakterisierung anhand von Wirbelgrößen und zeitlicher Abfolge. Es wird untersucht, ob sich Zonen mit ähnlicher Charakteristik in den Becken und Periodizität in der Wirbelabfolge ausbilden. Die Analyse mehrerer geometrischer Varianten soll zeigen, wie man solche Charakteristika durch Einbauten wie Trennwände, Schlitzgeometrie, Störgeometrien u. ä. beeinflussen kann.

### **3.4 Weitere Nutzen der Erkenntnisse dieses Forschungsprojektes**

Mit Hilfe dieser Erkenntnisse soll gezeigt werden, inwiefern die Ergebnisse von bereits bestehenden Untersuchungen zur Fisch-Strömung-Wechselwirkung auf reale Fischpässe übertragen werden können.

Für zukünftige Untersuchungen des Fischverhaltens unter turbulenten Strömungsbedingungen können die Erkenntnisse dieser Studie, in Abhängigkeit der Untersuchungsmethode, wie folgt verwendet werden.

Bei Untersuchungen in Untersuchungsrippen, in denen großskalige turbulente Strukturen mit Hilfe von Zylindern erzeugt werden, könnten die Charakteristika der erzeugten Strömungsstrukturen aus den Erkenntnissen des vorliegenden Forschungsprojektes entnommen werden.

Bei Untersuchungen mit realmaßstäblichen Rinnenversuchen müssen Strömungserfassung und Fischbeobachtungen separat realisiert werden. Der Zusammenhang zwischen gemessenen Strömungscharakteristika einer Zone und beobachtetem Fischverhalten in der Zone muss anhand geeigneter statistischer Korrelationen nachträglich hergestellt werden. Die vorliegende Studie erarbeitet eine Methodik und Algorithmen zur Berechnung der Turbulenzcharakteristika für eine solche Übertragung.

## **4 Zusammenfassung und Ausblick**

Um qualitativ hochwertige Planungsgrundlagen zu erhalten, müssen die Unsicherheiten in den Bemessungsmethoden mit Hilfe von Grundsatzuntersuchungen vermindert werden.

Die vorgestellten Forschungsarbeiten sollen die Kenntnisse über die Hydraulik des Vertical-Slot-Fischpasses erweitern, insbesondere bezüglich der Zusammenhänge zwischen Anströmgeschwindigkeit und maximaler Geschwindigkeit, Leistungsdichte bei der Energiedissipation und Strömungssignaturen, sowie bezüglich Größe, Ausrichtung und zeitlichem Vorkommen der turbulenten Strömungsstrukturen in den Becken und deren Abhängigkeit von den geometrischen und hydraulischen Randbedingungen der Becken.

## **Literatur**

ADAM, B., C. LINDEMANN, W. KAMPKE & B. LEHMANN (2009): Ethohydraulische Tests zur Passierbarkeit von Schlitzten - Im Auftrag der Vattenfall Europe AG, (unveröff.)

BLECKMANN, H., J. MOGDANS, J. ENGELMANN, S. KRÖTHER & W. HANKE (2004): Das Seitenliniensystem - Wie Fische Wasser fühlen, Biol. Unserer Zeit, 2004, Vol. 6, pp. 358-365

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DVWK) (1996): Fischauftstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. – Merkblätter zur Wasserwirtschaft 232

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) 2010: Fischauftstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Bemessung, Gestaltung, Qualitätssicherung - Entwurf, Merkblatt DWA-M 509

- ENDERS, E. C., D. BOISCLAIR & A. G. ROY (2003): The effect of turbulence on the cost of swimming for juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*), *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2003, Vol. 60, pp. 1149-1160
- GUINY, E., D. ERVINE & J. ARMSTRONG (2005): Hydraulic and biological aspects of fish passes for Atlantic salmon, *Journal Of Hydraulic Engineering*, 2005, Vol. 131(7), pp. 542-553
- Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) (2009): Fischaufstiegsanlage Geesthacht – Wasserbauliche Modellversuche - Im Auftrag der Vattenfall Europe AG, (unveröff.)
- JIRKA, G. H. (2007): Einführung in die Hydromechanik, Universitätsverlag Karlsruhe
- KAMPKE, W., F. NESTMANN, B. LEHMANN & B. ADAM (2008): Ethohydraulics – behavioral study plus hydraulic modelling, *Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics*, 2008, Vol. Vol. 3, pp. 1877-1883
- LARINIER, M., J. P. PORCHER, F. TRAVEDE, C. GOSSET (1998): Passes à poissons. Expertise conception des ouvrages de franchissement, Conseil Supérieur De La Pêche, Paris, France
- LIAO, J. C. (2007): A review of fish swimming mechanics and behaviour in altered flows, *Phil. Trans. R. Soc. B*, 2007, Vol. 362, pp. 1973-1993
- LIAO, J. C., D. N. BEAL, G. V. LAUDER & M. S. TRIANTAFYLLOU (2003): Fish Exploiting Vortices Decrease Muscle Activity, *Science*, 2003, Vol. 302(5650), pp. 1566-1569
- Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes (MUNLV) Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2005): *Handbuch Querbauwerke*. Klenkes-Druck & Verlag GmbH, Aachen
- NIKORA, V. I., J. ABERLE, B. J. F. BIGGS, I. G. JOWETT, J. R. E. SYKES (2003): Effects of fish size, time-to-fatigue and turbulence on swimming performance: a case study of *Galaxias maculatus*. *Journal of Fish Biology*, 63: 1365-1382.
- ODEH, M., J. F. NOREIKA, A. HARO, A. MAYNARD, T. CASTRO-SANTOS & G. F. CADA. (2002): Evaluation Of The Effects Of Turbulence On The Behavior Of Migratory Fish, Final Report 2002, Report to Bonneville Power Administration, Contract No. 00000022, Project No. 200005700, 55 electronic pages (BPA Report DOE/BP-00000022-1), Bonneville Power Administration, 2002
- PRZYBILLA, A., S. KUNZE, A. RUDERT, H. BLECKMANN & C. BRUCKER (2010): Entraining in trout: a behavioural and hydrodynamic analysis, *Journal Of Experimental Biology*, 2010, Vol. 213, pp. 2976-2986
- RAJARATNAM, N., G. VAN DER VINNE, C. KATOPODIS (1986): Hydraulics of Vertical Slot Fishways, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 112, pp. 909-927
- SILVA, A. T., J. M. SANTOS, M. T. FERREIRA, A. N. PINHEIRO & C. KATOPODIS (2011): Effects of water velocity and turbulence on the behaviour of Iberian barbel (*Luciobarbus bocagei*, Steindachner 1864) in an experimental pool-type fishway, *River Research and Applications*, John Wiley & Sons, Ltd., 2011, Vol. 27(3), pp. 360-373

- SMITH, D. L., E. L. BRANNON & M. ODEH (2005): Response of Juvenile Rainbow Trout to Turbulence Produced by Prismatic Shapes, Transactions of the American Fisheries Society, 2005, Vol. 134(3), pp. 741-753
- SOKORAY-VARGA, B. & J. JOZSA (2008): Particle tracking velocimetry (PTV) and its application to analyse free surface flows in laboratory scale models, Periodica Polytechnica Civil Engineering, 2008, Vol. 52/2, pp. 63-71
- TARRADE, L., A. TEXIER, L. DAVID & M. LARINIER (2008): Topologies and measurements of turbulent flow in vertical slot fishways, Hydrobiologia, Springer Netherlands, 2008, Vol. 609, pp. 177-188
- TRITICO, H. M. & A. J. COTEL (2010): The effects of turbulent eddies on the stability and critical swimming speed of creek chub (*Semotilus atromaculatus*), Journal Of Experimental Biology, 2010, Vol. 213(13), pp. 2284-2293
- WANG, R. W., L. DAVID, M. LARINIER (2010): Contribution of experimental fluid mechanics to the design of vertical slot fish passes, Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, (2010), 396, 02
- WEBB, P. (1998): Entrainment by river chub *Nocomis micropogon* and smallmouth bass *Micropterus dolomieu* on cylinders, Journal Of Experimental Biology, 1998, Vol. 201(16), pp. 2403-2412
- WU, S., N. RAJARATNAM, FELLOW, C. KATOPODIS (1999): Structure of flow in Vertical Slot Fishway, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 125, No. 4, pp. 351-360



**Kontakt:**

**Dipl.-Ing. Béla Sokoray-Varga**

Karlsruher Institut für  
Technologie (KIT)  
Institut für Wasser und  
Gewässerentwicklung  
Kaiserstraße 12  
76128 Karlsruhe  
Tel.: 0721/ 9726 3615  
Email: [bela.sokoray-varga@baw.de](mailto:bela.sokoray-varga@baw.de)



**Kontakt:**

**Dipl.-Ing. Katrin Läkemäker**

Karlsruher Institut für  
Technologie (KIT)  
Institut für Wasser und  
Gewässerentwicklung  
Kaiserstraße 12  
76128 Karlsruhe  
Tel.: 0721/ 608 43164  
Email: [laekemaeker@kit.edu](mailto:laekemaeker@kit.edu)  
<http://iwk.iwg.kit.edu/>

**1998 – 2004**

Studium Bauingenieurwesen an der Technische  
und Wirtschaftswissenschaftliche Universität Bu-  
dapest (BME)

**2004 – 2009**

Wissenschaftlicher Angestellter an der BME

**seit 2009**

Wissenschaftlicher Angestellter am Karlsruher  
Institut für Technologie (KIT)

Projektbearbeitung:

2004 – 2009: Turbulenzmessungen in Vertical-  
Slot-Fischpässen mittels akustischer  
Messverfahren

2007 – 2009: Entwicklung von PIV-Algorithmen  
zur Anwendung für Labormessungen

seit 2009: räumlich und zeitlich hochaufgelöste  
Strömungsmessungen in Vertical-Slot-  
Fischpässen

**1999 – 2006**

Studium Bauingenieurwesen an der Universität  
Karlsruhe

**seit 2006**

Wissenschaftliche Angestellte am Institut für Was-  
ser und Gewässerentwicklung des Karlsruher Insti-  
tuts für Technologie (KIT)

Projektbearbeitung:

Physikalische Modellversuche:

- Ethohydraulische Untersuchungen
- Bauwerksmodelle (An- und Umströ-  
mungen, Wirbelbildung, etc.)
- Forschungsschwerpunkt: Hydraulik in  
Vertical-Slot-Fischpässen

Strömungsanalyse von Bauwerksstrukturen  
unter gewässerökologischen Aspekten

Bearbeitung diverser wasserbaulicher Fragestel-  
lungen