

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Heinzelmann, Christoph; Weichert, Roman

Hydraulische Untersuchungen zur Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit an Bundeswasserstraßen

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100803>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Heinzelmann, Christoph; Weichert, Roman (2011): Hydraulische Untersuchungen zur Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit an Bundeswasserstraßen. In: HTG-Kongress 2011, 7.- 10.09.2011 in Würzburg. Hamburg: HTG. S. 316-324.

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.



Hydraulische Untersuchungen zur Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit an Bundeswasserstraßen

Herr Prof. Dr.-Ing. **Christoph Heinzelmann**

Prof. Dr.-Ing. Christoph Heinzelmann, Bundesanstalt für Wasserbau, Dr. sc. tech. Roman Weichert, Bundesanstalt für Wasserbau

Hydraulische Untersuchungen zur Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit an Bundeswasserstraßen

Christoph Heinzelmann, Roman Weichert, Bundesanstalt für Wasserbau

1 Einleitung

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie zum Schutz und zur nachhaltigen Bewirtschaftung der Gewässer fordert u. a. die Erhaltung oder Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit. Zur Umsetzung dieser Forderung an den Bundeswasserstraßen wurde die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) durch das am 1. März 2010 novellierte Wasserhaushaltsgesetz (WHG) verpflichtet, an den Staustufen, die von ihr errichtet oder betrieben werden, die zur Erhaltung oder Wiederherstellung der Durchgängigkeit erforderlichen Maßnahmen hoheitlich durchzuführen. Eine erste Analyse [1] zeigte, dass die überwiegende Anzahl der WSV-Staustufen über keine ausreichend funktionsfähigen Anlagen verfügen. Somit wird der Bau von Fischauf- und Fischabstiegsanlagen bzw. deren Ertüchtigung an vielen Staustufen erforderlich. Dabei sind für Fischauf- und abstieg in der Regel unterschiedliche Anlagen zu realisieren, da sich das Fischverhalten im Auf- bzw. im Abstiegsfall deutlich unterscheidet. Derzeit liegt der Fokus der WSV vorwiegend auf den Fragestellungen des Fischaufstiegs.

In ihrer Funktion als fachwissenschaftliche Dienstleister für die WSV beraten und unterstützen die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) die WSV-Dienststellen seit kurzer Zeit auch in Fragen der ökologischen Durchgängigkeit. Dabei konzentrieren sich die Untersuchungen der BAW auf die hydraulischen und wasserbaulichen Aspekte, während die BfG die biologischen Aspekte untersucht. Eigenes Fachwissen, Fachliteratur und die Beratung durch externe Fachbüros und Forschungseinrichtungen dienen dabei als wichtige Grundlagen. Zur Weiterentwicklung des Stands von Wissenschaft und Technik über Fischaufstiegsanlagen werden zudem vertiefte Projektuntersuchungen sowie eigene Forschungs- und Entwicklungsvorhaben durchgeführt. Ziel ist es, neben der Entwicklung von Ausführungsvorschlägen für konkrete Baumaßnahmen auch grundsätzliche Empfehlungen für Anordnung, Ausrichtung, Dimensionierung, Dotierung, Betriebsweise und Überprüfung von Fischaufstiegsanlagen an Bundeswasserstraßen zu erarbeiten. Schwerpunkt der nachfolgenden Ausführungen sind die aktuellen Arbeiten der BAW zum Bau einer neuen Fischaufstiegsanlage an der Neckarstaustufe Lauffen.

2 Stand von Wissenschaft und Technik

Die Funktionsfähigkeit einer Fischaufstiegsanlage hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab: Der Auffindbarkeit der Anlage im Unterwasser einer Staustufe und der Passierbarkeit der Anlage. Die gegenwärtig publizierten Bemessungskriterien in den Verbandsmerkblättern und landesspezifischen Leitfäden sowie die Empfehlungen in der einschlägigen Fachliteratur gründen sich dabei im Wesentlichen auf Erfahrungswerte für die Auffindbarkeit und einfache hydraulische Annahmen für die Passierbarkeit. Die Erkenntnisse, die an bestehenden Fischaufstiegsanlagen gewonnen wurden, sowie theoretische Überlegungen zeigen, dass bei den Fischen, die regelmäßig über eine oder mehrere Staustufen wandern müssen, eine Bestandserhaltung und -entwicklung nur gelingen kann, wenn ein sehr großer Anteil der Tiere derartige Anlagen ohne große Zeitverzögerung zu finden und zu überwinden vermag. Folglich genügt es nicht, wenn Fischaufstiegsanlagen grundsätzlich für die betreffenden Fischarten passierbar sind. Sie müssen ebenso zügig überwunden werden können, um im o. g. Sinne ökologisch wirksam zu sein. Gefordert wird, dass die Funktionsfähigkeit der Anlage an 300 Tagen im Jahr gewährleistet ist, um dem jahreszeitlich unterschiedlichen Wanderungsverhalten der Fische gerecht zu werden.

Hervorzuheben ist, dass die bisherigen Erfahrungen mit Planung, Bau und Betrieb von Fischaufstiegsanlagen vorwiegend an kleinen und mittleren, selten jedoch an großen Fließgewässern, die als Wasserstraßen genutzt werden, gewonnen wurden. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass die WSV im Rahmen der Umsetzung der

Wasserrahmenrichtlinie bis zum Jahr 2027 an mehr als 200 Staustufen die ökologische Durchgängigkeit wiederherzustellen hat, ist eine Überprüfung und Weiterentwicklung der existierenden ökohydraulischen Bemessungsgrundlagen zwingend erforderlich.

3 Pilotprojekt am Neckar: Fischaufstiegsanlage Lauffen

Als Pilotprojekt wird derzeit in der Bundesanstalt für Wasserbau eine neu zu errichtende Fischaufstiegsanlage an der Staustufe Lauffen am Neckar hydraulisch untersucht. Die Staustufe Lauffen (Bild 1) setzt sich aus einer Doppelschleusenanlage, einem dreifeldrigen Wehr sowie einem Kraftwerk mit zwei Kaplanturbinen (Ausbauwasseremenge $Q_a = 80 \text{ m}^3/\text{s}$) zusammen. Die Fallhöhe beträgt 8,40 m.

Um für dieses Pilotvorhaben am Neckar den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik in die Planung einfließen zu lassen, setzte die für die Bundeswasserstraße Neckar zuständige Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest eine Arbeitsgruppe ein, in der neben der WSV sowie BAW und BfG auch das Land Baden-Württemberg vertreten war. Die Arbeitsgruppe erarbeitete Anforderungen hinsichtlich der Indikatorfischarten sowie der Gestaltung und der Dimensionierung der Anlage, die letztendlich von einem externen Fachbüro in einen ersten Planungsentwurf für die Fischaufstiegsanlage mündeten. Dieser Entwurf sieht den Bau eines Schlitzpasses vor, dessen Einstieg am linken Ufer direkt neben dem Auslass des Kraftwerks angeordnet wird.



Bild 1: Staustufe Lauffen, Blick vom Oberwasser: links das Kraftwerk, in der Mitte das Wehr, rechts die Schleusenanlage (Quelle: Amt für den Neckarausbau Heidelberg).

4 Hydraulische Untersuchungen zur Auffindbarkeit

4.1 Zielsetzung

Der Aspekt der Auffindbarkeit einer Fischaufstiegsanlage beinhaltet im Wesentlichen die Fragestellung, ob wanderwillige Fische, die direkt bis in das Unterwasser einer Staustufe gelangen, in der Lage sind, den Einstieg in die Fischaufstiegsanlage ohne größere Verzögerungen zu finden. Hierzu sind vor allem Kenntnisse über das artspezifische Wanderverhalten von Fischen erforderlich. Auch wenn diesbezüglich derzeit noch große Wissenslücken existieren, kann den Strömungsverhältnissen im Unterwasser einer Staustufe eine zentrale Bedeutung für die Orientierung der Fische zugeschrieben werden. Nur wenn es gelingt, dem Fisch eine für ihn wahrnehmbare Strömung aus der Fischaufstiegsanlage zur Verfügung zu stellen, ist die Grundvoraussetzung gegeben, dass die Mehrzahl der wanderwilligen Fische den Einstieg in die Fischaufstiegsanlage findet. Die

besondere Herausforderung an Bundeswasserstraßen ist hierbei, dass die mit der Strömung aus der Fischaufstiegsanlage konkurrierende Strömung im Auslaufbereich des Kraftwerks (Hauptströmung) so dominant ist, dass eine für den Fisch wahrnehmbare Leitströmung schwierig zu realisieren ist.

Um diese Frage für den Standort Lauffen beantworten zu können, werden zurzeit in der BAW hydraulische Untersuchungen auf Basis von Naturmessungen sowie numerischen und physikalischen Modellversuchen durchgeführt. In einem ersten Schritt wurden hierfür die Strömungsverhältnisse im Unterwasser der Stauanlage vermessen und entsprechend der Ist-Zustand in den Modellen abgebildet. Ziel der Modelluntersuchungen ist es, die Strömungssituation so zu beeinflussen, dass ein durchgehender und der Leistungsfähigkeit der Fische angepasster Wanderkorridor geschaffen wird. Dieses Ziel soll erreicht werden, indem die bauliche Gestaltung des Einstiegsbereichs der Fischaufstiegsanlage sowie das Abflussverhältnis zwischen Fischpassströmung und Hauptströmung optimiert und mit den betrieblichen Randbedingungen der Wasserkraftanlage abgestimmt werden. Im Folgenden werden die einzelnen Untersuchungen näher vorgestellt.

4.2 Naturuntersuchungen

Wie bereits erläutert, wurde zunächst die Strömungssituation im Ist-Zustand aufgenommen. Hierbei kam ein ADCP-Messgerät (Acoustic Doppler Current Profiler) zum Einsatz. Die Messungen dienten in erster Linie dazu, die numerischen und physikalischen Modelle für den Ist-Zustand zu kalibrieren. Eine erste Messkampagne wurde bereits bei einem Abfluss von ca. 45 m³/s durchgeführt. Eine weitere Messung ist bei ca. 80 m³/s vorgesehen, was der Ausbauwassermenge des Kraftwerks entspricht.

Die Strömungsmessungen wurden als Punktmessungen ausgeführt. Hierfür wurde ein Seil über den unterwasserseitigen Querschnitt des Kraftwerkskanals gespannt, an dem ein Miniatur-Messboot mit dem ADCP-Messgerät befestigt war (Bild 2). Insgesamt wurden in Zusammenarbeit mit der WSV sechs Querprofile mit jeweils fünf Messpunkten aufgenommen und ausgewertet. Nähere Angaben zur Durchführung und Auswertung der ADCP-Messungen finden sich in [2].



Bild 2: ADCP-Messung an der Stauanlage Lauffen, Blick von unterstrom auf den Kraftwerksauslass, links im Bild das Miniatur-Messboot mit dem ADCP-Messgerät.

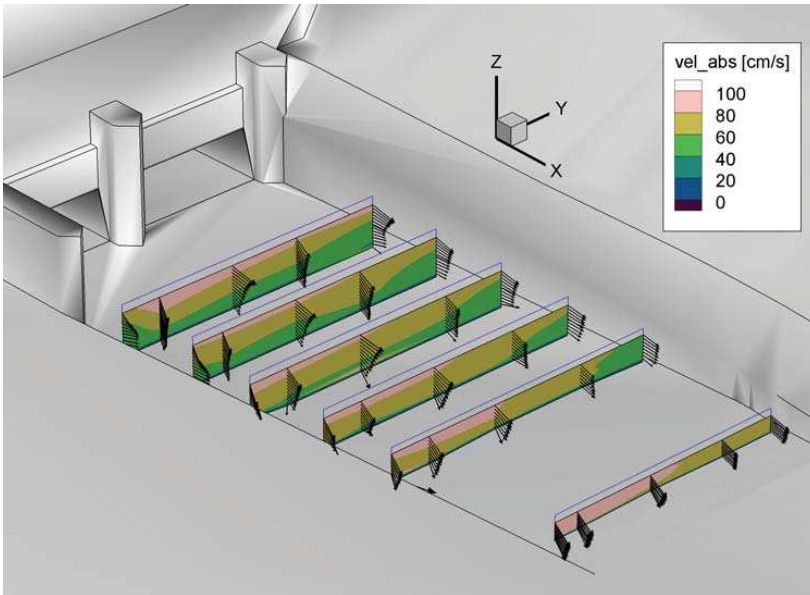


Bild 3: Ergebnisse der ADCP-Messungen für einen Abfluss von $Q = 45 \text{ m}^3/\text{s}$.

Bild 3 zeigt die Ergebnisse der ADCP-Messungen bei einem Abfluss von $Q = 45 \text{ m}^3/\text{s}$. Dargestellt sind hierbei die mittleren Fließgeschwindigkeiten. Es ist zu erkennen, dass im Uferbereich die mittleren Geschwindigkeiten geringer sind als in Richtung Flussmitte, was neben dem Wandeneinfluss des Ufers darauf zurückzuführen ist, dass sich die Strömung in Richtung des Wehres ausbreitet und es dort zu Abflusskonzentrationen kommt. Die mittleren Fließgeschwindigkeiten liegen insbesondere im Uferbereich mit Werten kleiner als 1 m/s in einer Größenordnung, die suggerieren, dass günstige Bedingungen für wanderwillige Fische vorliegen. Eine nähere Betrachtung der Messungen sowie der Augenschein vor Ort zeigen jedoch, dass das Strömungsbild mit der Darstellung einer mittleren Geschwindigkeit nur unzureichend beschrieben ist. Insbesondere der durch die Turbinen erzeugte Drall am Austrittsquerschnitt des Saugschlauchs erzeugt ein hochturbulentes Strömungsfeld. Diese Turbulenzen führen zu einer starken Beeinträchtigung der Wahrnehmung der Strömung aus der geplanten Fischaufstiegsanlage.

4.3 Physikalische Modelluntersuchungen

Für die Untersuchungen des Einstiegsbereichs der Fischaufstiegsanlage wurde in der BAW ein physikalisches Modell im Maßstab $1 : 10$ aufgebaut (Bild 4). Nachdem das physikalische Modell für den Ist-Zustand bereits kalibriert wurde, können nun die Variantenuntersuchungen für den Planungszustand folgen.

Wesentliches Element der im Modell untersuchten Planungsvariante ist eine Verlängerung des Saugrohrs des Kraftwerks. Diese Maßnahme vermindert zum einen die Turbulenz der aus dem Saugschlauch austretenden Strömung und verbessert damit die Wirkung des Abflusses aus der Fischaufstiegsanlage. Zum anderen kann mit der Verlängerung des Saugrohrs ein Einstieg in den Fischpass gewährleistet werden, der in Schwimmrichtung der wanderwilligen Fische angeordnet ist. Diese Ausgestaltung beruht auf der Erkenntnis, dass Fische einen senkrecht zur Hauptströmungsrichtung angeordneten Einstieg seltener annehmen.

Neben der Analyse der hydraulischen Wirkung der Saugschlauchverlängerung beinhalten die Modelluntersuchungen auch eine Optimierung der baulichen Komponenten, wie beispielsweise die Ausgestaltung des untersten Querschnitts der Fischaufstiegsanlage, die Untersuchung konstruktiver Möglichkeiten zur Minderung der Turbulenz hinter dem Saugrohr oder die Gestaltung des Übergangs zwischen Gewässersohle und Fischpasseinstieg. Unter diesen baulich optimierten Randbedingungen gilt es schließlich, die für den Betrieb der Aufstiegsanlage minimal erforderliche Abflussmenge zu bestimmen.



Bild 4: Physikalisches Modell des Unterwassers der Staustufe Lauffen: Blick von unterstrom auf den Kraftwerksauslass, rechts der geplante Einstieg in die Fischaufstiegsanlage.

4.4 Numerische Modelluntersuchungen

Parallel zu den physikalischen Modelluntersuchungen finden numerische Simulationen für das Unterwasser der Staustufe Lauffen statt. Diese werden mit einem dreidimensionalen Navier-Stokes-Löser durchgeführt, der die freie Wasseroberfläche rekonstruiert und auf Basis von Hexaedergittern arbeitet. Diese Simulationen sind notwendig, da mittels der physikalischen Modellversuche zwar die hydraulische Optimierung der baulichen Komponenten erreicht werden kann, die Vermessung des Strömungsfelds im Unterwasser jedoch nur punktuell mit einem relativ hohen Aufwand möglich ist. Dies hat zur Folge, dass sich die Strömungsparameter aus den Messungen des physikalischen Modells nur statistisch beschreiben lassen.

Mit den numerischen Modellierungen ist man dagegen in der Lage, einen Schritt weiterzugehen: Liegt eine auf Basis der physikalischen Modelluntersuchungen baulich optimierte Variante vor, so bietet die numerische Simulation die Möglichkeit, für einen gegebenen Zeitpunkt ein räumlich hoch aufgelöstes Bild der Strömungsvektoren und Geschwindigkeiten zu erhalten. Mit dieser Information lässt sich in einem nachfolgenden Schritt bewerten, ob zu einem bestimmten Zeitpunkt und für die gegebenen Randbedingungen (z. B. Abflussmengenaufteilung zwischen Fischaufstiegsanlage und Kraftwerk oder Turbinenmanagement) ein durchgehender Wanderkorridor für die Fische zur Verfügung steht.

Ein Beispiel für diese ökohydraulischen Analysen zeigt Bild 5, in dem die Fließgeschwindigkeiten im Unterwasser der Staustufe Lauffen im numerischen Modell für den Ist-Zustand (d. h. noch ohne Fischaufstiegsanlage) dargestellt sind. Mit Hilfe von Angaben aus der einschlägigen Literatur für die Schwimmfähigkeit von Fischen können dann Zonen im Unterwasser des Kraftwerks definiert werden, in denen die Verhältnisse günstig oder weniger günstig für die Fischwanderung sind. Die Leistungsfähigkeit der Fische und damit die Zonierung des Strömungsfelds sind abhängig von der jeweils betrachteten Fischart sowie vom Entwicklungsstadium der Fische.

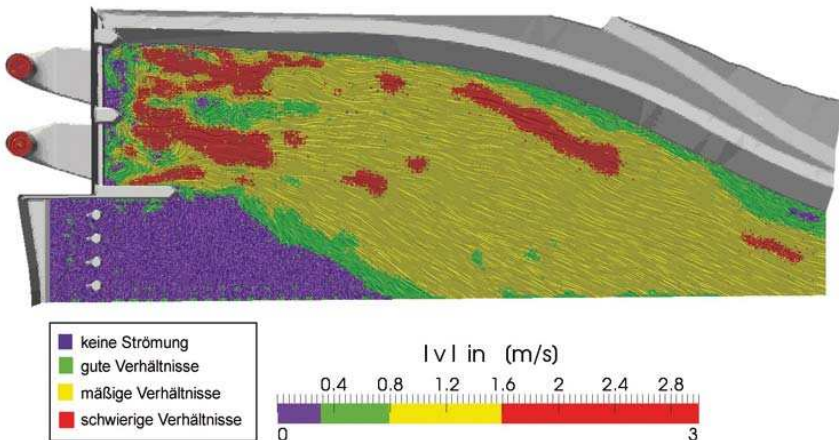


Bild 5: Ergebnis der numerischen Simulation und deren ökohydraulische Bewertung.

5 Hydraulische Untersuchungen zur Passierbarkeit

5.1 Zielsetzung

Neben der Auffindbarkeit spielt für die Wirksamkeit einer Fischaufstiegsanlage auch die Passierbarkeit eine wesentliche Rolle. Der Planungsentwurf für den Fischaufstieg an der Stauanlage Lauffen sieht wegen der beengten Platzverhältnisse einen Schlitzpass vor. Dieser weltweit häufig eingesetzte Typ einer technischen Fischaufstiegsanlage wurde bereits verschiedentlich im Rahmen von Forschungsarbeiten, z. B. [3, 4, 5], näher untersucht. Die Untersuchungen zeigten unter anderem, dass sich in Abhängigkeit der geometrischen Anordnung der Schlitze verschiedene Strömungsmuster in den Becken zwischen den Schlitzen einstellen (Bild 6). Wie genau dieses Strömungsfeld beschrieben werden kann (Geschwindigkeiten, Wirbelgrößen) und vor allem, welche Wirkung die verschiedenen Strömungsmuster auf die unterschiedlichen wanderwilligen Fischarten haben, ist jedoch noch weitestgehend ungeklärt.



Bild 6: Strömungsfeld in einem Schlitzpass, Blick von oben.

5.2 Physikalische Modelluntersuchungen

Um das Strömungsfeld näher zu untersuchen, wurde in der BAW ein physikalisches Modell eines Schlitzpasses im Maßstab 1 : 3 aufgebaut (Bild 7). In diesem Modell sollen in Abhängigkeit verschiedener geometrischer Anordnungen die Strömungsverhältnisse mit einem 3D-Stereo-PIV-System (Particle Image Velocimetry) zeitlich und räumlich hoch aufgelöst erfasst werden. Das Modell besteht aus neun aufeinander folgenden Becken, die durch eine Breite von 0,80 m, eine Länge von 1,00 m und eine Sohlenneigung von 4,0 % gekennzeichnet sind. Die Becken sind so gestaltet, dass die Beckengeometrie flexibel angepasst und optimiert werden kann.

Die Strömung innerhalb eines einzelnen Beckens und im Bereich des Schlitzes zwischen zwei Becken soll vermessen und mittels geeigneter hydraulischer Größen (z. B. lokale Reynolds- und Froudezahlen, Turbulenzgrad) als Funktion des Abflusses und der geometrischen Beckendimensionen beschrieben werden. Hierzu soll als optisches Messsystem das PIV-System eingesetzt werden, mit dem die Strömung berührungslos durch den Rinnenboden und die Seitenwände aufgenommen werden kann. Das Messsystem ist so aufgebaut, dass der synchronisierte Messbetrieb von einem PIV-System und zwei ADV-Systemen (Acoustic Doppler Velocimeter) möglich ist. Die Messfrequenz des PIV-Systems beträgt max. 200 Hz, der Messbereich ist ca. 50 x 50 cm.

Nach Aufbau der Messapparatur ist geplant, zunächst die für den Standort Lauffen am Neckar typischen Verhältnisse zu untersuchen. Anschließend sollen systematisch andere, für Bundeswasserstraßen typische Randbedingungen betrachtet werden, mit dem Ziel, grundsätzliche Erkenntnisse zu gewinnen und diese gegebenenfalls auch in neue Bemessungskriterien für Fischaufstiegsanlagen an Bundeswasserstraßen einfließen zu lassen.

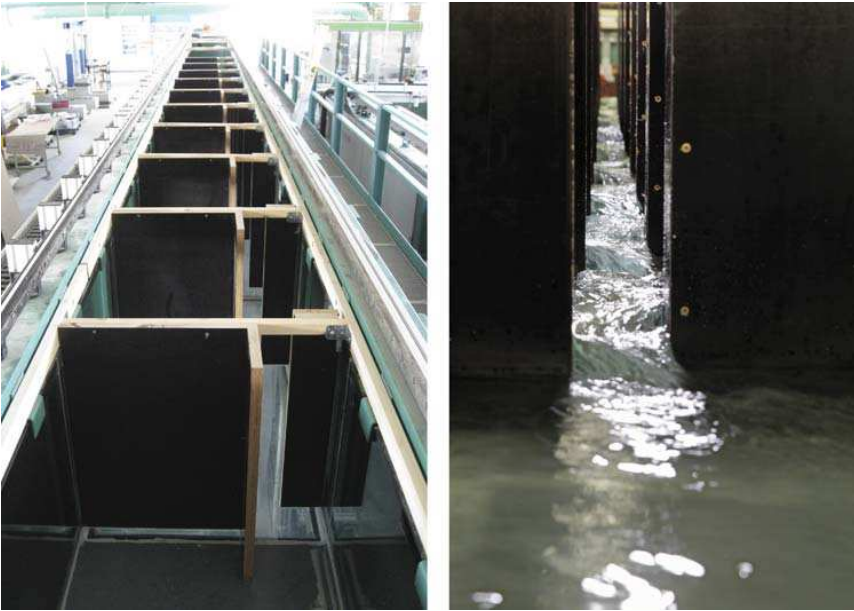


Bild 7: Physikalisches Modell eines Schlitzpasses im Maßstab 1 : 3, Blickrichtung jeweils von unterstrom.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Auf Basis des novellierten Wasserhaushaltsgesetzes vom 1. März 2010 haben in der WSV die Arbeiten begonnen, die ökologische Durchgängigkeit an den Stauanlagen der Bundeswasserstraßen wiederherzustellen. Auch wenn für Planung und Bau der Fischaufstiegsanlagen auf einen bestehenden technischen Standard zurückgegriffen werden kann, existieren insbesondere für die Verhältnisse an Bundeswasserstraßen noch zahlreiche offene Fragestellungen.

Trotz großer Wissenslücken sollen in möglichst kurzer Zeit viele, möglichst gut funktionierende Fischaufstiegsanlagen gebaut werden. Die Strategie sieht vor, dass für die meisten Bundeswasserstraßen zunächst Pilotanlagen geplant und gebaut werden, anhand derer die Wirksamkeit der Anlagen überprüft werden kann. Diese Überprüfung muss neben der rein technischen Funktionskontrolle vor allem auch eine biologische Qualitätssicherung enthalten. Da die biologische Qualitätssicherung relativ zeitintensiv ist, muss im Einzelfall abgewogen werden, welche Erkenntnisse in welcher Zeit durch hydraulische und biologische Untersuchungen gewonnen werden können. Die Ergebnisse sollten vorliegen, bevor mit dem Bau weiterer Fischaufstiegsanlagen ähnlichen Typs fortgefahren wird.

Daneben gibt es die Möglichkeit, eine Qualitätssicherung bereits in der Planungsphase durchzuführen. Mit Hilfe von Naturuntersuchungen sowie physikalischen und numerischen Modellversuchen, die parallel zum Planungsprozess durchgeführt werden, können kritische Fragestellungen bereits frühzeitig untersucht und Risiken minimiert werden. Der aufwändige Methoden-Mix, den die BAW bei ihren Untersuchungen für die Fischaufstiegsanlage in Lauffen zu Grunde legt, gewährleistet eine Ergebnisqualität, die eine optimale Grundlage für die spätere Realisierung liefert. Anschließend sollen die Ergebnisse für Lauffen möglichst auch auf andere Standorte übertragen werden. Für diesen Schritt ist die Zusammenarbeit mit den Biologen der BfG von besonderer Bedeutung.

7 Literaturverzeichnis

[1] BfG (2010): *Herstellung der Durchgängigkeit an Staustufen von Bundeswasserstraßen – Fischökologische Einstufung der Dringlichkeit von Maßnahmen für den Fischeaufstieg*. BfG-Bericht 1697.

[2] Sokoray-Varga, B.; Weichert, R.; Lehmann, B. (2011): *Flow investigations for fish pass Lauffen/Neckar in field and laboratory*. 34. Dresdner Wasserbaukolloquium 2011, Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen Heft 45, S. 87ff.

[3] Liu, M., Rajaratnam, N. & Zhu, D.Z. (2006): *Mean flow and turbulence structure in vertical slot fishways*. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 132, pp. 765-777.

[4] Wu, S., Rajaratnam, N. & Katopodis, C. (1999): *Structure of flow in a vertical slot fishway*. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 125(4), pp. 351-359.

[5] Tarrade, L., Texier, A., David, L. & Larinier, M. (2008): *Topologies and measurements of turbulent flow in vertical slot fishways*. *Hydrobiologia*, Springer Netherlands, Vol. 609, pp. 177-188.

Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. Christoph Heinzelmann
Dr. sc. techn. Roman Weichert
Bundesanstalt für Wasserbau
Postfach 21 02 53
76152 Karlsruhe
christoph.heinzelmann@baw.de
roman.weichert@baw.de



VORTRÄGE

HTG-Kongress 2011



Würzburg

07. – 10. September 2011

Congress Centrum Würzburg

