

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Weichert, Roman; Thorenz, Carsten**

## **Fischabstieg an Wehranlagen – gefahrlos oder kritisch?**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105276>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Weichert, Roman; Thorenz, Carsten (2017): Fischabstieg an Wehranlagen – gefahrlos oder kritisch?. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Wasserbauliche Herausforderungen an den Binnenschiffahrtsstraßen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 41-48.

### **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.



## **Fischabstieg an Wehranlagen – gefahrlos oder kritisch?**

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

Dr.-Ing. Carsten Thorenz, Bundesanstalt für Wasserbau

### **Einleitung**

Seit Inkrafttreten des novellierten Wasserhaushaltsgesetzes am 1. März 2010 obliegt dem Bund die Aufgabe, an den von der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) errichteten und betriebenen Stauanlagen die ökologische Durchgängigkeit zu erhalten bzw. wiederherzustellen. Eine erste Analyse hat gezeigt, dass die überwiegende Zahl der WSV-Staustufen nicht ausreichend durchgängig ist. Während in der WSV seit einiger Zeit die Planung von Fischaufstiegsanlagen intensiv vorangetrieben wird (Aster und Ernst 2016), gewinnt das Thema Fischabstieg in letzter Zeit an Bedeutung. Wesentlich in diesem Zusammenhang ist, dass für Fischauf- und -abstieg in der Regel unterschiedliche Anlagen realisiert werden müssen, da sich nach dem derzeitigen Kenntnisstand das Fischverhalten im Auf- und im Abstiegsfall voneinander unterscheidet. Nach Sichtweise und Vorgabe des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) ist an Bundeswasserstraßen für Maßnahmen zum Fischschutz bzw. Fischabstieg grundsätzlich das Verursacherprinzip anzuwenden. Das bedeutet, dass ein Betreiber einer Wasserkraftanlage für den Schutz und den schadlosen Abstieg der Fische am Kraftwerk verantwortlich ist, während die WSV für die Gewährleistung des Fischabstiegs über das Wehr zuständig ist. Konkret geben derzeit Planungen für Wehrrersatzneubauten Veranlassung, in diesem Zusammenhang die Gewährleistung eines ausreichenden Fischschutzes einschließlich geeigneter Möglichkeiten zum Fischabstieg auf Basis der gesetzlichen Grundlagen zu prüfen.

Der vorliegende Beitrag soll einen Überblick über vorhandene Kenntnisse beim Fischabstieg an Wehranlagen liefern und gleichzeitig das Erfordernis wie auch das Potenzial für hydraulische und fischökologische Untersuchungen zur Schließung von Wissenslücken aufzeigen. Das Thema Fischabstieg an Wehranlagen ist dabei weder vollständig zu ignorieren, noch stellt es ein unlösbares Problem dar. Es erfordert vielmehr eine differenzierte, standortspezifische Betrachtung und eine frühe Integration in die Planung von Ertüchtigungs- oder Ersatzmaßnahmen an Wehranlagen.

### **Literaturübersicht und offene Fragen**

Unter welchen Bedingungen man beim Thema Fischschutz und Fischabstieg von einem existierenden Stand der Technik sprechen kann, ist umstritten, wobei sich diese Diskussionen derzeit im Wesentlichen auf den Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen beschränken (UBA 2015). Um vorhandene Wissenslücken des Fischabstiegs an Wasserkraftanlagen zu schließen, wurde daher in den letzten Jahren eine Anzahl an Untersuchungen initiiert, die zum Ziel haben, einen Stand der Technik auch für mittlere bis große Wasserkraftanlagen zu etablieren (z.B. Boes et al. 2016, Lehmann et al. 2016). Während demnach ein Wissensfortschritt hinsichtlich des Fischverhaltens an Wasserkraftanlagen zu erwarten ist, wird die Frage des Fischabstiegs an Wehranlagen vergleichsweise wenig betrachtet. Grundsätzlich lassen sich hier zwei Themenbereiche unterscheiden.

Zum einen ist eine offene Frage, wie sich Fische im Oberwasser einer Stauanlage bei der Aufteilung von Abflüssen auf verschiedene Komponenten einer Stauanlage (Wasserkraftanlage, Schleuse, Wehr) verhalten und, wenn sie an der Wehranlage ankommen, wo und wie Bypässe angeordnet werden müssen. In diesem Kontext ist wesentlich, dass sich das Verhalten nicht nur nach Fischart und Fischgröße unterscheiden kann, sondern weitere, über die Zeit veränderliche Aspekte wie Morphologie (Ufer, Sohle) und Hydraulik (Wasserstände, Betrieb der Stauanlage) eine Rolle spielen. Der zweite Themenbereich betrifft den tatsächlichen Vorgang des Fischabstiegs am Wehr. Dieser unterscheidet sich vom beschriebenen Prozess im Oberwasser (und auch vom Fischaufstieg) im Wesentlichen dadurch, dass zunächst davon ausgegangen werden kann, dass kein aktives Verhalten des Fisches eine wesentliche Rolle spielt, sondern der Fisch mit dem überfallenden Wasser bzw. in einem Bypassystem ins Unterwasser „gespült“ wird. Bei diesem Vorgang stehen daher weniger Fragen zum Fischverhalten als Fragen zu möglichen Fischschädigungen und Maßnahmen zur Reduktion derselbigen im Fokus, wobei vor allem der individuelle Aufbau der Stauanlage darüber entscheidet, welche Schadensbilder auftreten können. Auch für diesen Prozess ist die Wirkung der einzelnen potentiell zu Schäden führenden Prozesse fischarten- und fischgrößenspezifisch. Weiterhin spielen Wasserstände, Wehrtyp und Ausgestaltung des Wehrkörpers bzw. des Tosbeckens eine wesentliche Rolle.

Bei der Beurteilung von potenziellen Fischschäden beim Abstieg über eine Wehranlage wird in der Regel auf Kriterien verwiesen, die im DWA-Themenband (2005), dem Handbuch Querbauwerke (MUNLV, 2005) oder der Handreichung Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen (LUBW, 2016) aufgeführt sind. Es sei darauf hingewiesen, dass zwar zwischen den genannten Publikationen einige Jahre liegen, jedoch den fachlichen Aussagen zu den wesentlichen Fragen des Fischabstiegs an Wehranlagen keine zusätzlichen Untersuchungen zu Grunde liegen.

Unter welchen Bedingungen Fische ein über- oder unterströmtes Verschlussorgan passieren, ist nicht Gegenstand der nachfolgenden Betrachtung, da es für sich ein umfassendes und komplexes Thema ist. Vielmehr werden nachfolgend mögliche Schädigungsprozesse während des „passiven“ Abstiegsvorgangs über dem Wehrkörper aufgeführt.

- Findet der Abstieg über das Wehr im freien Fall statt, so kann der Aufprall im Unterwasser zu Verletzungen führen. Die wesentlichen bestimmenden Größen sind hierbei die Fallhöhe, das Wasserpulster im Unterwasser der Stauanlage sowie die Fischgröße. Im DWA-Themenband (2005) wird ausgesagt, dass bei Aufprallgeschwindigkeit von weniger als 13 m/s das Verletzungsrisiko gering sei; solange die Abbremsung des Überfallstrahls ohne starke Ablenkung erfolgt und ausreichende Unterwassertiefen gewährleistet sind. Des Weiteren wird von einer für Fische kritischen Geschwindigkeit von 15 bis 16 m/s gesprochen, die nach einem Fall aus ca. 13 m Höhe erreicht werde. Für den Aufprall auf eine Wasseroberfläche wird in USCAE (1991) eine Geschwindigkeit von gut 18 m/s als nicht letal angegeben. Weiterhin wird hier ein linearer Zusammenhang zwischen Aufprallgeschwindigkeit und Letalität angegeben, wobei eine 100 % Letalität bei einer Geschwindigkeit von 45 m/s erreicht wird. Hinsichtlich der Unterwassertiefen sollte gemäß Odeh & Orvis (1998) die Wassertiefe unterhalb der Stauanlage mindestens ein Viertel der Fallhöhe, keinesfalls aber weniger als 0,9 m betragen.

Dieses vermutlich für Bypasssysteme entworfene Kriterium wurde in DWA (2005) ohne Angaben von Gründen auf Wehranlagen angewandt. In USACE (1998) werden zwei Untersuchungen zitiert, bei denen keine Fischschäden bei Fallhöhen kleiner 10,6 m auftraten. In MUNLV (2005) wird von einer Verletzungsgefahr ab 10 m Absturzhöhe gesprochen.

- Als schädigend wird in der Literatur auch eine mögliche Kollision der Fische mit harten Strukturen wie z.B. dem Wehrboden oder Störkörpern im Tosbecken genannt (MUNLV 2005, DWA 2005, USACE 1998). Hierzu liegen nur wenige Untersuchungen vor. In USACE (1991) sind Untersuchungsergebnisse dargestellt, die zeigen, dass für die untersuchten Randbedingungen bei einer Aufprallgeschwindigkeit auf harten Oberflächen kleiner 4,6 m/s die Letalität für Fische gleich Null ist, um dann linear auf 50 % bei 15,2 m/s zu steigen.
- Druckunterschiede, hydraulische Gradienten, hohe Turbulenzen oder Scherkräfte sind voneinander abhängige hydraulische Größen, die bei zu großer Ausprägung schädigende Wirkung auf die Fische haben können (Odeh et al. 2002, DWA 2005, USACE 1998). Neben den hydraulischen Größen spielen hier die Fischgröße und welche Körperteile den wirkenden Kräften ausgesetzt sind eine wesentliche Rolle für den Schadensprozess. Da große hydraulische Gradienten an Wehranlagen vor allem in Tosbecken auftreten, wird im DWA-Themenband als Richtwert auf Odeh & Orvis (1998) verwiesen, die ohne weiteren Nachweis ein Beckenvolumen von mindestens 10 m<sup>3</sup> pro 1 m<sup>3</sup>/s Abfluss vorschlagen, ohne dabei die Fallhöhe zu berücksichtigen.
- In DWA (2005) wird darauf hingewiesen, dass eine erhebliche Übersättigung des Wassers mit atmosphärischen Gasen im Unterwasser einer Stauanlage zu Fischschäden führen kann. Es wird jedoch eingeschränkt, dass die überwiegend geringen Stauhöhen europäischer Wasserkraftanlagen erwarten lassen, dass die Auswirkungen dieses Prozesses vernachlässigbar seien.

Für Fische, die eine Stauanlage erfolgreich passiert haben, besteht unterhalb der Stauanlage zudem ein erhöhter Prädationsdruck, da sie infolge der Passage aufgrund hoher Turbulenzen häufig für eine gewisse Zeitspanne desorientiert sind.

Eine erste Bewertung der aufgelisteten Schädigungsprozesse für die Verhältnisse an den Bundeswasserstraßen zeigt, dass weniger die absolute Fallhöhe ein Problem darstellt, als vielmehr das Kollisionsrisiko der Fische mit Bauwerksteilen beim Aufprall des Überfallstrahls im Unterwasser. Hierbei zeigt sich weiterhin, dass die den Empfehlungen zu Grunde liegenden Untersuchungen nicht gut zu den Verhältnissen an den Wasserstraßen passen. Vielmehr sollten die Kenntnisse über die hydraulischen Verhältnisse beim Aufprall des Strahls im Unterwasser besser beschrieben werden, um so die Grundlage für eine fischökologische Einschätzung des Schädigungsprozesses zu verbessern. Weiterhin besteht Bedarf nach fischökologischen Untersuchungen zu Schädigungsprozessen der heimischen Fischarten für die an den Bundeswasserstraßen betriebenen Wehrtypen.

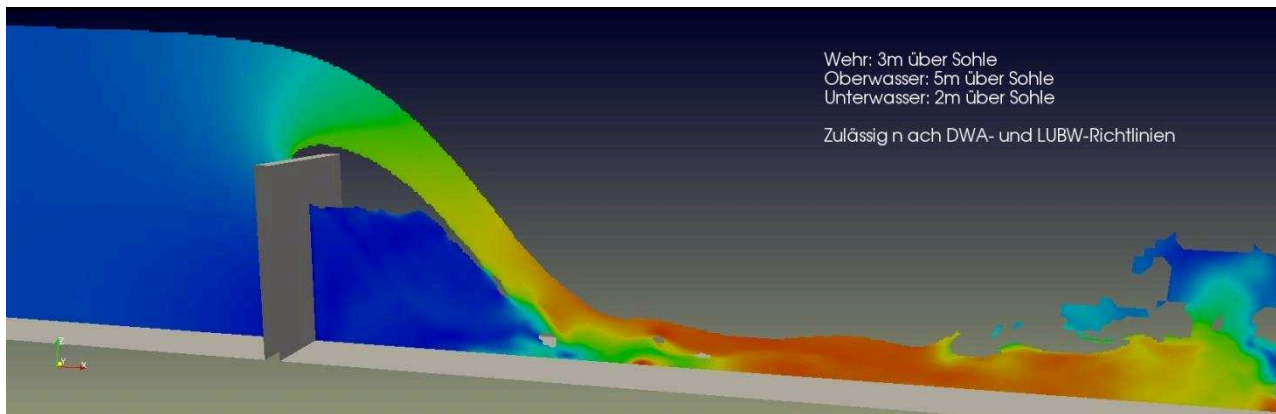
## Hydraulik des Wehrüberfallstrahls

Situationen, die zu einer Gefährdung absteigender Fische führen könnten, treten mit höherer Wahrscheinlichkeit dann auf, wenn der Wehrüberfallstrahl dünn ist im Vergleich zur Wassertiefe und wenn zudem im Unterwasser keine oder nur eine geringe Wasserüberdeckung des Aufprallbereichs ansteht. Bei dickeren Überfallstrahlen ist der Fisch mit höherer Wahrscheinlichkeit in diesen eingebettet und so geringeren Belastungen ausgesetzt. Derzeit werden zur Beurteilung dieser Situation meist die Annahmen aus DWA (2005) verwendet. Diese basieren jedoch auf Überlegungen aus den USA, die nicht für die hydraulische Situation eines Wehrüberfallsstrahls, sondern für das Eintauchen des dünnen Strahls einer Bypass-Leitung in ein flaches Becken entworfen wurden (Odeh & Orvis 1998). Bei Wehranlagen ist der Überfallstrahl jedoch in der Regel breit im Verhältnis zu seiner Dicke. Das verändert die Situation nachhaltig, da der aufprallende Strahl nicht mehr zu allen Seiten, sondern nur noch in Richtung Unterwasser abgeleitet werden kann. Dies kann zu einem Rückstau des Wassers zwischen Aufprallpunkt und Wehranlage führen (gekennzeichnet durch rote Punkte in Bild 1). Damit würde ein abwandernder Fisch nicht mehr unbeeinflusst bis zum Aufprallpunkt transportiert werden, sondern es setzt bereits auf Höhe der roten Punkte eine Abbremsung und Umlenkung ein.



*Bild :1 Wasserrückstau hinter dem Überfallstrahl an der Wehranlage Auxonne (Frankreich).*

Um diesen Effekt weiter zu untersuchen, wurden in der BAW umfangreiche numerische Untersuchungen durchgeführt. Erste Ergebnisse werden hier präsentiert. Basierend auf dem dreidimensionalen numerischen Verfahren OpenFOAM® wurde zunächst ein Prinzipmodell erstellt, das aus einem einfachen, scharfkantigen überströmten Rechteckwehr besteht. Die verwendeten Berechnungsgitter wurden dabei iterativ an die sich ausbildende Strahlgeometrie angepasst, so dass trotz sehr feiner Gitterauflösungen (1,6 cm im Strahlbereich) akzeptable Rechenzeiten erzielt werden konnten. Für dieses System wurden dann bei konstantem Oberwasserstand die Wehrhöhe und der Unterwasserstand variiert, um festzustellen, ob sich der Aufstauereffekt zwischen Aufprallpunkt und Wehranlage reproduzieren lässt und ob das Kriterium aus DWA (2005) bzw. LUBW (2016) geeignet ist, um die Situation zu beurteilen.

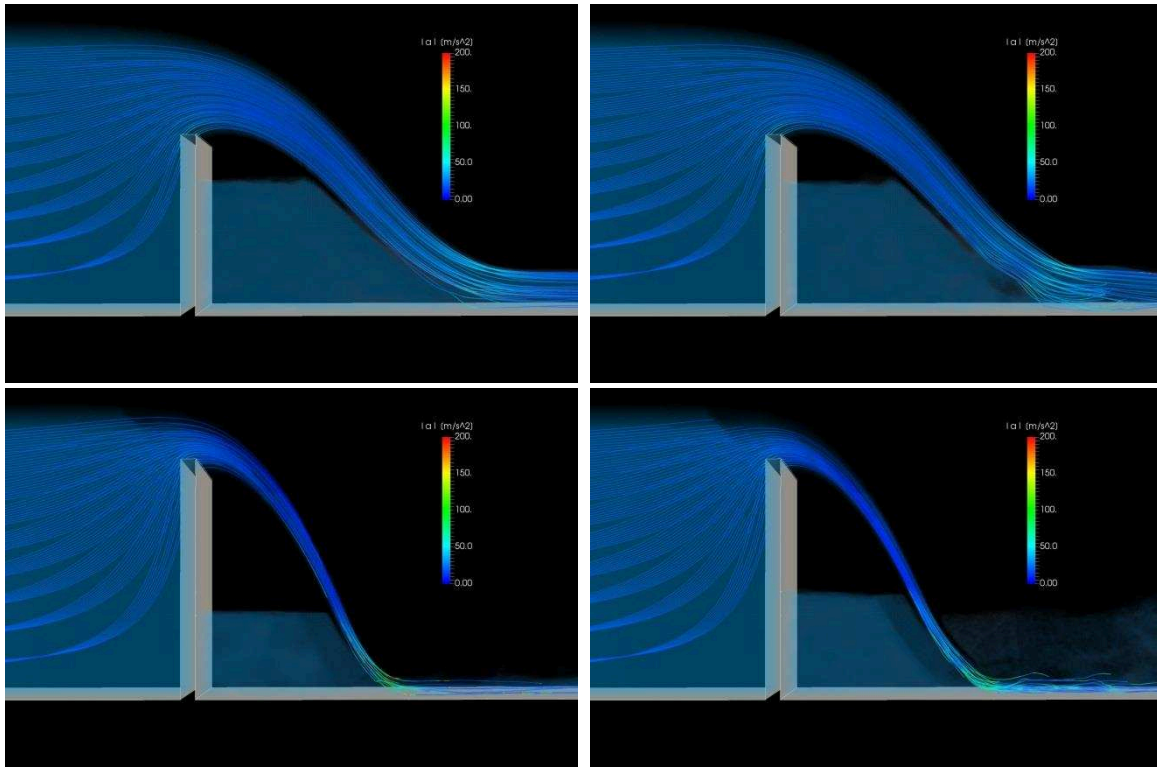


*Bild: 2 Vertikaler Schnitt durch das Modellgebiet mit dargestellter Fließgeschwindigkeit bei Oberwasserstand 5 m, Wehrhöhe 3 m und Unterwasserstand 2 m.*

Dabei zeigte sich, dass in vielen Situationen die in DWA (2005) herangezogene Wassertiefe des Unterwassers nicht das alleinige maßgebliche Kriterium zur Beurteilung sein kann. Bild: 2 zeigt beispielhaft einen Fall, bei dem der starke horizontale Impuls der Strömung das Unterwasser vom Wehrboden verdrängt und somit der eigentlich recht hohe Unterwasserstand allein kein geeignetes Maß für die Gefährdung von Fischen darstellt. In diesem Fall kann wegen der Dicke des Überfallstrahls und wegen des sich bildenden rückwärtigen Wasserpolsters hinsichtlich der Wassertiefen von einer eher unkritischen Situation im Bereich des Strahlaufpralls ausgegangen werden.

Zur weiteren Beurteilung müssen weitere Strömungsgrößen herangezogen werden. Der Betrag der Fließgeschwindigkeit selbst ist kein geeignetes Maß für die Gefährdung von Fischen. Aussagekräftiger können die konvektiven Beschleunigungen oder auch Scherraten der Strömung sein. Bild 3 zeigt die innerhalb von Stromröhren im Überfallstrahl auftretenden konvektiven Beschleunigungen. Diese sind im gezeigten Beispiel weitgehend unabhängig vom Unterwasserstand und hängen stark von der Dicke des Überfallstrahls ab. Die Werte sind mit etwa 5 -10 g bei sehr kurzer Einwirkungsdauer klein und sehr wahrscheinlich weit unterhalb eines möglichen und noch genauer festzulegenden Schwellenwertes.





*Bild: 3 Auswertung der konvektiven Beschleunigungen bei einem Oberwasserstand von 5 m und Wehrhöhen von 3 m (oben) und 4 m (unten) sowie Unterwasserständen von 0 m (links) und 2 m (rechts).*

Die Übertragung der so gesammelten Erkenntnisse auf andere Wehrtypen muss sorgfältig überprüft werden. Erste Modellrechnungen mit Schlauchwehren haben bspw. gezeigt, dass der hier beschriebene Aufbau eines Wasserpolsters bei größeren Überströmungshöhen ähnlich funktioniert, die aufgesetzten Strahlaufreißer bei geringen Überströmungshöhen jedoch eine Separierung des Überfallstrahls in viele Einzelstrahlen erzwingen und so die Wirkung des Wasserpolsters verringern. Hier kann als Beurteilungskriterium beispielsweise der Geschwindigkeitsanteil orthogonal zur Betonoberfläche ausgewertet werden. Nach USACE (1991) ist bei einer Aufprallgeschwindigkeit auf harte Oberflächen kleiner 4,6 m/s die Letalität für Fische gleich Null, um dann linear auf 50 % bei einer Aufprallgeschwindigkeit von 15,2 m/s zu steigen. Um dieses Kriterium zu nutzen, wurden für ein untersuchtes Schlauchwehr die vertikalen Anteile der Strömungsgeschwindigkeit im Bereich des Überfallstrahls ausgewertet und auf den Stromlinien dargestellt (Bild 4).

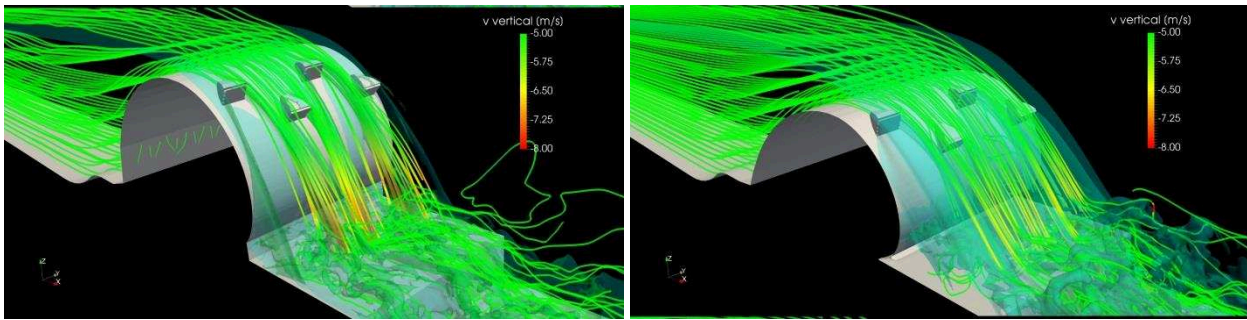


Bild 4: Auswertung der Vertikalanteile der Strömungsgeschwindigkeit bei einem Schlauchwehr mit Höhe 3,78 m (links) bzw. 3,16 (rechts) über dem Ablagetisch.

Hierbei zeigt sich, dass bei einer geringen Überfallhöhe von 0,5 m (Bild 4 links) ein Großteil des Wassers eine Vertikalgeschwindigkeit von etwa 7 m/s erreicht. Wenn man annehmen würde, dass Fische mit dieser Geschwindigkeit aufprallen, würde dies nach USACE (1991) einer Letalität von etwa 12 % entsprechen. Tatsächlich wird das Fluid aber zusammen mit dem Fisch vor der Oberfläche abgebremst und umgelenkt, so dass diese Annahme auf der ungünstigen Seite liegt. Bei der größeren betrachteten Überfallhöhe von 1,2 m sind die Vertikalgeschwindigkeiten mit 6 m/s - 6,5 m/s geringer. Die Umrechnung in Letalitäten nach USACE (1991) würde etwa 8 % ergeben. Dies überschätzt vermutlich die Gefährdung jedoch deutlich, da der Fisch in einen dickeren Strahl eingebettet ist und zudem die Geschwindigkeiten zur Betonoberfläche hin stark abnehmen.

### Schlussfolgerungen und Fazit

Für die Einhaltung der gesetzlichen Verpflichtungen aus dem Wasserhaushaltsgesetz, wie auch zur Gewährleistung der Nachhaltigkeit der beim Fischaufstieg getätigten Investitionen, spielt die Sicherstellung eines funktionierenden Fischabstiegs an den Wehranlagen der Bundeswasserstraßen eine wichtige Rolle. Aus diesem Grund ist der Fischabstieg an Wehranlagen bei der Planung von Wehersatzmaßnahmen ein wesentliches und frühzeitig zu berücksichtigendes Thema.

Diesem klar formulierten Bedarf steht ein vergleichsweise geringer Kenntnisstand über die maßgebenden Prozesse gegenüber. So sind zwar Bauweisen zur Gewährleistung eines Fischabstiegs (Bypässe) bekannt und es liegen für die Verhältnisse an Wasserkraftanlagen auch Erfahrungen zur Funktionsfähigkeit vor, jedoch bestehen grundlegende Wissenslücken, für welche Randbedingungen Bypässe an Wehranlagen erforderlich sind und wann von einem schädigungsfreien Abstieg der Fische bei Beaufschlagung der Wehre ausgegangen werden kann. Die in der Literatur existierenden Kriterien zur Einschätzung eines Risikos beim Fischabstieg basieren dabei auf wenigen Untersuchungen, die zudem von den Verhältnissen an Bundeswasserstraßen abweichen. Erste hydraulische Untersuchungen für den Überfallstrahl zeigen, dass die Situation je nach Ausprägung des Verschlussorgans wie auch des Unterwassers nicht mit den vereinfachten Kriterien aus der Literatur beschreibbar ist. Vielmehr sollten auf Basis weiterer Untersuchungen Kriterien entwickelt werden, die besser zu den an Bundeswasserstraßen verwendeten Wehrtypen passen.



Der vorliegende Beitrag verdeutlicht zudem den dringenden Bedarf nach fischökologischen Studien, die sowohl das Verhalten der Fische im Oberwasser einer Stauanlage bzw. eines Wehrkörpers wie auch die Schädigungsmechanismen beim Abstiegsvorgang im Fokus haben.

## Literatur

- Aster, D.; Ernst, A. (2016): Steuerung der Maßnahmen zur Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit an Bundeswasserstraßen. In: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) (Hrsg.): Schlüsselfragen bei der Umsetzung von Maßnahmen zum Fischaufstieg. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW); Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG). S. 7-12.
- Boes, R.M.; Albayrak, I.; Kriewitz C.R.; Peter, A. (2016): Fischschutz und Fischabstieg mittels vertikaler Leitrechen-Bypass-Systeme: Rechenverluste und Leiteffizienz, WasserWirtschaft, 106 (7-8): 29-35, Wiesbaden: Vieweg & Teubner Verlag.
- DWA (2005): Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen, Themenband, ISBN 3-934063-91-5.
- Lehmann, B., Adam, B., Engler, O., Hecht, V., Schneider, K. (2016): Untersuchungen zum Orientierungs- und Suchverhalten abwandernder Fische zur Verbesserung der Dimensionierung und Anordnung von Fischschutzeinrichtungen vor Wasserkraftanlagen. – Abschlussbericht F&E-Projekt des Bundesamt für Naturschutz, UFOPLAN FKZ 3513 85 0300.
- LUBW (2016): Handreichung Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, September 2016.
- MUNLV (2005): Handbuch Querbauwerke, ISBN 3-9810063-2-1.
- Odeh M., Orvis C. (1998): Downstream fish passage design considerations and developments on hydroelectric projects in the north-east USA. - In: Jungwirth, M. et al. (Hrsg.): Fish migration and fish bypasses. - Oxford (Fishing News Books), 67 - 280.
- Odeh M., Noreika J., Haro A., Maynard A., Castro-Santos T., Cada G. (2002): Evaluation of the effects of turbulence on the behavior of migratory fish, Final Report, USGS/ORNL, March 2002.
- UBA (2015): Forum „Fischschutz und Fischabstieg“ – Synthesepapier, Empfehlungen und Ergebnisse, <http://forum-fischschutz.de>, 42. S.
- USACE (1991): Fisheries Handbook of Engineering Requirements and Biological Criteria, Milo C. Bell, US Army Corps of Engineers, North Pacific Division.
- USACE (1998): Annotated Bibliography of Literature Regarding Mechanical Injury with Emphasis on Effects from Spillways an Stilling Basins, Final Report, US Army Corps of Engineers, Portland District.