

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Heneka, Patrick; Mahl, Lena; Weichert, Roman**

## **Hydraulische Methoden zur Bemessung der Leitströmung einer Fischaufstiegsanlage**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106432>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Heneka, Patrick; Mahl, Lena; Weichert, Roman (2019): Hydraulische Methoden zur Bemessung der Leitströmung einer Fischaufstiegsanlage. In: Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hg.): Standardisierung von Fischaufstiegsanlagen – Notwendigkeit, Möglichkeiten und Grenzen. 6. Kolloquium zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen am 6./7. Juni 2018 in Koblenz - BfG-Veranstaltungen 1/2019. Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde. S. 36-42.

### **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 Methoden zur Bemessung der Leitströmung einer Fischaufstiegsanlage

Patrick Heneka, Lena Mahl und Roman Weichert

## 1 Problemstellung

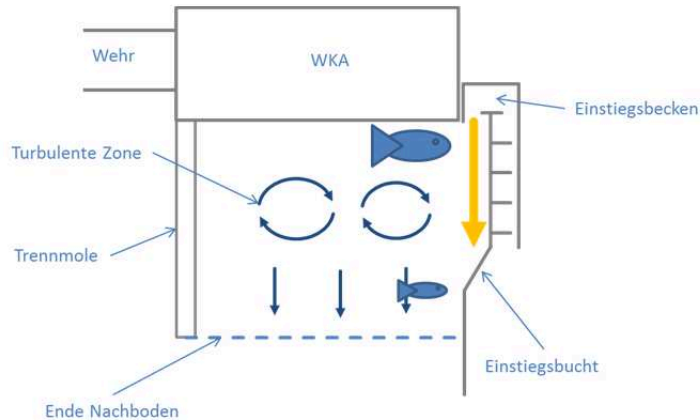
Eine wichtige Bemessungsgröße für den Bau von Fischaufstiegsanlagen (FAA) an Standorten mit Wasserkraftnutzung ist der Leitdurchfluss. Mit dem Leitdurchfluss wird eine Leitströmung im Unterwasser der Staustufe erzeugt, die der Auffindbarkeit der FAA dient. Hierzu muss sich die Leitströmung bis in eine definierte Entfernung unterhalb des Einstiegs ausbreiten, damit sie für die hier suchenden Fische bemerkbar ist (z. B. DWA 2014). Die Höhe des Leitdurchflusses hat Auswirkungen auf die Dimensionen und den Betrieb der FAA sowie auf Belange Dritter (Gewässernutzung).

Aus den gängigen Regelwerken (z. B. DWA 2014) lassen sich derzeit keine verbindlichen Methoden zur Bemessung der Leitströmung bzw. des Leitdurchflusses entnehmen. In der momentanen Beratungspraxis empfehlen BfG und BAW daher unabhängig von den örtlichen geometrischen und hydraulischen Gegebenheiten ca. 5 % des Ausbaudurchflusses der benachbarten Turbine bei den höchsten zu berücksichtigenden Wasserständen mit einer Unterschreitungsdauer von 330 Tagen pro Jahr (WEICHERT et al. 2013). Weitere Standortspezifika, die unter Umständen eine abweichende Empfehlung erforderlich machen würden, können bisher nur über eine aufwändige hydraulische Modellierung berücksichtigt werden, welche mit großem zeitlichem und technischem Aufwand verbunden ist.

Im vorliegenden Manuskript wird eine alternative, einfachere Methode zur Ermittlung der erforderlichen Leitströmung vorgestellt, die die wesentlichen Standortspezifika berücksichtigt. Kenntnisse zur Leitströmung führen direkt zu den bemessungsrelevanten Größen des Leitdurchflusses und des Einstiegsschlitzes.

## 2 Die Leitströmung einer FAA im Kraftwerksunterwasser

Zum Verständnis der nachfolgenden Ausführungen ist es wichtig, sich die Situation an Standorten der Bundeswasserstraßen (BWaStr) zu verdeutlichen, welche sich bei Vorhandensein einer Wasserkraftanlage typischerweise wie in Abb. 1 darstellen lässt. Der Einstieg in eine FAA wird so nah wie möglich am Querbauwerk ausgeführt und besitzt einen Anschluss an das Ufer. Für eine gute Ausbreitung der Leitströmung neben der turbulenten Zone im Kraftwerksunterwasser sowie zur Anbindung der FAA an die Gewässersohle wird in der Regel eine Einstiegsbucht ausgeführt.



**Abb. 1:** Typische Situation im Unterwasser von Wasserkraftanlagen bei der Platzierung von Einstiegen unmittelbar am Querbauwerk

Die Leitströmung wird so ausgelegt, dass sie sich mindestens bis zur turbulenten Zone des Kraftwerksunterwassers ausbreiten kann, damit anhand der Strömung der Einstieg in die FAA aufgefunden werden kann. Als Kriterium für das unterstromige Ende der Leitströmung dient die Leitgeschwindigkeit, welche im Bereich von 0,8 m/s liegt. Diese Geschwindigkeit liegt für die meisten Fischarten im Bereich der Dauerschwimmgeschwindigkeit bzw. im Bereich der gesteigerten Schwimmgeschwindigkeit (DWA 2014) und entspricht ca. 50 % der typischen Bemessungsgeschwindigkeit von FAA an BWaStr. Zudem soll eine möglichst gerichtete und wenig turbulente Strömung vorliegen.

Die Ausbreitung einer Leitströmung in das Kraftwerksunterwasser wird von den vorherrschenden standortspezifischen Randbedingungen beeinflusst. Als wichtigste lassen sich nennen:

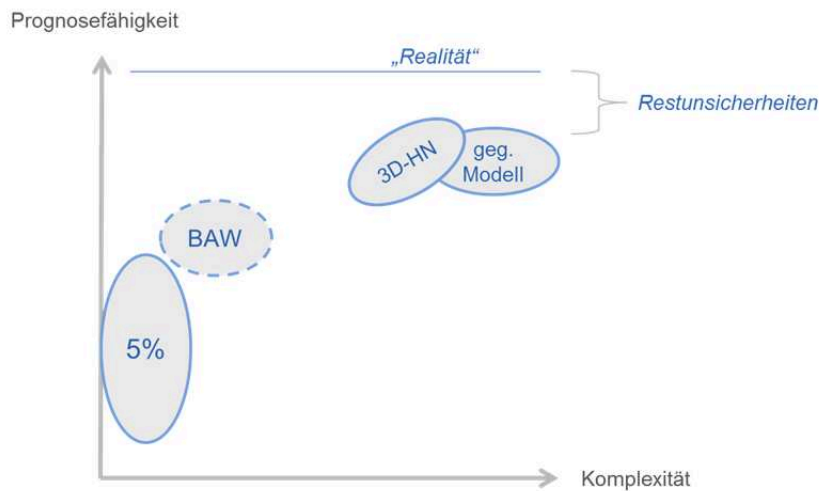
- > Beeinflussung durch die Konkurrenzströmung aus der Wasserkraftanlage
- > Geometrie des Einstiegsschlitzes (Breite, Höhe, Scharfkantigkeit)
- > Strömung im Einstiegsbecken oder Einstiegswendebecken
- > Nähe zum Ufer und zur Gewässersohle, sowie deren Beschaffenheit (z. B. Betonwand)

### 3 Hydraulische Methoden zur Bestimmung der Leitströmung

Das Ziel der hier vorgestellten hydraulischen Methoden ist eine gute Prognose der Leitströmung bzw. des Leitdurchflusses, um die fischbiologischen Anforderungen zu erfüllen. Sie unterscheiden sich grundsätzlich in ihrer Komplexität und somit auch im Aufwand (Abb. 2).

Die einfachste Methode zur Ermittlung des Leitdurchflusses ist die in DWA (2014) dargestellte Vorgehensweise, den Leitabfluss über einen Anteil einer konkurrierenden Strömung zu definieren. Für Standorte an BWaStr wurde diese Philosophie konkretisiert, indem aus detaillierten Untersuchungen an einem gegenständlichen Wasserbaumodell für den Standort Laufen/Neckar eine Empfehlung abgeleitet wurde, die besagt, dass für den Unterwasserstand  $W_{330}$  der Leitdurchfluss 5 % des Ausbaudurchflusses der FAA-nahen Turbine betragen sollte (WEICHERT et al. 2013). Die Übertragung auf weitere Standorte kann genaugenommen nur erfolgen, solange die hydraulischen und geometrischen Randbedingungen mit denen des

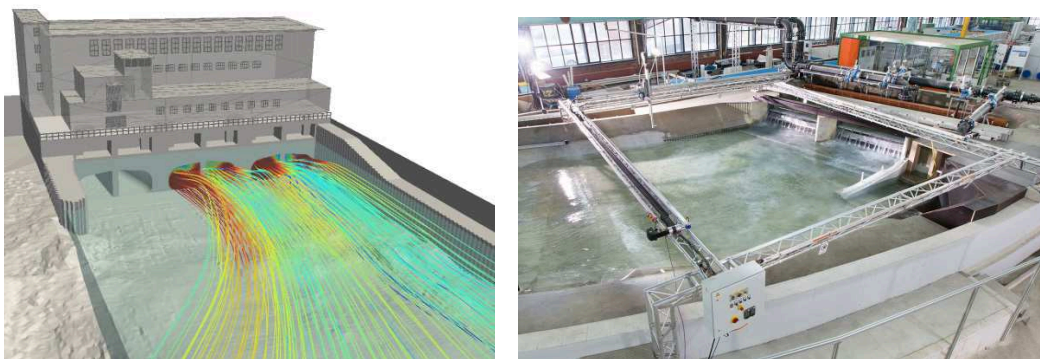
Standorts vergleichbar sind, an dem diese Empfehlung erarbeitet wurde. Ansonsten kann diese Empfehlung den benötigten Durchfluss sowohl über- als auch unterschätzen. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass die Anwendung sehr einfach ist.



**Abb. 2:** Schematischer, qualitativer Vergleich von Bemessungsmethoden zur Ermittlung der Länge der Leitströmung einer FAA anhand Komplexität und Prognosefähigkeit

Als sehr komplexe Modelle gelten numerische (3D-HN) und gegenständliche Modelle (Abb. 3), in welchen die geometrischen und hydraulischen Standortbedingungen über das Berechnungsgitter bzw. die modellierte Geometrie und über die Rand- und Anfangsbedingungen vorgegeben sind. Die Prognosefähigkeit von solchen Modellen für einen spezifischen Standort ist damit besser und die verbleibende Restunsicherheit wesentlich geringer. Dafür ist aber der technische und zeitliche Aufwand entsprechend groß.

Die im nächsten Kapitel vorgestellte neue Methode („BAW“ in Abb. 2) verfolgt das Ziel, eine ausreichend hohe Prognosefähigkeit bei möglichst geringem Aufwand zu generieren und befindet sich bzgl. der Komplexität zwischen den beiden zuvor vorgestellten Methoden.



**Abb. 3:** Beispiele für komplexe Modelle: Eddersheim/Main (3D-HN Modell, links) und Lahnstein/Lahn (gegenständliches Modell im Maßstab 1:10, rechts)

## 4 Neue Methode zur Bemessung der Länge der Leitströmung

Die Grundidee der Methode ist, dass sich die Leitströmung einer FAA wie ein turbulenter Freistrahler verhält und dass sich somit die bekannten Vermischungs- und Ausbreitungsprozesse auf die Leitströmung übertragen lassen. Für ungestörte Freistrahler, d. h. ohne Einfluss von Berandungen und Konkurrenzströmungen, gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen, in denen sich u. a. Gleichungen zur Abnahme der Strömungsgeschwindigkeiten unterhalb der Einlassöffnung finden (z. B. KRAATZ 1974, RAJARATNAM & HUMPHRIES 1984). Da die Randbedingungen der meisten Anwendungen mit denen an Fischaufstiegsanlagen nicht vergleichbar sind, lassen sich die verfügbaren Ansätze jedoch nicht ohne weitere Anpassungen auf die Leitströmung aus einer FAA anwenden.

Aus diesem Grund wird aktuell an der BAW untersucht, wie sich die vorhandenen Gleichungen idealer Freistrahler für die Übertragung auf eine FAA-Leitströmung erweitern lassen. Hauptaspekte sind hierbei die Berücksichtigung einer realen Schlitzgeometrie eines Schlitzpasses, die Beeinflussung durch das naheliegende Ufer sowie der Einfluss der Kraftwerksabströmung (Tabelle 1).

**Tabelle 1**

Einfluss von Randbedingungen auf die Ausbreitung der Leitströmung

Einfluss	Effekt
Höhe/Breite-Verhältnis der Öffnung	Die Breite der Öffnung ist der maßgebliche Parameter für die Ausbreitungslänge der Leitströmung bei typischen Einstiegsschlitzen (Breite geringer als Wassertiefe). Für eine längere Leitströmung bei gleicher Schlitzgeschwindigkeit ist es zielführender, die Öffnungsweite des Einstiegs zu verbreitern, statt die Wassertiefe zu vergrößern. So wird bei gleicher Querschnitts- bzw. Durchflusssteigerung eine längere Leitwirkung erreicht (BERGMANN 2017).
Schlitz	Im Vergleich zu einer Düse sind in einem Schlitz die Geschwindigkeiten ungleich verteilt. Es konnte in gegenständlichen Modelluntersuchungen gezeigt werden, dass bei der Ausbreitung einer Strömung aus Düsen die Richtung der Strahlachse recht konstant ist, wohingegen bei Schlitzen größere horizontale Schwankungen der Strömungen und eine größere Auffächerung beobachtet wurden (SCHMIEDER 2018).
Kraftwerksabströmung	Die Strömung im Unterwasser von Wasserkraftanlagen ist in der Regel hoch turbulent und im Nahbereich der Wasserkraftanlage stark drallbehaftet und durch großskalige Wirbel geprägt. Sichtbares Zeichen an der Wasseroberfläche sind Aufpflanzungen. Die Leitströmung ist durch den vergleichsweise geringen Leitdurchfluss nicht in der Lage, diese Zone zu durchdringen. Daher wird die Leitströmung neben der turbulenten Zone entlang geleitet. Trotzdem hat das Strömungsgeschehen im Unterwasser beeinflussende Wirkung auf die Leitströmung. Beispielweise können Rückströmungen die Ausbreitung einer Leitströmung behindern oder großräumige Wirbel zur Ablenkung der Ausbreitungsrichtung führen (WIERING 2017). Anhand von numerischen und gegenständlichen Untersuchungen wurden diese Effekte quantifiziert und Korrekturfaktoren ermittelt.
Ufer	Ein naheliegendes Ufer hat den Vorteil, dass sich die Leitströmung an dieses anlegen und sich somit eine längere Leitwirkung entwickeln kann.

Die Erkenntnisse aus Tabelle 1 dienen als Grundlage für die Erstellung einer Bemessungsempfehlung für die Leitströmung. Die Länge der Leitströmung  $L_x$ , also der Ort unterhalb des Einstiegsschlitzes, an dem die Strömungsgeschwindigkeiten noch der vorgegebenen Leitgeschwindigkeit entsprechen, lässt sich nach Gleichung 1 berechnen:

$$L_x = L_{x,0} C_0 C_1 C_2 C_3 \quad (1)$$

Hierbei sind  $L_{x,0}$  die Ausbreitungslänge eines ungestörten idealen Freistrahls und  $C_0$  bis  $C_3$  Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung der Standorteigenschaften. Die benötigten Standorteigenschaften sind beispielsweise Kenndaten der Wasserkraftanlage (u. a. Ausbaudurchfluss, Saugrohrgeometrie), hydrologische und hydraulische Grundlagendaten (u. a.  $UW_{30}$ ,  $UW_{330}$ ) sowie die Lage und Geometrie des geplanten Einstiegs. Wenn die Länge der Leitströmung aus den biologischen Anforderungen vorgegeben ist, lässt sich mit Gleichung 1 bei gegebenen Standortrandbedingungen die erforderliche Breite des Einstiegsschlitzes und der benötigte Dotationsdurchfluss ermitteln.

Die Validierung der Bemessungsmethode wird an den Standorten der Pilotanlagen (u. a. Eddersheim und Wallstadt am Main) vorgenommen. Dazu werden die Prognosen nach Gleichung 1 mit den Ergebnissen aus den standortspezifischen numerischen Modellen überprüft, so dass die Prognosefähigkeit der Bemessungsmethode ermittelt werden kann.

## 5 Fazit

Im Referat W1 der BAW wird aktuell eine Methode zur Bemessung der Länge einer Leitströmung von FAA entwickelt, um für diese wichtige Bemessungsgröße einfach anzuwendende Werkzeuge bereitzustellen, mit denen einerseits Planer ohne aufwändige Modellierung arbeiten können und andererseits auch die wesentlichen standortspezifischen Parameter Berücksichtigung finden.

Als Vorteile lassen sich insbesondere zwei Punkte nennen:

- > Erhöhung der Planungssicherheit: Durch Berücksichtigung standortspezifischer Randbedingungen wird eine zuverlässigere Prognose der Leitströmung im Vergleich zur 5 % Empfehlung möglich.
- > Beschleunigung der Umsetzung: Die Berechnung des erforderlichen Leitdurchflusses kann in einer frühen Planungsphase erfolgen und ist ohne wesentlichen Zeitaufwand durchführbar, so dass die Planung der Dotation ohne Zeitverzug durchgeführt werden kann.

## Literatur

BERGMANN, L. (2017): Numerische Modellierung der Strömung aus dem Einstieg einer Fischeaufstiegsanlage mittels OpenFOAM (Masterarbeit), KIT Karlsruhe

DWA (2014): Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.): Fischeaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. In: DWA-Merkblätter, M 509 (korrigierte Fassung Februar 2016)

- KRAATZ, W. (1975): Ausbreitungs- und Mischvorgänge in Strömungen (Habilitation). Technische Universität Dresden, Dresden
- RAJARATNAM, S. & R. A. HUMPHRIES (1984): Turbulent non-buoyant surface jets. In: Journal of Hydraulic Research, 22 (2), S. 103-115
- SCHMIEDER, H. (2018): Experimentelle Untersuchung von oberflächennahen Freistrahlen bei Variation der Einlassgeometrie eines Fischpasses (Bachelorarbeit), KIT Karlsruhe
- WEICHERT, R., W. KAMPKE, L. DEUTSCH, M. SCHOLTEN (2013): Zur Frage der Dotationswassermenge von Fischaufstiegsanlagen an großen Fließgewässern. In: Wasserwirtschaft, 1-2/2013, S.33-38
- WIERING, V. (2017): Experimentelle Untersuchungen eines oberflächennahen Freistrahls mit und ohne Konkurrenzströmung (Masterarbeit), RWTH Aachen



**Kontakt:**

**Dr.-Ing. Patrick Heneka**

Bundesanstalt für Wasserbau  
Kußmaulstr. 17  
76187 Karlsruhe  
Tel.: 0721/ 9726 4270  
E-Mail: patrick.heneka@baw.de

**1996-2003**

Studium Luft- und Raumfahrttechnik an den Universitäten Stuttgart und Toulouse/Frankreich

**2003-2009**

Wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Hydromechanik der Universität Karlsruhe

**2009-2015**

Projektingenieur in einem Ingenieurbüro für Strömungsmechanik im Bauwesen

**seit 2015**

Wissenschaftlicher Angestellter im Referat Wasserstraße und Umwelt (W1) der BAW



**Dr.-Ing. Lena Mahl**

Bundesanstalt für Wasserbau  
Kußmaulstr. 17  
76187 Karlsruhe  
Tel.: 0721/ 9726 4435  
E-Mail: lena.mahl@baw.de

**2003-2008**

Studium Umweltschutztechnik an der Universität Stuttgart und Chalmers in Göteborg/Schweden

**2009-2014**

Wissenschaftliche Angestellte am Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung der Universität Stuttgart

**seit 2014**

Wissenschaftliche Angestellte im Referat Wasserstraße und Umwelt (W1) der BAW



**Dr. Roman Weichert**

Bundesanstalt für Wasserbau  
Kußmaulstr. 17  
76187 Karlsruhe  
Tel.: 0721/ 9726 2660  
E-Mail: roman.weichert@baw.de

**1994-2001**

Studium des Bauingenieurwesens an der Universität Karlsruhe (TH), University of Edinburgh und TU Braunschweig

**2001-2007**

Wissenschaftlicher Angestellter an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich, ab 2005 Leiter der Abteilung Flussbau

**2007-2009**

Projektleiter bei Fichtner Water & Transportation GmbH

**seit 2009**

Referatsleitung des Referats Wasserstraße und Umwelt (W1) der BAW