

# Verbesserung des Prozessverständnisses der Kraftwerkspassage von Aalen durch neuartige Ansätze

Die Passage einer Wasserkraftanlage kann bei abwärts wandernden Fischen zu schweren Schäden führen, welche beispielsweise durch Rechen und Bypässe, fischangepasstes Turbinenmanagement und fischangepasste Turbinen reduziert werden können. Es werden zwei Ansätze dargestellt, die das Prozessverständnis während der Kraftwerkspassage verbessern können. Beide Ansätze bieten die Möglichkeit, die Auswirkungen von Wasserkraftanlagen auf abwandernde Aale besser zu verstehen und diese in der Bemessung und Planung von Wasserbauwerken zu berücksichtigen.

Elena-Maria Klopries und Holger Schüttrumpf

## 1 Biologische Bewertung einer Wasserkraftanlage

Querbauwerke in Kombination mit Wasserkraftanlagen können Fische und deren Wanderungen in Fließgewässern negativ beeinflussen. So kann die Durchgängigkeit der Gewässer beeinträchtigt, die Fragmentierung und Reduktion der Lebensräume weiter vorangetrieben sowie die direkte Mortalität von Fischen erhöht werden [1]. Besonders Langdistanzwanderfische, wie der Europäische Aal (*Anguilla anguilla*), sind von dieser Problematik betroffen. Oft ist die Passage durch eine Wasserkraftanlage die einzige Wanderroute für flussabwärts wandernde Fische. Aufgrund von Schädigungsmechanismen, wie Kollisionen, Scherkräften und rapiden Druckänderungen kann es zu hohen Schädigungs- und Mortalitätsraten der Fische kommen.

Unterschiedliche Schutzmaßnahmen, wie modifizierte Turbinen, angepasstes Turbinenmanagement, Fang- und Transportmaßnahmen und Rechen-Bypass-Systeme, können helfen, die Mortalität zu verringern [2]. Die Schutzwirkung dieser Maßnahmen ist standortabhängig und von der konkreten Ausgestaltung der Maßnahme sowie den biologischen Ansprüchen der Zielart abhängig [1]. Die Schutzwirkung wird oft mit Hilfe von Lebendtieruntersuchungen im Zuge von Funktionskontrollen oder

Monitoringmaßnahmen überprüft. Aus ethischen und tier-schutzrechtlichen Gesichtspunkten ist es unter der Berücksichtigung des sogenannten 3-R-Prinzips (Replace, Reduce und Refine) erstrebenswert, die Zahl und den Umfang von Lebendtieruntersuchungen zu reduzieren [3]. Inhalt des vorliegenden Beitrags ist es, zwei Verfahren vorzustellen und zu diskutieren, mit denen die biologische Bewertung von Bestandteilen einer Wasserkraftanlage möglich ist und die in Zukunft als Ergänzung für Lebendtieruntersuchungen genutzt werden können.

## 2 Rechendurchgang

### 2.1 Literaturrecherche und ethohydraulische Untersuchungen

Um die Wirkung eines Rechens hinsichtlich seines Effekts auf abwandernde Fische zu beschreiben, kann der Parameter der Filterwirkung (FW) genutzt werden (Gl. (1)). Dieser beschreibt das Verhältnis der Fische, die einen Rechen nicht passieren ( $N_{NP}$ ), zu den Fischen, die auf einen Rechen zu schwimmen ( $N_A$ ). Eine FW von 0 bedeutet, dass kein Fisch durch den betrachteten Rechen zurückgehalten wird und eine FW von 1 bedeutet, dass alle Fische, die auf den Rechen zugeschwommen sind, zurückgehalten werden:

$$FW = \frac{N_{NP}}{N_A} \quad (1)$$

Zur Ermittlung einer Bestimmungsgleichung der FW von Rechen für Blankaale wurde von 2017 bis 2018 eine Literaturrecherche zu Labor- und Freilanduntersuchungen mit Blankaalen an Rechen durchgeführt. Es wurden 15 Studien mit insgesamt 40 Versuchssetups und Ergebnissen identifiziert. Als Voraussetzungen für die weitere Analyse waren zum einen Informationen zu den Stababständen ( $s$ ), den minimalen und maximalen Anströmungsgeschwindigkeiten ( $v_{min}$ ,  $v_{max}$ ), horizontalen und vertikalen Neigungswinkeln ( $\beta$ ,  $\theta$ ) sowie minimalen und maximalen Körperlängen ( $L_{min}$ ,  $L_{max}$ ) der getesteten Aale erforderlich. Zum anderen wurden nur Studien mit  $s > 18$  mm

### Kompakt

- Neben Lebendtieruntersuchungen können innovative Ansätze Erkenntnisse bezüglich des Fischabstiegs und der Fischschädigung an Wasserkraftanlagen bieten.
- Laboruntersuchungen und In-silico-Untersuchungen ermöglichen eine größere Systematik, Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit als Freilanduntersuchungen.
- Die Anzahl von Versuchstieren und Lebendtieruntersuchungen kann reduziert werden, wenn alternative Ansätze wie CFD-Modelle weiterentwickelt und etabliert werden.

genutzt. Für Rechen mit kleineren Stababständen zeigen Untersuchungen und Bemessungsvorgaben, dass eine FW von 1 oder nahe 1 erwartet werden kann [2], [4]. 16 Datensätze erfüllten die genannten Bedingungen und sind in die weitere Auswertung eingegangen.

Über eine Korrelationsanalyse (Spearman-Korrelation) wurde ein dimensionsloser Parameter  $k_{FW}$  (Gl. (2) und Gl. (3)) bestimmt und mit diesem eine Regressionsanalyse durchgeführt, um eine Bestimmungsgleichung für die FW zu entwickeln (Gl. (4)). In den dimensionslosen Parameter geht die minimale Körperbreite ( $B_{min}$ ) ein, welche über den in Gl. (3) wiedergegebenen Zusammenhang ermittelt wurde [2]:

$$k_{FW} = \frac{B_{min}}{s \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\theta)} \quad (2)$$

$$B_{min} = L_{min} \cdot 0,03 \quad (3)$$

$$FW = \tanh(0,65 \cdot k_{FW}) \quad (4)$$

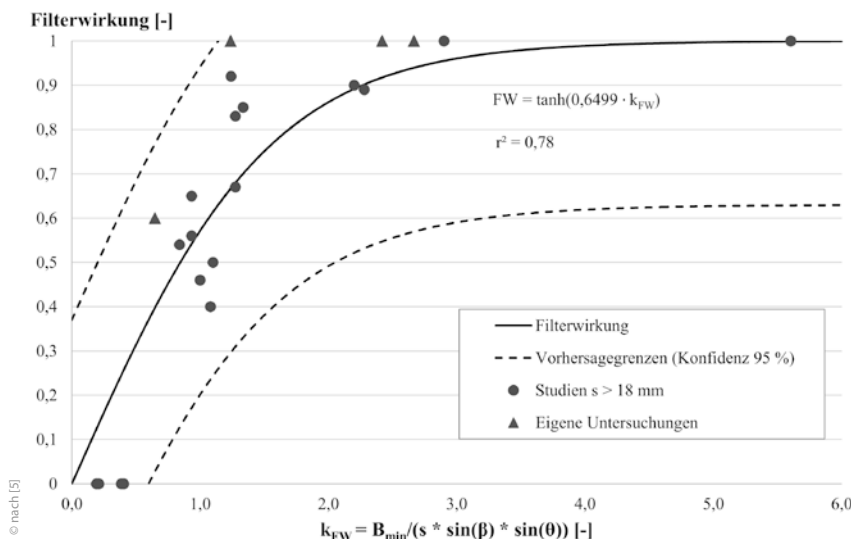
Die entwickelte Gleichung wurde mit neuen Daten aus eigenen ethohydraulischen Untersuchungen verglichen (Tabelle 1). Es wurde das Verhalten von Aalen vor einem Vertikalrechen mit vertikalen Rechenstäben in einem ethohydraulischen Versuchsstand in der Versuchshalle des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen University (IWW) untersucht. Der Stababstand des Vertikalrechens wurde zwischen 10 mm, 20 mm und 40 mm sowie der vertikale Neigungswinkel zwischen 70° und 30° variiert. Am Rechenfuß befand sich eine undurchlässige Verblendung, die etwa 85 mm hoch war. Der Wasserstand wurde während des Versuchs konstant bei 850 mm gehalten [5]. Im Zuge der ethohydraulischen Untersuchungen wurden jeweils drei Aale gleichzeitig in die Versuchsrinne eingesetzt. Nach einer Akklimatisationsphase von 15 Minuten begann die Versuchsdauer von 60 Minuten, wobei vier Anströmgeschwindigkeiten (0,3 m/s bis 0,8 m/s) in 15-Minuten-Intervallen hintereinander mit denselben Tieren getestet wurden.

Es wurden insgesamt 52 Aale (Körperlänge: 760 mm bis 970 mm, Mittelwert: 865 mm), die von der Aalschutz-Initiative

**Tabelle 1:** Versuchsplan und Ergebnisse der ethohydraulischen Versuche,  $L_{min}$  ist die minimale Körperlänge der in dem Setup getesteten Aale [mm],  $s$  ist der Stababstand [mm],  $\beta$  ist der horizontale Neigungswinkel [°],  $k_{FW}$  ist der dimensionslose Faktor gemäß Gl. (2) [-], FW ist die Filterwirkung gemäß Gl. (4) [-],  $n$  ist die Anzahl der Replikate je Setup [-],  $N$  ist die Anzahl der insgesamt in dem Setup getesteten Aale [-] und  $N_m$  ist die Anzahl der als motiviert eingestuften Aale für das Setup [-] (Quelle: nach [5])

$L_{min}$	$s$	$\beta$	$k_{FW}$	FW	$n$	$N$	$N_m$
810	40	70	0,65	0,6	4	12	10
760	20	70	1,21	1,0	10	30	18
810	20	30	2,43	1,0	7	21	9
820	10	70	2,62	1,0	5	15	9

Rheinland-Pfalz/innogy SE zur Verfügung gestellt wurden, in 26 Einzelversuchen bei vier verschiedenen Setups eingesetzt (Tabelle 1), die von der Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz/innogy SE zur Verfügung gestellt wurden. Es wurden nur Aale genutzt, die von den Berufsfischern optisch als Blankaale eingestuft wurden. Die Hälfte der Aale wurde zweimal eingesetzt, jedoch nicht zweimal in demselben Setup. Vor und nach den Versuchen wurden die Tiere in der Versuchshalle des IWW gehältert, wobei die Hälterung (1 620 l) und der Versuchsstand von demselben Wasserkreislauf gespeist wurden. Die Wassertemperatur lag während der Versuche zwischen 14 °C und 16 °C. Zur Kühlung wurde das Wasser im Kreislauf durch Frischwasser ersetzt. Die Wasserqualitätsparameter (pH-Wert, Temperatur,  $O_2$ -Wert) wurden kontinuierlich überwacht. Die Genehmigung von Versuchen an Tieren wurde vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) unter dem Aktenzeichen 84-02.04.2015.A090 erteilt. Die Verhaltensuntersuchungen wurden vom IWW gemeinsam mit dem Büro für Umweltplanung, Gewässermanagement und Fischerei (BUGeFi) im Zuge des von innogy SE finanzierten und anteilig vom Land Nordrhein-Westfalen geförderten Forschungsvorha-



**Bild 1:** Ermittelte Funktion der Filterwirkung von Rechen für Blankaale inklusive von Literaturwerten und Ergebnissen eigener ethohydraulischer Untersuchungen

bens „Untersuchungen zum Orientierungs- und Suchverhalten von Fischen vor Rechenanlagen von Wasserkraftanlagen“ (OveR) durchgeführt.

Es wurde das Verhalten der Tiere vor und an dem Rechen während der gesamten Versuchsdauer digital aufgenommen. Für die Untersuchungen der Filterwirkung wurden die Rechenpassagen der Fische aufgenommen. Tiere, die sich nicht aus dem Startbereich entfernt haben und keine direkte Interaktion mit dem Rechen (Kontakt oder Rechenpassage) zeigten, wurden als unmotiviert eingestuft. Auf diese Weise wurden 41 % der Aale als unmotiviert eingestuft und nicht weiter in der Auswertung berücksichtigt.

### 2.2 Bestimmungsgleichung der Filterwirkung und Validierung

Die ermittelte Bestimmungsgleichung der Filterwirkung (Gl. (4)) liefert einen Determinationskoeffizienten von  $r^2 = 0,78$ . Die Vorhersagegrenzen der Funktion umfassen ein Intervall von  $\pm 0,37$  [-] auf einem Konfidenzintervall von 95 %. Die Vorhersagegrenzen der Funktion geben unter der angegebenen Konfidenz an, dass eine neue Beobachtung innerhalb dieser Grenzen liegt.

Die im Zuge der ethohydraulischen Untersuchungen ermittelten FW liegen zwischen 0,6 und 1 und somit innerhalb der Vorhersagegrenzen der Bestimmungsgleichung der FW, aber oberhalb der Funktionswerte (**Bild 1**). Gründe für die Abweichungen können die Spezifikation des Rechens (z. B. Rechenfuß), die relativ große Größe der Aale im Versuch, individuelle Verhaltensweisen durch vorherige Erfahrungen der Fische oder Modelleffekte sein.

Der Determinationskoeffizient ist mit  $r^2 = 0,78$  hoch, so dass zusammen mit den Ergebnissen der ethohydraulischen Untersuchung eine erste Validierung der Gleichung innerhalb der Grenzen der untersuchten Parameter vorliegt. Eine größere Datenbasis zur Bestimmung der FW könnte die Aussagekraft und Robustheit der Gleichung weiter verbessern. Der Stababstand, der horizontale und der vertikale Neigungswinkel sind drei der vier beschreibenden Variablen in der Bestimmungsgleichung für die Filterwirkung. Diese wurden auch von [2] und [6] als relevant für die Performance von Rechen identifiziert. Die minimale Körperbreite von Aalen innerhalb einer Population kann abhängig vom Ursprung und Alter der Fische variieren [7]. Sie stellt somit einen variablen Parameter dar, der es ermöglicht, einen standort- oder untersuchungsbezogenen, realen biologischen Aspekt in die Betrachtung der Filterwirkung von Rechen einzubeziehen. Die Berücksichtigung von Größenverteilungen einer Aalpopulation anstelle der Minimalgröße könnte des Weiteren dazu beitragen, die Aussagegenauigkeit und damit Anwendbarkeit der Gleichung zu verbessern.

### 2.3 Anwendungsmöglichkeiten der Filterwirkung

Die Gleichung der Filterwirkung kann zur Abschätzung des Effekts eines Rechens eingesetzt werden, der nicht den Bemessungsvorgaben entspricht. Sie kann bei der Kosten-Nutzen-Betrachtung von möglichen Schutzmaßnahmen oder zum überschlüssigen Vergleich verschiedener Standorte eingesetzt werden. Sie liefert den Anteil der Aale, die durch einen Rechen in die Wasserkraftanlage einschwimmen. Es handelt sich um eine

**Tabelle 2:** Betriebszustände der im CFD Modell getesteten Turbine, Q ist der Durchfluss des Betriebszustandes als Anteil vom Bemessungsdurchfluss der Turbine [%],  $v_{Ein}$  ist die gemittelte Einlaufgeschwindigkeit in die Turbine,  $\alpha_{Lauf}$  ist der Laufradschaufelwinkel [°],  $\alpha_{Leit}$  ist der Leitschaufelwinkel [°] (Quelle: nach [8])

Betriebszustand	Q	$v_{Ein}$	$\alpha_{Lauf}$	$\alpha_{Leit}$
OP01_30	30	0,7	17	10
OP02_40	40	1,0	25	14
OP03_55	55	1,4	36	20
OP04_70	70	1,7	44	26
OP05_85	85	2,1	51	31
OP06_100	100	2,5	55	37

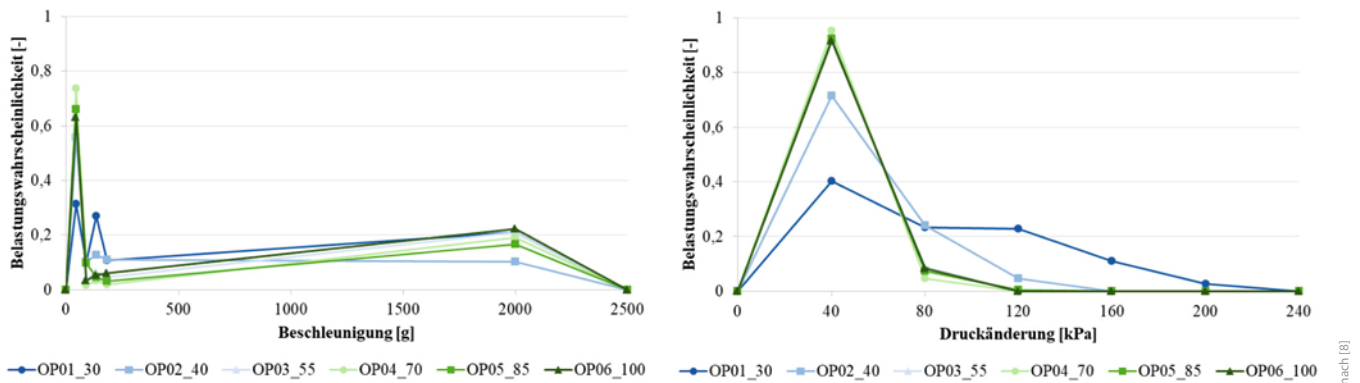
empirisch hergeleitete Gleichung, die nicht prozessbasiert ist und daher nur für Daten angewendet werden sollte, die innerhalb der Grenzen der Werte liegen, für die die Gleichung entwickelt wurde. Die empirischen Daten umfassen Stababstände zwischen 20 mm und 90 mm, vertikale Neigungswinkel zwischen 35° und 90°, horizontale Neigungswinkel zwischen 15° und 90° und eine minimale Körperbreite der Aale zwischen 13 mm und 19 mm. Eine Anwendung der für den Aal entwickelten Gleichung auf andere Fischarten ist ohne eine artspezifische Anpassung der Gleichung nicht möglich [5].

## 3 Turbinenpassage

### 3.1 CFD-Modell

Zur Betrachtung des Fischdurchgangs durch eine Turbine wurde ein hydrodynamisches 3-D-Modell (CFD-Modell) einer Kaplan-turbine in OpenFOAM (Open Source Field Operation and Manipulation, OpenFOAM Foundation Ltd, V. 2.4.0) im Maßstab 1:1 als Finite-Volumen-Modell erstellt. Die Strömung wurde als inkompressible, turbulente Einphasenströmung mit einem dynamischen Netz im Bereich der Laufradschaufeln simuliert. Die möglichen Schwimmbahnen von Fischen durch die Turbine wurden mit Hilfe von Stromlinien als Ein-Weg-Kopplung bestimmt [8]. Es wurden sechs verschiedene Betriebszustände der Turbine berechnet (**Tabelle 2**). Jeder Betriebszustand ist durch die Kombination aus Leitschaufelstellung, Laufradschaufelstellung, Fallhöhe, Abfluss und Einlaufgeschwindigkeit charakterisiert. Daraus ergeben sich für jeden Betriebszustand eine spezifische Geometrie und spezifische Randbedingungen, so dass für jeden Betriebszustand ein eigenes Berechnungsnetz erstellt wurde.

Die Belastungen der Fische wurden entlang der Stromlinien für die drei Schädigungsmechanismen Kollisionen, Scherkräfte und Druckänderungen bestimmt. Die Kollisionen und Scherkräfte wurden anhand der ermittelten Beschleunigung identifiziert und quantifiziert [8]. Für die Druckänderung wurde die Differenz zwischen dem minimalen und dem maximalen Druck pro Stromlinie als Kenngröße gewählt.



**Bild 2:** Belastungswahrscheinlichkeiten der berechneten Beschleunigungen (links) und Druckänderungen (rechts)

Die ermittelten Belastungen wurden mit sogenannten Dosis-Wirkungs-Beziehungen [8] verknüpft. Dosis-Wirkungs-Beziehungen geben die Wahrscheinlichkeit an, dass ein Fisch letal geschädigt wird, wenn er einer Belastung einer bestimmten Höhe ausgesetzt ist. Die Dosis-Wirkungs-Beziehungen wurden aus Mangel an spezifisch für den Aal ermittelten Werten aus Daten für Lachssmolts abgeleitet (z. B. [9]). Die detaillierte Darstellung findet sich in [8]. Durch die Verknüpfung der Belastungen und der Dosis-Wirkungs-Beziehungen lässt sich für jeden betrachteten Betriebszustand das Mortalitätsrisiko durch die jeweiligen Schädigungsmechanismen bestimmen.

Die so ermittelten Mortalitäten je Schädigungsmechanismus wurden mit Ergebnissen von Freilanduntersuchungen mit Blankaalen verglichen [10], [11]. Diese wurden an einer Wasserkraftanlage durchgeführt, die der im Modell untersuchten Turbine sehr ähnlich ist.

### 3.2 CFD Ergebnisse und Validierung

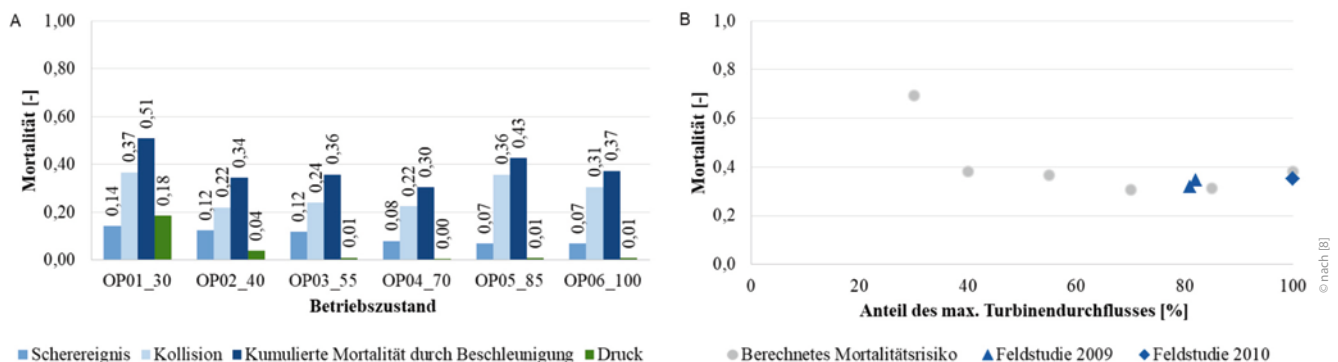
Auf Basis der ermittelten Belastungen lassen sich getrennt nach der Beschleunigung (Kollision und Scherereignisse) und nach den Druckänderungen die Wahrscheinlichkeit für eine bestimmte Belastungshöhe bestimmen (**Bild 2**). Neben der Höhe der Belastung lässt sich durch diesen Ansatz auch der Ort der Belastung bestimmen. Hieraus können Rückschlüsse über die Art und Höhe der Belastungsprozesse innerhalb einer Turbine getroffen werden. Für die hier betrachtete Turbine zeigt der Vergleich mit den Freilanduntersuchungen eine sehr gute Übereinstimmung (**Bild 3**).

### 3.3 Anwendungsmöglichkeiten der CFD-Modellierung

Das vorgestellte Verfahren zur Berechnung der Mortalität von Fischen während der Turbinenpassage auf Basis einer CFD-Modellierung bietet den Vorteil einer biologischen Beurteilung ohne den Einsatz von Lebewesen. Es ermöglicht darüber hinaus den einfachen und systematischen Vergleich verschiedener Betriebszustände einer Turbine oder den Vergleich verschiedener Turbinen untereinander. Da es sich um ein prozessbasiertes Modell handelt, können auch neuartige Geometrien getestet werden. Das dargestellte Verfahren hat darüber hinaus den Vorteil, dass es bereits im Planungsprozess einer Turbine oder eines Wasserkraftstandortes eine biologische Bewertung ermöglicht und die Anlage nicht erst gebaut werden muss. So können Optimierungspotenziale frühzeitig identifiziert werden. Stehen artspezifische Dosis-Wirkungs-Beziehungen für andere Fischarten zur Verfügung, können die Betrachtungen analog auch auf diese übertragen werden.

### 4 Forschungsmöglichkeiten

Die vorgestellten Ansätze zeigen, dass es möglich ist, die Prozesse während der Kraftwerkspassage von Fischen im Detail zu betrachten und differenzierte Aussagen zu Verbesserungsmöglichkeiten zu treffen. Sie erlauben im Rahmen ihrer Anwendungsgrenzen eine gesamtheitliche Betrachtung der biologischen Auswirkungen einer Wasserkraftanlage. Werden beide Ansätze weiterentwi-



**Bild 3:** A) Ergebnis der Mortalitätsberechnung auf Basis des CFD-Modells; B) Vergleich des berechneten Mortalitätsrisikos aus dem CFD-Modell mit Freilanduntersuchungen

ckelt und im wasserbaulichen sowie fischereibiologischen Forschungskontext etabliert, bieten sie die Möglichkeit, Lebendtieruntersuchungen zu unterstützen und deren Aussagekraft durch einen erhöhten Erkenntnisgewinn zu vergrößern oder den Umfang von Lebendtieruntersuchungen zu verringern.

Somit bestehen weitere Forschungsmöglichkeiten, die den Einsatz von Lebendtieren in der biologischen Bewertung von Wasserkraftanlagen reduzieren und das Prozessverständnis verbessern können. Diese umfassen zum einen die Weiterentwicklung und Etablierung von CFD-Modellen zur Kraftwerkspassage von Fischen. Hier liegt der Fokus vor allem auf der realistischen Abbildung der Schwimmwege der Fische. Die derzeitige Betrachtung über Stromlinien ermöglicht keine Berücksichtigung der Körperlänge, Körperform oder Eigenbewegung der Fische. Zum anderen umfassen die weiteren Forschungsmöglichkeiten die Bestimmung von artspezifischen Dosis-Wirkungs-Beziehungen für die Belastung von Fischen sowie die Standardisierung und Etablierung von innovativen Messmethoden an Wasserkraftanlagen, wie beispielsweise autonomen Sensoren [12] und probabilistischen Methoden zur biologischen Bewertung von Wasserkraftstandorten [13]. Diese Ansätze bieten die Möglichkeit, die Ansprüche der Fische an Wasserbauwerke besser verstehen und in die Planung und Bemessung von Bauwerken und Maßnahmen integrieren zu können.

### Autoren

**Dr.-Ing. Elena-Maria Klopries**

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf**

Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft  
RWTH Aachen University  
Mies-van-der-Rohe-Straße 17  
52056 Aachen  
klopries@iww.rwth-aachen.de  
schuettrumpf@iww.rwth-aachen.de

### Literatur

- [1] Williams, J. G.; Armstrong, G.; Katopodis, C.; Larinier, M.; Travade, F.: Thinking like a fish. A key ingredient for development of effective fish passage facilities at river obstructions. In: River Res. Applic. 28 (2012), Nr. 4, S. 407-417.
- [2] Ebel, G.: Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen – Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. Ingenieurbio-logische Grundlagen, Modellierung und Prognose, Bemessung und Gestaltung. In: Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie (2018), Band 4, 3. A.
- [3] Exner, C.; Bode, H.-J.; Blumer, K. R.; Giese, C.; Winnacker, E.-L.; Gruss P.: Tierversuche in der Forschung. Bonn: Lemmens Verlags- & Medien-gesellschaft, 2004.
- [4] Lehmann, B.; Adam, B.; Engler, O.; Hecht, V.; Schneider K.: Ethohydraulische Untersuchungen zur Verbesserung des Fischschutzes an Wasserkraftanlagen. In: Naturschutz und Biologische Vielfalt (2016), Heft 151.
- [5] Klopries, E.-M.; Wilmink, A.; Pummer, E.; Böckmann, I.; Hoffmann, A.; Schüttrumpf, H.: Development and evaluation of an empirical equation for the screening effect of bar racks. In: Journal of Ecohydraulics (2020).
- [6] Nyqvist, D.; Elghagen, J.; Heiss, M.; Calles, O.: An angled rack with a bypass and a nature-like fishway pass Atlantic salmon smolts downstream at a hydropower dam. In: Mar. Freshwater Res. 69 (2018), Nr. 12, S. 1 894.
- [7] Fladung, E.; Brämick, U.: Umsetzungsbericht 2018 zu den Aalbewirtschaftungsplänen der deutschen Länder 2008. 2018 ([https://www.portal-fischerei.de/fileadmin/SITE\\_MASTER/content/Dokumente/Bund/Aalbewirtschaftungsplaene/Umsetzungsbericht\\_dt.\\_AMP\\_2018.pdf](https://www.portal-fischerei.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Dokumente/Bund/Aalbewirtschaftungsplaene/Umsetzungsbericht_dt._AMP_2018.pdf); Abruf 01.10.2020).

- [8] Klopries, E.-M.; Schüttrumpf, H.: Mortality assessment for adult European eels (*Anguilla Anguilla*) during turbine passage using CFD modeling. In: Renewable Energy (2019).
- [9] Deng, Z.; Mueller, R. P.; Richmond, M. C.; Johnson, G. E.: Injury and Mortality of Juvenile Salmon Entrained in a Submerged Jet Entering Still Water. In: North American Journal of Fisheries Management 30 (2010), Nr. 3, S. 623-628.
- [10] Klopries, E.-M.: Ethohydraulische und hydronumerische Untersuchungen an Rechen und Kaplan-turbinen als Beitrag zur Reduktion der Aalschädigung an Laufwasserkraftanlagen. In: Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen (2018), Bd. 173.
- [11] Klopries E.-M., Kroll L., Jörgensen L., Teggers-Junge S., Schüttrumpf H.: 20 Jahre aktive Partnerschaft für den Aal an Mosel und Saar. 2016 (<https://iam.innogy.com/-/media/innogy/documents/ueber-innogy/innogy-Innovation-und-Technik/aalschutzinitiative-komprimierte-pdf-version.ashx>; Abruf 01.10.2020).
- [12] Deng, Z. D.; Carlson, T. J.; Duncan, J. P.; Richmond, M. C.: Six-Degree-of-Freedom Sensor Fish Design and Instrumentation. In: Sensors 7 (2007), Nr. 12, S. 3 399-3 415.
- [13] Richmond, M. C.; Serkowski, J. A.; Ebner, L. L.; Sick, M.; Brown, R. S.; Carlson, T. J.: Quantifying barotrauma risk to juvenile fish during hydro-turbine passage. In: Fisheries Research (2014), Nr. 154, S. 152-164.

Elena-Maria Klopries and Holger Schüttrumpf

#### Improving the understanding of hydropower plant passage for eels through innovative approaches

The passage of a hydropower plant can cause severe damage to fish migrating downstream. Screening and bypass systems, fish adapted turbine management and fish adapted turbines can help to reduce this damage. On the basis of empirical data, an equation for the screening effect of bar racks for European eels (*Anguilla anguilla*) was developed. This equation was compared with the results of our own behavioural laboratory studies, which allowed a first validation of the equation within its application limits. In addition, an approach to determine the mortality risk of silver eels at different operating points of a Kaplan turbine was developed. This approach is based on the combination of a computational fluid dynamics model of the turbine flow, the modelling of the fish passage through the turbine and the mortality estimation using dose-response relationships. The comparison with field studies at a similar hydropower plant shows good agreement between the calculated mortality risk and the measured mortality. Both presented approaches offer the possibility to better understand the effects of hydropower plants on migrating fish and the demands of migrating fish on hydropower plants and to take these into account in the design and planning of hydraulic structures and hydraulic engineering measures.



#### Fischabstieg



Hassing, R.; Koczula, S.: Problemfeld Fischschutz und Fischabstieg - Hydraulik und Eignung von Feinrechen. In: WasserWirtschaft, Ausgabe 2-3/2020. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020. [www.springerprofessional.de/link/17762858](http://www.springerprofessional.de/link/17762858)

Oertel, M.; Klein, J.: Hydraulische Optimierung einer Fischabstiegsanlage mittels wasserbaulicher Modellversuche. In: WasserWirtschaft, Ausgabe 9/2018. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2018. [www.springerprofessional.de/link/16098104](http://www.springerprofessional.de/link/16098104)