
Wagner, Falko; Warth, Peter; Müller, Nadine; Jähnel, Christian; Stamm, Jürgen
**Ethohydraulische Untersuchungen zum Fischauf- und -abstieg
durch ein Wasserwirbelkraftwerk**

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / Provided in Cooperation with:
Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter / Available at:

<https://hdl.handle.net/20.500.11970/107058>

Vorgeschlagene Zitierweise / Suggested citation:

Wagner, Falko; Warth, Peter; Müller, Nadine; Jähnel, Christian; Stamm, Jürgen (2020): Ethohydraulische Untersuchungen zum Fischauf- und -abstieg durch ein Wasserwirbelkraftwerk. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Interdisziplinärer Wasserbau im digitalen Wandel. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 63. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 143-157.



Ethohydraulische Untersuchungen zum Fischauf- und -abstieg durch ein Wasserwirbelkraftwerk

Falko Wagner

Peter Warth

Nadine Müller

Christian Jähnel

Jürgen Stamm

Wasserwirbelkraftwerke (WWK) sind Kleinwasserkraftwerke zur Nutzung des Wasserkraftpotenzials an Standorten mit geringen Fallhöhen und Abflüssen. Sie werden als "fischfreundliche" Anlagen vermarktet, die es den Fischen ermöglichen, stromauf und stromab zu wandern. Im Rahmen eines vom BMBF geförderten Forschungsprojekts wurde ein 1:1-Labormodell eines WWK errichtet, um die ökologische Durchgängigkeit für Fische zu untersuchen. Die Kombination von RFID-Telemetrie und Videoaufzeichnung im Rahmen der ethohydraulischen Untersuchungen ermöglichte eine quantitative Analyse des Verhaltens. Passagebedingte letale Schäden oder mittel- bis langfristige gesundheitliche Beeinträchtigungen der Fische traten nicht auf. Kollisionen mit den Turbinenschaufeln sind aufgrund der geringen Turbinendrehzahl und Strömungsgeschwindigkeiten nicht zu erwarten und wurden nicht beobachtet. Richtung stromab ist die Anlage für Fische passierbar, wenngleich eine Verzögerung des Abstiegs beobachtet wurde. Zahlreichen adulten Bachforellen gelang die Passage stromauf ins Oberwasser. Für alle anderen Arten war das WWK allenfalls sehr eingeschränkt passierbar.

Stichworte: Wasserwirbelkraftwerk, ethohydraulische Versuche, Fische, 3D-HN, Passierbarkeit, Fischschädigung

Einleitung

Das Wasserwirbelkraftwerk (WWK), eine erstmals im Jahr 1968 patentierte Wasserkraftanlage, verfügt über ein rotierendes Strömungsregime (Rankine-Wirbel) mit einer im Wirbelkern positionierten, vertikalachsigen, langsam drehenden Turbine vom Typ Francis. Felderkundungen an Anlagen in der Schweiz (Kirchhofer et al. 2019) und an einer Pilotanlage in Deutschland (Zinn 2014) lassen erwarten, dass WWK für einige Fischarten in beide Richtungen passierbar sind. Im Rahmen eines BMBF geförderten Forschungsprojektes war zu klären, inwieweit ein für die ökologische Durchgängigkeit von Fischen optimierter Anlagentyp die Durchwanderbarkeit ermöglicht, welche Schädigungsrate bei der Passage zu erwarten ist und ob bzw. wie stark die Fische diese Anlage meiden. Hierzu wurden ethohydraulische Experimente durchgeführt, die belastbare Aussagen auf Basis quantitativer Daten ermöglichen. Auch dem hinsichtlich Fischpassierbarkeit optimierten WWK fehlt ein entscheidendes Merkmal von Fischaufstiegsanlagen, ein durchgängiger Wanderkorridor mit naturähnlicher Gewässersohle und Kieslückensystem (DWA 2014). Sohlorientierten Kleinfischen und Wirbellosen ist eine uneingeschränkte Passage stromauf daher nicht möglich. Der Schwerpunkt wird im Folgenden darum auf die stromabwärts gerichtete Passierbarkeit gelegt.

1.1 Pilotmodell

Das physikalische Modell des WWK im Hubert-Engels-Labor des IWD wurde im Maßstab 1:1 errichtet, wobei die bautechnische Realisierung insbesondere durch die Anforderungen der Fische bestimmt wurde (Müller & Stamm 2018). Das Labormodell dient zur hydrotechnischen Untersuchung des Strömungssystems, zum Test der maschinenbau- und energietechnischen Konfiguration, zur Optimierung der ethohydraulischen Strömungsverhältnisse und zur Durchführung ethohydraulischer Untersuchungen.

Es besteht aus Quelltopf, Ober- und Unterwasserkanal sowie einem leicht spiralförmigen 1,5 m hohen Wirbelbecken (größter Radius am Einlauf des Beckens 1,98 m, kleinster Radius innen 1,68 m). Abbildung 1 zeigt die zentral im Wirbelbecken angeordnete vertikalachsige Turbine, die vom zentralen Wasserwirbel angetrieben wird. Die Bodenöffnung unter der Turbine hat einen Durchmesser von 0,8 m. Die Turbine ist mit einem Abstand von 1 cm über dem Boden des Wirbelbeckens an der Gerätebrücke montiert, auf der der Generator befestigt ist.

Die maximale Abflussleistung des insgesamt 24 m langen Modells beträgt bis zu 700 l/s. Der Unterwasserstand kann durch Dammbalken reguliert werden. Die Drehzahl der Turbine wird leistungsabhängig am Wechselrichter gesteuert und liegt im Bereich von 18 min^{-1} bis maximal 30 min^{-1} , während der ethohydraulischen Fischversuche im Mittel bei 24 min^{-1} . Die Turbine mit neun Laufradschaufeln sowie die Geometrie des Beckens blieben für die hier vorgestellten Untersuchungen unverändert. Zwischen den neun Laufradschaufeln befinden sich jeweils $0,27 \text{ m} \times 0,27 \text{ m}$ große Öffnungen, durch die die auf- und abwärts gerichtete Fischmigration möglich sein soll.

Die Messung der dreidimensionalen Strömungsgeschwindigkeiten erfolgte mit einer ADV-Sonde der Firma Nortek. Die Wassertiefen wurden mittels Ultraschallsensoren aufgezeichnet und die Leistung sowie die Drehzahl am Wechselrichter ermittelt. Zur Untersuchung der Strömungsparameter in Bereichen des Labormodells, die für die Messtechnik nicht zugänglich sind und um raumkontinuierliche instationäre Strömungsinformationen zur ethohydraulischen Interpretation zu erhalten, wurden für das Pilotmodell dreidimensionale hydronumerische (3D-HN) Simulationen in OpenFOAM (Version 5.0) durchgeführt (Abbildung 3). Die rotierende Turbine wurde durch ein dynamisches Netz simuliert, das durch ein „Arbitrary Mesh Interface“ mit dem statischen Netz verbunden ist. Die Kalibrierung dieses Modells erfolgte durch den Abgleich von Wasserständen und Fließgeschwindigkeiten mit dem Pilotmodell.

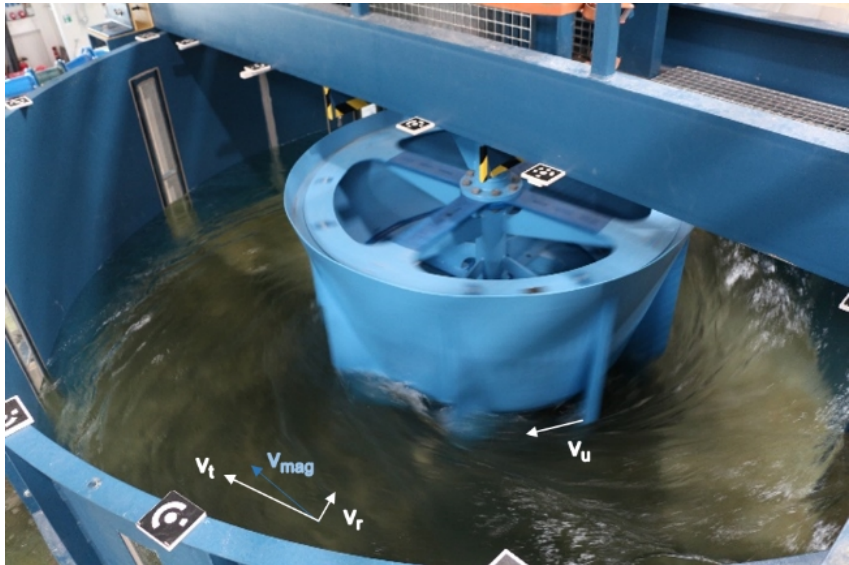


Abbildung 1: Wasserwirbelkraftwerk bei einem Turbinendurchfluss von 350 l/s

1.2 Ethohydraulische Versuche

Dem angedachten Einsatzgebiet des modifizierten WWK entsprechend, standen bei der Untersuchung des Fischeinfuhr- und -abstiegs die Arten der Bachforellen- und Äschenregion im Mittelpunkt. Um mit einer geringen Anzahl von Tierversuchen Aussagen zu allen relevanten Arten zu treffen, erfolgte eine Kategorisierung entsprechend ihrer potenziellen Schwimmleistung, des Schwimmhorizontes, der Körpergröße der Adulttiere sowie der Schädigungsempfindlichkeit bei Turbinenpassage und die Auswahl nur eines Vertreters pro relevanter Gildenkombination. Zusätzlich hinzu kam der Aal, da er nach der Verordnung (EG) Nr. 1100/2007 einen besonderen Schutzstatus besitzt und als katadromer Wanderfisch von Wasserkraftwerken besonders betroffen ist. Für die Untersuchung des Fischabstiegs resultierten 4 (Aal, Bachforelle, Gründling, Plötze) und für die des Fischeinfuhrstiegs 5 Arten (Bachforelle, Elritze, Gründling, Plötze, Schmerle). Die Versuchsfische wurden in der jeweiligen Hauptwanderzeit der Arten in Gewässern nahe des Versuchsortes gefangen und nach Versuchsende dort wieder freigelassen. Bachforellen mussten bei

den Schädigungsuntersuchungen teilweise durch Bachsaiblinge aus Aquakultur ersetzt werden, da die schlechte Bestandssituation keine Entnahme aus diesen Gewässern erlaubte. Allen Versuchstieren wurden intraabdominal HDX-Tags implantiert, um die Tiere in der Versuchsanlage mittels Antennen zu lokalisieren sowie eine individuelle Auswertung der Schädigung zu ermöglichen. Das Verhalten der Tiere im WWK wurde mittels RFID-Telemetrie (HDX) sowie durch Videotechnik erfasst (Abbildung 2). Eine Beeinflussung der Fische durch den Beobachter war so ausgeschlossen. Das Verhalten wurde über die Livebilder direkt protokolliert und anschließend anhand der Video- und Telemetriedaten verifiziert und ergänzt. Beleuchtung, Temperatur, Wasserparameter, Durchfluss und Turbinendrehzahl wurden überwacht. Die Versuche erfolgten im Hellen unter weitgehend konstanten Lichtverhältnissen. Durch aktive Kühlung konnten die Änderung der Wassertemperaturen und die resultierende Schwimmleistung im Versuchszeitraum auf $< 2\text{ K}$ begrenzt werden. Die Beschaffung, Haltung und Behandlung der Fische erfolgte so schonend wie möglich, um den Stress für die Tiere zu minimieren und optimale Voraussetzungen für ein natürliches Abstiegsverhalten zu schaffen. Das gesamte Vorhaben wurde als Tierversuch beantragt und unter der Registrierungsnummer TVV 71/2017 von der zuständigen Behörde genehmigt.

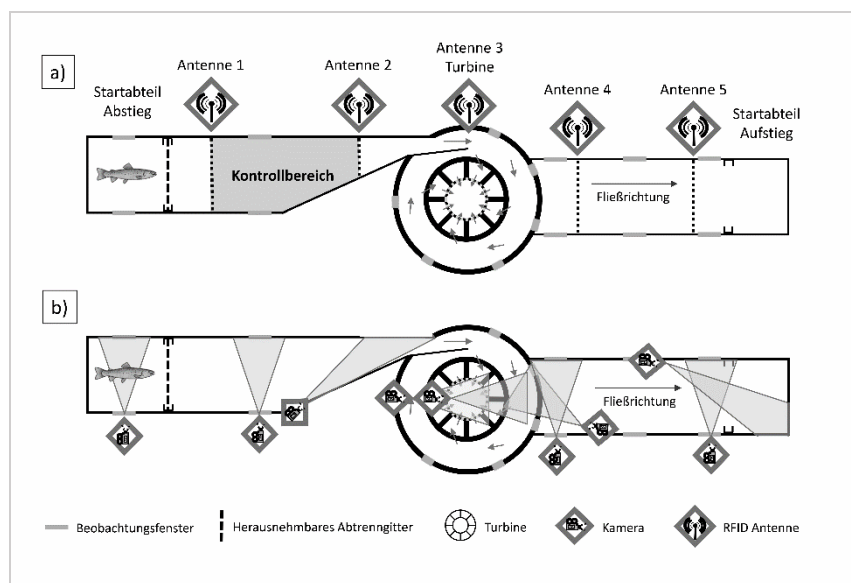


Abbildung 2: Versuchsrinne mit RFID-Antennen und Videosystem für die ethohydraulischen Versuche

Zur Quantifizierung der Schädigungen bei der Turbinenpassage wurde der Gesundheitszustand der Fische vor und nach dem Versuch fotografisch dokumentiert und basierend auf dem Verletzungsprotokoll nach Müller et al. (2017) erfasst. Die passagebedingte Schädigung (D) wurde unter Berücksichtigung der Schädigung in den zusätzlichen Kontrollgruppen ermittelt. Die Berechnung erfolgte auf Basis der Gesamtschädigungsrate (TD) der Passagegruppe sowie der Handlingschädigungsrate (HD) der Kontrollgruppe wie folgt:

$$D = 1 - \frac{(1 - TD)}{(1 - HD)}$$

Die erfassten Verletzungstypen beinhalten noch keine Bewertung der resultierenden Beeinträchtigung des Fisches. Die protokollierten Verletzungen wurden daher entsprechend ihres Beeinträchtigungspotenzials 5 Kategorien zugeordnet (Tabelle 1).

Verletzungskategorien und resultierendes Beeinträchtigungspotenzial für die Fische

Kategorie	Beeinträchtigungspotenzial
1	unverletzt, keine Beeinträchtigung
2	leichte Verletzung, allenfalls kurzfristige Beeinträchtigung
3	mittelschwere Verletzung, vorübergehende Beeinträchtigung
4	schwere Verletzung, nachhaltige Beeinträchtigung, Mortalitätsrisiko stark erhöht
5	unmittelbar tödliche Verletzung

Nur Fische der Passagegruppe, die beim Abstieg vor Ablauf der halben Versuchsdauer die Kontrollstrecke zwischen Antenne 1 und 2 erfolgreich pasierten, galten als motiviert und flossen in die weitere Datenauswertung ein. Als Meidungsverhalten der Fische des WWK wurde ein Wechsel der bis Antenne 2 abgestiegenen Fische wieder stromauf bis Antenne 1 gewertet. Über die individuelle Schwimmdauer von Antenne 1 zur Antenne 2 im Oberwasser als Referenzzeit wurde geprüft, ob es im Bereich der Turbine zwischen Antenne 2 zu 4 zur Verzögerung des Abstiegs kommt. Im Fall der Fischeaufstiegsversuche wurden die Fische erst nach vollständiger Passage des Kontrollbereiches zwischen Antenne 5 und Antenne 4, als motiviert für den Aufstieg gewertet und in die weitere Analyse einbezogen.

2 Ergebnisse

2.1 Fischeaufstieg

Insbesondere die Elritzen ($N_{\text{gesamt}} = 70$) zeigten mit einem Anteil von 100 % und die Bachforellen ($N_{\text{gesamt}} = 159$) mit 95 % eine besonders hohe Aufstiegs-motivation. Bei Schmerle ($N_{\text{gesamt}} = 137$), Gründling ($N_{\text{gesamt}} = 120$) und Plötze ($N_{\text{gesamt}} = 120$) lag der Anteil zwischen 57 bis 95 % und war bei den Versuchen mit verringertem Durchfluss stets höher als bei 700 l/s. Während der Versuche mit maximalem Durchfluss von 700 l/s stiegen 54 % der motivierten Bachforellen durch das Turbinenbecken hindurch bis zu Antenne 2 ins Oberwasser auf. Individuen aller anderen Arten gelang dies nicht. Bei reduziertem Durchfluss pasierten allerdings auch 4 Plötzen (7 %) und eine Elritze (2,5 %)

die Turbine, wobei aber nur 2 der Plötzen und keine Elritze bis zu Antenne 2 ins Oberwasser vordrangen. Schmerlen und Gründlinge passierten auch bei verringertem Durchfluss die Turbine nicht. Aus den Ergebnissen der Modellierung der Strömungsverhältnisse in und unter der Wirbelkammer (Abbildung 3) lässt sich ableiten, warum insbesondere die sohlorientierten Kleinfischarten nicht in das Wirbelbecken gelangten. Vor allem sohlnah überstieg die Fließgeschwindigkeit die Sprintgeschwindigkeit dieser Fische von rund 0,9 m/s (nach Ebel 2013) bei den Wassertemperaturen im Versuch in einer langgestreckten Zone deutlich. Hinzu kommt, dass die Sohle glatt ist und die Fische aufgrund der Stufe direkt unter dem Becken ihren Schwimmhorizont verlassen müssen.

Hinzu kommt, dass die Strömung im Unterwasserkanal nach dem Turbinenauslass hochturbulent und wirbelbehaftet ist. Die Ausprägung der Wirbel hängt neben Durchfluss und Unterwasserstand insbesondere von der Turbinendrehzahl ab. Während beispielsweise Elritzen bei Versuchen mit 700 l/s bereits zwischen Antenne 4 und 5 durch Wirbel stromab versetzt wurden, gelangten einige bei einem Durchfluss von 350 l/s bis Antenne 3 unter der Turbine.

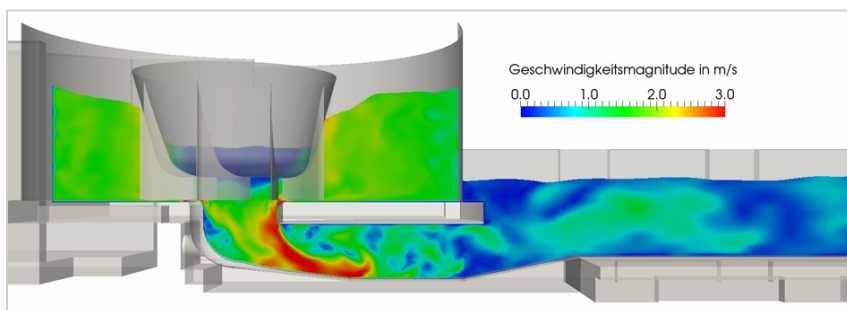


Abbildung 3: Schnitt des 3D-HN-Modells der Wirbelkammer und dem anschließenden Ausströmbereich des Wasserwirbelkraftwerkes (OpenFOAM) © IWD, TU Dresden bei einem Durchfluss von 700 l/s

2.2 Fischabstieg

Die Motivation der Fische bei den Versuchen zur abwärts gerichteten Passage variierte ebenfalls zwischen den Arten. Beim Aal betrug ihr Anteil 50 % aller in den Versuch eingebrachten Tiere, bei der Bachforelle 69 % und beim Bachsaibling 74 %. Aus technischen Gründen waren mit den Daten von Plötze und Gründling keine belastbaren quantitativen Analysen möglich. Bei Aal und Bachforelle stieg ein Anteil von 86 % der motivierten Tiere durch das Turbinenbecken in das Unterwasser ab. Beim Bachsaibling war der Anteil mit 67 % geringer. Rund 25 % der Aale verließen zunächst den Turbineneinlauf aktiv wieder stromauf bis in das Oberwasser zu Antenne 1, was als Meidungsreaktion interpretiert wird. Mit einem Anteil von 24 % der Tiere reagierte der Bachsaibling ähnlich. Bei der Bachforelle war mit einem Anteil von 35 % die Meidungsreaktion etwas stärker ausgeprägt. Bei allen Arten gab es Tiere, deren Abstiegsgeschwindigkeit im unmittelbaren Bereich des WWK zwischen Antenne 2 und 4 als verlangsamt eingestuft wurde, wobei der stärkste Effekt beim Bachsaibling auftrat. (Abbildung 4)

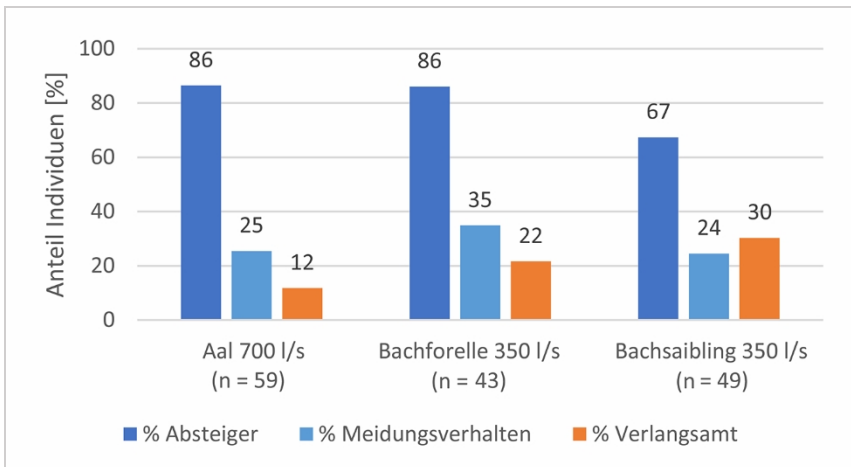


Abbildung 4: Prozentualer Anteil der als motiviert eingestufteten Tiere der Arten Aal, Bachforelle und Bachsaibling, welche erfolgreich in das Unterwasser abgestiegen, ein Meidungsverhalten zeigten oder bei denen eine Verlangsamung der Abstiegsgeschwindigkeit gegenüber dem Kontrollbereich festgestellt wurde

Außer beim Aal erfolgte der Abstieg im Beobachtungsbereich fast ausschließlich mit dem Kopf entgegen der Strömungsrichtung. Es wurden Fische beobachtet, die mehr als eine Turbinenumdrehung zwischen den Rotorscheaufeln verharren. Der absteigende Fisch bewegt sich mit der Strömung im Wirbelbecken und schwimmt durch die Turbinenschaufeln bzw. hält sich dazwischen auf (Wagner et al. 2019). Die Passage von Fischen durch das Wirbelbecken wird abschnittsweise betrachtet: a) für den oberstromigen Zulauf bis zur Turbine (im Wirbelbecken) sowie b) für die Passagestrecke zwischen den Turbinenschaufeln. Im erstgenannten Abschnitt sind die Geschwindigkeitsmagnituden v_{mag} von Relevanz sowie die Relativgeschwindigkeit der Strömung $\vec{v}_{\text{rel}}$ zur Umlaufgeschwindigkeit der Turbine $\vec{v}_u$. Im Abschnitt zwischen den Turbinenschaufeln werden die Winkelgeschwindigkeit sowie die Anteile von Tangential- zu Radialgeschwindigkeit ($\vec{v}_t$ und $\vec{v}_r$, Abbildung 1) zur Beurteilung der Kollisionsgefahr herangezogen.

Im Wirbelbecken entspricht die örtliche Tangentialgeschwindigkeit größtenteils der Geschwindigkeitsmagnitude. Die Tangentialgeschwindigkeit wird zur Turbine hin größer und ist über die Fließtiefe weitestgehend konstant (Abbildung 5). Die Radialgeschwindigkeiten sind am Beckenrand nahezu null, werden ebenso zur Mitte hin größer, betragen aber nur ca. 10 % der Tangentialgeschwindigkeiten. Die maximale Geschwindigkeit von etwas über 2 m/s ist unter Anwendung gildenspezifischer Modelle zur überschlägigen Ermittlung der Sprintgeschwindigkeit nach (Ebel 2013) von adulten Individuen vieler rheophiler Arten im natürlichen Temperaturbereich während der Hauptmigrationsphasen beherrschbar. Für schwimmschwächere Arten wurde im Versuch beobachtet, dass sie aufgrund der gleichmäßigen Zunahme der Geschwindigkeit im Wirbelbecken schnelle Bereiche meiden können und daher nicht ungewollt absteigen.

Die Betrachtung der Geschwindigkeitsverteilung erlaubt eine erste Einschätzung der Verhältnisse in der Anlage nach DWA M-509 (DWA 2014). Für die Beurteilung der Fischpassage ist jedoch auch die Turbulenz von Bedeutung, da Wirbel und lokale Spitzen die Orientierung der Fische erschweren können. Bei einer Drehzahl von $n = 22,3 \text{ min}^{-1}$ beträgt die Umlaufgeschwindigkeit an der äußeren Turbinenschaufel $|\vec{v}_u| = 1,98 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ mit $|\vec{v}_u| = 2 \cdot \pi \cdot r_{\text{turbine}} \cdot n$. Angenommen, der absteigende Fisch bewegt sich im Wirbelbecken mit der resultierenden Fließgeschwindigkeit $\vec{v}_{\text{mag}}$ bzw. $\vec{v}_t$ (da $\vec{v}_{\text{mag}} \approx \vec{v}_t$ außerhalb der Turbine), dann „erlebt“ er die Umlaufgeschwindigkeit als Relativgeschwindigkeit $\vec{v}_{\text{rel}} = \vec{v}_t - \vec{v}_u$ (Abbildung 5). In direkter Nähe zur Turbine überschreitet die

Fließgeschwindigkeit die Turbinenumlaufgeschwindigkeit. Im Nahfeld der Turbine gibt es einen Bereich, in dem $\vec{v}_{rel} = 0$ gilt. Dort sind Wasser und Turbine gleich schnell. Je weiter sich der Fisch im Wirbelbecken von der Turbine entfernt, desto langsamer schwimmt er im Vergleich zur Turbinenumlaufgeschwindigkeit. In diesem Bereich liegen die Geschwindigkeiten in der Größenordnung, die auch schwimmschwächere Arten beherrschen können, so dass sie grundsätzlich in der Lage sind, den Abstieg zu meiden.

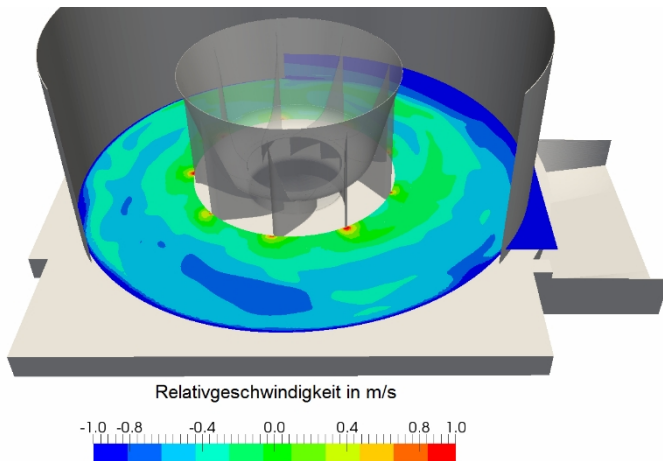


Abbildung 5: Fließgeschwindigkeit relativ zur Umlaufgeschwindigkeit der Turbinenschaufelspitze $\vec{v}_{rel} = \vec{v}_t - \vec{v}_u$ aus hydronumerischem 3D-Modell

In Abbildung 5 sind lokale Ablösungen an den Turbinenschaufelspitzen zu sehen, welche auch im Labormodell anhand von turbulenten Wirbeln zu Tage traten. Abbildung 6 zeigt die Radialgeschwindigkeit zwischen den Turbinenschaufeln. Im Strömungsschatten der Turbinenschaufeln ist die Radialgeschwindigkeit nach innen gerichtet, während sie auf der gegenüberliegenden Seite ins Wirbelbecken gerichtet ist. Hält sich ein Fisch zwischen den Turbinenschaufeln auf, erfährt dieser vor allem den Radialgeschwindigkeitsanteil, welcher weniger als 1 m/s beträgt. Auch hier können adulte Individuen vieler rheophiler Arten bei Bedarf ausweichen.

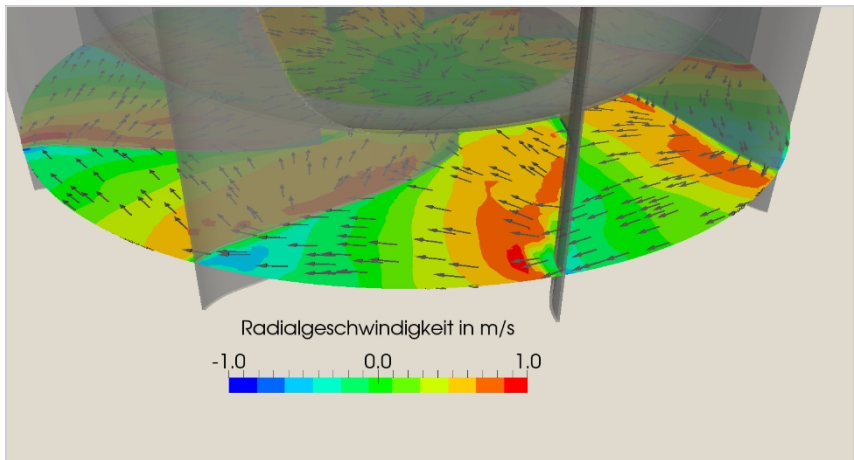


Abbildung 6: Radialgeschwindigkeit zwischen den Turbinenschaufeln (positiv in Richtung der Turbinendrehachse), Vektorpfeile zeigen die Richtung der Geschwindigkeitsmagnitude an

2.3 Fischeschädigung und Mortalität

Während der Versuche trat in Verbindung mit der Passage des WWK weder direkte, noch verzögerte (Bezugszeit: 48 h) passagebedingte Mortalität auf. Entsprechend waren auch keinerlei schwere, potenziell tödliche Verletzungen der Kategorien 4 und 5 zu verzeichnen. Leichte Verletzungen der Kategorien 2 und 3 mit geringem bis mittlerem Beeinträchtigungspotential für die Fische kamen jedoch sowohl in den Kontroll- als auch in den Passagegruppen vor (Tabelle 2). Insbesondere bei den Arten Aal und Gründling waren die Schädigungsraten passageunabhängig hoch. Nur bei der Bachforelle ergibt sich rechnerisch, unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Kontrollgruppe, eine passagebedingte Verletzungsrate von 14 %. Bei keiner der Arten lässt sich jedoch basierend auf den Ergebnissen des Fisher Exact Tests (α 0,05; β - 0,95) ein Effekt der Passage auf das Verletzungsrisiko statistisch absichern.

Tabelle 1: Schädigungsrate (SR, Kategorie 2 & 3) der Kontrolltiere, die Gesamtschädigungsrate der Tiere nach dem Passageversuch (Effekt Handling und Passage), das Ergebnis des Test auf Unterschiede zwischen Kontroll- und Passagegruppe (Fisher exact test single sided), sowie die resultierende Schädigung der einzelnen Arten durch die Turbinenpassage während Abstieg

	Aal		Bachforelle*		Gründling	
SR Kontrollgruppe	95%	n = 63	51%	n = 35	83%	n = 93
SR Passagegruppe	94%	n = 50	58%	n = 31	80%	n = 54
P-Wert	0,999		0,627		0,662	
Passagebedingte Schädigung	0%		14%		0%	

**teilweise durch Bachsaiblinge ersetzt*

Während der Passage sind die Fische ähnlich wie bei der Archimedischen Schraube allenfalls geringen Druckwechseln ausgesetzt (Müller et al. 2019). Diese Schädigungsursachen von Turbinen entfallen. Eine Schädigung infolge des direkten Kontaktes mit den Turbinenblättern ist aufgrund der geringen Umdrehungsgeschwindigkeit von ca. 24 min⁻¹ und der geringen Unterschiede des Vektors und Betrags des Strömungspfades und des Schwimmpfades der Fische (siehe 2.2) weitgehend ausgeschlossen. Ein Verletzungsrisiko besteht allerdings, falls Fische in den Spalt zwischen Turbinenschaufel und Beckenboden gelangen. Letzteres wurde im Labormodell bei einem 1 cm großen Spalt nicht beobachtet, ist aber durch Verschleiß und ungleichmäßige Spaltmaße bei Anlagen im Freiland nicht auszuschließen. Bei Wasserkraftschnecken ist ein hohes Verletzungsrisiko hierdurch belegt (Schmalz 2011).

3 Zusammenfassung

Der Einsatz der RFID-Telemetrie bei den ethohydraulischen Untersuchungen zum Fischeauf- und -abstieg in Kombination mit Videoüberwachung ermöglicht auf Basis der individuellen Identifikation der Probanden eine präzise Schädigungsanalyse. Die Lokalisierung der Fische mit genauem Zeitpunkt per RFID-Transponder macht Geschwindigkeitsmessungen und die quantitative Erfassung von Verhaltensweisen und Aufenthaltszeiten an verschiedenen Orten sowie die statistische Auswertung der Ergebnisse möglich. Von den

fünf getesteten Arten stiegen drei erfolgreich durch die Turbine bis in das Wirbelbecken auf. Bei Plötze und Elritze gelang dies aber lediglich Einzeltieren und nur bei reduziertem Durchfluss. Die sohlorientierten Kleinfische, Schmerle und Gründling, waren nicht in der Lage gegen die Strömung in das WWK einzuschwimmen. Die Ursache hierfür sind mit hoher Wahrscheinlichkeit zu hohe sohlnahe Fließgeschwindigkeiten, fischskalige Wirbel und das Fehlen von rauem Sohlensubstrat und die zu überwindende Sohlenstufe unter dem Wirbelbecken.

Die Ergebnisse der Abstiegsversuche zeigen, dass über das WWK in der getesteten Konfiguration ein schadloser Fischabstieg möglich ist. Viele der motivierten Fische passierten die Anlage erfolgreich, allerdings nicht immer ohne Meidungsverhalten und Verzögerungen. Dies kann den Energiebedarf der Fische steigern, Stress bewirken und sich letztendlich auch negativ auf den Reproduktionserfolg auswirken (Schmalz et al. 2015), so dass ein negativer Effekt auf die Fische, insbesondere bei mehreren Anlagen in Serie, nicht auszuschließen ist.

4 Danksagung

Diese Veröffentlichung wurde aus Daten erstellt, die im Rahmen des Verbundprojektes „VP4: Kaskade Fischfreundliches Wehr“ (03WKCO4) erhoben wurden und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Es ist Teil des Wachstumskerns „Fluss-Strom Plus“. Die Autoren danken den Projektpartnern für die angenehme Zusammenarbeit.

5 Literatur

- Deutscher Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., DWA (2014): Fischauftiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. Merkblatt DWA-M 509, Hennef 2014
- Ebel, G. (2013): Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen: Fish protection and downstream passage at hydro Power stations; Handbuch Rechen- und Bypasssysteme; Ingenieurbiologische Grundlagen, Modellierung und Prognose, Bemessung und Gestaltung. Halle (Saale): Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel, 2013
- Europäische Union (2007): Verordnung (EG) Nr. 1100/2007 des Rates vom 18. September 2007 mit Maßnahmen zur Wiederauffüllung des Bestands des Europäischen Aals, 2007

- Kirchhofer, A.; Breitenstein, M.; Flück, M.; Hoppler, L. (2017): Kraftwerke an der Suhre – Erfolgskontrolle der Fischdurchgängigkeit. Bericht im Auftrag der Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau, Bern 2017
- Müller, M.; Pander, J.; Geist, J. (2017): Evaluation of external fish injury caused by hydropower plants based on a novel field-based protocol. In: Fisheries Management and Ecology 24, 2017. S. 240-255
- Müller, N.; Jähnel, C.; Stamm, J.; Wagner, F. (2019): Analyse der Strömung in einem Wasserwirbelkraftwerk hinsichtlich des Fischabstiegs. In: WasserWirtschaft 9, 2019S. 60-63,
- Müller, N.; Stamm, J. (2018): Errichtung eines 1:1 Labormodells für ethohydraulische Untersuchungen an einem Wasserwirbelkraftwerk. In: Dresdner Wasserbauische Mitteilungen: 41. Dresdner Wasserbaukolloquium, 2018. S. 123-132
- Schmalz, W.; Wagner, F.; Sonny, D. (2015): Arbeitshilfe zur standörtlichen Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstiegs. Bericht im Auftrag des Ecologic Institutes gemeinnützige GmbH, Breitenbach 2015
- Schmalz, W. (2011): Fischabstieg durch eine Wasserkraftschnecke an einem Ausleitungskraftwerk. In: WasserWirtschaft 7-8, 2011. S. 82-87
- Wagner, F.; Warth, P.; Royan, M.; Lindig, A.; Müller, N.; Stamm, J. (2019): Laboruntersuchungen des Fischabstiegs über ein Wasserwirbelkraftwerk. In: WasserWirtschaft 9, 2019.S. 64-67
- Zinn, L. (2014): Biologische Funktionskontrolle des „Fischfreundlichen Wehrs“. Diplomarbeit, Hochschule Zittau/Görlitz 2014

Autoren:

Dr. Falko Wagner¹
Dr. Peter Warth¹

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stamm²
Dipl.-Ing. Nadine Müller²
Dipl.-Ing. Christian Jähnel²

¹ Institut für Gewässerökologie und
Fischereibiologie Jena
Sandweg 3
07745 Jena

² Institut für Wasserbau und Technische
Hydromechanik
Technische Universität Dresden
01062 Dresden

Tel.: +49 3641 637745
Fax: +49 3641 219545
E-Mail: falko.wagner@igf-jena.de
peter.warth@igf-jena.de

Tel.: +49 351 01234 5
Fax: +49 351 01234 56
E-Mail: juergen.stamm@tu-dresden.de
nadine_mueller@tu-dresden.de
christian.jaehnel@tu-dresden.de