

Ökologische Optimierung des Fischabstiegs durch die Turbine

Franz Geiger und Mathilde Cuchet

Zusammenfassung

An der Versuchsanstalt Oberrach (VAO) wurde ein neuartiger Ansatz für den Fischabstieg an Wasserkraftanlagen entwickelt, die sogenannte IDA-Technik (Induzierte Drift Anwendung). Da die Schädigungsraten der Fische bei der Turbinenpassage vom Verhalten der Fische anhängen, können sie durch eine entsprechende Verhaltensbeeinflussung gezielt reduziert werden. Dies lässt sich durch elektrische Felder besonders einfach und vorteilhaft umsetzen. Erste Untersuchungen am Turbinenversuchsstand der VAO bestätigen den grundsätzlichen Einfluss des Fischverhaltens und insbesondere die erfolgreiche Wirkung der IDA-Technik.

An geeigneten Standorten können durch diese ökologische Optimierung der Turbinenpassage die Anforderungen an den Populationsschutz gewährleistet werden. Da die Umsetzung eines IDA-Systems lediglich die Installation von Elektroden im Zulauf der Turbine sowie eine Spannungsversorgung bedarf, stellt dieser Ansatz eine wirtschaftlich sehr effiziente Lösung dar, die sich insbesondere für die Nachrüstung an Bestandsanlagen anbietet und auch an größeren Anlagen technisch realisierbare ökologische Verbesserungen erlaubt.

1 Hintergrund

1.1 Fischabstieg an Wasserkraftanlagen

Zahlreiche Fischarten müssen im Rahmen ihres Lebenszyklus longitudinale Wanderbewegungen in den Gewässern durchführen. Die Fragmentierung der Gewässer durch flussbauliche Maßnahmen und die oftmals damit verbundene Wasserkraftnutzung schränkt diese Wanderungen grundsätzlich ein (Pavlov et al. 2015). Der Fischabstieg an Wasserkraftanlagen kann oftmals nur durch die Turbinen erfolgen. Bereits seit geraumer Zeit ist bekannt, dass dies mit erheblichen Verletzungen der Fische bis hin zum Tod verbunden sein kann (von Raben 1958, Larinier et al. 2002).

Ausgehend von den rechtlichen Forderungen zur ökologischen Durchgängigkeit und dem Schutz der Fischpopulationen, stellt der Fischabstieg heute eine wesentliche Herausforderung für die Wasserkraftnutzung dar. Bei Neuanlagen ist der Fischabstieg regelmäßig die zentrale Genehmigungshürde. Die damit verbundenen Maßnahmen stellen mitunter die Wirtschaftlichkeit eines Projektes in Frage. Für viele Bestandsanlagen sind in absehbarer Zeit Neukonzessionierungen erforderlich. Es besteht ein drängender Bedarf an geeigneten Fischabstiegskonzepten (Böttcher et al. 2015).

Die gängigsten Konzepte für den Fischschutz und Fischabstieg sehen vor, die Fische von einer Turbinenpassage abzuhalten und sie zu einem gefahrlosen alternativen Abstiegsweg zu leiten. Eine ausreichende und zuverlässige Funktion wird bisher nur durch Systeme erreicht, die auf einer mechanischen Barrierewirkung basieren (Ebel 2015). Diese „Feinrechen“ weisen i.d.R. maximal 20 mm lichte Rechenstabweite auf. Da diverse kleinwüchsige Fischarten und junge Entwicklungsstadien diese Stabweite noch passieren können, gehen Forderungen inzwischen hin zu noch geringeren Stabweiten, wie beispielsweise 15 mm oder 10 mm.

Feinrechen sind mit einem vergleichsweise hohen Reinigungsaufwand verbunden, der die technische Realisierbarkeit an größeren Wasserkraftanlagen in Frage stellt. Die aktuell größten derartigen Anlagen weisen eine Ausbaumassermenge von 100 m³/s auf (EKZ Dietikon). Die Reinigung wird letztlich durch die fischbiologisch erforderliche Eingrenzung der Anströmgeschwindigkeit und die Schräganströmung der Rechenflächen begünstigt, die für ein erfolgreiches Ableiten der Fische zu einem Bypass notwendig sind. Die damit verbundenen Anlagenausdehnungen sind jedoch mit erheblichem baulichem Aufwand verbunden und die Dotation des Abstiegskorridors geht mit dauerhaften Erzeugungseinbußen einher.

1.2 Fischschädigung in Turbinen

In der Regel zielen die rechtlichen Anforderungen zum Fischschutz auf die Gewährleistung des Populationsschutzes ab. Es ist somit kein Individualschutz notwendig. Vielmehr sind die Schädigungsraten der Fische beim Fischabstieg auf populationsverträgliche Maße einzugrenzen. Die Bewertung der Schädigungsraten kann einerseits durch experimentelle Untersuchungen erfolgen (Schmalz et al 2015). Andererseits kann sie mittels verschiedener Modelle ermittelt werden. Möglichst aussagefähige Modelle beziehen hierbei sowohl die Wahrscheinlichkeiten für physische Belastungen ein, als auch empirische Referenzdaten zum Auftreten tatsächlicher Schädigungen bei entsprechenden Belastungen (Turnpenny 1998).

Sowohl die Labor- und Freilanduntersuchungen also auch die Modellierungen verdeutlichen diverse Abhängigkeiten der Schädigungsraten. In erster Linie sind hier der Turbinentyp, die Turbinenspezifikationen, der Betriebszustand, die Fischart und die Fischgröße von wesentlicher Relevanz. Detailliertere Betrachtungen zeigen jedoch, dass weitere Aspekte ebenfalls einen erheblichen Einfluss auf die Schädigungsraten haben können (Geiger 2018). Von besonderer Bedeutung sind hierbei:

- der genaue Passageort am Laufradquerschnitt, v.a. der Passageradius, also der Durchgangsort zwischen Laufrad-Nabe und -Mantel
- die Ausrichtung des Fischkörpers in Relation zur Bewegung des Laufrades und der lokalen Strömungsrichtung
- eine mögliche Schwimmbewegung des Fisches

Diese Punkte hängen letztlich vom Verhalten der Fische während der Turbinenpassage ab. Während bis dato aufgrund der methodischen Schwierigkeiten keine direkten Beobachtungen und Informationen zum konkreten Fischverhalten bei der Turbinenpassage vorliegen, lassen sich anhand umfangreicher Datenbestände zur Fischschädigung und konkurrierender Modellierungen zum Fischverhalten Rückschlüsse auf das wahrscheinlich typische Passageverhalten ziehen (Geiger et al 2020).

Diese Betrachtungen legen eine Passage in rheotaktischer Orientierung im Bereich mittig zwischen Laufrad-Nabe und -Mantel nahe. Dabei ist keine relevante, aktive Schwimmbewegung gegeben und insofern ein passives Verdriften durch den Laufradbereich. Die Fische passieren Turbinen somit allerdings nicht derart, wie es für ihr Überleben am vorteilhaftesten wäre. Für typische Kaplan-Turbinen fallen die Schädigungsraten zur Nabe hin geringer aus, wie Abb. 1 beispielhaft zeigt. Zudem ist eine rheotaktische Ausrichtung mit einer vergleichsweise hohen Wahrscheinlichkeit für Laufradtreffer verbunden.

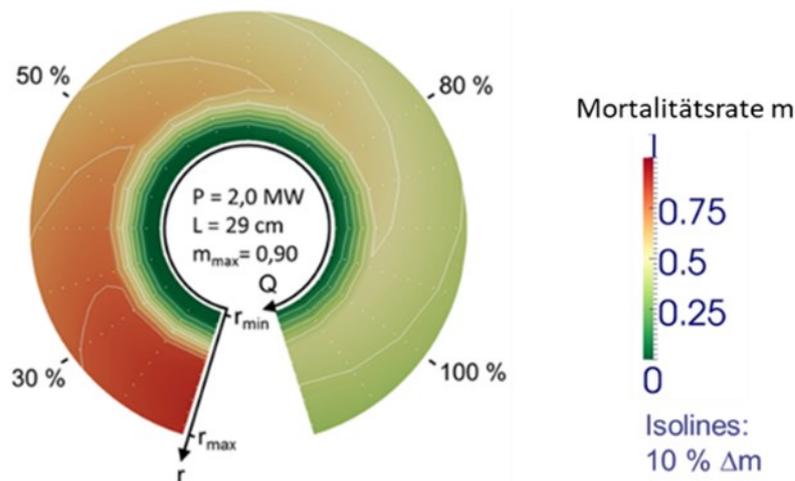


Abb. 1 Mortalitätsraten m für Fische einer Totallänge von 29 cm in einer exemplarischen 2 MW Kaplan-Turbine in Abhängigkeit vom Passageradius r und dem Abflussanteil Q (in Relation zum Ausbauabfluss)

2 Die „IDA“-Technik

2.1 Konzept

Da die Schädigungsrate der Fische bei der Turbinenpassage vom Fischverhalten abhängen, können sie durch eine Änderung des Fischverhaltens prinzipiell beeinflusst werden. Gegenüber dem natürlichen Fischverhalten beim Fischabstieg besteht zudem ein Potenzial zur Verringerung der Schädigungsrate. Dies eröffnet die Perspektive für einen neuartigen Ansatz zur Eingrenzung der Fischschäden beim Fischabstieg an Wasserkraftanlagen:

Durch eine gezielte Manipulation des Fischerverhaltens vor bzw. während der Turbinenpassage werden die Schädigungsrate reduziert. An geeigneten Standorten kann so eine Einhaltung der Populationsverträglichen Grenzwerte erreicht werden. Das entsprechende Konzept wurde an der Versuchsanstalt Obernach (VAO) der Technischen Universität München (TUM) unter dem Titel „Induzierte Drift Anwendung (IDA)“ entwickelt und ein Europäisches Patent hierzu erteilt.

Der IDA-Ansatz zielt also nicht auf eine Vermeidung der Turbinenpassage ab, oder auf eine Anpassung von Turbinendesign oder -betrieb. Die Fische gelangen durch die Turbine ins Unterwasser und die Eingrenzung der Schädigungsrate erfolgt allein durch eine Beeinflussung der Fische. Abb. 2 verbildlicht das Prinzip. Das Optimierungspotenzial ist Turbinen-spezifisch und kann durch Modellierungen vorab bewertet werden. Neben einfachen, ungesteuerten Ausführungen ist eine sensorgesteuerte Adaption an Umweltbedingungen sowie eine gezielte Beeinflussung in Verbindung mit Fischdetektionen möglich. Grundsätzlich ist auch eine Kombination der IDA-Technik mit anderen Fischschutz-Ansätzen praktikabel, um beispielsweise speziellen Standortanforderungen gerecht zu werden.

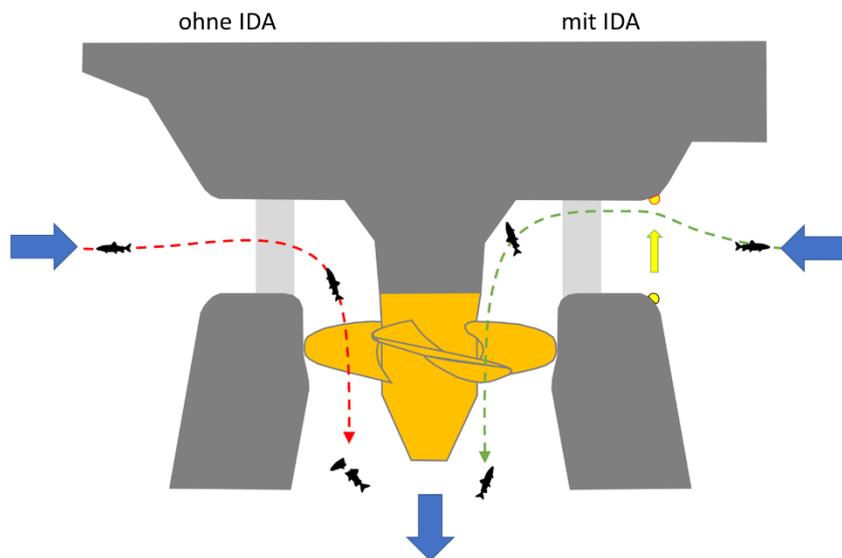


Abb. 2 Schematische Darstellung zur IDA-Funktion am Beispiel einer vertikal-achsigen Kaplan-Turbine: Der linke Bildteil zeigt den natürlichen Fischabstieg in Laufradmitte und rheotaktischer Ausrichtung mit erhöhter Schädigungswahrscheinlichkeit; Im rechten Bildteil werden die Trajektorien der Fische am Turbineneinlauf zur Nabe hin verlagert und die Ausrichtung beeinflusst, wodurch geringere Schädigungsraten resultieren

2.2 Umsetzung

Entsprechend dem Sinnesvermögen der Fische sind für die Umsetzung der Verhaltensbeeinflussung grundsätzlich diverse Reize denkbar, beispielsweise Licht- oder Schall-basierte Systeme. Besonders vorteilhaft für die IDA-Technik ist die spezielle Elektrosensitivität der Fische, also die Reaktion auf elektrische Felder, die besonders aus dem Bereich der Elektrofischerei bekannt ist. Mit steigender Feldstärke zeigen Fische typische Reaktionsmuster:

- Vermeidungsreaktionen: Flucht aus dem Feld
- Elektrotaxis: Unwillkürliche Bewegung zur Anode, infolge von Muskelreflexen
- Elektronarkose: Vollständige Betäubung, je nach Feldstärke und Expositionsdauer für einige Sekunden bis Minuten

Bei unsachgemäßen Feldstärken oder Expositionsdauern können Fische des Weiteren nachhaltig geschädigt oder getötet werden. Die Schwellwerte für einzelne Reaktionsmuster hängen neben abiotischen Faktoren, wie z.B. der Leitfähigkeit des Wassers, von der Fischart und der Fischgröße ab.

Durch geeignete elektrische Felder können Fische somit gezielt in gewünschte Bereiche geleitet und Schwimmbewegungen unterdrückt werden. Die Umsetzung einer entsprechenden Anlage im Sinne des IDA-Konzeptes bedarf lediglich zweier Elektroden im Zulaufbereich der Turbine und der zugehörigen Spannungsversorgung.

Die turbinenspezifische Positionierung, Gestaltung und Spannungsbeaufschlagung der Elektroden kann vorab mittels Feldsimulationen bestimmt werden, um die erforderlichen Feldstärken und Verläufe zu gewährleisten. Abb. 3 zeigt schematische Beispiele hierzu. Dabei sind auch die

umgebenden Anlagenbestandteile und ihre Wechselwirkung mit dem Feld zu berücksichtigen und es sind beispielsweise negative Auswirkungen durch elektro-galvanische Effekte auszuschließen. Begünstigt wird die Umsetzbarkeit durch die nicht leitenden Eigenschaften von Korrosionsschutzbeschichtungen.

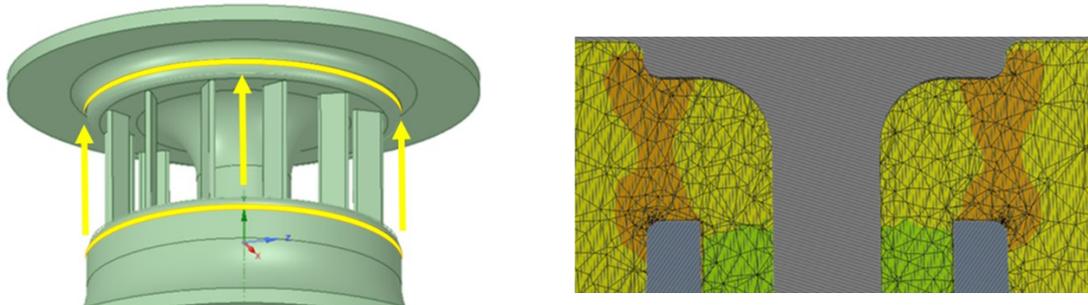


Abb. 3 Schematische Elektrodenanordnung und Feldverlauf am Zulauf einer vertikalachsigen Kaplanmaschine (links) sowie Feldstärkesimulation im Längsschnitt (rechts)

3 Proof of Concept

Im Rahmen des EU-Horizon 2020 Projektes FiTHydro wurden an der VAO Fischabstiegsuntersuchungen durchgeführt. Neben Grundlagenuntersuchungen zur Fischschädigung in Turbinen wurde hierbei erstmals die prinzipielle Funktion und Umsetzbarkeit des IDA-Ansatzes experimentell überprüft. Das Kanalsystem des Freigeländes erlaubte hierfür Vergleichsuntersuchungen des natürlichen und des beeinflussten Fischabstiegs unter naturnahen aber zugleich kontrollierten Rahmenbedingungen. Die Untersuchungen erfolgten an einer 35 kW Kaplan-Bulb-Turbine (2,5 m Fallhöhe, 1,5 m³/s Ausbauabfluss, 0,75 m Laufraddurchmesser, 333 Upm, 4 Laufradschaufeln), wobei drei Lastzustände betrachtet wurden (1/3, 2/3 und 3/3 vom Ausbauabfluss).

Zur Überprüfung des grundsätzlichen Verhaltenseinflusses wurden einerseits die Schädigungsraten des normalen/unbeeinflussten Fischabstiegs erfasst und andererseits die Schädigungsraten von medikamentös betäubten Fischen. Zur Umsetzung des IDA-Prinzips wurden im Zuströmbereich der Turbine zwei Elektrodenringe installiert (siehe Abb. 4) und mit einer steuerbaren Spannungsquelle verbunden. Es wurden insgesamt 1200 Bachforellen aus drei Altersklassen eingesetzt. Alle abgestiegenen Fische wurden wiedergefangen und einer eingehenden Untersuchung auf Schädigungen unterzogen, inklusive einer 96 h Beobachtungshälterung. Die Arbeiten erfolgten im Rahmen einer entsprechenden tierschutzrechtlichen Genehmigung und in Anlehnung an Schmalz et al (2015).

Die Ergebnisse der Grundlagenuntersuchungen bestätigen den prinzipiellen Einfluss des Fischverhaltens auf die Schädigungsraten beim Fischabstieg. In den Versuchsreihen mit aktivierter IDA-Anlage ergaben sich gegenüber den unbeeinflussten Referenzversuchen deutlich geringere Schädigungsraten. Insgesamt wurden die Mortalitätsraten um rund 55 % verringert. Die erfolgreiche Wirkung der IDA-Technik war für alle untersuchten Altersstadien beziehungsweise Größenklassen und Lastfälle gegeben (vgl. Abb. 4). Im Übrigen führte der IDA-Einsatz nicht zu einer längerfristigen Betäubung der Fische, welche mit Blick auf denkbare Prädationsrisiken im Unterwasser zu vermeiden ist.

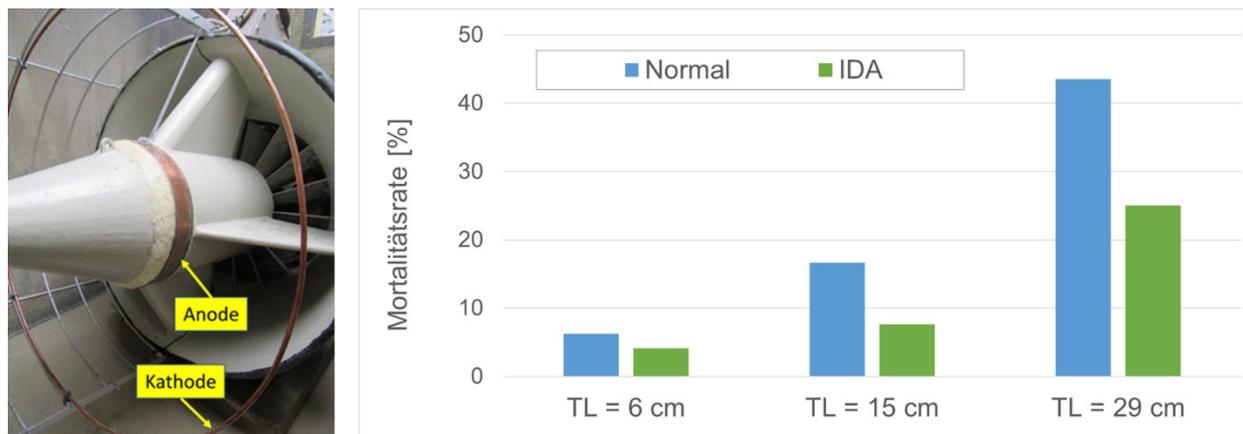


Abb. 4 Ansicht der Elektroden-Ringe im Zuströmbereich der Bulb-Turbine (links) und vergleichende Darstellung der Mortalitätsraten bei normaler/unbeeinflusster Turbinenpassage einerseits und bei IDA-Einsatz andererseits in Abhängigkeit von der Totallänge (TL) der Fische am Beispiel des Ausbauabflusses (rechts)

4 Ausblick

Neben den theoretischen Hintergründen zeigen auch die experimentellen Befunde ein vielversprechendes Potenzial für den neuartigen Fischschutz-Ansatz zur Optimierung des Fischabstiegs durch die Turbine mittels Verhaltensbeeinflussung. Die hierbei wesentliche Frage, ob durch die IDA-Technik die Schädigungsraten von nicht zulässigen Werten auf Populationsverträgliche Größenordnungen gesenkt werden können, bleibt standortspezifisch zu prüfen. Dies empfiehlt sich, aufgrund der diversen Vorteile des IDA-Ansatzes.

Der bauliche Aufwand einer IDA-Anlage ist gegenüber klassischen Fischschutzkonzepten mit Feinrechen, Leiteinrichtung und Bypass erheblich geringer. Neben der Spannungsversorgung und Steuerungstechnik bedarf es lediglich der Elektroden im Zuströmbereich der Turbinen. Diese bedürfen analog zu den Turbinen selbst einer standortspezifischen Auslegung. Eine Nachrüstung an Bestandsanlagen ist in der Regel im Rahmen der regulären Revisionsarbeiten möglich, da lediglich ein Zugang zur Turbinenzulauf erforderlich ist. Eine Wasserhaltung und langfristige Erzeugungsausfälle für Arbeiten im Zuströmbereich der Wasserkraftanlage sind nicht notwendig. Unter Umständen kann auch auf eine Montage der Elektroden durch Taucher erwogen werden.

Die elektrische Leistung für den Betrieb einer IDA-Anlage ist Standort-abhängig. Sie liegt jedoch deutlich unter den Erzeugungsverlusten, die mit der dauerhaften Dotation eines Abstiegskorridors verbunden wären. Dies können selbst bei günstigen Anlagengestaltungen beispielsweise noch 2 bis 5 % des Anlagenabflusses betragen (Ebel 2015). Trotz des Energiebedarfs einer IDA-Anlage ist diese daher gegenüber klassischen Abstiegskonzepten energetisch vorteilhaft. Für eine energetische Optimierung kann zudem eine gesteuerte IDA-Technik zum Einsatz kommen, die das elektrische Feld mittels Fischdetektion bedarfsgerecht erzeugt.

Im Übrigen muss bei der gewässerökologischen Einordnung des IDA-Konzeptes berücksichtigt werden, dass auch bei klassischen Fischschutzkonzepten eine Schädigung der Fische nicht vollständig verhindert wird. Selbst bei günstigen Auslegungen von Feinrechen-Bypass-Systemen

passieren juvenile und kleinwüchsige Fische die Barriere und die Turbinen. Der zahlenmäßig größte Teil der Fischpopulation ist damit weiterhin den Schädigungsrisiken der Turbinenpassage ausgesetzt. Die populationsbezogenen Schädigungsraten werden letztlich also nur reduziert, ebenso wie beim IDA-Ansatz. Dieser kann hingegen auch die Passagebedingungen für juvenile und kleinwüchsige Fische verbessern. Je nach Altersstruktur der Fischpopulation kann die Gesamtschädigungsrate gegebenenfalls sogar stärker reduziert werden.

Obgleich die meisten Bestrebungen zum Fischschutz auf ein Vermeiden der Turbinenpassage abzielen, kann die Turbine einen adäquaten Abstiegskorridor darstellen, falls die populationsrelevanten Schutzziele gewährleistet werden. Dies soll durch die IDA-Technik an geeigneten Standorten ermöglicht werden. Von besonderer Relevanz ist der Ansatz für größere Bestandsanlagen, an denen nach heutigem Stand eine Nachrüstung klassischer Fischschutzkonzepte mit Feinrechen als technisch nicht realisierbar eingestuft wird. Hier stellt die IDA-Technik eine technisch realisierbare Option zur Verbesserung des Fischabstiegs dar.

Danksagung

Teile der vorgestellten Arbeiten wurden von der Europäischen Union im Rahmen des Horizon 2020 Projektes FiThydro finanziell gefördert und erfolgten in Zusammenarbeit mit Voith Hydro.

Literatur

- Böttcher, H.; Unfer, G.; Zeiringer, B. (2015). Fischschutz und Fischabstieg - Kenntnisstand und aktuelle Forschungsprojekte in Österreich, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 67, Heft 7-8.
- Ebel, G. (2013). Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen, Bd. Band 4, Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel, Halle (Saale).
- Geiger, F. (2018). Fish Mortality Rate During Turbine Passage – Generalized Runner Blade Strike Probability Modelling, 12th International Symposium on Ecohydraulics, Tokyo, Japan.
- Geiger, F.; Cuchet, M.; Rutschmann P. (2020). Zur Berechnung der Schädigungsraten von Fischen bei der Passage von Wasserkraftturbinen, WasserWirtschaft 110, Heft 12, S. 33-40.
- Larinier, M.; Travade, F. (2002). Downstream Migration: Problems and Facilities, Bill. Fr. Peche Piscic, Nr. 364, S. 181-207.
- Pavlov, D.; Mikheev, V.; Kostin, V. (2015). Downstream Migration of Fish in Regulated Rivers: Patterns and Mechanisms, International Conference on Engineering and Ecohydrology for Fish Passage 2015.
- Raben, K von (1958). Zur Beurteilung der Schädlichkeit der Turbine für Fische, WasserWirtschaft 48, S. 60-63.
- Schmalz, W; Wagner, F.; Sonny, D. (2015). Arbeitshilfe zur standörtlichen Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstiegs, Forum Fischschutz und Fischabstieg.
- Turnpenny, A. (1998). Mechanism of Fish Damage in Low-head Turbines: An Experimental Appraisal, Fish migration and fish bypasses. Oxford: Fishing news books, S.300-314.

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Phys. Franz Geiger
Hycor Ecohydraulics
Kalkbrennerstraße 1, D-82499 Wallgau
franz.geiger@hycor.de

Dr.-Ing. Mathilde Cuchet
Hycor Ecohydraulics
Kalkbrennerstraße 1, D-82499 Wallgau
Mathilde.cuchet@hycor.de