

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

**Schneider, Josef; Benigni, Helmut; Jaberg, Helmut; Zenz, Gerald;
Tuhtan, Jeffrey Andrew; Reckendorfer, Walter**

Numerische Untersuchungen des Turbinendurchganges von Fischen

VAW Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

ETH Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW)

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/108438>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Schneider, Josef; Benigni, Helmut; Jaberg, Helmut; Zenz, Gerald; Tuhtan, Jeffrey Andrew; Reckendorfer, Walter (2021): Numerische Untersuchungen des Turbinendurchganges von Fischen. In: Boes, Robert (Hg.): Wasserbau-Symposium 2021. Wasserbau in Zeiten von Energiewende, Gewässerschutz und Klimawandel. Band 2. VAW Mitteilungen 263. Zürich: ETH Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. S. 477-486.

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.

Verwertungsrechte: CC BY 4.0



Numerische Untersuchungen des Turbinendurchganges von Fischen

Numerical investigations of the turbine passage of fish

Josef Schneider, Helmut Benigni, Helmut Jaberg, Gerald Zenz,
Jeffrey Andrew Tuhtan, Walter Reckendorfer

Kurzfassung

Der vorliegende Beitrag beschreibt einen Teilaspekt des Projektes «Flussabwärts gerichtete Fischwanderung an mittelgrossen Fließgewässern in Österreich», welches sich mit den Auswirkungen auf Populationsebene bei stromabgerichteter Wanderungen ausgewählter alpiner Fischarten in energiewirtschaftlich genutzten Gewässern beschäftigt.

Die Mortalität für Fische beim Durchgang von Kaplan turbinen wird einerseits durch Beobachtungen im Prototyp und im Labor in Druckkammern untersucht, andererseits durch Berechnungen ermittelt. Neben klassischen Blade-Strike Modellierungen kommen auch *Computational fluid dynamics* (CFD) Modelle zum Einsatz, um die Auswirkungen auf die Fische zu beurteilen.

Stationäre sowie instationäre CFD Modellierungen mittels der Software CFX unter Zuhilfenahme der Particle-Tracking Methode ermöglichen die sehr genaue Bestimmung von räumlich sowie zeitlich hoch aufgelösten Druckverläufen während Turbinendurchgängen. Die Validierung der numerischen Ergebnisse erfolgt mittels gemessener Druckverläufe, bestimmt durch Barotrauma Detection Sensoren (BDS).

Abstract

This paper describes a partial aspect of the project "Downstream Fish Migration on Mean-Sized Rivers in Austria", which deals with the extent of downstream migrations of selected alpine fish species and the effects in energy-based waters on the population level.

The mortality for fish in the passage of Kaplan turbines is investigated on the one hand by observations in the prototype and in laboratory in pressure chambers, on the other hand by calculations and simulations. In addition to classic blade strike modeling, computational fluid dynamics (CFD) models are also used to assess the impact on fish.

Stationary as well as non-stationary CFD modelling with the CFX software using the particle-tracking method enables the very precise determination of spatially

and temporally high-resolution pressure curves during turbine passages. The numerical results are validated by measured pressure curves by means of Barotrauma Detection Sensors (BDS).

1 Einleitung

Ein möglicher Wanderkorridor für Fische bei ihrer Abwärtswanderung ist die Turbinenpassage. Um die Auswirkungen von Schädigungen bei der Turbinenpassage quantifizieren zu können, wurde das Projekt «Flussabwärts gerichtete Fischwanderung an mittelgrossen Fließgewässern in Österreich» ins Leben gerufen (Schneider *et al.*, 2017; Schneider *et al.*, 2018). Dafür werden neben Messungen im Feld auch Laborversuche sowie numerische Methoden eingesetzt. Die flussauf und flussab gerichteten Wanderbewegungen der Fische entlang mehrerer Kraftwerke werden mittels Telemetrie erfasst, die Verletzungen von Fischen sowie die Erfassung von physikalischen Parametern bei der Turbinenpassage mittels Naturmessungen bestimmt. Dabei werden einerseits für die untersuchten Fischregionen kennzeichnende Leitfischarten wie adulte Nase, Aitel und Äsche direkt über Injektionsvorrichtungen in den Einlaufbereich von Turbinen zugegeben und nach der Turbinenpassage auf Verletzungen hin untersucht. Andererseits werden BDS Sensoren durch Turbinen geschickt, die die physikalischen Parameter Druck, Beschleunigung, Lage, und Temperatur erfassen können. Auch direkt an Fischen werden Sensoren befestigt, bevor diese durch die Turbinen durchschwimmen.

Hinsichtlich Modellierung werden im Rahmen des Projekts neben Blade-Strike Modellen auch CFD Modelle eingesetzt. Fischlarven und juvenile Fische können aufgrund ihrer Grösse nicht am Prototyp eines Kraftwerkes untersucht werden. Daher kommt für die Tests mit Jungfischen eine neu entwickelte Druckkammer zum Einsatz, welche die Nachbildung des Druckverlaufes, wie er bei unterschiedlichen Turbinen auftritt, ermöglicht. Schlussendlich wird auf Basis aller berechneten und gemessenen Ergebnisse ein Populationsmodell entwickelt, das die Auswirkungen der turbinenbedingten Schädigung auf die betrachteten Fischpopulationen berechnet und beurteilen lässt.

Im Rahmen dieses Beitrages wird vor allem auf die CFD Modellierung und den Vergleich mit den BDS Untersuchungen näher eingegangen. Die Barotraumakammer der TU Graz wird zudem kurz vorgestellt.

2 Methodik

2.1 Modellierung und Messungen

Für die 3D-CFD Untersuchungen wird Ansys CFX V17.1 eingesetzt, wobei stationäre aber auch instationäre (Turbine dreht sich) Berechnungen durchgeführt

werden. Der Turbinenbereich inklusive Zu- und Ablauf wird in mehrere Abschnitte unterteilt und räumlich äusserste detailliert abgebildet. In Summe werden mehr als 17 Millionen Elemente definiert. Für die Bestimmung der minimalen Drücke bei Turbinendurchgängen werden bei der stationären Berechnung 5000 Partikel beim Turbineneinlauf zugegeben, die entlang ihres Weges durch die Turbine getrackt werden. Die Zugabe der Partikel erfolgt in 6 Ebenen, oben, in der Mitte sowie unten, jeweils links und rechts. Durch das Tracking ist es möglich, den Ort sowie den Wert des minimalen Druckes während seines Weges durch die Turbine für jedes einzelne Partikel zu erfassen. Die minimalen Drücke (Nadirwerte) bei Turbinendurchgängen stellen das grösste Problem für Fische dar.

Bei den instationären Berechnungen wird Wert daraufgelegt, neue Eingangsparmeter für Blade-Strike Modelle zu ermitteln. In Gleichung [1] ist ein Beispiel eines Blade-Strike Modelles dargestellt (Franke *et al.*, 1997), wobei P die Wahrscheinlichkeit eines tödlichen Schlages durch eine Turbinenschaufel für einen Fisch ist. N ist die Schaufelanzahl und L die Fischlänge, λ der sogenannte *multilation ratio*. Dieser Wert ist ein empirischer Korrekturfaktor, der die tendenziell zu hohen Mortalitätswerte der Blade-Strike Modelle kompensiert (u.a. Fischart, Rotation des Fisches, Schaufeldicke). Gleichung [2] ermöglicht beispielhaft eine sehr einfache Berechnung eines *multilation ratios* auf Basis der Fischlänge.

$$P_{Mortality,Strike} = \underbrace{\lambda \cdot N \cdot L}_{Pre\ factor} \cdot \underbrace{\left[\frac{\omega}{2 \cdot \pi \cdot V_1} + \frac{\sin \alpha_a}{2 \cdot \pi \cdot r} \right]}_{Blade\ coefficient} \quad [1]$$

$$\lambda = 0.15533 \ln\left(\frac{L}{100}\right) + 0.0125 \quad [2]$$

Der in Gleichung [1] angeführte *blade coefficient* beinhaltet nur geometrische Parameter, die aus der CFD Modellierung ermittelbar sind. Üblicherweise wird bei einer Blade Strike Berechnung nur jeweils ein Winkel α angesetzt. Diese Winkel variieren jedoch durch die Bewegung der Turbinenschaufeln sehr stark (transiente Vorgänge) und können in der Modellierung exakt bestimmt werden. In Abb. 1 sind die relevanten Winkel sowie beispielhaft die Linien dargestellt, an denen die jeweiligen Winkel der Wasserströmung erfasst werden. Eine detailliertere Beschreibung (z.B. verwendete Turbulenz Modelle) ist in Benigni *et al.* (2019) und Benigni *et al.* (2020) nachzulesen.

Die Messungen der Druckverläufe bei Turbinendurchgängen erfolgen mittels Barotrauma Detection Sensoren (BDS), die an der *Tallinn University of Technology* entwickelt wurden. Neben den Druck- und Temperaturmessungen werden noch Magnetfeldsensoren, lineare Beschleunigung und Drehraten erfasst.

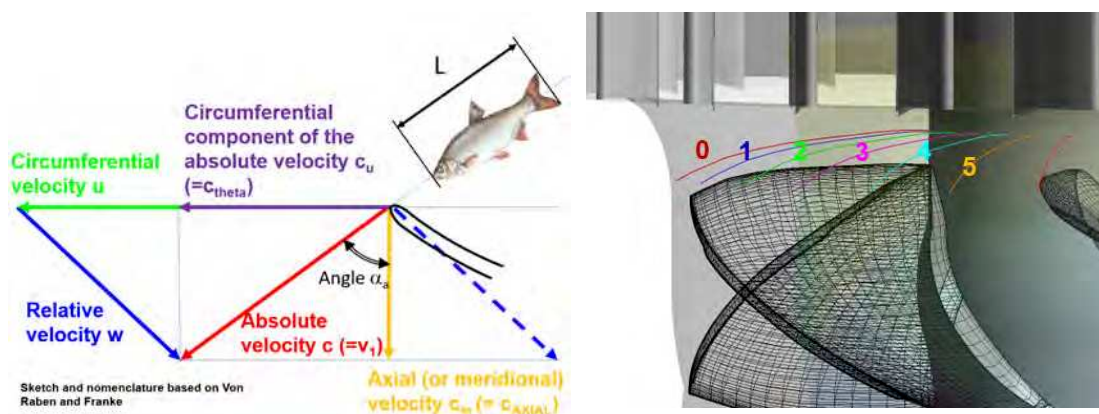


Abb. 1: Winkel (links), Linien für das post-processing

Die BDS werden in drei Tiefen im Turbineneinlaufbereich zugegeben, durch die Turbinen geschickt und nach der Passage wieder eingesammelt. Für die Beurteilung der Schädigung von Fischen beim Turbinendurchgang ist der minimale auf die Fische einwirkende Druck (Nadirwert) relevant.

2.2 Untersuchtes Kraftwerk (CFD)

Für die numerischen Untersuchungen wird ein für österreichische Verhältnisse relativ grosses Kraftwerk gewählt. Die Anlage liegt an der Drau und besteht aus drei Wehrfeldern sowie einem Krafthaus mit zwei 5-schaufeligen Kaplanturbinen, welche je einen Laufraddurchmesser von 5,1 m aufweisen. Die Anlage ist durch eine Fallhöhe von 24,3 m und einem nominalen Ausbaudurchfluss von je 205 m³/s gekennzeichnet.

3 Ergebnisse

3.1 Stationäre Berechnung

In Abb. 2, links ist die Position der niedrigsten Drücke („Nadirwert“) der einzelnen Partikel sowie deren Absolutwerte bei Vollast dargestellt. Es zeigt sich, dass die niedrigsten Drücke, wie auch zu erwarten war, direkt unterhalb des Laufrades auftreten. Farblich dargestellt sind die Unterdrücke, wobei die blauen Punkte grosse negative Drücke kennzeichnen. Die geringsten Drücke treten im Aussenbereich der Turbine auf. Beim Prototyp können an den Turbinenschaufeln an diesen Stellen auch Kavitationsschäden beobachtet werden (Foto). Abb. 2 rechts zeigt die ermittelten minimalen Drücke bei Vollast für alle Partikel, wobei hier die unterschiedlichen Positionen der Zugaben berücksichtigt sind. Es zeigt sich zum Beispiel dabei, dass Partikel, die rechts unten zugegeben werden, die geringsten Drücke aufweisen.

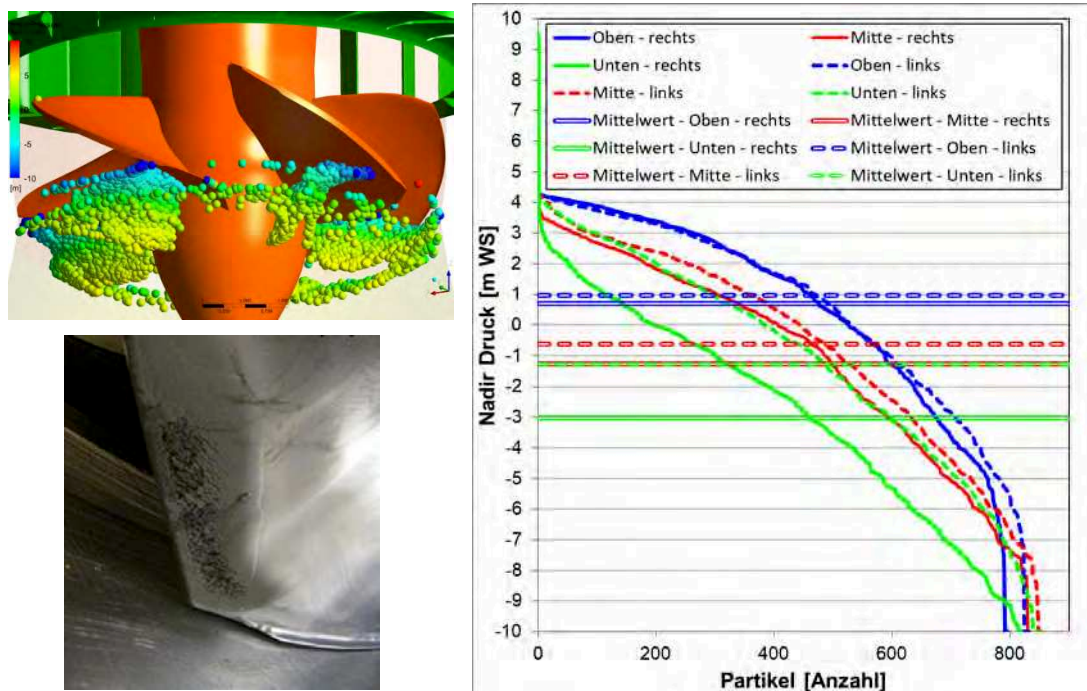


Abb. 2: Positionen der niedrigsten Drücke unterhalb des Laufrades sowie Kavitationsschäden am Laufrad (links), minimal ermittelte Drücke für unterschiedliche Zugabestellen (rechts)

Vergleicht man die CFD Druckverläufe bei mittlerer Zugabehöhe mit den an den Prototypen gemessenen Drücken (Abb. 3) so ergibt sich das Bild, dass die CFD Ergebnisse eine relativ grosse Bandbreite aufweisen und die BDS Daten sowie der Versuch mit dem am Fisch befestigten Sensor innerhalb dieser Bandbreite liegen. Der Druckabfall beim Turbinendurchgang stimmt ebenfalls sehr gut überein.

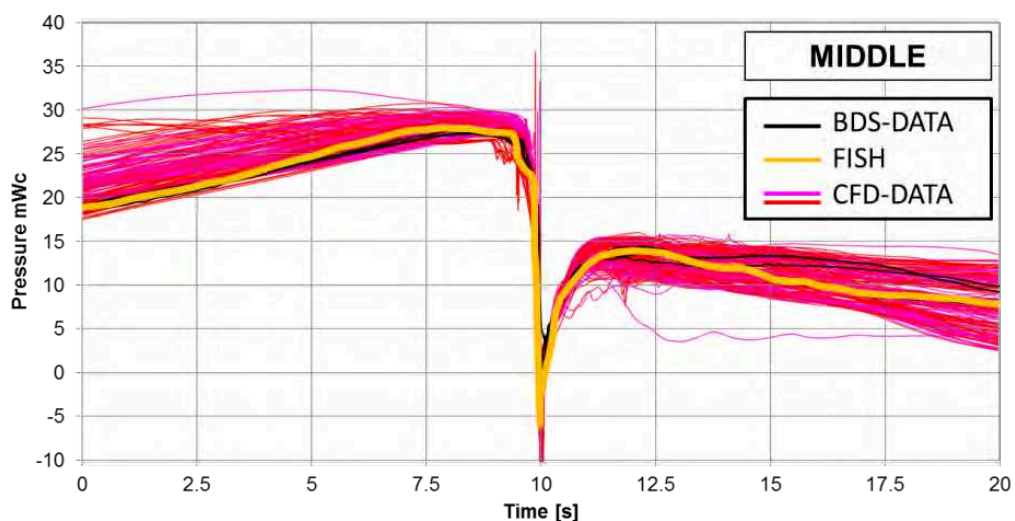


Abb. 3: Vergleich CFD Daten mit Naturmessungen

3.2 Instationäre Berechnung

Die instationäre Berechnung ermöglicht, wie bereits erwähnt, eine verbesserte Beurteilung der Verhältnisse in den Turbinen. Daraus können Eingangsparameter für die klassische Blade Strike Modellierung generiert werden. Abb. 4 zeigt links den Winkel α und rechts den *blade coefficient* oberhalb des Laufrades während eines beliebig gewählten Zeitpunktes.

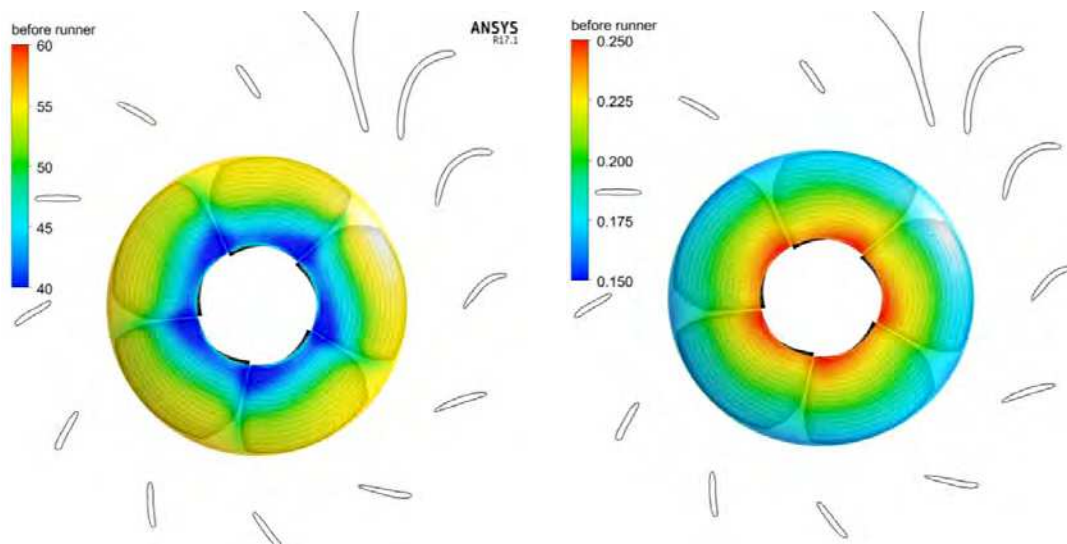


Abb. 4: Winkel α und *blade coefficient* oberhalb des Laufrades zu einem beliebig gewählten Zeitschritt

Schlussendlich kann man mit der instationären CFD Berechnung die variablen Blade Koeffizienten quantifizieren (Abb. 5) und damit auch unterschiedliche Mortalitätswahrscheinlichkeiten berechnen, je nachdem, wo ein Fisch gerade durch die Turbine wandert. Abb. 6 zeigt beispielhaft die Mortalitätswahrscheinlichkeiten eines 20 cm und eines 50 cm langen Fisches beginnend im Nabenbereich (Span 0) bis hin zur Turbinenschaufelspitze (Span 1), wobei die Werte durch den einfachen *mutilation ratio* eher hoch ausfallen.

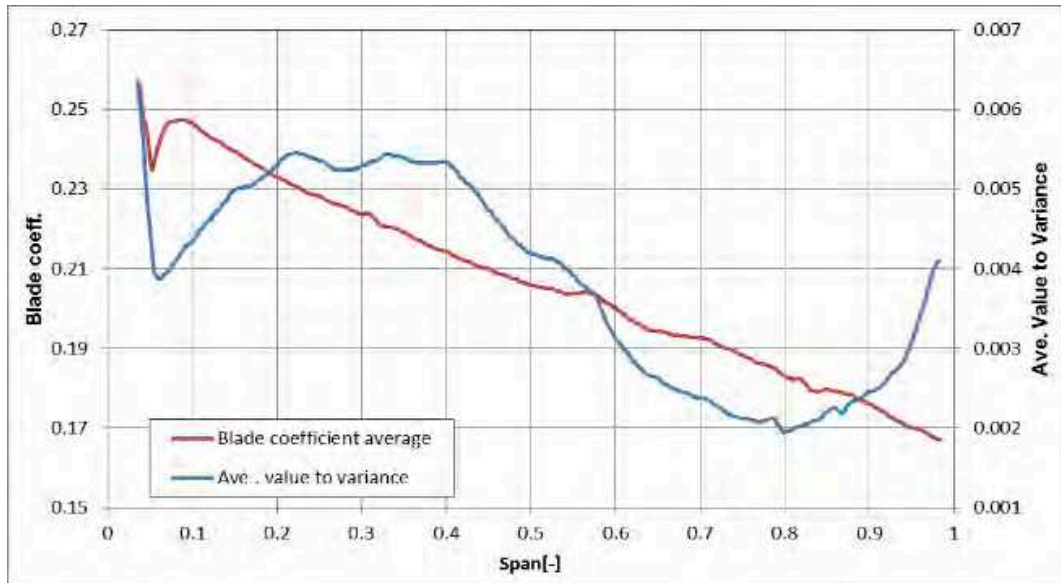


Abb. 5: *Blade coefficient* vor dem Laufrad

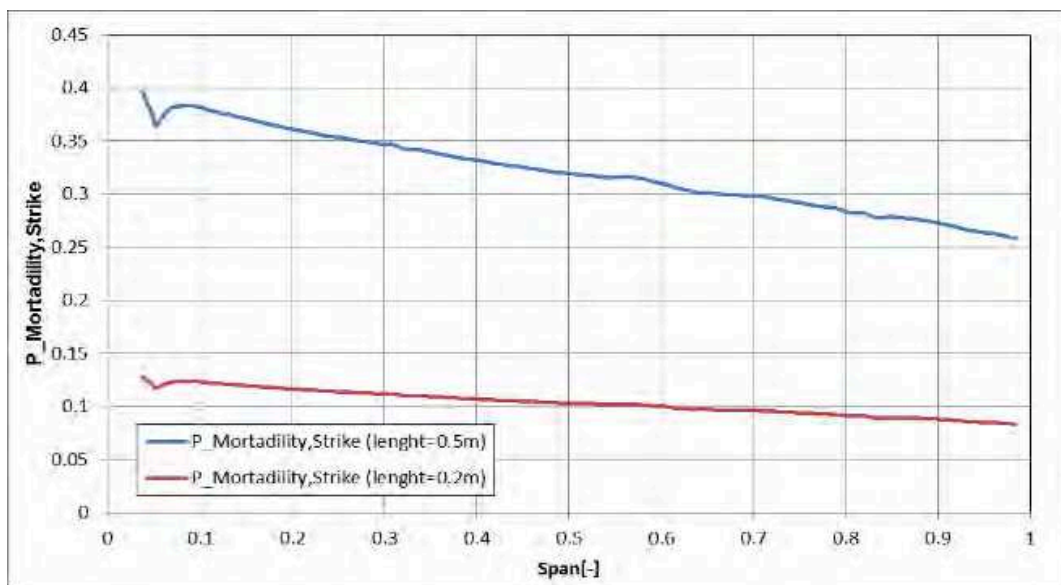


Abb. 6: Mortalitätswahrscheinlichkeiten sind variabel vom Nabenbereich bis zur Spitze der Laufräder

4 Druckkammer

Für die Versuche mit Larven und juvenilen Fischen wurde eine Barotraumakammer neu entwickelt. Damit ist es möglich, Druckverläufe bei Turbinendurchgängen zu simulieren und somit die Fische den in den Turbinen auftretenden Drücken im Labor auszusetzen. Abb. 7 zeigt ein paar fotografische Eindrücke der Druckkammer sowie beispielhaft einen in der Kammer durchgeführten Druckab-

fall, der von 250 kPa (1,5 bar Überdruck) auf unter 20 kPa (etwa 0,8 bar Unterdruck) abfällt. Die Kammer wird zurzeit in Betrieb genommen und die ersten Versuche mit Fischen werden im Jahr 2020 durchgeführt werden.

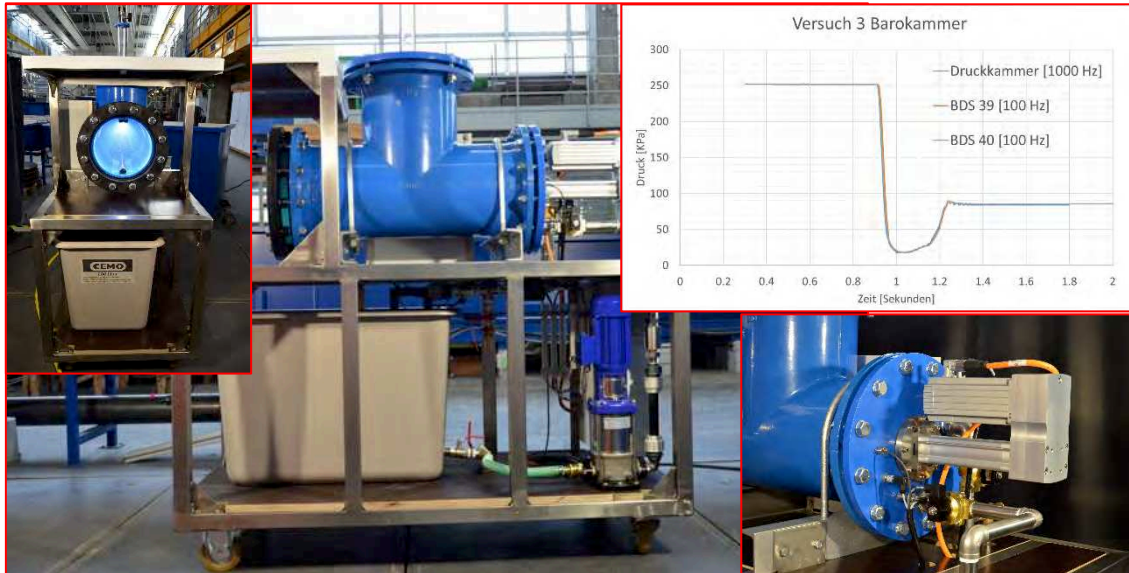


Abb. 7: Barotraumakammer an der TU Graz, Diagramm: Simulierter Druckabfall, vergleichende Messungen Kammer mit BDS

5 Zusammenfassung

Dieser Beitrag beschreibt Teilaspekte eines Projektes, das die Auswirkungen der Turbinen bei der Abwärtswanderung von Fischen auf die Gesamtpopulation untersucht.

Stationäre CFD Modellierungen, die sehr gut mit Naturmessungen übereinstimmen, ermöglichen unter anderem die Bestimmung des Nadirdruckes, der relevant für Schäden beim Turbinendurchgang ist. Instationäre Berechnungen gestatten eine Verbesserung von Blade Strike Modellen. Die Mortalitätswahrscheinlichkeiten sind in unserem Fall relativ hoch, da eine einfache Berechnung des *mutilation ratios* (Gleichung [2]) gewählt wurde. Vor allem die möglichst gute Bestimmung des *mutilation ratios* ist jedoch die bestimmende Herausforderung, die noch weiterer Untersuchungen bedarf.

Danksagung

Das hier beschriebene Projekt ist ein Forschungsprojekt von Österreichs Energie Forschung & Innovation. Das Projekt wird von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) im Rahmen eines Collective Research Projektes (857 801) gefördert.

Referenzen

- Benigni H., Schneider J., Reckendorfer W., Jaberg H., Zenz G., Reiterer D.R. (2019). Downstream Fish migration in a Kaplan turbine – Numerical Simulation and Experimental Verification, Proceedings Hydro 2019: Concept to closure: Practical steps. The International Journal of Hydropower and Dams, paper 29.2.
- Benigni H., Schneider J., Reckendorfer W., Jaberg H., Zenz G., Tuhtan J. (2020). Numerical Simulation and Experimental Verification of Downstream Fish migration in a Kaplan turbine, Proceedings IAHR 2020: 30th Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, Lausanne, in prep.
- Franke G. F., Webb D. R., Fisher R. K. Jr. *et al.* (1997) *Development of Environmentally Advanced Hydropower Turbine System Design Concepts* Report Prepared for US Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Hydropower Research Foundation, DOE Idaho Operations Office Contract DE-AC07-941D13223
- Schneider J., Ratschan C., Heisey P., Avalos c., Tuhtan J. A., Haas C., Reckendorfer W., Schletterer M., Zitek A. (2017). Flussabwärts gerichtete Fischwanderung an mittelgroßen Fließgewässern in Österreich. *WasserWirtschaft*, 12, 39–44.
- Schneider J., Ratschan C., Reckendorfer W., Schletterer M., Zitek A. (2018). Abwärtswanderung heimischer Fische an großen Fließgewässern - Grundlage für die weitere Vorgehensweise hinsichtlich Fischschutz und Fischabstieg. In *Wasserbau Symposium 2018*. Graz, Austria.

Adressen der Autoren

Josef Schneider (korrespondierender Autor)

Gerald Zenz

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU Graz

A-8010 Graz, Stremayrgasse 10

schneider@tugraz.at

Helmut Benigni, Helmut Jaberg

Institut für hydraulische Strömungsmaschinen, TU Graz

A-8010 Graz, Kopernikusgasse 24/IV

Jeffrey A. Tuhtan

Centre for Biorobotics, Tallinn University of Technology

EE-12618 Tallinn, Akadeemia tee 15A-111

Walter Reckendorfer

Verbund Hydro Power GmbH

A-1150 Wien, Europaplatz 2