

Fischabstiegsuntersuchungen am Schachtkraftwerk

Franz Geiger, Albert Sepp und Peter Rutschmann

Zusammenfassung

Bei der Entwicklung des Wasserkraftkonzeptes Schachtkraftwerk stellte das Themenfeld Fischabstieg einen wesentlichen Schwerpunkt dar. Hierzu wurde bereits im eigentlichen Anlagenkonzept entsprechend den bestehenden Kenntnissen zu Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen ein effizienter und erfolgversprechender Ansatz integriert. Er basiert auf einer großen Rechenfläche mit entsprechend geringen Anströmgeschwindigkeiten, geringen lichten Rechenstabweiten und einem Abstiegskorridor in unmittelbarer Rechennähe durch Öffnungen, welche eine schadlose Passage in das Unterwasserpolster ermöglichen. Mittels umfassenden hydraulischen Messreihenreihen an einem physikalischen Modellversuch und einem Großversuchsstand wurden die Bemessungsregeln abgeleitet, welche eine gezielte Anlagengestaltung zur Einhaltung standortspezifischer Fischschutzauflagen erlauben, insbesondere hinsichtlich der auftretenden maximalen Anströmgeschwindigkeiten des Rechens.

Um das tatsächliche Fischverhalten in der spezifischen Strömungssituation und die Effizienz des Konzeptes für Fischschutz und Fischabstieg zu klären, wurden am Großversuchsstand umfangreiche Fischverhaltensuntersuchungen durchgeführt. Versuchsreihen mit nicht-rechengängigen Bachforellen, Aitel und Barben belegten funktionierenden Fischschutz und Fischabstieg unter den gegebenen Bedingungen. Die entsprechenden Untersuchungen mit rechengängigen Bachforellen, Äschen, Barben, Koppen und Elritzen an der voll-funktionsfähigen 35 kW Anlage zeigten ebenfalls ein problemloses Durchschwimmen des Einlaufbereiches ohne erkennbare Meidereaktionen. Für die rechengängigen Fische konnte eine anteilige Wirkung des Rechens als Verhaltensbarriere und ein damit verbundener anteiliger Fischschutz und Fischabstieg bestätigt und quantifiziert werden. Ebenso passierten Anteile der rechengängigen Fische den Rechen und gelangten durch die Turbine ins Unterwasser, wobei sie den turbinenspezifisch typischen Schädigungsraten unterworfen waren. Wie diese Schädigungsraten hingen auch die Passageverteilungen zwischen Bypass und Rechen/Turbine in Detail stark von Fischart, Fischlänge, Anströmgeschwindigkeit bzw. Turbinenabfluss und Bypassgestaltung ab.

Die erhaltenen Resultate ermöglichen eine Bewertung des Wasserkraftkonzeptes Schachtkraftwerk bezüglich Fischschutz und Fischabstieg. Beide Aspekte konnten hinsichtlich nicht-rechengängiger Fische für die untersuchten Arten und Bedingungen voll bestätigt werden. Durch die Wirkung des Rechens als Verhaltensbarriere wurden sie für die untersuchten rechengängigen Fische anteilig erreicht. Die Schädigungsraten beim Fischabstieg rechengängiger Fische über die Anlage fallen durch gegenläufige Abhängigkeiten von Passageverteilung und turbinenbedingter Mortalität von Fischlänge und Betriebszustand vergleichsweise moderat und homogen aus. Die abgeleiteten Beziehungen können Anhaltspunkte für die gezielte Bemessung und Betriebsweise von Anlagen zur Reduzierung der Schädigungsraten geben.

1 Hintergrund

Das Wasserkraftkonzept Schachtkraftwerk zielt auf vorteilhafte Bedingungen für eine möglichst effiziente und umweltverträgliche Wasserkraftnutzung ab. Details zum grundsätzlichen Konzept und Details bezüglich Sedimentmanagement, Rechenreinigung und weiterführenden Anlagen-

gestaltungen können der Veröffentlichung von Sepp et al. entnommen werden. Der vorliegende Beitrag beschränkt sich exklusiv auf die Arbeiten und Resultate zum Themenbereich Fischabstieg, welcher angesichts des bestehenden Forschungsbedarfs auf diesem Feld ein Hauptaugenmerk bei der Entwicklung des Anlagentyps darstellte. Dieser gliedert sich in die Teilaspekte Fischschutz, also das Verhindern der Turbinenpassage der Fische und den eigentlichen Fischabstieg im Sinne der Bypass-Passage.

Nach dem Stand der Technik stellen mechanische Barrieren mit geringen lichten Weiten (z.B. ≤ 20 mm) und niedrigen Anströmgeschwindigkeiten (z.B. $\leq 0,5$ m/s) den einzigen zuverlässigen Ansatz für einen effizienten Fischschutz dar (Ebel 2013). Gleichzeitig sind sie jedoch ohne wirksamen Fischabstiegskorridor nicht zielführend und ggf. kontraproduktiv. Die Effizienz des Bypasssystems wird erst durch eine geeignete Leitströmung bzw. die Orientierung der Strömung zur Rechenebene erreicht, wobei bisher zwei wesentliche Ansätze existieren. Flach geneigte Rechen führen die Fische zu einem Oberflächenbypass. Studien zeigen gute Resultate für geringe Neigungen (z.B. 20°). Die mangelnde laterale Leitströmung und das spezifische Verhalten bodenorientierter Arten stellen jedoch Schwierigkeiten dar. Bei sog. Leitrechen hingegen liegt i.d.R. eine rein laterale Leitströmung vor. Insofern nicht die gesamte Gewässerbreite überspannt oder nur ein Teilabfluss genutzt wird, beschränkt sich der rein laterale Leiteffekt jedoch auf einen Teil der Rechenfläche.

Die für den Fischabstieg an Wasserkraftanlagen erforderlichen Teilaspekte des Fischschutzes und des Fischabstiegs sind beim Wasserkraftkonzept Schachtkraftwerk bereits in die wesentlichen Komponenten des Anlagentyps integriert und bedürfen keiner eigenen baulichen Einrichtungen. Der Fischschutz wird entsprechend dem Konzept einer mechanischen Barriere durch den horizontalen Rechen gewährleistet, welcher den Schacht abdeckt. Die lichte Rechenstabweite und die maximal auftretenden Anströmgeschwindigkeiten sind dabei entsprechend der zu schützenden Fischpopulationen zu wählen. Der eigentliche Fischabstieg erfolgt über eine oder ggf. mehrere Bypass-Öffnungen im Verschlussorgan/Schütz. Anzahl, Größe, Lage und Ausformung sind ebenfalls an die standortspezifischen Gegebenheiten anzupassen. Die Öffnungen stellen einen direkten Ausfluss ins Unterwasser her, wo ein entsprechendes Wasserpolster einen schadlosen Abstieg der Fische sicherstellt.

2 Fischabstiegsuntersuchungen

Die Forschungsarbeiten zum Fischabstieg am Schachtkraftwerk gliedern sich in mehrere Untersuchungen. Zunächst wurden hydraulische Untersuchungen der spezifischen Einlaufsituation durchgeführt. Anschließend erfolgten Fischverhaltensuntersuchungen, welche je nach Größe der Fische in Relation zur lichten Rechenstabweite und der damit einhergehenden Wirkung des Rechens als physische Barriere oder als Verhaltensbarriere differenziert wurden.

2.1 Hydraulische Untersuchungen

Die hydraulischen Untersuchungen im Rahmen der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zum Wasserkraftkonzept Schachtkraftwerk sind im Kontext des Fischabstiegs relevant, da die Strömungsverteilung und die Fließgeschwindigkeiten am Rechen unmittelbaren Einfluss auf die Aspekte des Fischschutz und Fischabstiegs haben, insbesondere hinsichtlich der Aspekte der Anströmgeschwindigkeiten und der Leitwirkung. Die Untersuchungen erfolgten an einem vollfunktionsfähigen physikalischen Modellversuch inklusive einer 2 kW Modellturbine. Die lichte Rechenstabweite lag bei 4 mm. Die Innenweite des Einzelschachts betrug 1,2 m x 1,2 m bis 1,0 m x 1,0 m. Zusätzlich konnten neben diesem Schacht zwei weitere Schächte betrieben

werden, um die Anströmsituation von Zwei- und Dreischachtanlagen zu untersuchen. Der Maximalabfluss des Modells betrug knapp 600 l/s. Die Flexibilität des Modellversuchsstandes wurde ebenso für Untersuchungen zu speziellen Anström- und Einbausituationen verwendet. Ergänzt wurden diese umfangreichen hydraulischen Untersuchungen durch entsprechende Messungen an der simulierten und an der fertiggestellten 35 kW Versuchsanlage (s.u.). Die Untersuchungen des Strömungsbildes am Rechen erfolgten an beiden Versuchsständen durch 3D-ADV-Messungen (Nortek Field ADV). Die verwendeten Messebenen lagen je 4,6 cm über der Rechenoberfläche und deckten diese vollständig ab. Die laterale Auflösung betrug typischerweise 20 cm im Modellversuch und 40 cm an der Versuchsanlage. Ergänzend wurden Messungen an speziellen Punkten und mit höherer räumlicher Auflösung erstellt. Die Messfrequenz betrug typischerweise 25 Hz und die Messdauer je Messpunkt rund 3 min., um zeitliche Fluktuationen der Einlaufhydraulik zu berücksichtigen.

Die erhobenen Strömungsverteilungen am Rechen zeigen bei Einhaltung der abgeleiteten Bemessungsregeln ein weitgehend homogenes Strömungsbild, wobei sich die vertikale Rechendurchströmung von den Zuströmlächen der Schachtkrone her allmählich aufbaut und ihr Maximum lateral-mittig im Bereich zwischen Rechenmittelpunkt und Verschluss erreicht. Dieses Strömungsmuster entspricht einem dreidimensional ausgeprägten Leiteffekt für absteigende Fische von allen Richtungen her in den besagten Bereich. Abbildung 1 verdeutlicht dies und zeigt zudem die Winkel bzw. die Neigung zwischen der Rechenfläche und der lokalen Strömungsrichtung. Die geringen Neigungen in weiten Teilen der Rechenfläche begünstigen Fischschutz- und Leitwirkung. Erst im Bereich des Durchflussmaximums werden ungünstige Neigungswerte erreicht, wobei den Fischen hier durch einen direkt angrenzenden sohnahen Bypass eine unmittelbare Abstiegsalternative zur Verfügung gestellt werden kann.

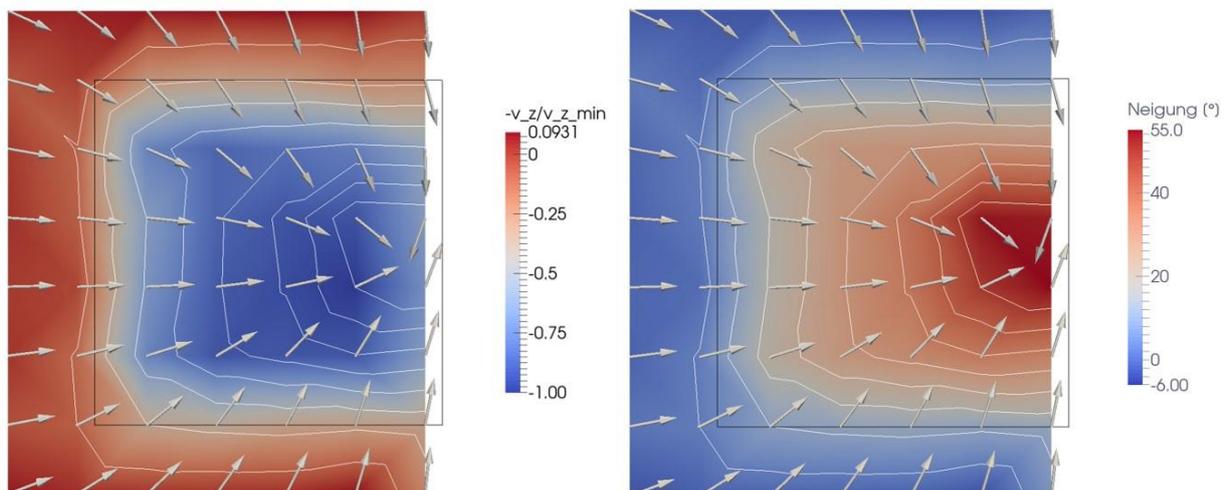


Abb. 1 Typische Geschwindigkeitsverteilung am Rechen (links) und die korrespondierende Neigung zwischen Strömungsrichtung und Rechenfläche (rechts); Hauptströmungsrichtung von links nach rechts, Rechenfläche schwarz umrandet, Vektoren zeigen die horizontale Strömung

Mittels statistischer Modellierung wurde aus den Datensätzen der Zusammenhang zwischen den primären Gestaltungsparametern (Schachtgröße, Überdeckung/Wasserstand, Turbinenabfluss, Verschlussüberströmung) und der dabei auftretenden maximalen Strömungsgeschwindigkeit senkrecht zum Rechen abgeleitet. Dies erlaubt es Standardanlagen ad hoc derart zu bemessen, dass die am Standort zulässige Grenzgeschwindigkeit für den Schutz der Fischpopulation nicht überschritten wird. Die Bemessung erfolgt dabei anhand der maximal

auftretenden Anströmgeschwindigkeit und nicht nach der mittleren theoretischen Anströmgeschwindigkeit. Die ergänzenden Untersuchungen geben zudem Orientierung für die Abweichungen bei speziellen Anlagengestaltungen oder Anströmbedingendargestellt.

2.2 Fischverhaltensuntersuchungen allgemein

Das tatsächliche Fischverhalten lässt sich nicht zuverlässig durch rein hydraulische Untersuchungen prognostizieren, sondern bedarf der Beobachtung geeigneter Probanden unter entsprechenden Bedingungen. Die hierfür durchgeführten Fischverhaltensuntersuchungen erfolgten in einem Versuchsstand auf dem Freigelände der Versuchsanstalt Oberrach, welcher durch die Isarüberleitung kontrolliert beaufschlagt werden kann. Das Laborumfeld erlaubte mit seinen kontrollierten Randbedingungen gezielte Parameter- und Vergleichsstudien. Gleichermaßen begünstigten die naturnahen Rahmenbedingungen ein weitgehend natürliches Fischverhalten und damit die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Naturstandorte. Kernstück des Versuchsstandes war eine Wasserkraftanlage im Schachtkraftwerksdesign. Die Durchführung gezielter Fischverhaltensbeobachtungen wurde durch den Besatz gewünschter Fischensembles im Oberwasser der Anlage und vollständiges Abfischen aller eingesetzten Fische nach Versuchsende bewerkstelligt. Hierzu wurde die Wasserkraftanlage um Fischbarrieren ergänzt, welche den Versuchsstand gegen das angrenzende Kanalsystem abgrenzen. Sie verhinderten gleichermaßen ein Entweichen der Versuchsfische, als auch ein Einschwimmen des natürlichen Fischbestands im Kanalsystem. Die lichte Weite der Fischbarrieren wurde den jeweiligen Fischgrößen angepasst und betrug teilweise 4 mm. Treibgut und Geschwemmsel wurden bereits oberstrom der Versuchseinrichtung entnommen. Für die Untersuchung zu rechengängigen Fischen wurde eine zusätzliche Fischbarriere im Unterwasser installiert, welche eine Unterscheidung zwischen Turbinenpassage und Bypasspassage erlaubte.

Die Auswahl und Beschaffung der Versuchsfische erfolgt in Abstimmung mit Kooperationspartnern der Gewässerökologie und Fischbiologie. Soweit möglich wurden Wildfische verwendet, welche mittels Elektrofischung aus geeigneten Gewässern entnommen wurden. Eine veterinärmedizinische Untersuchung im Vorfeld der Untersuchungen sicherte den repräsentativen Zustand der Fische ab. Vor dem Einsatz in den Versuchsreihen wurden die Fische mind. zwei Tage am Versuchsstand an die Wasserverhältnisse adaptiert. Um Lerneffekte und kumulative Schädigungen auszuschließen, wurde jeder Fisch nur einmal einem Versuch unterzogen. Die Versuchsdauer betrug standardmäßig 24 h, um einen gesamten Tag-Nacht- und den damit verbundenen Aktivitäts-Zyklus abzudecken. Während der Versuche lag ein konstanter Betriebszustand vor. Das Fischverhalten am Rechen und an der Fischabstiegsöffnung wurde mittels Unterwasservideokameras aufgezeichnet. Ergänzend wurden hydraulische Parameter und abiotischen Randbedingungen (Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit, Trübung, Lichtintensität) aufgezeichnet. Nach den Versuchen wurden die eingesetzten Fische vollständig und schonend aus dem Versuchstand entnommen. Zur Berücksichtigung von Folgeschäden, beispielsweise durch innere Verletzungen, wurden die Fische nach dem Versuch 96 h separat gehältert und beobachtet. Bei unklaren Todesursachen wurden veterinärmedizinische Untersuchungen (Sektion, Röntgen, Histologie) durchgeführt.

2.3 Untersuchungen zu nicht-rechengängigen Fischen

Die Einhaltung der Grenzwerte für die Anströmgeschwindigkeit am Rechen lässt grundsätzlich einen funktionierenden Fischschutz für nicht-rechengängige Fische erwarten. Dies gilt insbesondere, da die hydraulischen Untersuchungen eine Berücksichtigung der maximal auftreten-

den Strömungsgeschwindigkeiten erlauben sowie eine Anpassung dieses Wertes auf die Bedürfnisse standortspezifischer Fischpopulationen. Das tatsächliche Fischverhalten im Einlaufbereich blieb jedoch a priori mangels Referenzen zu entsprechenden Strömungssituationen unklar. Somit blieb auch die Akzeptanz der Fischabstiegseinrichtung offen, da diese eine vorherige Passage des Einlaufbereichs erfordert und beispielsweise ein Meideverhalten der abtauchenden Strömung die Effizienz des Fischabstiegs beeinflussen würde.

Bereits vor Fertigstellung der 35 kW Versuchsanlage wurden daher in dem Versuchsstand anhand einer simulierten Wasserkraftanlage Fischverhaltensuntersuchungen zur Klärung dieser Aspekte durchgeführt. Hierzu wurde ein 2,4 m breiter und 2,6 m langer horizontaler sohlbündiger Rechen mit 17,5 mm lichter Rechenstabweite verwendet. Dieser wurde von 1.72 m³/s durchströmt, wobei ein Grundablass am Schachtboden diesen simulierten Turbinenabfluss ins Unterwasser abgab. 3D-ADV Messungen an der Rechenfläche bestätigten analoge Strömungsbedingungen, wie bei Einsatz einer Turbine. Die maximale Anströmgeschwindigkeit betrug 0,4 m/s, die Überdeckung des Rechens 0,7 m. Der Verschluss wurde mittels Damm-balken simuliert, wobei zwei alternative Abstiegsoptionen vergleichende Untersuchungen erlaubten. Eine oberflächennahe Vertiefung der Krone und eine sohlbündige Öffnung stellten jeweils einen 30 cm breiten und 25 cm hohen Fließquerschnitt mit freiem Ausfluss ins Unterwasserpolster zur Verfügung. Zusätzlich wurde der simulierte Verschluss entsprechend dem Schachtkraftwerkskonzept mit 5 % des Turbinenabflusses überströmt.

Für die Untersuchungen wurden Bachforellen, Aitel und Barben eingesetzt. Die Körperlängen variierten von 18 cm bis 65 cm und wurden für Auswertungszwecke fischartspezifisch in drei Größenklassen eingeteilt. Die Videodokumentation des Fischverhaltens am Rechen zeigte keinerlei Schwierigkeiten oder Gefährdungen für die Fische obgleich der Einlaufbereich deutlich frequentiert wurde. Fische aller verwendeten Arten und Größen könnten im Einlaufbereich beobachtet werden. Sie bewegten sich in positiv rheoaktiver Schwimmlage problemlos über der Rechenfläche und könnten den Einlaufbereich scheinbar mühelos wieder verlassen. Die Videodokumentation an den Fischabstiegskorridoren sowie das vollständige Abfischen von Ober- und Unterwasser nach Versuchsende zeigten, dass Fische aller Arten und Größen durch die angebotenen Bypässe ins Unterwasser gewechselt waren. Eine hohe Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse im Rahmen der dreimaligen Wiederholung von Einzelversuchen belegt die Aussagefähigkeit der Untersuchungen. Die statistische Auswertung der Resultate konnte eine statistisch signifikant höhere Abstiegshäufigkeit für die sohlnahe Anordnung des Fischabstiegs offenlegen. Für diese Variante stiegen in fünf von acht untersuchten Kombinationen aus Fischart und Fischgröße mehr als 50 % der Fische und teilweise über 90 % der Fische ins Unterwasser ab. Für eine umfassende Darstellung der Durchführung und Ergebnisse sei auf den zugehörigen Versuchsbericht verwiesen (Cuchet 2012).

2.4 Untersuchungen zu rechengängigen Fischen

Die Forderungen nach einem guten ökologischen Zustand der Gewässer und der ökologischen Durchgängigkeit erfordern prinzipiell die Berücksichtigung aller lokalen Fischarten und ihrer verschiedenen Entwicklungsstadien. Dies gilt ebenso für den Populationsschutz, für den insbesondere die turbinenpassagebedingte Mortalität beim Fischabstieg an Wasserkraftanlagen zu berücksichtigen ist. Die Umsetzung des Fischschutzes mittels mechanischer Barrieren schützt jedoch nur Fische bzw. Altersstadien ab der Mindestgröße der lichten Rechenstabweite zuverlässig als physische Barriere. Hinsichtlich kleinerer Individuen kann zwar ein teilweiser Effekt als Verhaltensbarriere angenommen werden, die tatsächlichen Passageraten, die damit

resultierenden Verletzungs- und Mortalitätsraten bei der Anlagenpassage und somit die Gewährleistung des Populationsschutzes bleiben jedoch a priori offen.

Um das Fischverhalten, die Passageverteilung zwischen Bypass und Turbine sowie die resultierenden Mortalitätsraten beim Anlagentyp Schachtkraftwerk zu klären, wurden entsprechende Versuchsreihen mit rechengängigen Fischen durchgeführt. Diese erfolgten an der vollfunktionsfähigen 35 kW Versuchsanlage, welche folgende wesentlichen Komponenten und Kenngrößen aufweist.

- Kaplan turbine: doppelreguliert über Leitapparat und Laufrad; 75 cm Laufraddurchmesser; 4 Laufradschaufeln; 333 Upm; 1,5 m³/s Ausbauabfluss bei 2,5 m Fallhöhe – (Geppert GmbH)
- Horizontalrechen: 2 m x 2 m Rechenfläche; 20 mm lichter Rechenstabweite; Sonderrechenstabprofil; spezielle Rechenreinigungstechnik – (Muhr GmbH)
- Verschlussstapel/Schütz: Unterströmbar und überströmbar (Oberkante Schütz \leq Oberkante Rechen); zwei alternative Fischabstiegsöffnungen, oberflächennah und sohlnah, die je 30 cm breite und 25 cm hohe Fließquerschnitte eröffnen – (Muhr GmbH)

Um den Einfluss der Anströmgeschwindigkeit auf das Fischverhalten zu erfassen, wurden Versuchsreihen mit maximalen Anströmgeschwindigkeiten von 0,3 m/s, 0,4 m/s und 0,5 m/s durchgeführt. Die Überdeckung des Rechens betrug jeweils 0,9 m. Wie bei den Versuchen zu nicht-rechengängigen Fischen wurden vergleichend die oberflächennahe und die sohlnahe Bypassöffnung untersucht. Das anschließende Unterwasserpolster hatte eine Höhe von 0,9 m.

Bei den Untersuchungen wurden Bachforellen, Äschen, Barben, Koppen und Elritzen mit Körperlängen von 4,5 cm bis 22 cm eingesetzt. Alle Fische konnten physisch den Rechen passieren. Im Rahmen der Versuchsreihen wurden insgesamt 1974 Fische eingesetzt. Die Videodokumentation konnte zeigen, dass die juvenilen Salmoniden vergleichbar den Befunden für nicht-rechengängige Fische ohne erkennbare Schwierigkeiten oder Meidereaktionen in den Einlaufbereich einschwimmen und ihn wieder verlassen konnten. Die Resultate des Abfischens belegten, dass Individuen aller verwendeten Fischarten und -größen über beide Passagemöglichkeiten (Bypass und Rechen/Turbine) ins Unterwasser gelangten.

Der Anteil der Fische, die durch den Bypass ins Unterwasser gelangten, war für alle untersuchten Kombinationen von Anströmgeschwindigkeiten und Bypasskonfigurationen um Faktoren größer als der Abflussanteil im Bypass. Dies bestätigt die grundsätzliche Wirkung des Rechens beim Schachtkraftwerkskonzept als Verhaltensbarriere für rechengängige Fische. Dabei ist die Wirkung jedoch auf Anteile der abwandernden/abdriftenden Fische beschränkt und die Rechen- und Turbinenpassage sowie die damit verbundene turbinenspezifische Mortalitätsrate der übrigen Fische ist bei der gewässerökologischen Bewertung entsprechend zu berücksichtigen. Die konkrete Verteilung der Fischpassagen zwischen Bypass und Rechen/Turbine hängt stark von Fischart, Fischgröße, Rechenstababstand, Anströmgeschwindigkeit und der Gestaltung des Bypass ab. Die umfassenden und detaillierten Befunde können dem zugehörigen Versuchsbericht (Geiger et al. 2016) entnommen werden.

Grundsätzlich stieg der Anteil der Fische, die durch den Bypass ins Unterwasser gelangten, signifikant mit steigender Fischlänge und mit abnehmender Anströmgeschwindigkeit am Rechen. Dies steht im Einklang zu Literaturreferenzen (Ebel 2013) und vergleichbaren Untersuchungen (Cuchet 2014). Der sohlnahe Bypass führte zu vergleichsweise höheren Anteilen für die Bypass-Passage, was sich mit dem Ergebnis für nicht-rechengängige Fische deckt

(Cuchet 2014). Die Verletzungs- und Mortalitätsraten bezüglich der Turbinenpassage stiegen mit zunehmender Fischlänge und mit abnehmendem Turbinenabfluss. Dies ist kohärent zu diversen Literaturquellen (Ebel 2013). Die Verletzungs- und Mortalitätsraten bezüglich der Anlagenpassage fielen durch die gegenläufigen Trends bei der Passageverteilung am Rechen einerseits und der Schädigungsraten beim Turbinendurchgang andererseits entsprechend geringer aus und zeigten über für die Bandbreite der Fischlängen und Abflussvariationen vergleichsweise einheitliche Werte.

Abbildung 2 verdeutlicht beispielhaft die Abhängigkeit der Rechenpassagehäufigkeit und daraus resultierender Verletzungsraten bzgl. der Turbinenpassage bzw. der Anlagenpassage in Abhängigkeit von der Fischlänge. Die Verletzungsraten beinhalten dabei sämtliche aufgrund der Turbinenpassage verstorbenen oder verletzten Fische. Sie berücksichtigt damit auch jene verletzten Individuen, die nach der 96 h Beobachtungshälterung weiter lebensfähig waren und stellt hier eine Obergrenze für die ökologische Beeinträchtigung der Fischpopulation durch die Wasserkraftnutzung dar. Hinsichtlich der Verletzungsraten bzgl. der Turbinenpassage müssen die zugrundeliegenden Turbinenspezifikationen berücksichtigt werden (75 cm Durchmesser, 333 Upm, 4 Laufradschaufeln). Die beobachteten Werte, korrespondieren weitgehend mit den Befunden für Mortalitätsraten bzgl. der Turbinenpassage nach Monten (1985). Die ökologisch relevanten Verletzungsraten bzgl. der Anlagenpassage werden durch die Passageaufteilung entsprechend reduziert.

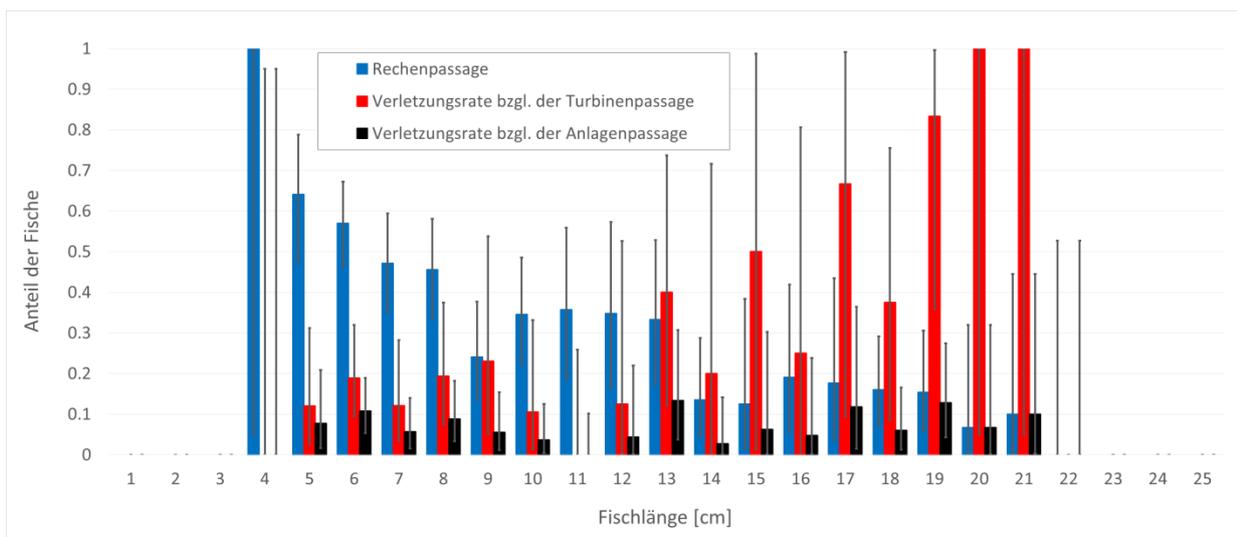


Abb. 2 Anteil der Rechen- bzw. Turbinenpassage sowie Verletzungsraten bzgl. der Turbinenpassage und bzgl. der Anlagenpassage in Abhängigkeit von der Fischlänge; die Fehlerbalken zeigen die 95 % Konfidenzintervalle

Die Grafik gibt zudem einen Eindruck von der Größenordnung der beobachteten anteiligen Schutzwirkung, wobei die Breite der jeweiligen Konfidenzintervalle durch die zugrundeliegenden Stückzahlen bedingt ist. Aufgrund der verfügbaren Fischkontingente für die Versuchsdurchführung sind diese Resultate durch Bachforellen und Äschen geprägt. Tabelle 1 gibt einen Überblick der Bypasspassagehäufigkeiten der übrigen eingesetzten Fischarten bei sohnaher Anordnung. Insbesondere auch bodenorientierte Fischarten waren mehrheitlich geschützt und konnten ohne Verletzungsrisiko ins Unterwasser absteigen. Es ist jedoch zu beachten, dass die vorliegenden Werte nicht ohne entsprechenden Transferprozess auf abweichende Anlagenspezifikationen übertragen werden können, da beispielsweise ein Einfluss der absoluten Rechenfeldgröße auf die konkreten Passageverteilungen denkbar ist.

Tab. 1 Bypasspassageraten von Barbe, Elritze und Koppe am sohnahen Bypass

Fischart	Größenspektrum [cm]	$v_{\text{max_am Rechen}}$ [m/s]	Bypasspassageraten
Barbe	5 – 20	0,5	44 – 83 %
Elritze	$5,9 \pm 0,8$	0,5	65 %
Koppe	$8,1 \pm 1,4$	0,3 – 0,5	59 – 79 %

Wie bereits festgestellt, werden die Passageverteilung und die Verletzungsraten neben der Fischlänge und der Fischart auch durch die Anströmgeschwindigkeit am Rechen beeinflusst. Abbildung 3 zeigt die entsprechenden Resultate. Aufgrund des Einflusses der Fischlänge erfolgt die Darstellung anhand entsprechender Längenkategorien. Für die Betriebspraxis interessant ist die Abnahme der Mortalitätsrate bezüglich der Anlagenpassage mit sinkendem Turbinenabfluss, falls die Abhängigkeit der Passageverteilung von der Anströmgeschwindigkeit stärker ausgeprägt ist als jene der Mortalitätsraten beim Turbinendurchgang. Entgegen der gängigen Verfahrensweise kann dann beim Teillastbetrieb die gleichmäßige Aufteilung des Triebwasserabflusses über alle Maschinensätze einer Wasserkraftanlage ökologisch vorteilhafter sein. Diese neue Sachlage ist analog auch bei anderen Fischschutz- und Fischabstiegs-konzepten zu erwarten.

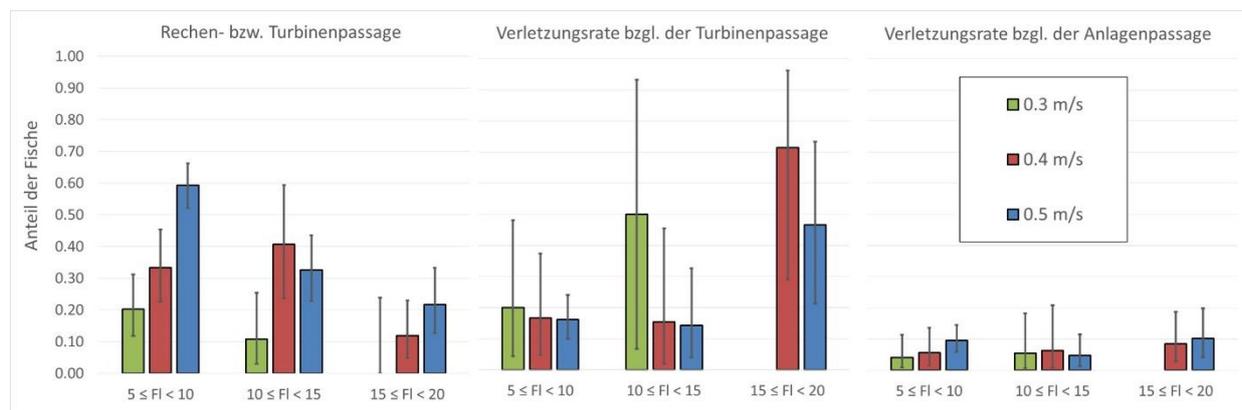


Abb. 3 Anteil der Rechen- bzw. Turbinenpassage sowie Verletzungsraten bzgl. der Turbinenpassage und bzgl. der Anlagenpassage in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit für verschiedene Kategorien der Fischlänge (FI); die Fehlerbalken zeigen die 95 % Konfidenzintervalle wieder

Die Kenntnis der Mortalitätsraten bezüglich der Anlagenpassage entsprechend vorgestellter Untersuchungen erlaubt theoretisch die Anpassung der Anlagengestaltung und Betriebsweise zur gezielten Umsetzung des Populationsschutzes an einem Standort unter Berücksichtigung der lokalen Fischpopulation, jährlicher Abflussvariationen und Wanderbewegungen und der fischart- und größenspezifisch am Standort zulässigen Schädigungsraten. Die Umsetzung derart gezielter Ansätze in Richtung eines aktiven Fischmanagements würde allerdings weiterführende Untersuchungen erfordern.

3 Fazit

Die umfangreichen Versuchsreihen zur Entwicklung und Dokumentation des Fischabstiegs am Schachtkraftwerkskonzept ermöglichen eine fundierte Bewertung der diesbezüglichen Eignung. Die hydraulischen Untersuchungen der Strömungssituation am Rechen zeigen vorteilhafte Leitströmungen zu dem entsprechend angeordneten Bypass und ermöglichen ein gezieltes Anlagendesign für standortspezifische Fischschutzkriterien. Die Fischabstiegsuntersuchungen belegen, dass die spezielle Strömungssituation im Einlaufbereich sowie die Form des Fischabstiegs offenbar keine besonderen Schwierigkeiten für die untersuchten Fischarten darstellen und keine feststellbaren Vermeidungsreaktionen verursachen. Das positiv rheoaktive Schwimmverhalten und die vergleichsweise hohe Effizienz des sohnahen Bypasses korrespondieren mit den hydraulischen Befunden. Für nicht-rechengängige Exemplare der untersuchten und vergleichbarer Arten ist von einem funktionierenden Fischschutz und Fischabstieg auszugehen. Auch für rechengängige Fische konnte bei den gegebenen Bedingungen für große Anteile der abwandernden oder –driftenden Fische der Fischschutz und der sichere Fischabstieg belegt werden, insbesondere auch für die untersuchten schwimmschwachen und bodengebundenen Arten. Die sohnaher Anordnung des Abstiegskorridors kommt dabei besonders bodenorientierten Spezies entgegen, wobei oberflächennahe Schwimmer über die Verschlussüberströmung und ggf. zusätzliche Einkerbungen absteigen können. Trotz noch unbekannter Einflüsse auf die Passageverteilungen an Großanlagen stellen die grundsätzlichen Abhängigkeiten von Passageverteilung und turbinenbedingten Fischschäden günstige Bedingungen für die Errichtung gewünschter Schutzwerte für Fischpopulationen dar. Insbesondere, da die Ergebnisse zeigen, dass die ökologischen Auswirkungen durch Gestaltung und Betrieb der Anlage gezielt eingegrenzt werden können. Die Flexibilität und Effizienz des Konzeptes Schachtkraftwerk, sowie der hohe Kenntnisstand ermöglichen dabei eine vergleichsweise wirtschaftliche Anpassung an die ökologischen Anforderungen eines Standortes. Die durchgeführten Untersuchungen zum Fischabstieg belegen somit die grundsätzliche Funktionsfähigkeit und Effizienz des untersuchten Konzeptes und verweisen auf vorteilhafte Eigenschaften.

Danksagung

Teile der Fischabstiegsuntersuchungen wurden vom BMWi und dem StMUV Bayern finanziert. Fachliche Beratung, technische Unterstützung und Bereitstellung der Versuchsfische erfolgte durch das Referat für Fisch- und Gewässerökologie des LfU Bayern, das Institut für Fischerei der LfL Bayern und die Fischereifachberatung Schwaben. Das Referat für Fischerei, Gewässer- und Naturschutz des LFV Bayern war beratend eingebunden. Die Muhr GmbH stellte die Stahlwasserbaukomponenten der 35 kW Anlage.

Literatur

- Cuchet, M.; Geiger, F.; Sepp, A.; Rutschmann, P. (2012), Fish downstream passage at the TUM-Hydro Shaft Power Plant - Experimental study of fish behavior – Stage I, Versuchsbericht des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Nr.417, Technische Universität München
- Cuchet, M. (2014), Fish Protection and Downstream Migration at Hydropower Intakes, Technical University of Munich, ISBN 978-3-943683-08-0

- Geiger, F.; Schäfer, S.; Rutschmann, P. (2016), Monitoring of downstream passage of small fish at the TUM-Hydro Shaft Power Plant Prototyp, Versuchsbericht des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Nr. 429, TU München
- Ebel G., (2013), Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen, Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel, ISBN: 978-3-00-039686-1
- Geiger, F., Schäfer, S.; Rutschmann, P. (2016), Monitoring of Downstream Passage of Small Fish at the TUM-Hydro Shaft Power Plant Prototype, Versuchsbericht des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Nr.429, TU München
- Monten E., (1985), Fish and Turbine – Fish Injuries During Passage Through Power Station Turbines, Vattenfall, Stockholm, ISBN 91-7186-247-1
- Tomanova, S.; Courret, D.; Alric, A. (2016). Protecting Fish from Entering Turbines: The Efficiency of a Low-Sloping Rack for Downstream Migration of Atlantic Salmon Smolts, SHF Conference HydroES 2016

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Phys. Franz Geiger
Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU München
Oberrach 59 1/3, D-82432 Walchensee
franz.geiger@tum.de

Dipl.-Ing. (FH) Albert Sepp
Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU München
Oberrach 59 1/3, D-82432 Walchensee
albert.sepp@tum.de

Prof.-Dr. Peter Rutschmann
Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU München
Arcisstraße 21, D-80333 München
peter.rutschmann@tum.de