



Fischabstiegsuntersuchungen am Schachtkraftwerk

Kurzmitteilung



Franz Geiger

Dipl.-Phys. F. Geiger

A. Sepp

Dipl.-Ing. (FH) A. Sepp

P. Rutschmann

Univ. Prof. Dr. P. Rutschmann

Vorwort

Auf Empfehlung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt- und Verbraucherschutz wurde diese Dokumentation der wesentlichen Untersuchungen und Ergebnisse zum Fischabstieg am Schachtkraftwerk in Oberrach auf Deutsch erstellt. Ausführliche Information zu Hintergründen, Versuchsdurchführung und Resultaten sind in den entsprechenden Versuchsberichten in englischer Sprache verfügbar (Versuchsbericht Nr. 417 „Fish downstream passage at the TUM-Hydro Shaft Power Plant - Experimental study of fish behaviour - Stage 1“ zu Untersuchungen von nicht-rechengängigen Fischen und Versuchsbericht Nr. 429 „Monitoring of downstream passage of small fish at the TUM-Hydro Shaft Power Plant Prototype“ zur Untersuchung rechengängiger Fische).

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Inhaltsverzeichnis	2
1 Wasserkraftkonzept Schachtkraftwerk.....	3
2 Fischabstiegsuntersuchungen	5
3 Fischabstiegsuntersuchungen nicht-rechengängiger Fische.....	6
4 Fischabstiegsuntersuchungen rechengängiger Fische	7
5 Zusammenfassung.....	10
Danksagung	11

1 Wasserkraftkonzept *Schachtkraftwerk*

Das an der Technischen Universität München (TUM) entwickelte, innovative Wasserkraftkonzept *Schachtkraftwerk* basiert auf der Technik tauchbarer Turbinen und erzielt in Verbindung mit einer horizontalen Rechenebene und einem angrenzenden Verschlussorgan eine ökonomisch und ökologisch möglichst effiziente Form der Wasserkraftnutzung. Somit ist dieses Konzept insbesondere auch für den Bereich der Kleinwasserkraft mit geringen Fallhöhen geeignet. Abbildung 1 veranschaulicht beispielhaft das Anlagendesign.

Hinsichtlich der Umweltverträglichkeit wurde bei dem Konzept besonderer Wert auf eine möglichst ungestörte Durchgängigkeit der Anlage gelegt. So sollen neben Treibgut und Geschiebe vor allem wandernde Fische die Anlagen passieren können. Für die aufwärtsgerichtete Wanderung kann auf bewährte Fischaufstiegsanlagen zurückgegriffen werden; bei flussabwärts gerichteter Wanderung werden die Fische durch einen horizontalen Rechen von einer potentiell schädlichen Turbinenpassage abgehalten, wofür geringe lichte Rechenstabweiten und niedrige Anströmgeschwindigkeiten des Rechens umzusetzen sind. Die abwanderungswilligen Fische können durch eine Öffnung im Verschluss sicher in ein anschließendes Wasserpolster absteigen, wobei Positionierung und Größe der Öffnung an die vorkommenden abstiegswilligen Fische anzupassen sind.

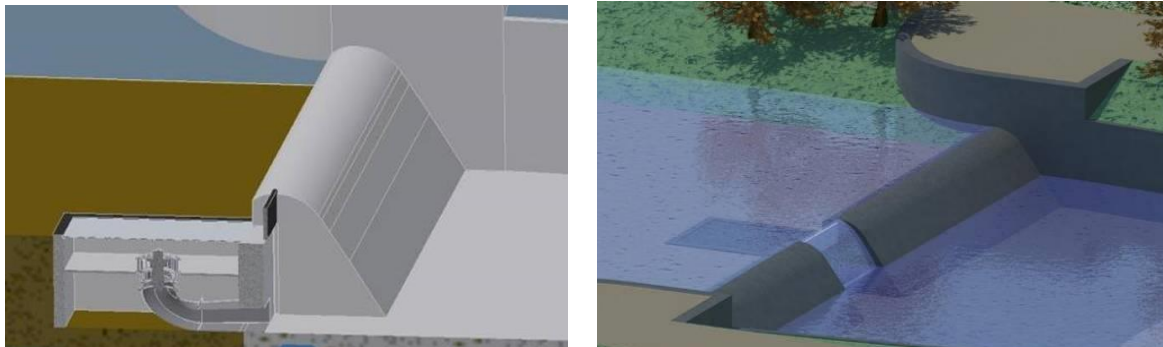


Abbildung 1: Animation eines Schachtkraftwerks zur Nachrüstung an einem bestehenden Wehr: Schnitt durch die Anlage (links) und Anlagenbetrieb (rechts), Hauptfließrichtung von links nach rechts

Im Rahmen eines mehrjährigen Forschungsvorhabens an der TUM wurden an verschiedenen physikalischen Modellversuchen, numerischen Modellen sowie einer Prototypanlage umfangreiche Entwicklungsarbeiten und Funktionstests zum Konzept *Schachtkraftwerk* durchgeführt. So können technische und hydraulische Anforderungen, Anlagenwirkungsgrad, Rechenreinigung, Geschiebedurchgängigkeit und Zugänglichkeit des neuen Anlagentyps überprüft werden. Anhand umfangreicher hydraulischer Untersuchungen wurden Bemessungsregeln abgeleitet, die den effizienten und zuverlässigen Betrieb der Wasserkraftanlagen gewährleisten.

Die Resultate hinsichtlich des Fischabstiegs ermöglichen eine gezielte Anlagengestaltung für standortspezifische Fischschutzauflagen zu Rechenstababständen und maximal auftretender Strömungsgeschwindigkeit am Rechen. Zudem verweist die Strömungsverteilung am Rechen auf einen vorteilhaften dreidimensionalen Leiteffekt zur Fischabstiegsöffnung. Abbildung 2 dokumentiert hierzu eine typische Strömungssituation am Rechen. Um die tatsächliche Effizienz des Fischabstiegskonzepts zu klären, wurden entsprechende Fischverhaltensuntersuchungen durchgeführt.

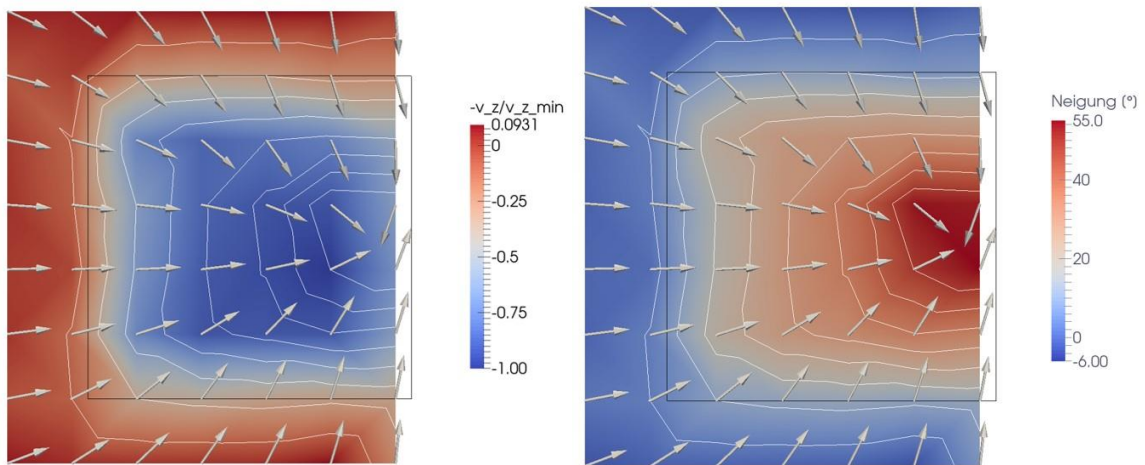


Abbildung 2: Geschwindigkeitsverteilung über der Rechenebene (links) und lokale Neigung von Fließrichtung zur Rechenebene (rechts), Hauptfließrichtung von links nach rechts

2 Fischabstiegsuntersuchungen

Das tatsächliche Fischverhalten an Fischabstiegseinrichtungen lässt sich nicht zuverlässig durch rein hydraulische Untersuchungen prognostizieren, sondern bedarf der Beobachtung geeigneter Fische unter entsprechenden Bedingungen. Die hierfür durchgeführten Fischverhaltensuntersuchungen erfolgten in einem Großversuchsstand auf dem Freigelände der Versuchsanstalt Oberrach. Durch die kontrollierten Randbedingungen im Laborumfeld konnten gezielte Parameter- und Vergleichsstudien durchgeführt werden. Ebenso begünstigten naturnahe Rahmenbedingungen ein weitgehend natürliches Fischverhalten und damit die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Naturstandorte. Kernstück des Versuchsstands war eine Wasserkraftanlage im Schachtkraftwerksdesign. Diese wurde mit Fischbarrieren versehen, die den Versuchsstand gegen das angrenzende Kanalsystem und in sich selbst abgrenzten. Für die Fischverhaltensbeobachtungen wurden gewünschte Fischensembles im Oberwasser der Anlage eingesetzt. Die Fische konnten sich ungestört im Kraftwerksbereich bewegen und gegebenenfalls ins Unterwasser absteigen. Ein vollständiges Abfischen aller eingesetzten Fische nach Versuchsende legte tatsächliche Passagehäufigkeiten und -wege offen.

Auswahl und Beschaffung der Versuchsfische erfolgten in Abstimmung mit Kooperationspartnern der Gewässerökologie und Fischbiologie. Soweit möglich, wurden Wildfische verwendet, die mittels Elektrofischung aus geeigneten Gewässern entnommen wurden. Eine veterinärmedizinische Untersuchung im Vorfeld der Tests sicherte den repräsentativen Zustand der Fische ab. Vor Einsatz in den Versuchsreihen wurden die Fische mindestens zwei Tage am Versuchsstand an die Wasserverhältnisse adaptiert. Um Lerneffekte und kumulative Schädigungen auszuschließen, wurde jeder Fisch nur einmalig einem Versuch ausgesetzt. 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 mithilfe Unterwasservideokameras dokumentiert. Ergänzend wurden hydraulische Parameter und abiotische Randbedingungen (Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit, Trübung, Lichtintensität) aufgezeichnet. Nach den Versuchen wurden alle eingesetzten Fische schonend aus dem Versuchsstand entnommen. Zur Vermeidung 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. Alle Untersuchungen mit Fischen erfolgten ausschließlich mit entsprechenden tierschutzrechtlichen Genehmigungen und Überwachungen.

3 Fischabstiegsuntersuchungen nicht-rechengängiger Fische

Um die Funktionalität von Fischschutz und Fischabstieg des spezifischen Konzepts mit horizontaler Rechenebene und anschließendem Abstiegskorridor zu überprüfen, wurde in einer ersten Studie das Verhalten nicht-rechengängiger Fische an einer simulierten Wasserkraftanlage untersucht. Hierzu wurde im Großversuchsstand ein 2,4 m breiter und 2,6 m langer horizontaler sohlbündiger Rechen mit 17,5 mm lichter Rechenstabweite eingesetzt. Dieser wurde von einem Zufluss von 1,72 m³/s durchströmt, wobei ein Grundablass am Schachtboden den simulierten Turbinenabfluss ins Unterwasser abgab. Durch 3D-ADV Messungen an der Rechenfläche konnten analoge Strömungsbedingungen, wie bei Einsatz einer Turbine, bestätigt werden. Die maximale Anströmgeschwindigkeit betrug 0,4 m/s, die Überdeckung des Rechens 0,7 m. Der Verschluss wurde mittels Dammbalken simuliert, wobei zwei alternative Abstiegsoptionen die Möglichkeit für vergleichende Untersuchungen eröffneten. Aus einer oberflächennahen Vertiefung der Krone und einer sohlbündigen Öffnung resultierte jeweils ein 30 cm breiter und 25 cm hoher Fließquerschnitt mit freiem Ausfluss in das 0,9 m hohe Unterwasserpolster. Zusätzlich wurde der simulierte Verschluss entsprechend dem hydraulischen Konzept des Schachtkraftwerks mit 5 % des Turbinenabflusses überströmt.

Für die Untersuchungen wurden Bachforellen, Aitel und Barben eingesetzt. Die Körperlängen variierten von 18 cm bis 65 cm. Die Videodokumentation des Fischverhaltens am Rechen zeigte keinerlei Schwierigkeiten oder Gefährdungen für die Fische, obgleich der Einlaufbereich stark frequentiert wurde. Fische aller verwendeten Arten und Größen konnten im Einlaufbereich beobachtet werden. Sie bewegten sich in positiv rheoaktiver Schwimmlage problemlos über der Rechenfläche und konnten den Einlaufbereich offenbar 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 Auswertung der Resultate ergab eine statistisch signifikant höhere Abstiegshäufigkeit für die sohlnahe Anordnung des Fischabstiegs. Für diese Variante stiegen in fünf von acht untersuchten Kombinationen aus Fischart und Fischgröße im Laufe der Versuchsdauer mehr als 50 % und teilweise über 90 % der Fische ins Unterwasser ab. Abbildung 3 zeigt exemplarisch das Schwimmverhalten am Rechen und den Fischabstieg bei oberflächennaher Abstiegsöffnung.

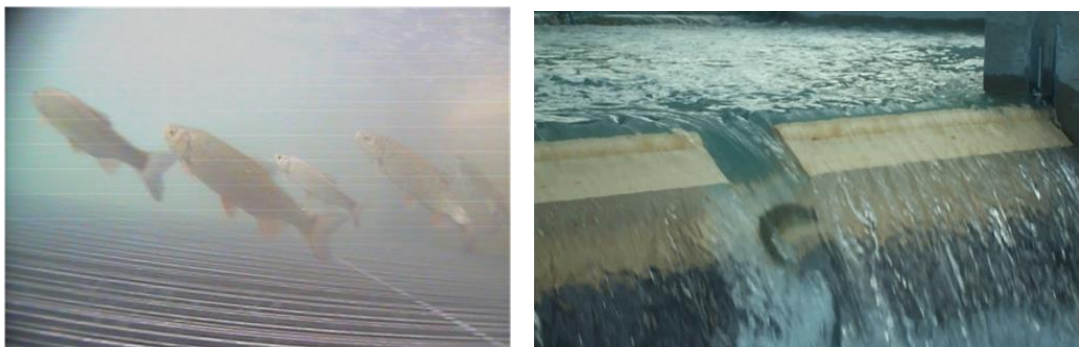


Abbildung 3: Rheoaktive Schwimmlage von Aitel über dem Rechen (links) und Abstieg einer Bachforelle durch die oberflächennahe Öffnung (rechts)

4 Fischabstiegsuntersuchungen rechengängiger Fische

Die Forderung nach einem guten ökologischen Zustand der Gewässer und ökologischer Durchgängigkeit erfordert prinzipiell die Berücksichtigung aller lokalen Fischarten und ihrer verschiedenen Entwicklungsstadien. Der Schutz von Fischen mittels mechanischer Barrieren kann jedoch nur ab einer Mindestgröße der lichten Rechenstabweite als physische Barriere gewährleistet werden. Eine umfassende gewässerökologische Bewertung eines Wasserkraftkonzepts muss daher neben typischen Zielfischarten und -größen auch der übrigen Fischzönose Rechnung tragen und somit auch juvenile, kleinwüchsige und schwimmschwache Fische berücksichtigen.

Um das Fischverhalten sowie die Verteilung der Passage zwischen Bypass und Turbine des Schachtkraftwerks zu klären, wurden entsprechende Versuchsreihen mit rechengängigen Fischen an der voll funktionsfähigen 35 kW Versuchsanlage durchgeführt. Im Großversuchsstand wurde hierzu eine doppelregulierte Kaplananlage (75 cm Laufraddurchmesser, 1,5 m³/s Ausbauabfluss, Drehzahl 333 U/min) und ein Horizontalrechen (2 m x 2 m Rechenfläche, 20 mm lichte Rechenstabweite) installiert. Der als Verschlussorgan ergänzte über- und unterströmbare Schütz konnte analog zu den vorangegangenen Untersuchungen alternativ mit einer oberflächen- oder einer sohnnahen Abstiegsöffnung betrieben werden (je 30 cm breite und 25 cm hohe Fließquerschnitte). Zur Ermittlung des Einflusses der Anströmgeschwindigkeit auf das Fischverhalten, wurden Versuchsreihen mit maximalen Anströmgeschwindigkeiten des Rechens 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 sohnnahe Bypassöffnung untersucht. Das anschließende Unterwasserpolster hatte eine Höhe von 0,9 m. Abbildung 4 zeigt einen Längsschnitt und verschiedene Details des Versuchsstands. Die in Betrieb befindliche Anlage mit sohnnahe Abstiegsöffnung ist auf dem Titelblatt abgebildet.

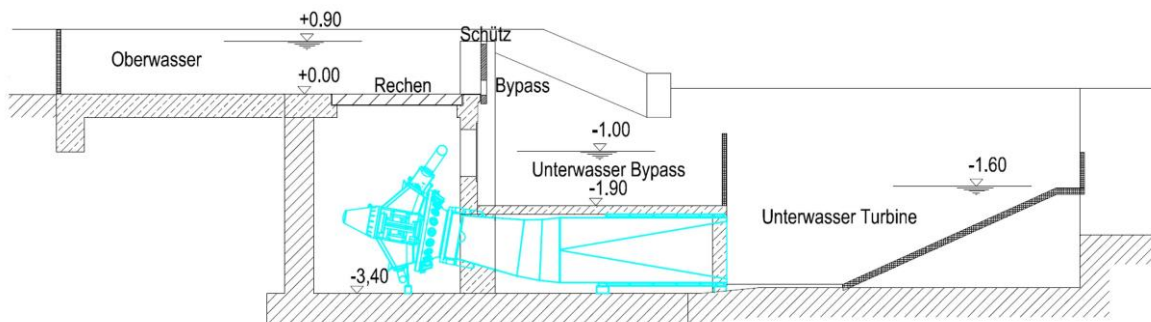


Abbildung 4: Längsschnitt des Versuchsstands (oben), Ansicht des Rechenfeldes (links unten), Kaplan-Turbine (mittig) und Fischbarrieren (rechts unten), Hauptfließrichtung von links nach rechts

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 1.974 Fische besetzt. Die Videodokumentation veranschaulichte, dass juvenile Salmoniden analog zu 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 einerseits und Rechen/Turbine andererseits) ins Unterwasser gelangen konnten. Abbildung 5 zeigt exemplarisch Fische über dem Rechen.

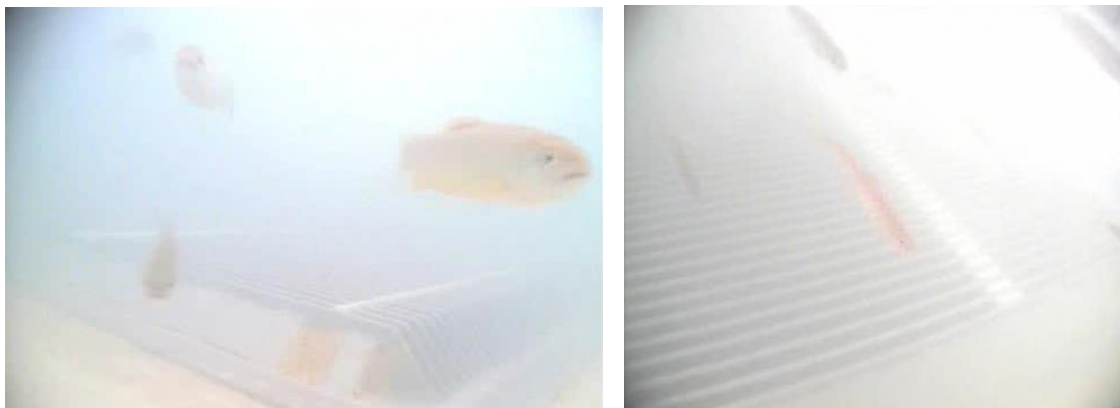


Abbildung 5: Bachforellen (links) und Äschen (rechts) bei der Passage des Einlaufbereichs über dem Rechen

Bei allen getesteten Kombinationen von Anströmgeschwindigkeiten und Bypass-Konfigurationen stellte sich heraus, dass der Anteil der Fische, die durch den Bypass ins Unterwasser gelangten wesentlich größer war, als die Multiplikation der Gesamtzahl der abgestiegenen Fische mit dem reinen Verhältnis von Bypassabfluss zu Turbinenabfluss ergeben würde. Damit sind sowohl die grundsätzliche, positive Wirkung des Rechens für rechengängige Fische als Verhaltensbarriere wie auch resultierende Leiteffekte zum Bypass für alle Größenklassen von Fischen bestätigt. Diese Wirkung beschränkt sich jedoch nur auf einen Teil der abwanderungswilligen Fische und umfasst nicht die bei Hochwasser verdrifteten Exemplare. Für eine gewässerökologische Bewertung wäre die Gesamtheit aller absteigenden Fische zu berücksichtigen und dann mit der Anzahl der bei der Turbinenpassage geschädigten Fische ins Verhältnis zu setzen.

Die konkrete Verteilung der Fischpassagen zwischen Bypass und Rechen/Turbine war abhängig von Fischart und -größe, Anströmgeschwindigkeit und der Gestaltung des Bypasses. Tabelle 1 gibt die Größenordnung der beobachteten Bypass-Passage-Anteile für Barbe, Koppe und Elritze wieder. Abbildung 6 veranschaulicht die statistische Modellierung der Passageverteilung von Bachforellen und Äschen zwischen Bypass und Rechen/Turbine mittels logistischer Regression. Aufgrund der gegebenen Abhängigkeiten sind die Werte nicht direkt auf andere Standorte bzw. Wasserkraftanlagen übertragbar. Nach Abschluss aller Abstiegsuntersuchungen kann jedoch festgehalten werden, dass grundsätzlich und insbesondere auch bei bodenorientierten und schwimmschwachen Fischarten ein Großteil der physisch den Rechen passierenden abwandernden oder abdriftenden Fische, dennoch von der Rechen- und Turbinenpassage abgehalten und, durch das Fischschutz- und Fischabstiegs-konzept, zur schadlosen Bypass-Passage geführt werden konnte.

Tabelle 1: Bypass-Passage-Anteil von Barben, Koppen und Elritzen sowie die zugehörigen Parameterbereiche für Fischlänge und die maximale Anströmgeschwindigkeit des Rechens

Fischart	Fischlängen [cm]	Anströmgeschwindigkeit [m/s]	Bypass-Passage-Anteil
Barbe	4,5 – 20,1	0,5	40 – 80 %
Koppe	4,5 – 12,5	0,3 – 0,5	60 – 80 %
Elritze	5,0 – 8,1	0,5	65 %

Von ökologischer Relevanz in Bezug auf den Populationsschutz an Wasserkraftanlagen ist die Schädigungsrate der über die Anlage abwandernden Fische. Als vorteilhaft erwiesen sich dabei die gegenläufigen Abhängigkeiten der Passageverteilung zwischen Bypass und Rechen/Turbine und der turbinenbedingten Schädigungsraten. Über das gesamte Größenspektrum der Fische hinweg passierten kleinere Exemplare Rechen und Turbine vergleichsweise häufiger als größere; die Schädigungsrate beim Turbinendurchgang war jedoch bei den kleineren Fischen deutlich niedriger. Ein analoger Zusammenhang ergab sich für den Turbinenabfluss bzw. die damit verbundene Anströmgeschwindigkeit des Rechens. Hier stieg die Schädigungsrate beim Turbinendurchgang mit abnehmendem Turbinenabfluss aber die Wahrscheinlichkeit einer Rechen- und Turbinenpassage sank entsprechend, was bei verschiedenen Betriebszuständen eine gleichmäßige Reduzierung der ökologisch relevanten Schädigungsrate bei der Anlagenpassage zur Folge hatte.

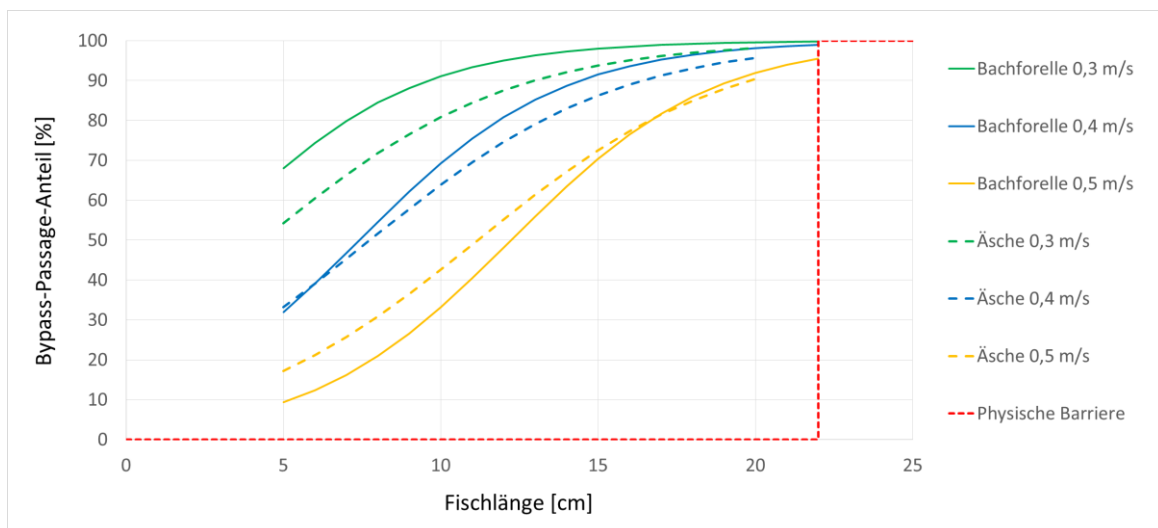


Abbildung 6: Statistische Modellierung der beobachteten Bypass-Passage-Anteile für Bachforellen und Äschen in Abhängigkeit von Fischlänge und Anströmgeschwindigkeit, sowie die physische Barrierewirkung des Rechens

5 Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die günstigen hydraulischen Bedingungen im Einlaufbereich des Wasserkraftkonzepts *Schachtkraftwerk* mit geringen Fließgeschwindigkeiten und kraftwerksbedingter Leitströmung von abwandernden Fischen effektiv angenommen werden. Ein Meideverhalten des Einlaufbereiches und damit des Fischabstiegskorridors wurde nicht beobachtet. Es wurde sogar ein reges Einschwimmen und problemloses Wiederverlassen bei freier Beweglichkeit über dem Rechen festgestellt. Alle verwendeten Fischarten und -größen stiegen erfolgreich und unbeschadet in das Unterwasser ab. Hinsichtlich der untersuchten, nicht-rechengängigen Fische konnten Fischschutz und Fischabstieg vollständig bestätigt werden. Es ergaben sich zu keiner Zeit Schwierigkeiten oder Gefährdungen der Fische am Rechen.

Die Untersuchungen zu rechengängigen Fischen zeigten, dass diese anteilmäßig über den Fischabstieg in das Unterwasser gelangen. Insbesondere auch für bodenorientierte und schwimmschwache Arten passierten große Teile der abwandernden und abdriftenden Fische den Bypass. Die konkrete Aufteilung hing jeweils von den zugrundeliegenden Parametern ab, was prinzipiell eine Anpassung der Anlagengestaltung und des Betriebs an die standortspezifischen Erfordernisse ermöglicht. Die gegenläufigen Abhängigkeiten von Passageverteilung am Rechen einerseits und Schädigungsraten beim Turbinendurchgang andererseits sind förderlich für die Gewährleistung gewünschter ökologischer Standards über das gesamte Spektrum der Fischgrößen und Anlagenbetriebszustände hinweg.

Die durchgeführte Studie mit ihren positiven Befunden eröffnet Perspektiven, um standortspezifisch gezielt eine gewässerökologisch und zugleich ökonomisch optimierte Form der Wasserkraftnutzung zu erreichen. Hierfür eignet sich das Wasserkraftkonzept *Schachtkraftwerk* mit seiner hohen Flexibilität und Effizienz als besonders vorteilhafte Lösung. Abbildung 7 zeigt den Entwurf einer entsprechenden ökologisch besonders verträglichen Anlage.



Abbildung 7: Visualisierung einer Mehrschachtanlage mit je vier Turbineneinheiten und technischen Fischaufstiegshilfen zu beiden Seiten einer zentralen Ökokorridor-Raugerinnerampe

Danksagung

Teile der Fischabstiegsuntersuchungen von nicht-rechengängigen Fischen wurden vom BMWi finanziert. Die Untersuchungen zu rechengängigen Fischen wurden in Teilen vom StMUV Bayern gefördert. Fachliche Beratung, technische Unterstützung und Bereitstellung der Versuchsfische erfolgten 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.