

# **Fischschutz an Einlaufbauwerken von Speicherkraftwerken – Reduzierung nachteiliger gewässerökologischer Folgen der Energiewende**

*Jonas Haug, Calvin Frees, Barbara Brinkmeier und Markus Aufleger*

## **Zusammenfassung**

Die Einlaufbauwerke an (Pump-)Speicherkraftwerken sind zum Schutz der Turbinen bzw. Pumpen mit Einlaufrechen ausgestattet, wobei durch vergleichsweise große lichte Stababstände das Eindringen größeren Treibgutes verhindert wird, welches die Maschinen beschädigen könnte. Diese Rechen werden der Forderung nach einem effektiven Fischschutz allerdings nicht gerecht, da diese keine wirksame Barriere für Fische aller Größenklassen darstellen. Um den ökologischen Auswirkungen der Wasserkraft, speziell bei Pumpspeicher- und Speicherkraftwerken gerecht zu werden, ohne die hydraulischen Verluste sowie die Verlegungsproblematik durch Treibgut wesentlich zu beeinflussen, können bestehende Rechen mit an der Stabvorderseite montierten Elektroden zu effektiven Fischschutzbarrieren ergänzt werden. Das Anlegen einer gepulsten Niedervoltspannung an den Elektroden erzeugt ein elektrisches Feld im Nahbereich des Rechens, welches von Fischen aktiv gemieden wird. Dadurch werden die Rechenpassage - und somit auch die potentiell gefährliche Turbinen- bzw. Pumpenpassagen verhindert und die mechanische Barriere des Rechens zur hybriden Fischschutzbarriere ergänzt. Die Wirkung dieses als FishProtector bezeichneten Fischschutzsystems konnte in ethohydraulischen Untersuchungen im Freilandlabor sowie im Feldversuch nachgewiesen werden. Das vorliegende Manuskript beschreibt die biotischen sowie abiotischen Randbedingungen und die Ergebnisse der durchgeführten Studien. Es werden die bis dato untersuchten Montagevarianten der Elektroden an den Rechenstäben erläutert. Abschließend wird die Anwendung der vorgestellten Technik an zwei Pilotstandorten beschrieben.

## **1 Hintergrund und Motivation**

Die Sicherstellung der Energieversorgung ist elementar für unsere Gesellschaft und stellt aufgrund der aktuellen Krisen eine komplexe Aufgabenstellung dar. Von zentraler Bedeutung sind hierbei regelbare Kraftwerke, mit welchen neben der Deckung der Lastspitzen auch die Feinregelung im Stromnetz bewerkstelligt werden kann. (Pump-)Speicherkraftwerke zeichnen sich durch eben diese gute Regelbarkeit aus und können weiters zur Speicherung von elektrischer Energie genutzt werden. Als Unterbecken für diese Anlagen werden oftmals Stauräume an Fließgewässern genutzt, wobei es bei der Wasserentnahme zur Schädigung von Fischen kommen kann. Durch die betrieblichen Erfordernisse kommen im allgemeinen Einlaufrechen zum Turbinen- bzw. Pumpenschutz im Ober- sowie Unterbecken der Anlagen zur Verwendung, wobei die lichten Stabweiten wenige bis einige Zentimeter betragen. Durch diese Rechen können die Passage und somit ein hohes Mortalitätsrisiko der Fische nicht verhindert werden. Eine Reduktion der Stababstände, um die physische Barrierewirkung gegenüber aller Zielfischarten der relevanten Altersstadien zu gewährleisten ist aufgrund des erhöhten Wartungs- und Reinigungsaufwandes sowohl unwirtschaftlich als bisweilen auch technisch nicht möglich.

Durch die Verwendung der im Rahmen einer Reihe von Forschungsprojekten entwickelten FishProtector-Technologie kann die mechanische Barriere, der Rechen, mittels (auch nachträglich) an den Stabvorderseiten angebrachter Elektroden zu einer hybriden Fischschutzbarriere ergänzt

werden. Das durch die Elektroden im Wasser erzeugte elektrische Feld bildet hierbei den verhaltensändernden Teil der Barriere. Im Gegensatz zu klassischen Fischescheuchen zeichnet sich dieses System durch die kombinierte Wirkung aus einer mechanischen Barriere und einem kleinräumigen elektrischen Feld aus. Nach der visuellen Wahrnehmung der Barriere nehmen sich nähernde Fische eine rheotaktisch positive Orientierung ein (Kopf entgegen der Fließrichtung, physische Barrierewirkung). Bei Überschreiten der physiologischen Reizschwelle des elektrischen Feldes während der weiteren Annäherung des Fisches führt dies zu einer stromaufwärts gerichteten Flucht aus dem Wirkungsbereich womit eine Rechenpassage zuverlässig verhindert wird.

Die Fischschutzwirkung des hybriden Systems wurde unter Laborbedingungen sowie an ersten Pilotstandorten in Kooperation mit Projektpartnern aus Wissenschaft und Energiewirtschaft nachgewiesen. Die technische Entwicklung der FishProtector-Technologie an Stabrechen wird momentan vor allem im Hinblick auf einen wirtschaftlichen und wartungsarmen Betrieb optimiert. Dabei wird besonderes Augenmerk auf die Installation der Elektroden am Einlaufrechen selbst gelegt, wobei Schraub- Klemm- und Klebeverbindungen untersucht werden. Die vorgestellte Technik ist bereits an zwei Pilotanlagen installiert und es liegen erste Betriebserfahrungen vor.

### **1.1 Ausrüstung von Bestandsrechen mit Elektroden – Hybride Fischschutzbarrieren**

Klassische Fischschutzeinrichtungen können zum einen physische Barrieren sein, die die Fische durch minimale lichte Stababstände, welche kleiner sind als die Körperabmessungen der Fische (Kriewitz, et al., 2015), am Passieren hindern. Zum anderen können Verhaltensbarrieren, die darauf abzielen, das Verhalten der Fische durch künstlich erzeugte Reize zu verändern, zur Anwendung kommen (Noatch & Suski, 2012; Schwevers & Adam, 2020). Verhaltensbarrieren können als mechanische Barrieren klassifiziert werden, die Druck- oder Geschwindigkeitsgradienten und turbulente Strömungen nutzen, um Vermeidungsverhalten auszulösen (Maddahi, et al., 2022), oder als sensorische Verhaltensbarrieren, die andere sensorische Signale wie Blasenvorhänge, Schall, Licht oder elektrische Felder nutzen (Schwevers & Adam, 2020).

Die nachfolgend beschriebene hybride Barriere (Bar Screen FishProtector) besteht aus einem klassischen Stabrechen, welcher zusätzlich mit Elektroden ausgestattet wird, die an der stromaufwärts liegenden Stirnseite der Stäbe angebracht werden (Haug, et al., 2022). Der Stabrechen wird von sich nähernden Fischen zuerst visuell wahrgenommen. Diese visuelle Wahrnehmung führt zu einer positiven Rheotaxis, die eine Schlüsselkomponente des Funktionsprinzips von hybriden Barrieren darstellt (Tutzer, et al., 2022) und es den Fischen beim Eintritt in das elektrische Feld ermöglicht, durch eine schnelle Schwimmbewegung stromaufwärts zielgerichtet zu entkommen. Die Elektroden werden durch einen Pulsgenerator mit einem gepulsten Strom (Millisekundenbereich) versorgt. Die Fische nehmen in der Annäherung das elektrische Feld wahr. Bei Überschreiten einer physiologischen Reizschwelle wird die Fluchtreaktion ausgelöst. Die verwendete Spannung beträgt hierbei maximal 80 V. Die Reaktion der Fische auf das elektrische Feld wird von mehreren Faktoren beeinflusst, unter anderem von dem Verhältnis der elektrischen Leitfähigkeiten des Wassers und des Fisches, der Fischart, der Fischgröße und der individuellen Fitness der Fische (Dolan & Miranda, 2003; Layhee, et al., 2016).

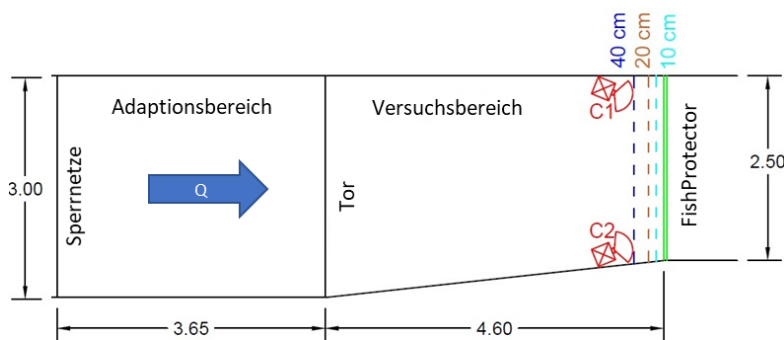
## 2 Ethohydraulische Versuche

### 2.1 Experimentelle Setups und Methodik

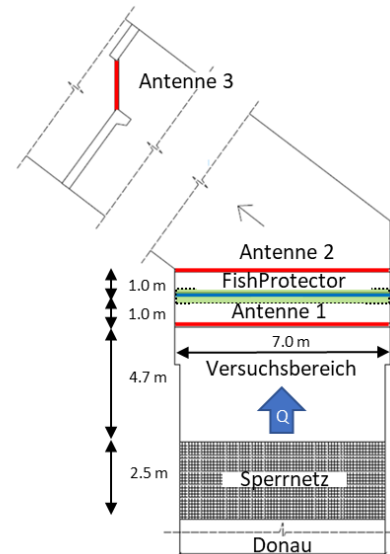
Zur Quantifizierung der Fischschutzwirkung des Bar Screen FishProtectors wurden zwei ethohydraulische Studien durchgeführt. Bei der ersten Untersuchung im Jahre 2020 im **Freilandlabor** (HyTEC-Versuchsrinne, BOKU Wien) in Lunz am See lag der Fokus auf der Auswirkung der Elektrodenabstände ( $s_e$ ) auf die Fischschutzwirkung des Systems. Dabei wurden die lichten Stababstände des Rechens von 30 mm beibehalten, während die Elektrodenabstände variiert wurden ( $s_e = 80, 120, 160$  und  $200$  mm). Der Rechen wurde orthogonal zur Hauptströmungsrichtung im Gerinne positioniert, ohne dass ein Bypass vorhanden war. Insgesamt wurden 20 Versuche durchgeführt. Dabei wurden die Versuche in der Referenzkonfiguration ohne elektrisches Feld und der Konfigurationen mit unterschiedlichen Elektrodenabständen jeweils viermal wiederholt. In jedem Durchlauf wurden ca. 55 Fischen aus 15 unterschiedlichen donaustämmigen Arten verwendet (Haug, et al., 2022). Die einstündigen Versuche fanden ausschließlich Tags statt. Zur Datenerhebung wurden zwei Unterwasserkameras verwendet (Abb. 1a). Die Gerinnebreite betrug im Bereich des Rechen 2,5 m mit einer Fließtiefe von 0,75 m, wobei die Fließgeschwindigkeit 0,23 m/s betrug.

Bei den ethohydraulischen Untersuchung im **Feldversuch** in Au an der Donau (Oberösterreich) wurde 2021 ein Rechen mit 20 mm breiten Stäben im lichten Abstand von 50 mm verwendet, wobei Elektroden auf jedem Stab angebracht waren. In der Untersuchung wurden vier Referenzversuche ohne elektrisches Feld und acht Versuche mit einer angelegten Impulsspannung durchgeführt. Die vier- bis achtstündigen Versuche fanden sowohl Tags als auch nachts statt. Die Gerinnebreite betrug im Bereich des Rechens ca. 7 m bei einer Fließtiefe von 0,80 m, wobei die Fließgeschwindigkeit im Mittel 0,43 m/s betrug. Analog zur Untersuchung im Freilandlabor wurde der Rechen orthogonal angeströmt. Ein Bypass war ebenfalls nicht vorhanden. Folglich reduzierten sich die Freiheitsgrade in der Bewegung der Fische auf ein Verbleiben im Oberwasser bzw. eine Rechenpassage. Im Rahmen des Versuchs wurden Barben (*Barbus barbus*), Brachsen (*Abramis brama*), Rotaugen (*Rutilus rutilus*) und Flussbarsche (*Perca fluviatilis*) verwendet und zur Datenerhebung mit PIT-Tags (RFID) besendert. Diese passiven Transponder ermöglichen die Detektion einer dem Individuum eindeutig zugeordnete ID-Nummer, wenn von diesem eine Empfangsantenne passiert wird (Haug, et al., 2022b). Es kamen drei dieser Antennen zur Verwendung, die jeweils 1 m stromauf und stromab des Bar Screen FishProtectors und sowie an einer mehrere Meter weiter im Unterwasser befindlichen Engstelle situiert waren (Abb. 1b).

## a) Freilandlabor 2020



## b) Feldversuche 2021



**Abb. 1** a) Versuchsanordnung im Freilandlabor 2020: HyTEC Versuchsrinne (BOKU Wien) in Lunz am See, Adaptions- und Versuchsbereich mit FishProtector und Unterwasserkameras C1 und C2 (Lageskizze) b) Versuchsanordnung der Feldversuche an der Donau-Ausleitung 2021 in Au an der Donau. Positionen der PIT-Antennen rot, FishProtector grün (Lageskizze)

Zur Quantifizierung der Barrierewirkung wurde die experimentelle Rückhalterate ( $eRR_t$ ) als der Anteil der an einer Rechenpassage innerhalb einer definierten Versuchszeit gehinderter Individuen an der Gesamtzahl der teilnehmenden Versuchsfische folgendermaßen definiert:

$$eRR_t [\%] = \frac{\sum \text{Anzahl teilnehmender Fische} - \sum \text{Rechenpassagen}_t}{\sum \text{Anzahl teilnehmender Fische}} * 100;$$

[1]

In der Auswertung der Versuche im **Freilandlabor** wurde ein Fisch als am Experiment teilnehmend gewertet, wenn er sich dem Rechen weniger als 40 cm angenähert hat (überschwimmen der 40 cm-Markierung, Abb. 1a). Dabei war die Auswertung aktionsbasiert und wurde von einem Bearbeiter visuell ausgewertet. Eine Unterscheidung der einzelnen Individuen war ebenso wie eine artspezifische und größenabhängige Auswertung daher nicht möglich.

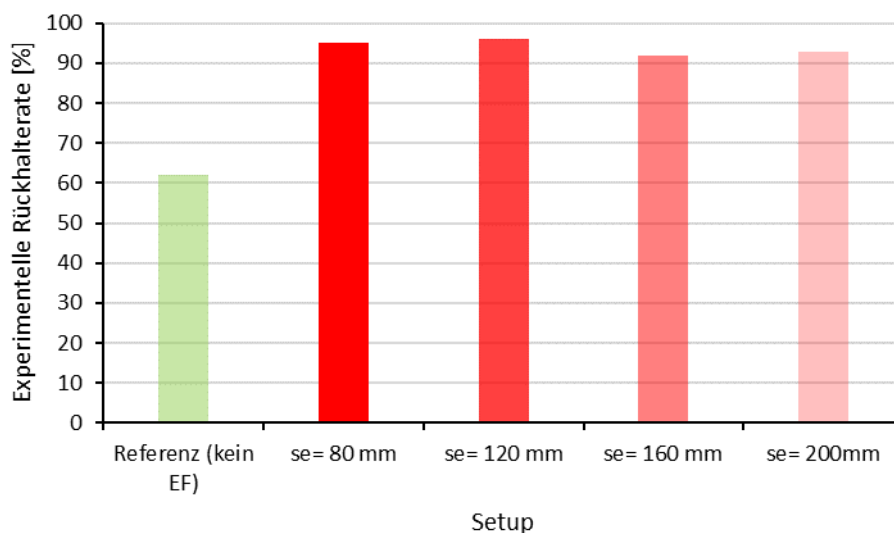
In den Untersuchungen im **Feldversuch** wurde für die Anzahl teilnehmender Fische die Anzahl der besetzten Fische verwendet, wobei eine Rechenpassage durch eine Detektion an der Antenne 2 (Unterwasser der Barriere) angezeigt wurde. Dabei konnte eine artspezifische und längenabhängige Differenzierung vorgenommen werden. Des Weiteren konnte durch die längere Versuchsdauer ein zeitlicher Verlauf der experimentellen Rückhalteraten analysiert werden (Auswertzeitraum  $t$  [min]). Um eine Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten ist die Auswertzeitraum in der vorliegenden Betrachtung auf vier Stunden begrenzt. Aufgrund mangelnder Adaptionsmöglichkeiten der Fische nach dem Besatz und den resultierenden stressbedingten Fluchtreaktionen der Versuchsfische wurde die erste Stunde der Versuchsdauer als Adaptionszeit gewertet und floss nicht in diese Auswertung ein.

## 2.2 Ergebnisse

### Freilandlabor 2020

Die manuelle Auswertung der erhobenen Videodaten ermöglichte eine genaue Untersuchung des Fischverhaltens bei Konfrontation mit der hybriden Barriere. Dabei wurde ein erstes visuelles Wahrnehmen des Rechens und ein darauffolgendes Einnehmen einer rheotaktisch positiven Orientierung deutlich (Kopf in Richtung Oberwasser). In einer weiteren vorsichtigen Annäherung zeigten die Fische im Falle der Referenzversuche (ohne elektrisches Feld) thigmotaktisches Verhalten, wobei die Barriere mit der Schwanzflosse betastet wurde. Im Anschluss kam es vermehrt zu Rechenpassagen, wobei dies mit positiver sowie negativer Rheotaxis geschah. In Versuchen mit angelegter Impulsspannung an den Elektroden und folglich elektrischem Feld im Wasser wurden bei der Annäherung in positiver Rheotaxis zumeist im Bereich von 10 – 20 cm vor dem Rechen erste Reaktionen auf das elektrische Feld deutlich, was sich in abrupten Schwimmstößen in Richtung Oberwasser manifestierte. Darauf folgten häufig idente Bewegungsmuster, bei denen im Anschluss an die erste Fluchtreaktion ein erneutes passives Driften in Richtung der Barriere mit lateralen Suchbewegungen verbunden wurde, was auf eine Leitwirkung des hybriden Systems hindeutet.

In den Referenzversuchen konnte aufgrund der mechanischen Barriere eine artübergreifende experimentelle Rückhalterate von im Schnitt 62 % erreicht werden (Abb. 2). Dies konnte durch eine Elektrifizierung der zusätzlich angebrachten Elektroden in einem Abstand von  $s_e = 80$  mm auf 95% erhöht werden. Mit einem Elektrodenabstand von  $s_e = 120$  mm wurden Rückhalteraten von 96% erreicht, was in Folge erhöhter Elektrodenabstände von  $s_e = 160$  mm und 200 mm auf 92% bzw. 93% abfiel. Somit konnte eine deutliche Verbesserung der Fischschutzwirkung an Wasserentnahmen von Speicherkraftwerken mittels der Applikation von elektrischen Feldern an den Einlaufrechen gezeigt werden.

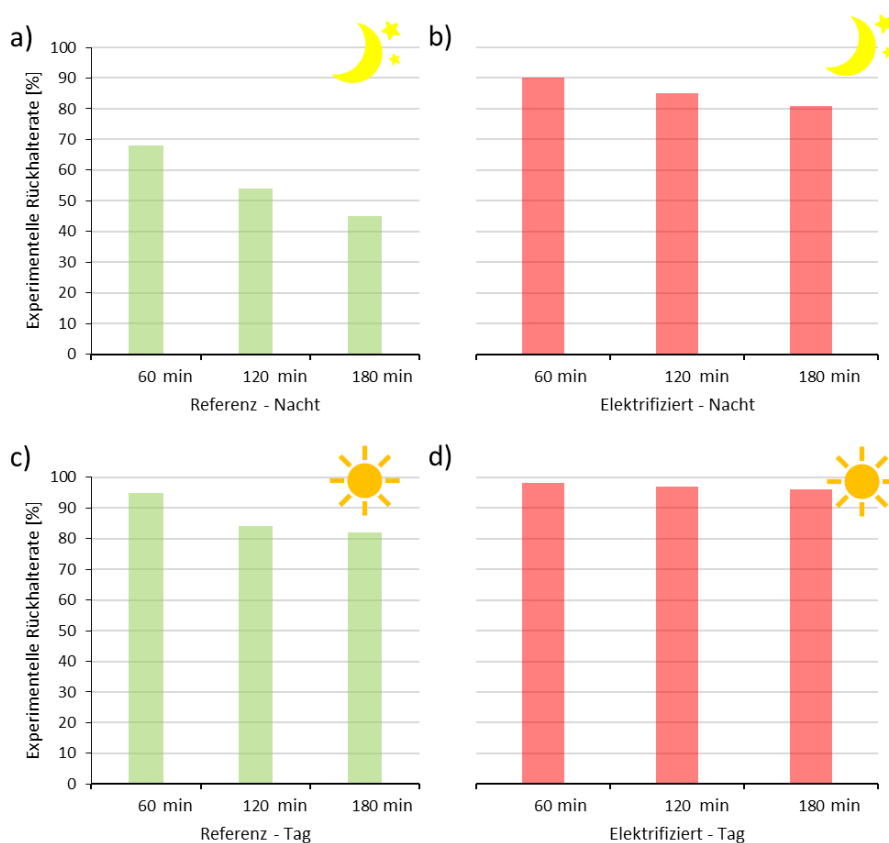


**Abb. 2** Experimentelle Rückhalteraten [%] der ethohydraulischen Untersuchung im **Freilandlabor 2020** für Referenz (kein elektrisches Feld, grün) und Setups mit elektrischem Feld und Elektrodenabständen von  $s_e = 80, 120, 160$  und  $200$  mm, adaptiert nach Haug et al. (2022).

### Feldversuche 2021

In den Feldversuchen 2021 wurden zwei der vier Referenzversuche und zwei der sechs Versuche mit elektrischem Feld während der Nacht durchgeführt. Dabei fiel zunächst auf, dass die Aktivität der Versuchsfische außer für Flussbarsche in den Nachtversuchen deutlich erhöht war.

Dies spiegelte sich auch in einer erhöhten Anzahl an Rechenpassagen wider (Abb. 3a). Dies galt für Referenzkonfiguration ohne elektrisches Feld und Versuche mit elektrischem Feld, wobei durch die Elektrifizierung eine deutliche Abnahme der Rechenpassagen erreicht werden konnte (Abb. 3b). Auch konnte durch die Verwendung der hybriden Barriere die zeitliche Abnahme der Rückhalterate reduziert werden. Somit konnte nach drei Stunden Untersuchungszeitraum die Rückhalterate von 45% (Referenz) auf 81% (elektrisches Feld) verbessert werden. In den Tagversuchen konnte dem Stabrechen eine Rückhalterate von 82% nach drei Stunden Untersuchungszeitraum attestiert werden, was durch die Verwendung eines zusätzlichen elektrischen Feldes auf 96% gesteigert werden konnte, was ebenso auf alle verwendeten Fischarten und Größenklassen gleichermaßen zutrifft (Abb. 3c und d). Die Ergebnisse heben die mögliche Verbesserung des Fischschutzes an (Pump-) Speicherkraftwerken durch die Verwendung einer hybriden Fischschutzbarriere. Der Nachweis der Verbesserung des Fischschutzes in der Nacht, bzw. unter stark reduzierten Sichtverhältnissen, stellt eine wesentliche Neuerung in der ethohydraulischen Untersuchung hybrider Fischschutzbarrieren dar.







**Abb. 3** Experimentelle Rückhalteraten [%] der **Feldversuche** an der Donau 2021 in Abhängigkeit der Auswertedauer  $t$  [min] und zeitlicher Abnahme nach ein, zwei und drei Stunden. a) artübergreifende Rückhalteraten der Referenzversuche in der Nacht, b) Versuche mit elektrischem Feld während der Nacht, c) Referenzversuche während des Tages und d) Versuche mit elektrischem Feld während des Tages jeweils während der ersten drei Stunden ohne Anfangseffekte, adaptiert nach Haug et al. (2022b).

### 3 Praktische Anwendung

#### 3.1 Montagevarianten

Die sichere, kostengünstige und dauerhafte Montage der Elektroden an den Rechenstäben stellt eine der maßgebenden Herausforderungen bei der Übertragung dieser Technologie von der Forschung in die Praxis dar. Allgemein ausführbar sind Schraubverbindungen, wobei die Elektrode vom Rechenstab elektrisch isoliert sein muss. Dies wird durch die Verwendung von geeignetem Isolationsmaterial sichergestellt. Die Schraubverbindung selbst wird durch einen mit einem Zweikomponentenkleber zusätzlich gesicherten Plastikdübel vom Stab elektrisch getrennt. Im Falle der nachträglichen Ausrüstung von Bestandsrechen können die Elektroden auf der Stabvorderseite aufgesetzt werden (Abb. 4: 1a), wobei beispielsweise eine zusätzliche Anpassung der Zahnleiste der Rechenreinigungsmaschine einen sicheren Betrieb ermöglichen kann. Soll auf eine Schraubverbindung verzichtet werden, bieten sich analoge Montageverfahren mittels Kleben an (Abb. 4: 2a und 2b). Eine noch nicht praxiserprobte Variante stellen Klemmverbindungen dar (Abb. 4: 3), die unter Umständen während laufendem Betrieb und ohne Wasserabsenkung flexibel nachgerüstet werden könnten.

Variante	1a: Schraubverbindung vorgelagert	2a: Klebeverbindung vorgelagert	2b: Klebeverbindung versenkt	3: Klemmverbindung vorgelagert
Skizze				
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dauerhafte Verbindung</li> <li>- Gute Querkraftabtragung</li> <li>- Geringe Vorbereitung der Rechenstaboberfläche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einfache Montage</li> <li>- Geringer Zeit- und Personalaufwand</li> <li>- Einfacher Austausch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dauerhafte Verbindung</li> <li>- Keine Querkraftbelastung</li> <li>- Keine Anpassung der Rechenreinigungsmaschine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einfachste Montage</li> <li>- Einfacher Elektrodenwechsel</li> <li>- Sehr geringer Zeitaufwand</li> <li>- Montage mit Tauchern</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anpassung der Zahnleiste der Rechenreinigungsmaschine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufwendigere Vorbereitung der Klebefläche</li> <li>- Anpassung der Zahnleiste der Rechenreinigungsmaschine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufwendige Fräsung</li> <li>- Hoher Zeitaufwand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geringfügig größere Hydraulische Verluste</li> <li>- Anpassung der Zahnleiste der Rechenreinigungsmaschine</li> <li>- Noch nicht praxiserprobt</li> </ul>

**Abb. 4** Verschiedene Montagevarianten der Elektroden des Bar Screen FishProtector sowie deren Vor- und Nachteile in der Montage und laufendem Betrieb.

#### 3.2 Verwendung an Pilotstandorten

Die Nachrüstung eines Bestandsrechens mit Elektroden wurde am Einlaufbauwerk eines Pilotstandortes im Jahre 2022 durchgeführt. Dabei wurden die Edelstahl Elektroden (8 mm x 8 mm) mithilfe von Edelstahlschrauben, die in zusätzlich eingeklebte Dübel eingeschraubt wurden, an den Rechenstäben befestigt (Abb. 5a). Jeder dritte Rechenstab (Stabbreite 10 mm, lichter Stababstand 30 mm) wurde mit einer Elektrode ausgestattet und die Zahnleiste der vorhandenen Rechenreinigungsmaschine dementsprechend angepasst. Die Anschlüsse der Elektroden und Kabel zum Pulsgenerator wurden im sohnahen Bereich des Rechens ausgeführt und durch ein Edelstahlblech sicher eingehaust (Abb. 5b). Die Anlage wurde im Juni 2022 installiert. Bislang wurden keine Auffälligkeiten, einbaubedingte Verlegungen oder Störungen der Rechenreinigung dokumentiert. Ein fischökologisches Monitoring zum Nachweis der Funktionsfähigkeit ist für Herbst 2023 geplant.





**Abb. 5** a) Montage der Elektroden am Bestandsrechen der Wasserfassung am Bestandsrechen am Pilotstandort, b) Anschluss der elektrischen Leitungen am unteren Ende der Stabelektroden

Am Ein-/Auslaufbauwerk eines Pumpspeichersees in Südtirol wurde im Sommer 2021 ein Fixed FishProtector installiert, welcher aus einem Stahlrahmen besteht, der mit 8 mm dicken Stahlseilen im lichten Abstand von 60 mm bespannt ist (Abb. 6). Die Seile fungieren hierbei als Elektroden und sind vom Rahmen selbst elektrisch isoliert. Auf eine Rechenreinigung kann aufgrund der hochalpinen Lage des Speichersees verzichtet werden. Der See wird vom lokalen Fischereiverein mit Forellen besetzt und entsprechend bewirtschaftet, was den Fischschutz im konkreten Fall erforderlich macht. Im Sommer 2022 wurde eine erste fischökologische Erfolgskontrolle in Form einer Langzeituntersuchung mit Unterwasserkamera durchgeführt. Erste Ergebnisse (unveröffentlicht) bestätigen die sehr gute Fischschutzwirkung. Betriebliche Probleme an der Anlage sind bislang nicht aufgetreten.



**Abb. 6:** Verwendung des Fixed FishProtector (Stahlrahmen mit 8 mm Stahlseilen als Elektroden bespannt) am Einlaufbauwerk eines Pumpspeicherkraftwerks in Südtirol.



## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Speicherkraftwerke spielen eine Schlüsselrolle in der Netzstabilität der Energiewende. Allerdings können deren Wasserfassungen im Hinblick auf die Umsetzung von Fischschutzmaßnahmen sowohl baulich als auch betrieblich eine Herausforderung darstellen. Hierbei können hybride Barrieren wie der FishProtector die Fischschutzwirkung unter Beibehaltung eines geringen betrieblichen Aufwandes erheblich verbessern. Die hybride Fischschutzbarriere wird zum einen aus der mechanischen Barriere in Form des Einlaufrechens gebildet (mit u. U. großen lichten Stababständen). Zum anderen wird durch die an der Stabvorderseite angebrachten Elektroden ein elektrisches Feld im Wasser erzeugt und somit eine zusätzliche Verhaltensbarriere gebildet. Sich annähernde Fische meiden das elektrische Feld aktiv, wodurch eine Rechenpassage und folglich ein Einschwimmen in die Turbine (oder Pumpe) effektiv vermieden wird.

Die Funktionsfähigkeit des hybriden Fischschutzes mit FishProtector-Anlagen konnte sowohl durch die Ergebnisse verschiedener ethohydraulischer Untersuchungen als auch durch die bisherigen Betriebserfahrungen an den Pilotanlagen gezeigt werden. Dabei konnte eine deutliche Verbesserung des Fischschutzes für mehrere Fischarten des österreichischen Donaeinzugsgebietes bei verschiedenen Fischlängen unter verschiedenen Randbedingungen nachgewiesen werden.

### Literatur

- Dolan, C. R.; Miranda, L. E. (2003). Immobilization Thresholds of Electrofishing Relative to Fish Size. *Transactions of the American Fisheries Society*, September, Band 132, p. 969–976.
- Haug, J.; Auer, S.; Frees, C.; Brinkmeier, B.; Tutzer, R.; Aufleger, M. (2022). Retrofitting of Existing Bar Racks with Electrodes for Fish Protection—An Experimental Study Assessing the Effectiveness for a Pilot Site. *Water*, Band 14, p. 850.
- Haug, J.; Frees, C.; Brinkmeier, B.; Aufleger, M. (2022b). Ethohydraulic Experiments Investigating Retention Rates of an Electrified Bar Rack. *Water*, Band 14, p. 4036.
- Kriewitz, C. R.; Ibayrak, I.; Flügel, D.; Bös, T.; Peter, A.; Boes, R.-M. (2015). Maßnahmen zur Gewährleistung eines schonenden Fischabstiegs an größeren mitteleuropäischen Flusskraftwerken. *Wasser Energie Luft*.
- Layhee, M. J.; Sepulveda, A.J.; Shaw, A.; Smuckall, M.; Kapperman, K.; Reyes, A. (2016). Effects of electric barrier on passage and physical condition of juvenile and adult rainbow trout. *Journal of Fish and Wildlife Management*, Band 7, p. 28–35.
- Maddahi, M.; Hagenbüchli, R.; Mendez, R.; Zaugg, C.; Boes, R. M.; Albayrak, I. (2022). Field Investigation of Hydraulics and Fish Guidance Efficiency of a Horizontal Bar Rack-Bypass System. *Water*, Band 14.
- Noatch, M. R.; Suski, C. D. (2012). Non-physical barriers to deter fish movements. *Environmental Reviews*, Band 20, p. 71–82.
- Schwevers, U.; Adam, B. (2020). *Fish Protection Technologies and Fish Ways for Downstream Migration*. Springer, Berlin.

Tutzer, R.; Röck, S.; Walde, J.; Haug, J.; Brinkmeier, B.; Aufleger, M.; Unfer, G.; Führer, S.; Zeiringer, B. (2022). A Physical and Behavioral Barrier for Enhancing Fish Downstream Migration at Hydropower Dams: The Flexible FishProtector. *Water*, Band 14, p. 378.

### **Anschrift der Verfasser**

Dipl.-Ing. Jonas Haug  
Arbeitsbereich Wasserbau, Universität Innsbruck  
Technikerstr. 13  
6020 Innsbruck, Österreich  
jonas.haug@uibk.ac.at

Dipl.-Ing. Calvin Frees  
Arbeitsbereich Wasserbau, Universität Innsbruck  
Technikerstr. 13  
6020 Innsbruck, Österreich  
calvin.frees@uibk.ac.at

DI Dr. Barbara Brinkmeier  
HyFish GmbH  
Technikerstr. 13  
6020 Innsbruck, Österreich  
barbara.brinkmeier@hyfish.at

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Aufleger  
Arbeitsbereich Wasserbau, Universität Innsbruck  
Technikerstr. 13  
6020 Innsbruck, Österreich  
markus.aufleger@uibk.ac.at