

# Fischschutz an (Pump-) Speicherkraftwerken mittels elektrifizierten Stabrechen

Bei der Wasserentnahme aus Speicherseen und Stauräumen können Fische in das Entnahmebauwerk einschwimmen und beim Durchgang durch die Turbine oder Pumpe geschädigt werden. In zunehmendem Maße wird die Notwendigkeit eines funktionierenden Fischschutzes sowohl von legislativer Seite gefordert als auch für Betreiber interessant, um das Ziel einer gewässerökologisch verträglichen Wasserkraftnutzung zu erreichen. Aufgrund der betrieblichen Anforderungen an die Rechenanlagen gestalten sich Feinrechen zum Fischschutz als schwierig. Hybride Barrieren in Form von elektrifizierten Stabrechen mit moderaten Stababständen stellen eine gut realisierbare Lösung für diese Problematik dar.

Calvin Frees, Jonas Haug, Barbara Brinkmeier, Ruben Tutzer und Markus Aufleger

## 1 Fischschutz an (Pump-) Speicherkraftwerken

In Österreich und der Schweiz wurden aufgrund der topographischen und hydrologischen Bedingungen eine Vielzahl von Talsperren bzw. Speicherseen zur Wasserkraftnutzung mit Hochdruckanlagen errichtet. Die im Alpenraum häufig errichteten Pumpspeicherkraftwerke nutzen in der Regel zwei alpine Stauseen von Speicherkraftwerken mit einigen hundert Metern Höhendifferenz zur Überführung von Schwachlastenergie in Spitzenenergie sowie zur Speicherung von fluktuierenden erneuerbaren Energien (Solar- und Windenergie). Die alpinen Speicherseen stellen aufgrund der Höhenlage und der nicht vorhandenen Konnektivität zu Gewässersystemen mit natürlichen Beständen in den meisten Fällen keinen Lebensraum von Fischen dar. Falls in diese Speicherseen keine Fische zur fischereiwirtschaftlichen Nutzung besetzt werden, erübrigt sich die Notwendigkeit eines Fischschutzes an jenen Anlagen.

In Deutschland liegen die wesentlichen Gründe für den Talsperrenbau in der Wasserversorgung, dem Hochwasserschutz und in der Niedrigwasseraufhöhung. Häufig sind an diesen Anlagen zusätzlich auch Wasserkraftanlagen angeordnet, um die künstlich entstandenen Fallhöhen energetisch zu nutzen.

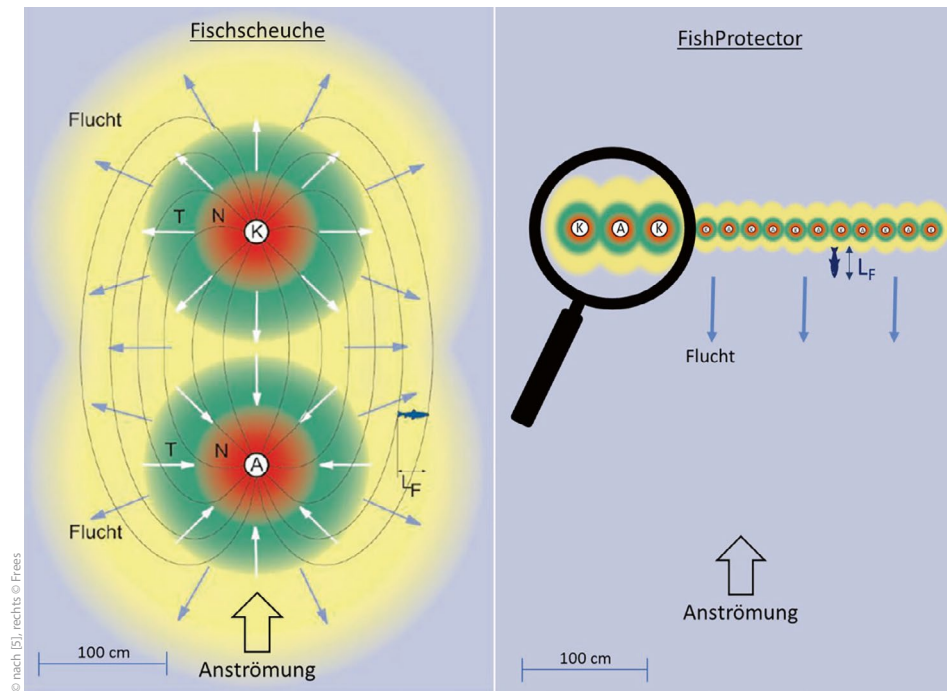
### Kompakt

- Betriebliche Anforderungen erschweren die Umsetzung von Fischschutzmaßnahmen an Entnahmebauwerken von (Pump-) Speicherkraftwerken.
- In den durchgeführten fischökologischen Experimenten zeigten elektrifizierte Stabrechen eine deutlich erhöhte Fischschutzwirkung.
- Hybride Barrieren stellen eine gut realisierbare Lösung für die Problematik des Fischschutzes an Entnahmebauwerken dar.

Diese Speicherkraftwerke besitzen in Deutschland eine Gesamtleistung von ca. 335 MW [1], [2]. Des Weiteren gibt es in Deutschland 31 Pumpspeicherkraftwerke mit einer Gesamtleistung von ca. 6 300 MW, welche die gleiche Funktion besitzen wie die alpinen Anlagen der südlichen Nachbarländer [1], [2]. Der Großteil der in Deutschland typischen Mittelgebirgs-Pumpspeicherkraftwerke verfügt zusätzlich zu einem Unterbecken über ein künstliches Oberbecken mit einem Inhalt von wenigen Millionen Kubikmetern, welches auf einem benachbarten Höhenrücken errichtet wurde. Analog zur Wasserentnahme von Speicherkraftwerken werden für die Wasserentnahme von Pumpspeicherkraftwerken im Pumpbetrieb ebenfalls Stauräume an Flussläufen als Unterbecken genutzt. Aufgrund der Anbindung der zur Wasserentnahme genutzten Speicherseen und Stauräume an natürliche Fließgewässersysteme stellen diese oftmals einen Lebensraum für Fische dar.

Bei der Wasserentnahme aus Speicherseen und Stauräumen zur Energiegewinnung können Fische in das Entnahmebauwerk einschwimmen und in Folge beim Turbinendurchgang geschädigt werden. Bei Pumpspeicherkraftwerken liegt das größte Schädigungspotenzial bei der Wasserentnahme im Pumpbetrieb durch das am Unterbecken angeordnete Ein- bzw. Auslaufbauwerk vor. In der Planungsphase von neu zu errichtenden Anlagen kann es deshalb vorkommen, dass von legislativer Seite, Interessensvertretern oder Fischereiverbänden die Ergreifung von Fischschutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik gefordert werden [3]. Dies kann unter anderem dann der Fall sein, wenn bei der Wasserentnahme die Möglichkeit einer Schädigung von nach der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie; 92/43/EWG) geschützten Fischarten besteht. Es wächst jedoch auch das Interesse seitens der Betreiber, an ihren Anlagen Maßnahmen zum Fischschutz im Sinne einer gewässerökologisch verträglichen Wasserkraftnutzung zu ergreifen.

Die Wasserentnahme aus Speicherseen erfolgt häufig durch tief unter der Wasseroberfläche liegende Wasserentnahmebau-



**Bild 1:** Darstellung des elektrischen Feldes einer klassischen Fischeiche exemplarisch für ein Elektrodenpaar (links) (verändert nach DWA 2005) und des FishProtector-Systems (rechts)

werke, welche durch eine trichterförmige Aufweitung des Triebwasserstollens zur Reduktion der Anströmgeschwindigkeiten und der hydraulischen Verluste gekennzeichnet sein können. Die Rechenanlagen dieser Bauwerke können beträchtliche Größen erreichen und müssen im Sinne der betrieblichen Anforderungen aufgrund der schweren Zugänglichkeit weitestgehend wartungsfrei ausgeführt werden. In Abhängigkeit der Anströmgeschwindigkeiten sowie der Wassertiefe müssen diese Rechenanlagen zudem auf große statische Belastungen ausgelegt werden [4].

Die Problemstellung des Fischschutzes an Wasserentnahmen von (Pump-) Speicherkraftwerken unterscheidet sich bauartbedingt grundlegend von der an Flusskraftwerken. Wanderfischarten werden durch Flusskraftwerke an der stromabwärts gerichteten Wanderung gehindert und sollten durch geeignete (bauliche) Maßnahmen sicher ins Unterwasser überführt werden. An den Entnahmebauwerken von (Pump-) Speicherkraftwerken gilt es hingegen, die Fische ausschließlich vom Einschwimmen in das Entnahmebauwerk abzuhalten. In von Fließgewässersystemen abgeschlossenen Speicherseen ist im Gegensatz zu Stauräumen von Flusswasserkraftwerken davon auszugehen, dass sich stationäre Fischarten einem Wasserentnahmebauwerk etwa auf Nahrungssuche und ohne die Absicht einer Abwanderung nähern.

An Entnahmebauwerken von Speicherkraftwerken sind meist Treibgut- und Turbinenschutzrechen installiert, deren mechanische Barrierewirkung gegenüber Fischen mit abnehmender lichter Weite der Stäbe aufgrund von erhöhten visuellen sowie hydraulisch taktilen Reizen zunimmt. Um mittels mechanischer Barrieren einen physischen Fischschutz realisieren zu können, müssten in Abhängigkeit der Größe der vorkommenden Fischarten sehr geringe lichte Weiten zum Einsatz kommen. Diese kommen jedoch häufig aufgrund der oben genannten betrieblichen Anforderungen an Rechen von für die Wasserentnahme

von (Pump-) Speicherkraftwerken nicht in Frage [3]. Elektrifizierte Stabrechen im Sinne einer hybriden Barriere stellen eine gut realisierbare Lösung dar, welche die Vorteile eines konventionellen Stabrechens mit einer hohen Fischschutzwirkung verbindet.

## 2 Die Wirkungsweise von hybriden Barrieren

An einzelnen Entnahmebauwerken von (Pump-) Speicherkraftwerken sind klassische elektrische Fischeichenanlagen installiert, die mittels eines elektrischen Feldes im Anströmbereich Fische von einer Rechenpassage abhalten sollen. Elektrische Fischeichen (auch elektrische Verhaltensbarrieren) werden in unterschiedlichster Form bereits seit mehr als 80 Jahren zum Abhalten von Fischen von gefährlichen Anlagenbereichen eingesetzt, wobei unterschiedliche Erkenntnisse zu deren Wirksamkeit vorliegen [5]. Die Reaktion eines Fisches in einem elektrischen Feld wird von einer Vielzahl an Parametern beeinflusst, zu denen die Pulsform, die Leitfähigkeit des Wassers und des Fisches, die Fischart und Länge sowie die Form und Ausdehnung des elektrischen Feldes zählen [6]. All diese Faktoren beeinflussen letztlich die Potentialdifferenz, die ein Fisch in Abhängigkeit seiner Körperabmessung und -ausrichtung im elektrischen Feld erfährt und welche maßgebend für die Überschreitung der physiologischen Reizschwelle ist. Gängige elektrische Fischeichen mit Elektrodenabständen von bis zu 200 cm bilden ein elektrisches Feld mit großer räumlicher Ausdehnung aus, in welchem die Reaktion eines Fisches in Abhängigkeit der Feldstärke bzw. des Abstandes zur Elektrode drei Wirkungsweisen zugeordnet werden kann (**Bild 1 links**) [5]: Im Nahbereich der Elektroden kann es aufgrund der hohen Potentialdifferenz zur Galvanonarkose (Lähmung des Fisches) kommen [5]-[7]. In größerem Abstand zur Elektrode befindet

sich der Bereich der Galvanotaxis (unfreiwillige Schwimmbewegung hin zur Anode) [5], [7]. Im Fernbereich der Elektroden führt die geringere Feldstärke zur Fluchtreaktion der Fische [5], [7]. Bei klassischen elektrischen Fischescheuchen, an denen Bereiche mit hoher Feldstärke in entsprechender Ausdehnung vorhanden sind, können Fische unter Umständen ungewollt durch die oben beschriebenen Effekte der Galvanotaxis oder Galvanonarkose in die Wasserentnahme gelangen [6].

Im Gegensatz zu klassischen Fischescheuchen stellt das von der Universität Innsbruck und der Spin-off-Firma HyFish GmbH entwickelte Konzept des FishProtectors eine hybride Barriere dar. Dies bedeutet, dass die Fischschutzwirkung dieses Systems durch die Kombination einer mechanischen Barriere und eines elektrischen Feldes erreicht wird [8]. Die geringen Elektrodenabstände ermöglichen die Verwendung einer, im Vergleich zu klassischen elektrischen Fischescheuchen, deutlich geringeren Spannung (<80 Volt) im Kleinspannungsbereich. Es bilden sich somit keine großräumigen Bereiche mit hoher elektrischer Feldstärke aus, in denen es bei einschwimmenden Fischen zur Galvanotaxis oder gar Galvanonarkose kommen kann (**Bild 1 rechts**). Anstatt dessen nutzt das System das natürliche Verhaltensmuster, welches Fische bei einer Annäherung an eine mechanische Barriere zeigen [9]. Die Wahrnehmung der von der Barriere ausgehenden visuellen und hydraulisch taktilen Reize führt zur Vermeidungsreaktion und in weiterer Folge zur Ausrichtung des Fisches gegen die Anströmung vor der Barriere (positive Rheotaxis) [10]. Bei einer weiteren Annäherung treten die Fische mit der Schwanzflosse voraus in das kleinräumige (<25 cm) elektrische Feld ein, wobei es bei Überschreitung der physiologischen Reizschwelle zu einer gegen die Anströmung gerichteten Flucht der Fische stromaufwärts kommt [11]. Bei dieser entfernt sich der Fisch mit einer beschleunigten Schwimmbewegung aus dem Einflussbereich des elektrischen Feldes, wodurch der Fisch bei einer Recheninteraktion jeweils nur für einen kurzen Zeitraum eine geringe Potenzialdifferenz abgreift.

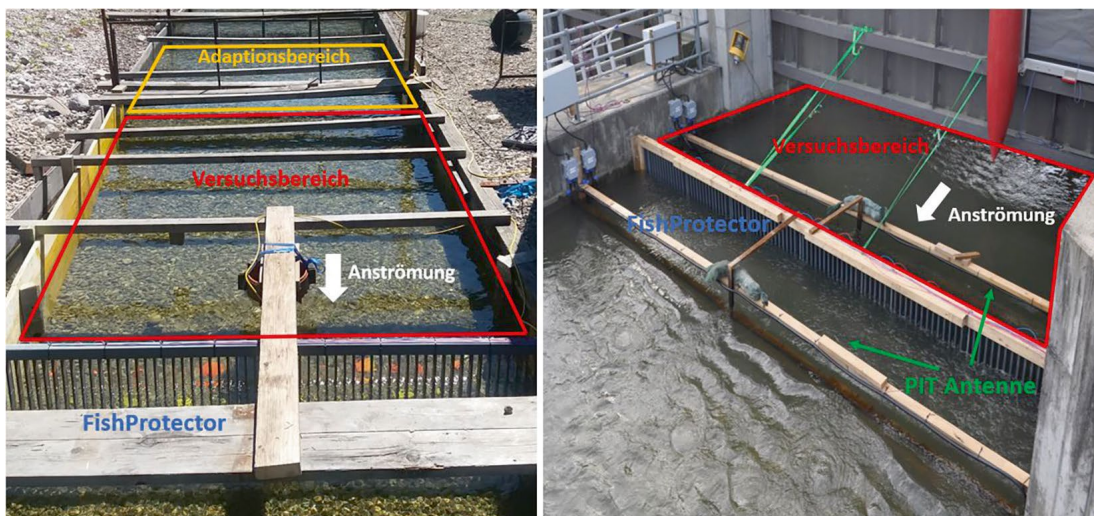
### 3 Fischökologische Untersuchungen

#### 3.1 Methodik

Zur Untersuchung der Barrierewirkung des elektrifizierten Stabrechens (Bar Screen FishProtector) wurden mehrere fischökologische Experimente durchgeführt; darunter die Experimente in Lunz am See (2020) und Au an der Donau (2021), über die in diesem Kapitel ein Überblick gegeben wird. In beiden Experimenten wurden Fische in ein Gerinne eingesetzt, welches stromabwärts durch ein unskaliertes Modell des (elektrifizierten) Stabrechens ohne Anordnung eines Bypasses begrenzt wurde (**Bild 2**). Im Verlauf der Experimente wurden die Recheninteraktionen der Fische vor dem (elektrifizierten) Stabrechen aufgezeichnet und dessen Rückhaltewirkung analysiert.

Die ersten fischökologischen Versuche mit elektrifizierten Stabrechen wurden 2020 in der HyTEC-Versuchsanlage der Universität für Bodenkultur Wien in Lunz am See durchgeführt. Im Gegensatz zu bereits vorher realisierten Experimenten [8], [12] sollten in dieser Untersuchung insbesondere auch größere lichte Stabweiten von 70 mm und 150 mm betrachtet werden. Diese Stabweiten kommen in Hinblick auf die betrieblichen Anforderungen für den Einsatz an (Pump-) Speicherkraftwerken in Frage. Bei den im Oktober 2021 in Au an der Donau durchgeführten Versuchen wurde erstmals die Rückhaltewirkung eines deutlich größeren Rechens mit 7 m Breite untersucht, wobei zusätzlich eine größere Anzahl von Fischen verwendet wurde und darüber hinaus längere Versuchsdauern zu unterschiedlichen Tages- und Nachtzeiten betrachtet wurden. Diese Untersuchung stellt somit eine praxisnähere Vertiefung der ersten Versuchsreihe in Lunz am See dar und hatte das Ziel, die Randbedingungen an einem realen Standort einer Wasserentnahme besser abzubilden. Trotz einer grundsätzlichen Ähnlichkeit der Untersuchungen, unterscheidet sich die Methodik der beiden Versuche maßgeblich hinsichtlich Versuchsaufbau, Versuchszeit, Dauer und Auswertung (**Tabelle 1**).

Beim Besatz von Versuchsfischen in beengten räumlichen Verhältnissen stromaufwärts einer Barriere (Stabrechen) stellt



**Bild 2:** Versuchsaufbau der durchgeführten fischökologischen Versuche in Lunz am See 2020 (links) und Au an der Donau 2021 (rechts)



**Tabelle 1:** Zusammenfassung der Methodik der durchgeführten fischökologischen Experimente in Lunz am See (2020) und Au an der Donau (2021) zur Untersuchung der Rückhaltewirkung des elektrifizierten Stabrechens (Bar Screen FishProtector) (Quelle: Frees)

Parameter		Lunz 2020	Au 2021
Stabrechen	Länge	2,5 m	7,0 m
	Höhe	0,7 m	0,8 m
	lichter Stababstand	30 mm, 70 mm, 150 mm	50 mm
	Spannung	0 V, +/- 40 V, 80 V	0 V, +/- 40 V, 80 V
Versuchsbereich	Länge	7,4 m	4,7 m
	Breite	2,5 m	7 m
	Fließtiefe	0,6 m	0,7 m
	Fließgeschwindigkeit	0,47 m/s	0,43 m/s
Versuchsfische	Fischspezies	Bachforelle ( <i>Salmo trutta fario</i> ) Aitel ( <i>Squalius cephalus</i> ) Äsche ( <i>Thymallus thymallus</i> )	Barbe ( <i>Barbus barbus</i> ) Brachse ( <i>Abramis brama</i> ) Rotauge ( <i>Rutilus rutilus</i> )
	Individuen pro Versuch	45	90
	Individuen pro Spezies	15	30
	Fische gesamt	675	1 187
Versuchsablauf	Versuchsdauer	60 min	180 min
	Tageszeit	tags	tags und nachts
	Anzahl Versuchsserien	4	4
	Versuche pro Versuchsserie	3	2-6
	Methodik Auswertung	Videoanalyse	PIT-Tags

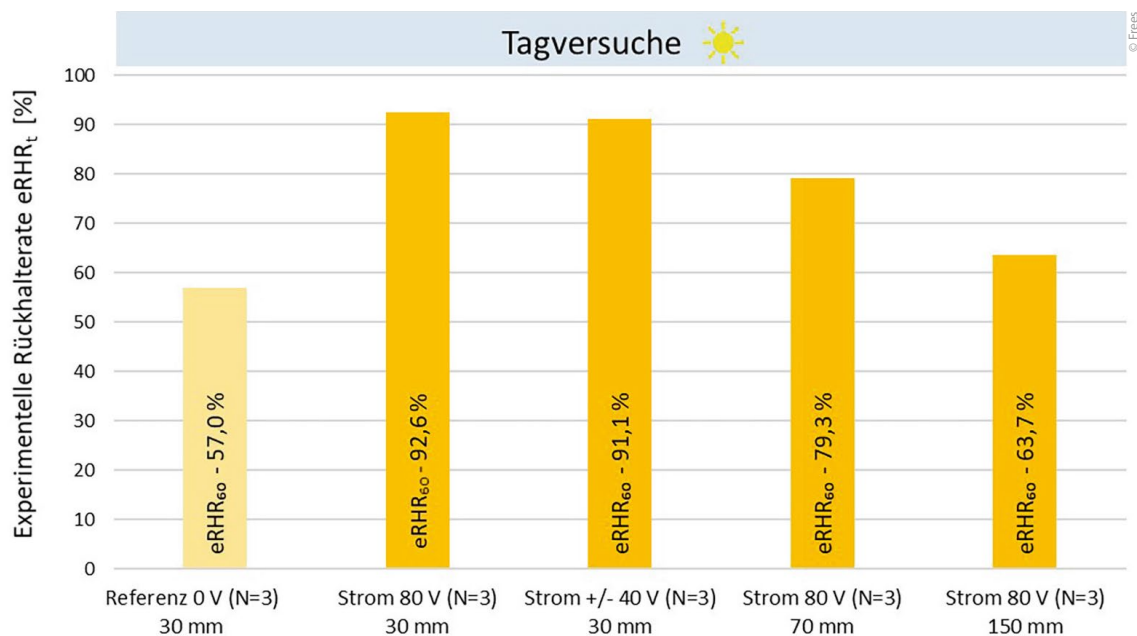
die Rückhaltewirkung eine zeitabhängige Variable dar. Zur Quantifizierung der zeitabhängigen Barrierewirkung unter Berücksichtigung der Versuchsdauer wurde die experimentelle Rückhalterate  $eRHR_t$  definiert:

$$eRHR_t [\%] = \frac{\Sigma \text{Fische, eingesetzt} - (\Sigma \text{Rechenpassagen})_t}{\Sigma \text{Fische, eingesetzt}} * 100$$

Die experimentelle Rückhalterate gibt den Prozentsatz der eingesetzten Fische an, welche den Rechen innerhalb eines definierten Zeitraumes  $t$  nicht passiert haben.

### 3.2 Ergebnisse

Bei den 2020 durchgeführten Untersuchungen in Lunz am See wurden je Versuchskonfiguration drei Versuche durchgeführt ( $N = 3$ ) und die nachfolgend dargestellten experimentellen Rückhalte als Mittelwert der einzelnen Versuche gebildet. Die experimentelle Rückhalterate  $eRHR_{60}$  für die Versuchsdauer von 60 min in der nicht-elektrifizierten Rechenkonfiguration (Referenz) mit 30 mm lichter Stabweite betrug 57,0 % (**Bild 3**). Durch die Elektrifizierung des Stabrechens mit einer Spannung von 80 V konnte diese bei 30 mm lichter Stabweite auf 92,6 % gesteigert werden.



**Bild 3:** Mittelwerte der experimentelle Rückhalteraten  $eRHR_t$  der Versuchsreihen in Lunz 2020 (Anzahl der Versuche  $N = 3$ ) in den untersuchten Konfigurationen von Spannung und Stababstand für die Versuchsdauer  $t = 60$  min

Eine ähnlich hohe Rückhalterate von 91,1 % wurde durch die Elektrifizierung mit der hinsichtlich Korrosion optimierten Pulsform von +40/-40 V erzielt. In der Rechenkonfiguration mit 70 mm lichter Stabweite und unter Verwendung von 80 V reduzierte sich die experimentelle Rückhalterate  $eRHR_{60}$  auf 79,3 %. Bei einer weiteren Vergrößerung der lichten Stabweite auf 150 mm verringerte sich dieser Wert auf 63,7 %. Die Rückhaltewirkung des elektrifizierten Stabrechens lag somit selbst in Konfigurationen mit deutlich größeren Stababständen über der des nicht elektrifizierten Stabrechens mit 30 mm lichte Stababstand.

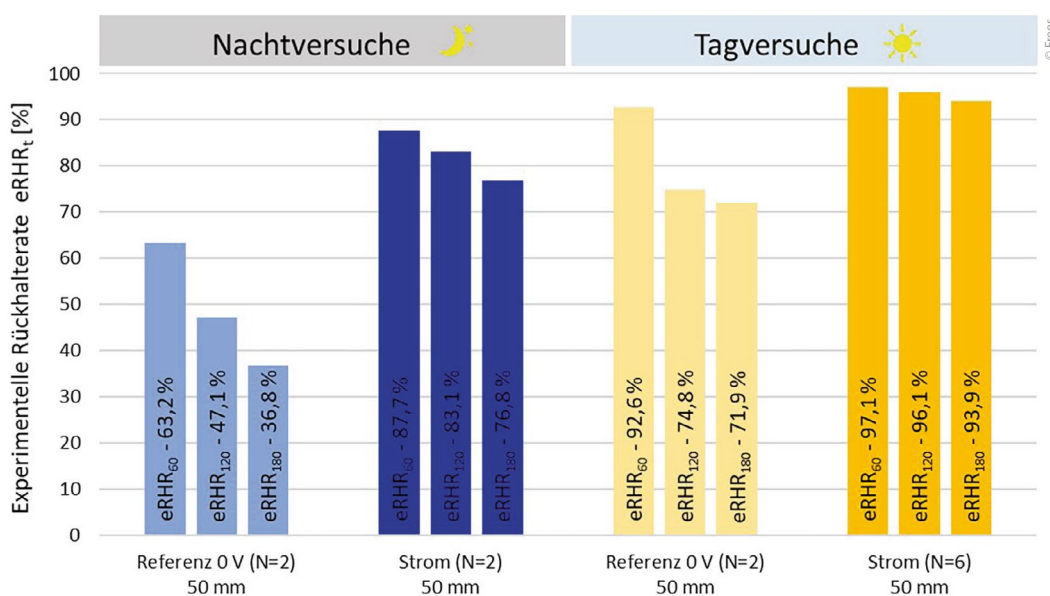
In der Untersuchung in Au an der Donau 2021 wurden die Experimente im Gegensatz zu den bereits beschriebenen Versuchen bei gleichbleibender lichter Weite (50 mm) und einer Versuchsdauer von 180 min sowohl tags als auch nachts durchgeführt. Um Anfangseffekten aufgrund von Stress durch den Besatz und mangelnder Adaptionsmöglichkeiten entgegenzuwirken, wurde der Auswertzeitraum erst 60 min nach dem Besatz der Fische gestartet. Die Werte der experimentellen Rückhalterate für die Versuchsdauer 60 min, 120 min und 180 min der Tag- und Nachtversuche in den Konfigurationen „Strom“ und „Referenz“ (0 V) sind in **Bild 4** dargestellt. Aufgrund der geringen Unterschiede in den Ergebnissen zwischen den durchgeführten Versuchen mit unterschiedlichem Spannungsniveaus von 40 V bis 80 V wurden diese in **Bild 4** unter der Bezeichnung „Strom“ zusammengefasst. In den Versuchen zeigte sich, dass die Rückhaltewirkung aller Parameterkonfigurationen mit der Zeit abnimmt. Durch die Elektrifizierung des Stabrechens wird dieser Effekt reduziert und die experimentelle Rückhalte verbleibt über den zeitlichen Verlauf auf einem höheren Niveau. Bezogen auf 3 Stunden Versuchsdauer ( $t = 180$  min) konnte bei den Nachtversuchen die experimentelle Rückhalterate  $eRHR_{180}$  durch die Elektrifizierung von 36,8 % auf 76,8 % gesteigert werden. Bei den Tagversuchen liegt der Wert

der  $eRHR_{180}$  des elektrifizierten Systems mit 93,3 % um 22,0 % höher als bei den nicht-elektrifizierten Referenzversuchen. Im Allgemeinen zeigen die Ergebnisse eine starke Abhängigkeit von der Tageszeit. So ist die experimentelle Rückhalterate  $eRHR_{180}$  des nicht-elektrifizierten Rechens nachts bezogen auf 3 Stunden Versuchsdauer ( $t = 180$  min) mit 36,8 % nur ca. halb so hoch als tagsüber (71,9 %). Dieser Effekt einer niedrigeren Barrierewirkung bei Nacht ist auch bei dem elektrifizierten Rechen ersichtlich, wobei der Effekt mit einem Unterschied von 17,1 % (über 3 h Versuchsdauer) weniger stark ausgeprägt ist als bei dem nicht-elektrifizierten Rechen.

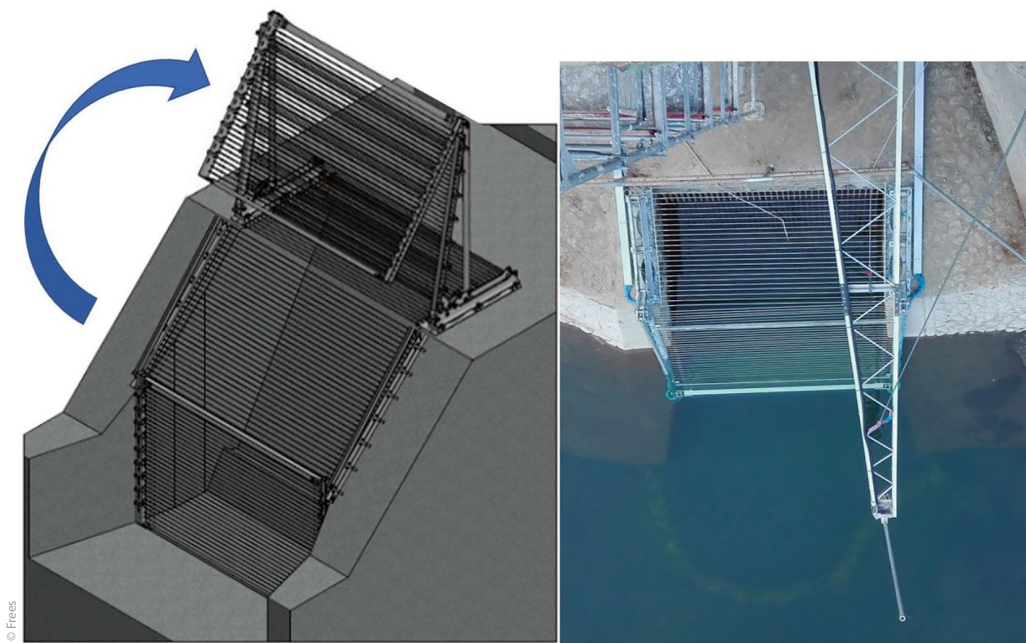
### 3.3 Diskussion

Die fischökologischen Untersuchungen in Lunz am See hatten das Ziel, die grundsätzliche Rückhaltewirkung eines elektrifizierten Stabrechens (Bar Screen FishProtector) in Abhängigkeit der lichten Stabweite über eine Versuchsdauer von 60 min zu untersuchen. In diesen konnte gezeigt werden, dass die Rückhaltewirkung eines elektrifizierten Stabrechens mit 70 mm lichter Weite deutlich über der eines Rechens mit 30 mm lichter Weite ohne Elektrifizierung liegt.

Die darauffolgende vertiefende Untersuchung in Au an der Donau sollte die Fischschutzwirkung eines elektrifizierten Stabrechens unter den Randbedingungen typischer Ein- und Auslaufbauwerke von (Pump-) Speicherkraftwerken überprüfen. Hierbei wurden sowohl die Geometrie des Versuchsbereichs deutlich vergrößert als auch die Randbedingungen an realen Standorten durch die Durchführung von Tag- und Nachtversuchen besser abgebildet. Es konnte gezeigt werden, dass auch in größerem Maßstab durch die Elektrifizierung des Rechens sowohl tagsüber als auch nachts eine deutliche Steigerung der Fischschutzwirkung möglich ist. Die niedrigeren Werte der experimentellen Rückhalterate  $eRHR_t$  aller Rechenkonfigura-



**Bild 4:** Mittelwerte der experimentellen Rückhalteraten  $eRHR_t$  [%] des in Au an der Donau (2021) untersuchten Stabrechens mit 50 mm Stababstand und den Konfigurationen ‚Strom‘ und ‚Referenz‘ (0 V) für die Versuchsdauern  $t$  ( $t = 60, 120, 180$  min) und unterteilt nach der Zeit der Versuchsdurchführung (Tag/Nacht)



**Bild 5:** Skizze (links) und Foto (rechts) der Pilotanlage des FishProtector-Systems an einem Entnahmehausbauwerk eines Pumpspeicherkraftwerks im Ultental (Italien)

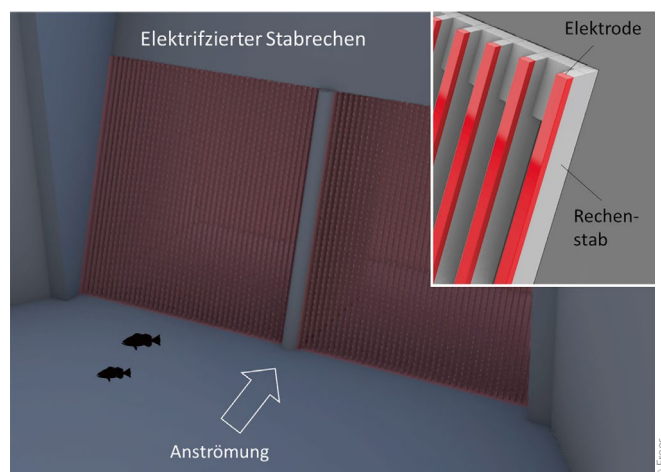
tionen in den Nachtversuchen im Vergleich zu den Tagversuchen könnten sowohl auf die verringerte Sichtbarkeit der Barriere für die Fische als auch auf die tendenziell erhöhte Fischaktivität bei Nacht zurückzuführen sein.

Der Einfluss von visuellen Reizen auf die Barrierewirkung elektrischer Verhaltensbarrieren wurde bereits von Haddering et. al. [13] nachgewiesen. In beiden Untersuchungen wurden Fische in einen räumlich beengten Versuchsbereich eingesetzt, wobei in beiden Versuchsaufbauten kein Bypass für einen Fischabstieg im Versuchsaufbau vorhanden war. Die daraus resultierende eingeschränkte Bewegungsfreiheit der Fische und die entsprechende Besatzdichte erhöhen tendenziell die Motivation für eine Rechenpassage und sind daher als Faktoren bei einer Übertragung der Rückhaltewirkung auf reale Standorte von Entnahmehausbauwerken zu berücksichtigen. Die geringe Fließtiefe und die Nähe zum freien Wasserspiegel im Versuchsaufbau verglichen zur Situation an realen Entnahmehausbauwerken sind als Modell-effekte zu bewerten und bei einer Übertragung der Ergebnisse ebenfalls miteinzubeziehen. Eine ausführlichere Beschreibung und Diskussion der bei den Experimenten in Au an der Donau gewonnenen Daten und Erkenntnisse finden sich im Beitrag von Haug et. al. [14].

#### 4 Pilotanlage Weißbrunnsee

Der Weißbrunnsee im Ultental (Italien) ist Teil eines Systems von Wasserkraftwerken und Stauseen der Alperia AG. Durch das Ein- und Auslaufbauwerk wird der Stausee je nach Betriebszustand befüllt oder entleert. Der See wird gleichzeitig durch den Besatz von Salmoniden fischereiwirtschaftlich genutzt. Um ein Einschwimmen dieser Fische in das Entnahmehausbauwerk zu verhindern, wurde im Jahr 2021 ein hybrides Fischschutzsystem vor dem bestehenden Rechen installiert (**Bild 5**). Dieses Fischschutzsystem besteht aus drei klappbaren Rahmensegmenten

mit gesamt ca. 15 m<sup>2</sup> Fläche, die mit horizontalen Drahtseilen (8 mm Durchmesser) in einem lichten Seilabstand von 60 mm gespannt sind. Die Drahtseile werden mit einer Spannung von 80 V elektrifiziert. Aufgrund der ähnlichen Charakteristika dieses Systems hinsichtlich Elektrodenabstand und Elektrifizierung entspricht das elektrische Feld nahezu dem des in Kapitel 3 beschriebenen elektrifizierten Stabrechens. Das Monitoring der Barrierewirkung erfolgte mithilfe einer Unterwasserkamera (HYDRO CAM). Diese wurde in geeigneter Distanz vor dem Rechen situiert und zeichnete die Recheninteraktionen der Fische über einen Zeitraum von mehreren Monaten auf. Eine erste vorläufige Analyse des Monitorings zeigt eine positive Wirksamkeit des Fischschutzsystems an dieser Anlage. Endgültige Aussagen zu Betrieb, Wartung und Effektivität der Anlage können jedoch erst nach mehrjährigem Betrieb getroffen werden.



**Bild 6:** Schemaskizze eines Einlaufbauwerks mit elektrifiziertem Stabrechen (Bar Screen FishProtector)

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Entnahmehauwerke von (Pump-) Speicherkraftwerken stellen aufgrund baulicher und betrieblicher Anforderungen eine Herausforderung für die Umsetzung von Fischschutzmaßnahmen dar. Hybride Barrieren wie der FishProtector, bestehend aus einer mechanischen Barriere mit moderaten Stababständen und einem elektrischen Feld im Niederspannungsbereich, bieten das Potenzial, die Fischschutzwirkung an diesen Bauwerken unter Beibehaltung eines geringen betrieblichen Aufwandes erheblich zu verbessern (Bild 6). Dies spiegelt sich sowohl in den Ergebnissen der durchgeführten fischökologischen Untersuchungen als auch in den gesammelten Betriebserfahrungen an der Pilotanlage am Weißbrunnsee wider. Weitere Erfahrungen mit dieser neuen Fischschutztechnologie werden folgen. Im Sommer 2022 wurde zur Herstellung eines FishProtector-Systems die Installation von Elektroden an einem Bestandsrechen im Einlauf des Kühlwassersystems realisiert. Zudem ist der Einsatz eines hybriden Fischschutzsystems am Ein- und Auslaufbauwerk des Unterbeckens eines Pumpspeicherkraftwerkes in Deutschland vorgesehen.

### Dank

Die Untersuchung in Au an der Donau (2021) wurde im Rahmen einer Forschungskoooperation mit der Verbund Hydropower GmbH und auf dem Gelände der Machlanddamm GmbH durchgeführt. Das Büro ezb (Eberstaller-Zauner-Büro) war für die Tierversuchs-Anträge, die Beschaffung der Versuchsfische, die Vorbereitung der Hälterungen sowie die Installation und Überprüfung der PIT-Tag-Zähleinrichtung verantwortlich. Vielen Dank für die gute Zusammenarbeit.

### Autoren

Dipl.-Ing. Calvin Frees

Dipl.-Ing. Jonas Haug

Dipl.-Ing. Ruben Tutzer

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Aufleger

Arbeitsbereich Wasserbau, Universität Innsbruck

Technikerstr. 13

6020 Innsbruck, Österreich

calvin.frees@uibk.ac.at

jonas.haug@uibk.ac.at

ruben.tutzer@uibk.ac.at

markus.aufleger@uibk.ac.at

DI Dr. Barbara Brinkmeier

HyFish GmbH

Technikerstr. 13

6020 Innsbruck, Österreich

barbara.brinkmeier@hyfish.at

### Literatur

- [1] Prognos AG (Hrsg.): Bedeutung der internationalen Wasserkraft-Speicherung für die Energiewende. 2012.
- [2] Heimerl, S.; Kohler, B.: Aktueller Stand der Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland. In: WasserWirtschaft 107 (2017), Heft 10, S. 77-79.
- [3] Schwevers, U.; Adam, B.: Verfügbare Techniken des Fischschutzes an Pumpspeicherkraftwerken. In: WasserWirtschaft 106 (2016), Heft 12, S. 39-44.

- [4] Johnson, P. L.: Hydro-Power Intake Design Considerations. In: Journal of Hydraulic Engineering 114 (1988), Heft 6, S. 651-661.
- [5] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.): Fischschutz und Fischabstiegsanlagen. In: DWA-Themen, 2. A., 2005.
- [6] Beaumont, W. R. C.: Electricity in Fish Research and Management: Theory and Practice. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016.
- [7] Vibert, R.: Neurophysiology of Electric Fishing. In: Transaction of the American Fisheries Society 92 (1963), Issue 3.
- [8] Haug, J. et al.: Hybride Barrieren zur Optimierung von Stabrechen zum Fischschutz. In: WasserWirtschaft 111 (2021), Heft 9-10, S. 48-53.
- [9] Tutzer, R. et al.: Ethohydraulic experiments on the fish protection potential of the hybrid system FishProtector at hydropower plants. In: Ecological Engineering 171 (2021).
- [10] Ebel, G.: Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen: Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. 4. A. Halle (Saale): Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie, 2013.
- [11] Tutzer, R., et al.: Der Elektro-Seilrechen als integrales Fischschutzkonzept. In: WasserWirtschaft 109 (2019), Heft 2-3, S. 36-40.
- [12] Haug, J. et al.: Retrofitting of Existing Bar Racks with Electrodes for Fish Protection - An Experimental Study Assessing the Effectiveness for a Pilot Site. In: Water 14 (2022), Nr. 6 (doi.org/10.3390/w14060850).
- [13] Haddering, R. H.; Jansen, H.: Electric fish screen experiments under laboratory and field conditions. In: Cowx, I. G. (Hrsg.): Developments in Electric Fishing. Hoboken: Blackwell Scientific Publications, 1990, S. 266-280.
- [14] Haug, J. et al.: Ethohydraulic Experiments Investigating Fish Retention Rates of an Electrified Bar Rack. In: Water 14 (2022), Nr. 24 (doi.org/10.3390/w14244036).

Calvin Frees, Jonas Haug, Barbara Brinkmeier, Ruben Tutzer and Markus Aufleger

#### Fish protection at reservoir intakes with electrified bar screens

Many reservoirs of storage hydropower plants and pumped storage hydropower plants are connected to natural river systems and thus are often inhabited by fish. When water is withdrawn from these reservoirs to generate hydropower, fish can get entrained into the water intake structures and the head-race tunnel. The necessity of adequate measures to minimize fish mortality at hydropower plants is increasingly demanded in legislative procedures when new hydropower plants are constructed. Furthermore, many operators of hydropower plants develop an interest in this topic to realize an ecologically improved generation of hydropower and improve their image. Due to the relatively high head of (pumped) storage hydropower plants the resulting fish injuries from a turbine passage can be expected to be severe or lethal. The technical requirements of the intake structures are often difficult to match by using bar racks with small bar clearances to physically prevent fish from a passage. Electrified bar racks with moderate bar clearances are an option to synergize low maintenance effort and low hydraulic losses with good fish protection.

#### Hinweis

Dieser Beitrag steht im Zusammenhang mit dem „Studienpreis Wasser- und Talsperrenbau“, der gemeinsam durch das Deutsche Talsperren-Komitee e. V. (DTK) und die Fachzeitschrift WasserWirtschaft ausgelobt und anlässlich des 19. Deutschen Talsperrensymposiums 2023 in Lindau verliehen wird. Der Hauptautor wird für seine hier in Teilen wiedergegebene Masterarbeit mit dem 2. Preis gewürdigt.

WASSERWIRTSCHAFT

