

Energieforschungsprogramm

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

03/02/2020

Projekttitle:

Entwicklung eines integralen
Fischschutzkonzeptes auf Basis des
Elektro-Seilrechens

Projektnummer:

858847

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische
Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Ausschreibung	3. Ausschreibung Energieforschungsprogramm
Projektstart	01/03/2017
Projektende	01/12/2019
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	33 Monate
ProjektnehmerIn (Institution)	Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Wasserbau
AnsprechpartnerIn	Markus Aufleger, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Leiter des Arbeitsbereichs Wasserbau
Postadresse	Arbeitsbereich Wasserbau Institut für Infrastruktur, Universität Innsbruck Technikerstraße 13 6020 - Innsbruck, Österreich
Telefon	+43 512 507 62200
Fax	+43 512 507 62199
E-Mail	markus.aufleger@uibk.ac.at
Website	https://www.uibk.ac.at/wasserbau/

Entwicklung eines integralen Fischschutzkonzeptes auf Basis des Elektro-Seilrechens

Elektro-Seilrechen

AutorInnen:

Dipl.-Ing. Ruben Tutzer, Universität Innsbruck

DI Dr. Barbara Brinkmeier, Universität Innsbruck

Dipl.-Ing. Bernhard Zeiringer, Universität für Bodenkultur

Dipl.-Ing. Simon Führer, Universität für Bodenkultur

Uwe Weibel, IUS Weibel & Ness GmbH

Franz Freund, Albatros Engineering GmbH

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Aufleger, Universität Innsbruck

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	4
2	Einleitung.....	5
3	Inhaltliche Darstellung.....	6
4	Technisches Konzept Elektro-Seilrechen.....	7
5	Integrale Fischschutzeinrichtung - Methodik	12
5.1	Versuchssetup und Versuchsdurchführung	12
5.2	Auswertung	15
5.3	Weiterführende Untersuchungen.....	17
5.4	Kostenanalyse.....	18
6	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	18
6.1	Allgemein	18
6.2	Fischschutzfunktion.....	19
6.3	Fischleitwirkung.....	20
6.4	Fischverhalten im Nahbereich des Elektro-Seilrechens.....	21
6.5	Pilotanlage Schöpfwerk.....	23
6.6	Ergebnisse aus weiterführenden Versuchen	24
6.6.1	Nachweis der Fischschutzwirkung für kleine Individuen	24
6.6.2	Vorversuche mit Aalen	25
6.6.3	Larvenversuche.....	26
6.7	Konzipierung integraler Fischschutzsysteme.....	27
6.8	Kostenanalyse.....	28
7	Diskussion	30
8	Ausblick und Empfehlungen.....	31
9	Literaturverzeichnis.....	31
10	Kontaktdaten	32

2 Einleitung

In Österreich, aber auch in vielen weiteren Ländern weltweit, liefert die Wasserkraft einen wesentlichen Beitrag zur regenerativen Energieversorgung (Energie-Control Austria, 2017). Die ökologisch nachhaltige Produktion elektrischer Energie aus Wasserkraft rückt dabei zusehends in den Vordergrund. Bei genauerer Betrachtung von Wasserkraftanlagen fällt jedoch der vielerorts ökologisch nachteilige Betrieb dieser Anlagen auf. Der Ursprung dieser ökologisch nachteiligen Folgen ist in den meisten Fällen auf die Nichtbeachtung ökologischer Aspekte beim Bau der Anlagen zurückzuführen. Für aquatische Organismen stellen sich in diesem Zusammenhang die Unterbrechung des Längskontinuums und der Rückgang an differenzierten Habitaten als besonders gravierend dar (Böttcher et al., 2015) (Schwevers, 2000). Vor allem für diadrome, aber auch für potamodrome Fischarten, stellt die Zerstückelung des Lebensraumes ein Problem dar, da entsprechende Habitate nicht mehr oder nur noch zeitlich verzögert aufgefunden werden können und die Fische in weiterer Folge in ihrem natürlichen Verhalten beeinträchtigt werden. Dadurch wird der natürliche Fortbestand von vielen Populationen bedroht (Keuneke & Dumont, 2013).

Das Wissen über die Wichtigkeit der Durchgängigkeit von Wasserkraftanlagen, sowohl flussauf als auch flussab, war lange Zeit nicht vorhanden und ist auch heute noch nicht vollständig erforscht. Grundsätzlich dient die Migration den Fischen zur optimalen Nutzung der Ressourcen. In verschiedenen Stadien haben Fische unterschiedliche Bedürfnisse, welche auch jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen. Um diesen spezifischen Bedürfnissen nachzukommen, werden unterschiedliche Habitate aufgesucht (BMLFUW, 2012). In besonderem Maße sind Weitwanderer (diadrome Arten), aber auch heimische potamodrome Arten (Kurz- und Mittelstreckenwanderer), von der eingeschränkten Durchgängigkeit betroffen.

Das Erkennen des Problems veranlasste die EU im Jahr 2000 zur Einführung der Wasserrahmenrichtlinie, welche in Österreich im Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan implementiert wurde. Darin enthalten ist unter anderem die Forderung zum Erhalt oder zur Wiederherstellung der Durchgängigkeit von Fließgewässern (EU, 2000) (NGP, 2009). Während es für die flussaufwärts gerichtete Migration mittlerweile vielseitige Lösungen in Form von technischen und auch naturnahen Fischaufstiegsanlagen gibt und ein Stand der Technik definiert werden konnte, blieb das Problem für die flussabwärts gerichtete Migration lange unerkannt (BMLFUW, 2012). Da sich Fische in Fließgewässern an der Hauptströmung orientieren, schwimmen sie bei ihrem Weg flussabwärts mit der Hauptströmung durch die Turbinen, welche wiederum je nach Bauart, Durchmesser, Rotationsgeschwindigkeit usw. spezifische Mortalitätsraten aufweisen (Ebel, 2018). Einen Stand der Technik für den Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen gibt es derzeit noch nicht (Lehmann, 2012). Für kleine Anlagen kann z.B. das Leitreechen-Bypass-System nach Ebel, Gluch und Kehl verwendet werden (Ebel et al., 2015). Aus ökonomischer und betriebstechnischer Sicht ist dieses System jedoch auf kleine bis mittlere Wasserkraftanlagen begrenzt. Für mittlere bis

große Wasserkraftanlagen gibt es derzeit keine akzeptierte oder breit einsetzbare Lösung was den Fischschutz und das verletzungsfreie Ableiten der Fische ins Unterwasser betrifft (Böttcher et al., 2015).

Genau hier setzt das hybride System des Elektro-Seilrechs an. Ziel des Projekts ist die Untersuchung und Weiterentwicklung einer umfassenden, ökonomisch tragbaren Fischschutzeinrichtung für Wasserkraftanlagen jeder Größe. Dabei sollen Fische vor dem Turbinendurchgang geschützt und zu einem sicheren Fischabstiegskorridor (Bypass) hingeleitet werden (Brinkmeier et al., 2017). Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass es zu keiner signifikanten Verzögerung der flussabwärts gerichteten Migration kommen darf. Auch muss die Fischschutzeinrichtung für alle Fischarten, Größen und Stadien funktionieren.

3 Inhaltliche Darstellung

Die Schwerpunkte im Projekt lagen neben den umfassenden ethohydraulischen Versuchen und der statistischen Auswertung dieser, auf der technischen Entwicklung des Elektro-Seilrechs. Einerseits sollten die optimalen Einstellungen des Elektro-Seilrechs aus fischschutztechnischer Sicht gefunden werden, andererseits muss das technische Konzept breit anwendbar, robust, kostengünstig und betriebssicher sein.

In den nachfolgenden Kapiteln werden neben der inhaltlichen Darstellung des Projekts auch das technische Konzept des Elektro-Seilrechs und die Methodik der Versuche dargestellt. Auch werden wichtige Ergebnisse dargestellt und diskutiert. Abschließend werden mit einem Ausblick noch offene Forschungsfragen und Empfehlungen erläutert.

Die Bearbeitung des Forschungsprojekts erfolgte in Arbeitspaketen, welche eine umfassende Betrachtung der relevanten Aspekte sicherstellen. Dabei wurde mit ethohydraulischen Versuchen eine einmalige Wissens- und Datengrundlage über das Verhalten der Fische an der hybriden Barriere Elektro-Seilrechen sowie über den Fischschutz und die Fischleitwirkung in Abhängigkeit von variablen Parametern geschaffen. Variiert werden konnte dabei neben dem Anstellwinkel (Ausrichtung des Elektro-Seilrechs zum Bypass) und dem lichten Seilabstand auch die Ausdehnung des elektrischen Feldes.

Aufbauend auf den Ergebnissen aus den ethohydraulischen Versuchen wurde das technische Konzept entwickelt und angepasst. Dabei war es zielführend, je nach Standort, Fischregion und Aufgabenstellung die oben genannten Parameter anzupassen und zu optimieren, da über die Variation der Parameter das Verhalten der Fische beeinflusst werden kann. Über die Konzipierung von integralen Fischschutzsystemen mit Elektro-Seilrechen an unterschiedlichen Standorten wurden verschiedene technische Konzepte zum Spannen des Elektro-Seilrechs, Überlegungen zur Anordnung der einzelnen Bauteile aber auch Konzepte zur Rechenreinigung ausgearbeitet. Vor allem für den Spannmechanismus gibt es vielseitige Lösungen, welche je nach lokalen Gegebenheiten gewählt werden können.

Eine Kostenschätzung, welche die spezifischen Preise pro m² untersucht, bestätigt die aus finanzieller Sicht breite Einsatzmöglichkeit des Elektro-Seilrechs.

Über das Verhalten der Fische im Nahbereich des Elektro-Seilrechen, welches unabhängig von der Fischart oder der Fischlänge ist, lässt sich eine breite Einsatzmöglichkeit des Elektro-Seilrechen als integrales Fischschutzsystem ableiten.

Um eine potentielle Schädigung von Fischlarven, Jungfischen oder anderen kleinen aquatischen Lebewesen durch das elektrische Feld ausschließen zu können, welche aufgrund ihrer zu schwachen Schwimmleistung nicht gegen die Strömung anschwimmen können und durch das elektrische Feld hindurchdriften, wurden Driftversuche mit Larven der Fischart Bachforelle durchgeführt. Dabei wurden die Bachforellenlarven kontrolliert durch das elektrische Feld verdriftet und unterwasserseitig wieder aufgefangen. Es zeigten sich weder kurzfristige Effekte (Kontrolle der Larven erfolgt unmittelbar nach dem Versuch) noch langfristige Folgeerscheinungen (Kontrolle der Larven nach 24 und 48 h).

Da das elektrische Feld, welches sich unter Wasser ausbildet, variabel ist, wurden im Wasserbaulabor der Universität Innsbruck verschiedene elektrische Felder auf Intensität, Ausdehnung und Homogenität geprüft. Dies ist von entscheidender Wichtigkeit, um an Anlagen in der Praxis die geforderte Fischschutzwirkung erzielen zu können.

Zu einer ersten Anwendung in der Praxis kam eine Variante des Elektro-Seilrechen am Schöpfwerk am Saubach in Deggendorf (Bayern). In einer einwöchigen Versuchsphase konnte das Verhalten der Fische im Nahbereich des Elektro-Seilrechen, welches schlussendlich die Fischschutzwirkung beschreibt, bestätigt werden (Egg et al., 2019). Durchgeführt wurde das Monitoring vom Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie der TU München unter Einsatz eines multibeam Sonars von ARIS.

In einer ersten Konzipierung von Fischschutzeinrichtungen mit Elektro-Seilrechen wurden die Ergebnisse auf einen Pilotstandort übertragen, an dem in weiterer Folge ein umfassendes Monitoring zur Fischschutzwirkung durchgeführt werden soll. Auch wurden wichtige Erfahrungen für den Betrieb des Elektro-Seilrechen in der Praxis gesammelt. Mit dem Projekt Elektro-Seilrechen konnte ein Beitrag zum Stand des Wissens in Bezug auf das Fischverhalten an Barrieren, dem Fischschutz und dem Fischleiten geleistet werden.

4 Technisches Konzept Elektro-Seilrechen

Der Elektro-Seilrechen stellt ein hybrides Fischschutzsystem dar, welches eine mechanische Barriere (Seilrechen) mit einer Verhaltensbarriere (gepulstes elektrisches Feld) kombiniert. Die Stahlseile des Elektro-Seilrechen dienen dabei neben ihrer Funktion als mechanische Komponente des Elektro-Seilrechen auch als Anode bzw. Kathode, um welche sich das homogene, elektrische Feld ausbildet (Tutzer et al., 2019). Das sich unter Wasser ausbildende elektrische Feld kann in seiner Ausdehnung von wenigen Zentimetern bis zu einigen Dezimetern rund um die Stahlseile variiert werden. Auch die Intensität des Feldes kann über die angelegte Spannung variiert werden (auf jeden Fall im für Lebewesen ungefährlichen Niedervoltbereich).

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

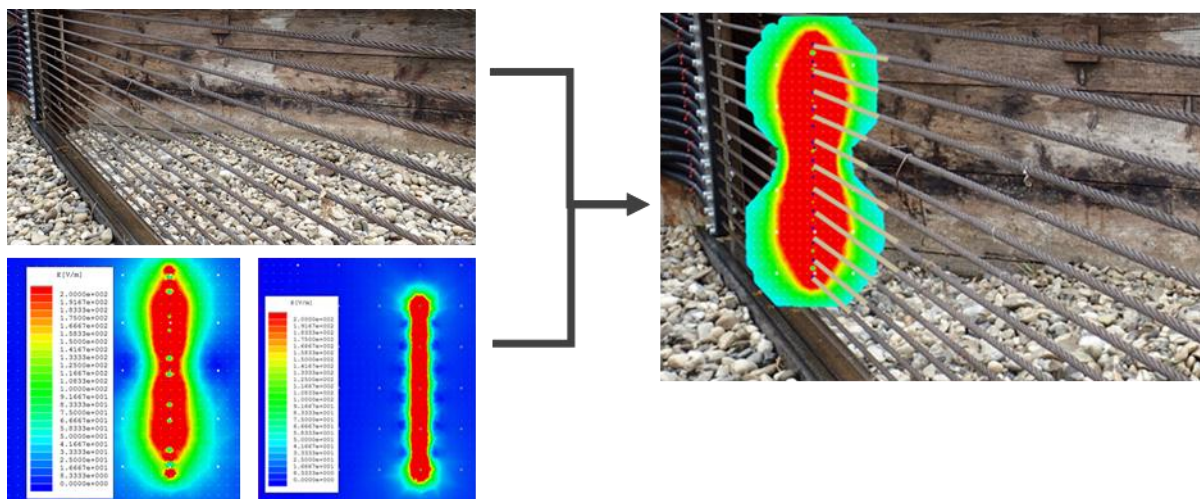


Abbildung 1: Seilrechen als mechanische Komponente (links oben), gepulstes elektrisches Feld in verschiedener Ausdehnung (links unten) und die hybride Barriere Elektro-Seilrechen (rechts)

Mit diesem integralen Konzept wird neben der mechanischen Schutzwirkung auch eine kontrollierte Scheuchwirkung auf Fische im Nahbereich des Elektro-Seilrechens erzielt. Gleichzeitig werden die Fische durch die Ausrichtung des Elektro-Seilrechens zum Bypass hin geleitet (Tutzer et al., 2019). Der Elektro-Seilrechen kann über die Ausdehnung und die Intensität des elektrischen Feldes, den lichten Seilabstand und den Anstellwinkel optimal an Standort, Fischregion und Anforderungsprofil angepasst werden.

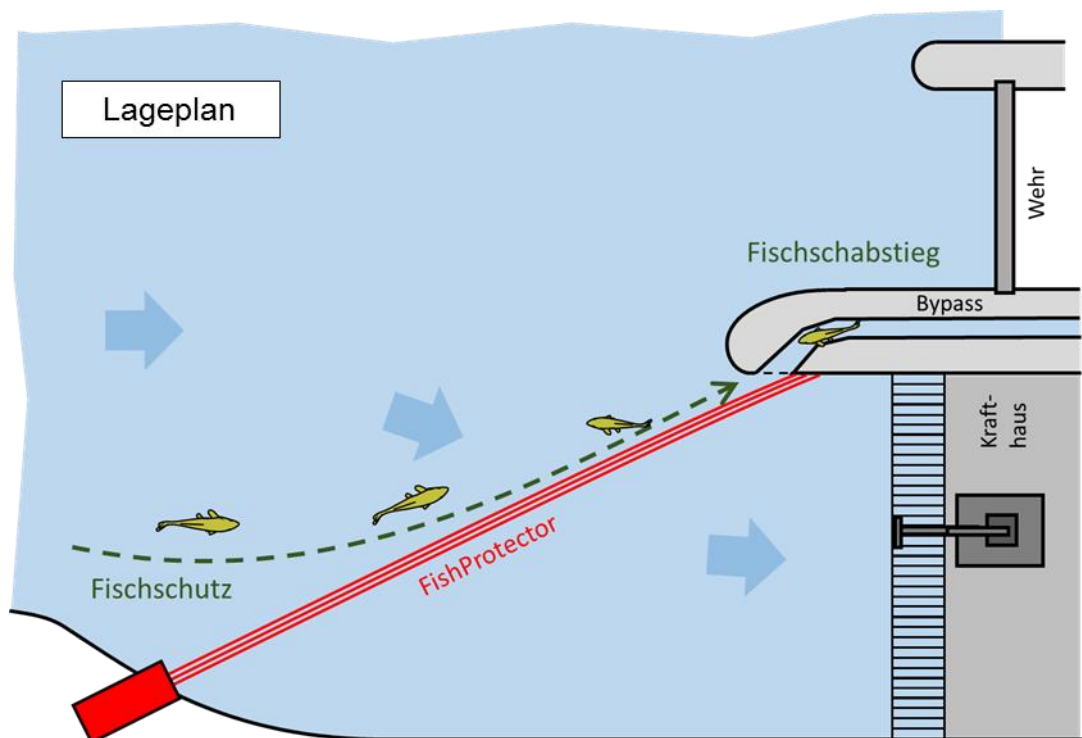


Abbildung 2: Mögliche Anordnung des Elektro-Seilrechens (hier „FishProtector“) mit einem definierten Anstellwinkel in Richtung Bypass als Nachrüstung an Bestandsanlagen

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Dabei sind jeweils ein festes Auflager (Seile sind fest eingespannt) und ein bewegliches Auflager (Spannvorrichtungen der Seile werden angesteuert und Seile gespannt) vorzusehen. Wichtig dabei ist, dass die beiden Ufer geböscht ausgeführt werden, sodass sich die Seile im Falle eines Ablege-Vorgangs an die Gewässersohle ablegen können und nicht ausbauchen. Die Sohle entlang des Elektro-Seilrechens muss definiert sein, um keine Eintiefungen oder ähnliches aufzuweisen.

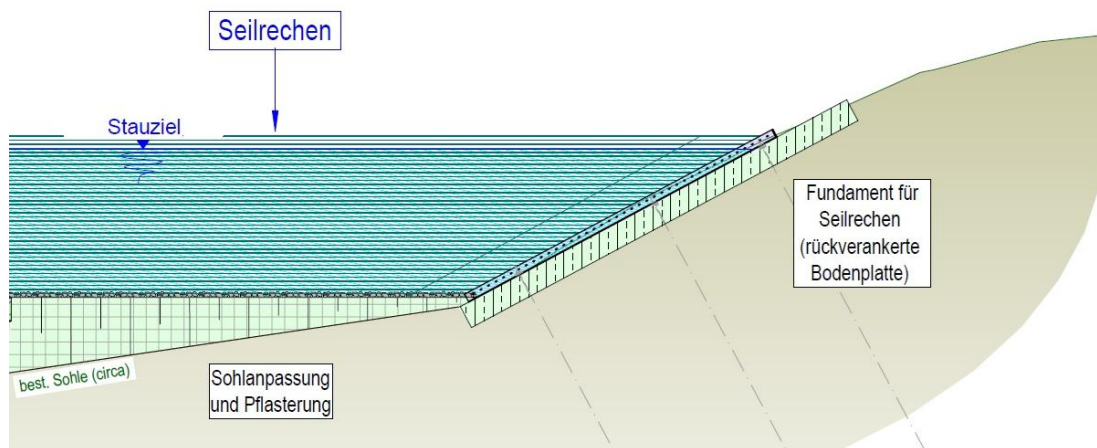


Abbildung 3: Definierte Sohle und geböschte Ufer

Gespannt werden die horizontalen Stahlseile am beweglichen Auflager über vertikale Hydraulikzylinder (Seile werden über Umlenkrollen geführt), welche dynamisch angesteuert werden. Möglich ist dabei das Spannen aller einzelnen Seile oder das Spannen von Seilpaketen. Folgende Verhältnisse von Hydraulikzylindern zu Stahlseilen sind technisch umsetzbar: 1:1; 1:2 oder 1:4. Je nach Seillänge und Seildurchhang, welcher toleriert wird, variieren die Vorspannkräfte. Die größtmöglichen Vorspannkräfte die aufgebracht werden können, hängen von den verwendeten Seilen inklusive Gewindefittings (Durchmesser, Material...) ab. Die Systembruchkraft von Seil und Gewindefitting wurde in Seilbruchkraftanalysen bestimmt. Eine Ansteuerung der Stahlseile über Hydraulikzylinder mit der entsprechenden elektrohydraulischen Steuerungstechnik verspricht die größte Flexibilität in der Ansteuerung der Seile. Dies bringt Vorteile für die Rechenreinigung und somit für die Betriebssicherheit der Anlage mit sich. Die Rechenstruktur kann beliebig aufgelöst (Ablegen einzelner Seile, Seilpakete oder des gesamten Seilrechens mit darauffolgendem Wiederanspannen) und das Rechengut dadurch wieder mobilisiert werden. Dies konnte in Laborversuchen des Arbeitsbereiches Wasserbau nachgewiesen werden. Im Hochwasserfall werden die Stahlseile auf die Gewässersohle abgelegt und der gesamte Fließquerschnitt wird freigegeben.

Für Anlagen mit geringem Treibgutanteil (z.B. wenn ein Grobrechen oder eine Tauchwand vorgeschaltet ist) wurde ein Klappmechanismus entwickelt. Dabei können zwar alle Stahlseile abgelegt und wieder angespannt werden, jedoch können die Seile oder Seilpakete nicht einzeln abgelegt werden.

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Je nach Anforderungsprofil wird die eine oder die andere Variante bevorzugt. Spannweiten von über 80 m sind für beide Varianten realisierbar, wie dies in einem Großversuch gezeigt wurde. Dabei sind keine Verstrebungen oder ähnliches erforderlich.

Für kleine Anlagen ist unter günstigen Randbedingungen eine weitere Vereinfachung möglich, indem die Stahlseile in einen Rahmen oder Korb eingespannt werden. Über Führungsschienen und eine Hebevorrichtung wird diese vereinfachte Form des Elektro-Seilrechen als ein Bauteil eingehoben oder z.B. für Reinigungszwecke auch wieder rausgehoben.

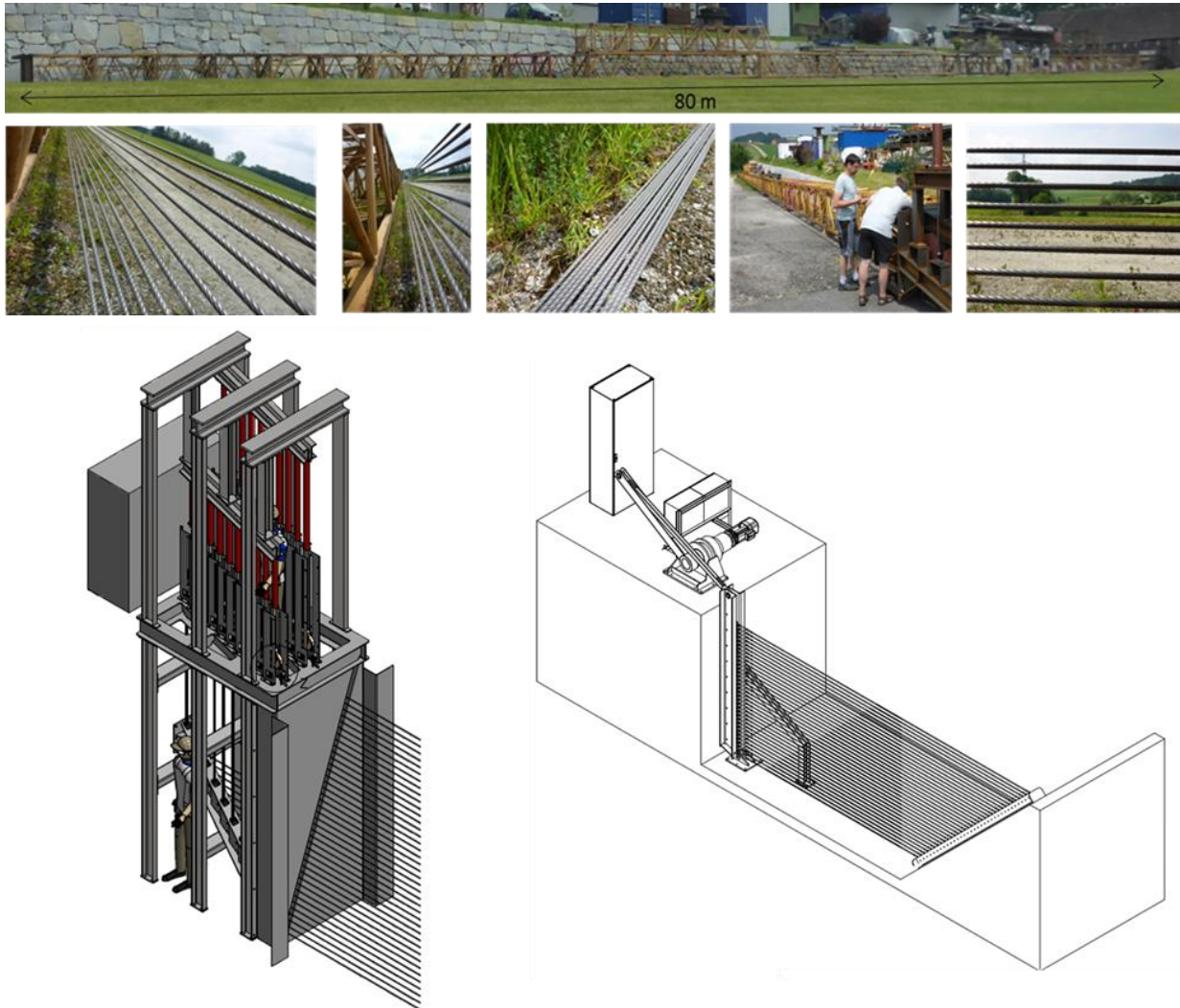


Abbildung 4: Großversuch zum Spannen mittels Hydraulikzylindern über 80 m (oben), Prinzip Skizze der vertikalen Hydraulikzylinder (links unten), Prinzip Skizze Klappmechanismus (rechts unten)

Die Rechenreinigung wird über das Auflösen der Rechenstruktur gewährleistet. Das Rechengut wird aber auch durch die Ausrichtung des Elektro-Seilrechen durch die Strömung zum unterstromigen Ende transportiert und kann dort zusätzlich über den Bypass gespült oder über einen Greifer entfernt werden. Dies konnte in Laborversuchen des Arbeitsbereichs Wasserbau gezeigt werden.

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische
Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Primäres Ziel der in weiterer Folge dargestellten ethohydraulischen Versuche war der Nachweis der Fischschutzwirkung und die Definition der dafür geeigneten Parameterkombinationen (Anstellwinkel, lichter Seilabstand, Ausdehnung des elektrischen Feldes). Die Ergebnisse, welche aus den Versuchen gewonnen werden konnten, flossen direkt in die Entwicklung des Elektro-Seilrechs und in die Konzipierung integraler Fischschutzsysteme, wie dies in Kapitel 6.7 dargestellt wird, ein.

Die Ausführung des Elektro-Seilrechs ist im konkreten Einsatzfall und unter den speziellen Standortbedingungen und Gegebenheiten zu untersuchen. Welche Ausführung für welchen Fall erfolgsversprechend bzw. technisch machbar ist, hängt von einigen grundlegenden Kriterien ab:

- Anzahl der Seile bzw. deren Seilabstand
- Ablegbarkeit der Seile (einzeln oder in Seilpaketen)
- Vorspannkraft im jeweiligen Seil (Länge des Elektro-Seilrechs)
- Neigung des Elektro-Seilrechs in Fließrichtung
- Platzverhältnisse für die Hydraulikzylinder
- Ablegelänge und damit verbundener Hydraulikzylinderhub

Jedenfalls ergeben sich durch die hybride Barriere Elektro-Seilrechen mit den großen lichten Seilabständen (in den Versuchen bis zu 60 mm) bei gleichbleibender und sehr guter Fischschutzwirkung (siehe Kapitel 6.2) klare Vorteile im Bau, im Betrieb und in der Instandhaltung der Anlagen, wie z.B. ein geringer Verbauungsgrad mit dementsprechend geringem Reinigungsaufwand, sehr geringe hydraulische Verluste, hohe Betriebssicherheit und geringe Investitionskosten.

5 Integrale Fischschutzeinrichtung - Methodik

5.1 Versuchssetup und Versuchsdurchführung

Die ethohydraulischen Versuche wurden an der HyTEC-Versuchsanlage der Universität für Bodenkultur, Wien, in Lunz am See durchgeführt. Das Versuchssetup, welches zum Einsatz kommt, soll die in Abbildung 2 dargestellte Kraftwerksanordnung ausschnittsweise nachempfinden. Es besteht aus einer 3,0 m breiten Versuchsrinne, in welcher der Elektro-Seilrechen angeordnet ist und einem leicht nach außen gezogenen, auf der orographisch rechten Seite gelegenen, 0,5 m breiten Bypass. In diesem Bereich verengt sich die Hauptrinne entsprechend auf 2,5 m. Die Wehrfelder werden im räumlich begrenzten Versuchsbereich nicht dargestellt. Der Ausschnitt ist entsprechend der Forschungsfrage, welche in erster Linie Antworten auf das Fischschuttpotential des Elektro-Seilrechens, das Fischverhalten im Nahbereich der hybriden Barriere und die Fischleitwirkung entlang des Elektro-Seilrechens geben soll, gewählt.

Die Versuche wurden mit einem Durchfluss von 650 l/s durchgeführt, was bei einer Fließtiefe (über Klappen eingestellt) von 0,5 m eine mittlere Geschwindigkeit von ca. 0,43 m/s ergibt. Die Klappe der Rinne und die Klappe des Bypasses wurden auf dieselbe Höhe eingestellt, was in etwa dieselbe Geschwindigkeit sowohl in der Rinne als auch im Bypass ergibt. Die Wassertemperatur lag während des gesamten Versuchszeitraums im Bereich zwischen 8° und 13° Celsius.

Ein Wehr, über welches das Wasser in die Versuchsrinne fließt, und eine Vorlaufstrecke von in etwa 20 m stellten gleichbleibende hydraulische Bedingungen im Versuchsbereich sicher. Um Einflüsse von außen (Schattenwurf, Vögel, Wettereffekte) zu vermeiden, wurde der Versuchsbereich abgeplant. Das Sohlsubstrat, welches in der gesamten Versuchsrinne eingebracht wurde, bestand aus Grobkies mit einem Durchmesser von 20 – 63 mm.

Der Elektro-Seilrechen, welcher in den Versuchen zum Einsatz kam, ist ein Prototyp, welcher speziell für die Durchführung der ethohydraulischen Versuche angefertigt wurde. Die Stahlseile mit einem Durchmesser von 8 mm wurden in einem Stahlrahmen eingespannt.

Die Länge des Elektro-Seilrechens und der lichte Seilabstand waren variabel einstellbar. Von entscheidender Wichtigkeit war die Elektrifizierung des Seilrechens (Erweiterung der mechanischen Barriere zu der in Kapitel 4 vorgestellten hybriden Barriere), welche durch den Einsatz des Schaltschranks Neptun von PROCOM SYSTEM S.A. umgesetzt wurde. Die Versuche wurden mit einem gepulsten Gleichstrom im Niedervoltbereich durchgeführt.

Während der Versuche konnten die Fische im Versuchsbereich, welcher durch den Adaptionsbereich (oberes Ende des Versuchsbereichs) und feinen Netzen am unteren Ende des Bypasses und der Hauptrinne begrenzt war, frei schwimmen.

Um die Versuche umfassend auswerten und das Fischverhalten genau erfassen zu können, wurden zwei unterschiedliche Technologien eingesetzt. Zum einen wurden im Versuchsbereich drei PIT-Tag-Antennen (Passive-Integrated-Transponder-Tag-Antenne)

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

verbaut, welche die Fischschutzwirkung des Elektro-Seilrechen ganzheitlich erfassen. Angeordnet wurden die drei Antennen hinter dem Elektro-Seilrechen, im Eingangsbereich des Bypasses und im Bypass (siehe Abb. 5, A1 - A3). Um Informationen zum Fischverhalten und zur Leitwirkung an der hybriden Barriere zu erhalten, wurden zusätzlich bis zu zwei Kameras am Elektro-Seilrechen und eine Kamera am Eingangsbereich des Bypasses installiert (siehe Abb. 5, K1 - K3). Zur Überprüfung der PIT-Tag-Antennen und zur zeitechten Verfolgung der Versuche wurden zwei Netzwerkkameras installiert.

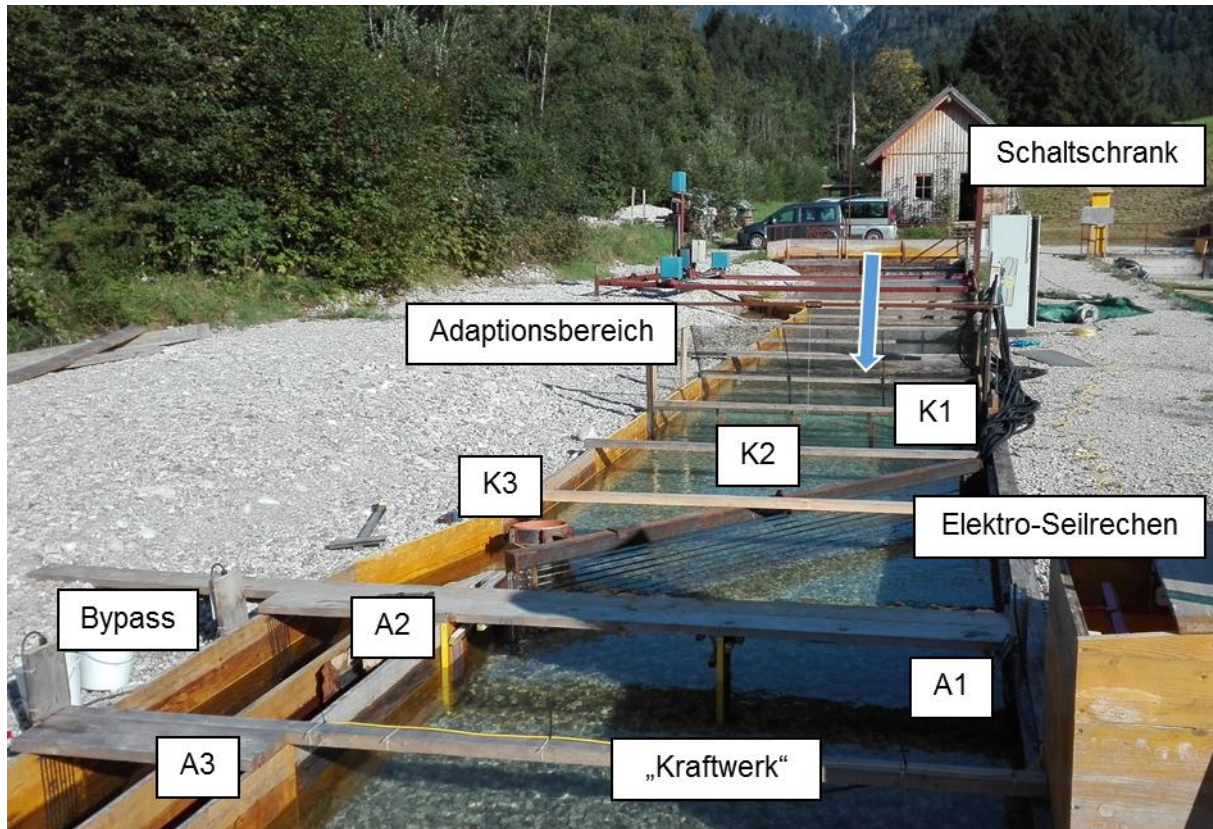


Abbildung 5: Setup der ethohydraulischen Versuche in Lunz am See mit Fließrichtung (blauer Pfeil) und Anordnung der PIT-Tag Antennen (A1 – A3) und der GoPro Kameras (K1 – K3) zur Überwachung des Versuchsbereichs

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

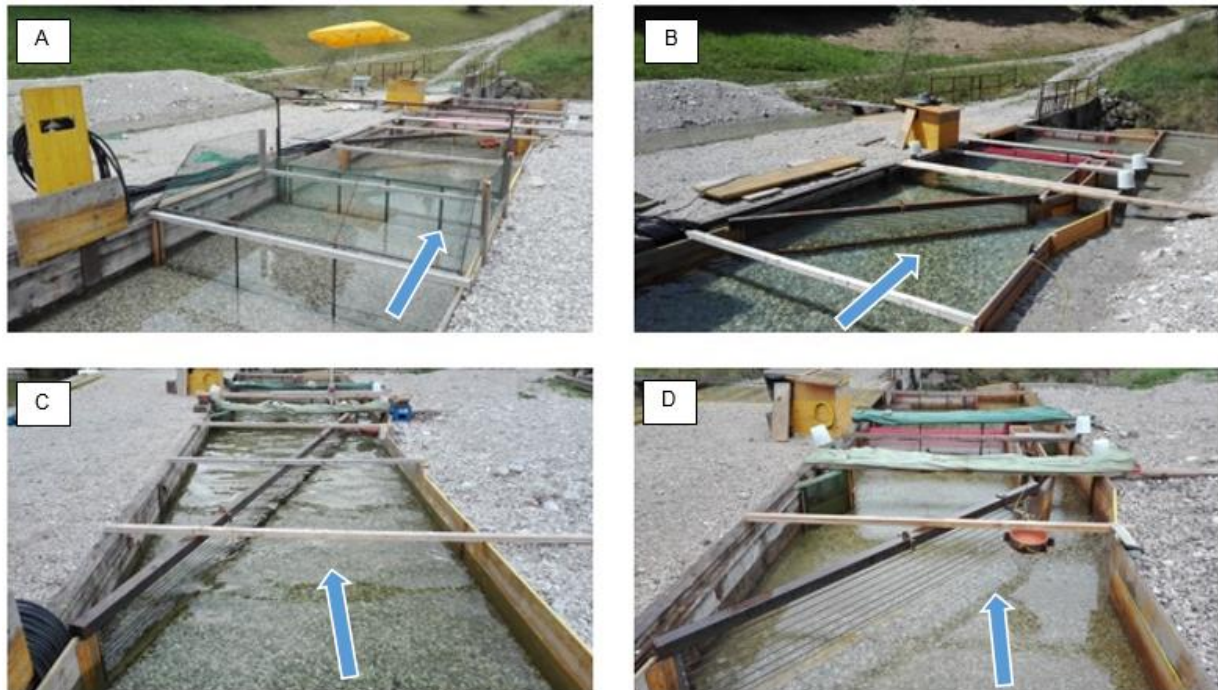


Abbildung 6: Setup im Detail mit A: Adaptionbereich; B: Elektro-Seilrechen und Bypass; C: Anstellwinkel 20°; D: Anstellwinkel 40°

Das Hauptaugenmerk der ethohydraulischen Versuche lag auf der Fischschutz- und Fischleitwirkung sowie dem Fischverhalten am Elektro-Seilrechen unter Variation der folgenden Parameter:

- Anstellwinkel
 - 40 ° (Länge Elektro-Seilrechen 3.9 m)
 - 20 ° (Länge Elektro-Seilrechen 7.3 m)
- Lichter Seilabstand
 - 30 mm
 - 60 mm
- Ausdehnung elektrisches Feld
 - Kontrollversuch (kein elektrisches Feld)
 - Kleines elektrisches Feld (ca. 10 cm)
 - Großes elektrisches Feld (ca. 25 cm)

Im Rahmen der ethohydraulischen Versuche wurden vier für den Alpenraum relevante Fischarten, Bachforelle (*Salmo trutta fario*), Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) und Äsche (*Thymallus thymallus*) aus der Familie der Lachsfische (*Salmonidae*) sowie die Fischart Aitel (*Squalius cephalus*) aus der Familie der Karpfenfische (*Cyprinidae*), eingesetzt und auf deren Verhalten am Elektro-Seilrechen untersucht. Bei allen verwendeten Individuen handelt es sich um Wildfische mit einer Größe zwischen 10 und 25 cm, mit einigen wenigen Ausnahmen innerhalb der Fischart Äsche (bis 30 cm). Die Versuche wurden ausschließlich als Mischversuche durchgeführt. In jedem Versuch wurden 15 Fische jeder Art (Bachforelle und Regenbogenforelle wurden in diesem Kontext als eine Art gewertet), in Summe 45 Fische, eingesetzt. Alle Fische wurden mit einem PIT-Tag versehen und ihre Körperlänge

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

wurde bestimmt. Somit ist die Art und Größe jedes Fisches in den Versuchen eindeutig bestimmbar. Um einen Gewöhnungs- oder Lerneffekt der Versuchstiere zu vermeiden, wurde darauf geachtet, dass der Abstand zwischen den Versuchen für jeden Fisch mindestens eine Woche betrug.

Für jedes Setup des Elektro-Seilrechens wurden dabei mindestens fünf voneinander unabhängige Versuche durchgeführt. Nach dem Einstellen des Zieldurchflusses wurden jeweils 45 Fische in den Adaptionsbereich gegeben. Nach der Vorbereitungsphase von 30 Minuten wurde die mobile Absperrung zum eigentlichen Versuchsbereich über einen Seilzug vorsichtig angehoben. Dies stellt den Beginn der 60 minütigen Versuchsphase dar, in welcher sich die Fische innerhalb des Versuchsbereichs frei bewegen können und das Verhalten der Fische observiert wird.

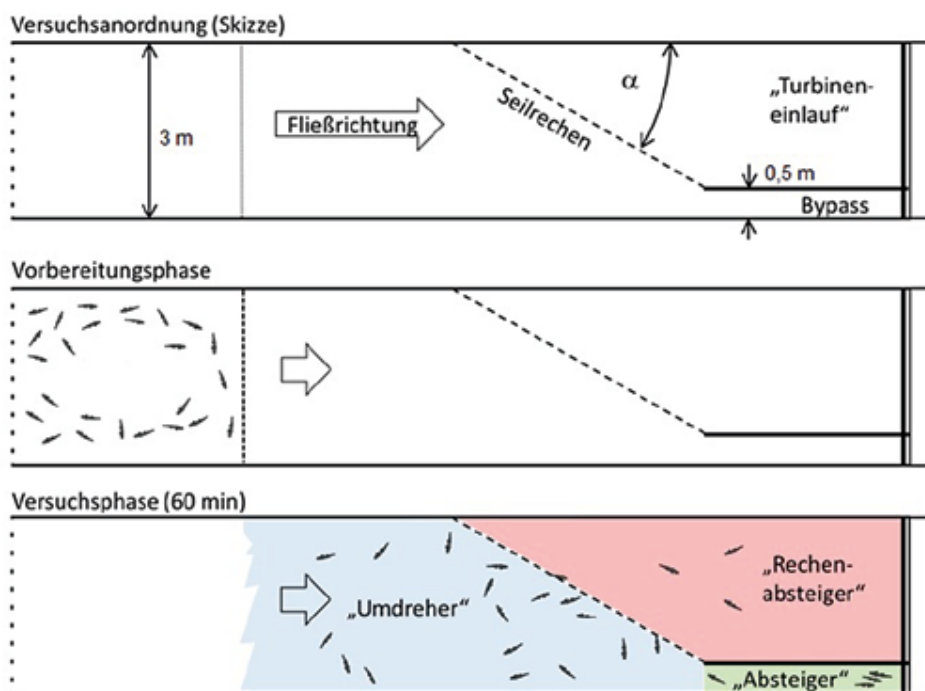


Abbildung 7: Skizziert Versuchsssetup mit der Vorbereitungsphase und der Versuchsphase (drei grundsätzliche Aktionen sind möglich)

5.2 Auswertung

Das Hauptaugenmerk der Auswertung liegt in der Bewertung der möglichen Parameterkombinationen des Elektro-Seilrechens wie Anstellwinkel, lichter Seilabstand und Ausdehnung des elektrischen Feldes in Bezug auf die Fischschutzwirkung, die Fischleitwirkung und dem Fischverhalten an der hybriden Barriere. Dafür wurden mindestens fünf voneinander unabhängige Versuche für jede der 12 möglichen Parameterkombinationen durchgeführt. In einem ersten Schritt wurden die Versuche auf ihre Validität, Vollständigkeit und Plausibilität geprüft. Durch den Einsatz der zwei genannten Technologien (PIT-Tag und Video) können die Datensätze ganzheitlich und umfassend ausgewertet werden. Auch das Vergleichen der Ergebnisse, welche aus den zwei Methoden stammen, war möglich. Die

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

maßgeblichen Unterschiede in der Qualität, den Möglichkeiten aber auch den Grenzen der zwei verwendeten Technologien wird in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 1: Vergleich der Auswertemethoden

<p>PIT-Tag Technologie Drei Antennen angeordnet; eine hinter dem Elektro-Seilrechen, zwei im Bypass</p>	<p>Im Vorhinein definierte Kategorien für eine standardisierte Auswertung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fisch passiert den Elektro-Seilrechen • Fisch schwimmt in den Bypass • Weder noch <p>– Nur die erste Aktion eines jeden Fisches zählt</p> <p>– Eindeutige Zuordnung eines jeden Individuums – Information über Art und Länge</p> <p>– Geringe Information über das Fischverhalten</p> <p>– Geringer Aufwand in der Auswertung</p> <p>– Objektive Auswertekriterien</p>
<p>Video Daten Bis zu drei Kameras zeichnen den gesamten Versuchsbereich auf</p>	<p>Im Vorhinein definierte Kategorien für eine standardisierte Auswertung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fisch passiert den Elektro-Seilrechen • Fisch schwimmt in den Bypass • Leitwirkung – Fisch schwimmt entlang des Elektro-Seilrechens in- oder gegen die Strömungsrichtung • Kontrollierte Scheuchwirkung aufgrund des elektrischen Feldes • Fisch schwimmt vom Elektro-Seilrechen ohne kontrollierte Scheuchwirkung stromaufwärts <p>– Aktionsbasierte Auswertung (Summe der anhand der definierten Kategorien gezählten Aktionen in den Versuchen – jede Aktion zählt)</p> <p>– Information über das Verhalten – Reaktion auf den Elektro-Seilrechen</p> <p>– Lückenhafte Information der Arten</p> <p>– Keine Information der Länge</p> <p>– Erheblicher Aufwand in der Auswertung</p> <p>– Ergebnisse potentiell durch die subjektive Wahrnehmung beeinflusst</p>

Die ethohydraulischen Versuche werden grundsätzlich mithilfe der PIT-Tag-Daten auf die Fischschutzwirkung hin untersucht. Dabei wurden die gesamten Detektionen eines jeden Versuchs über die Versuchsdauer (60 min) auf ihre Plausibilität geprüft. Gezählt wurde nur die erste Detektion jedes Fisches, da dies die reale Situation an einem Kraftwerk beschreibt. Sobald der Fisch einen möglichen Abstieg wählt, ist er „abgestiegen“ und scheidet (gedanklich) aus dem weiteren Versuch aus. Da es im Versuchsssetup nicht möglich ist die Fische vor dem Zurückschwimmen zu hindern, konnten die Fische mehrmals Detektionen auslösen, welche jedoch in weiterer Folge nicht gewertet wurden. Zusätzlich wurden die Rechendurchgänge der Versuche mit den Videoaufnahmen verifiziert und gegebenenfalls korrigiert. Durch die Verwendung der PIT-Tag Technologie kann die Schutzwirkung, welche die Summe der Fische darstellt, die am Passieren des Elektro-Seilrechens gehindert werden, auf die verschiedenen Arten und Längen hin bewertet werden.

Zur Auswertung der Leitwirkung und des Fischverhaltens im Nahbereich des Elektro-Seilrechen wurden die Videodaten verwendet. Diese Auswertung soll ein integrales Verständnis des Fischverhaltens am Elektro-Seilrechen schaffen und Verhaltensmuster

beschreiben. Wiederum konnten die Ergebnisse aus dem Videostudium (z.B. Leitwirkung) mit den Ergebnissen aus den PIT-Tag Daten (z.B. Bypass Einschwimmen als Indikator für die Leitwirkung) verifiziert werden.

Über die gesamte Auswertung wurden die Fischarten und die Fischlängen berücksichtigt, um etwaige Effekte erkennen zu können. Auch die Aktivität in den Versuchen wurde bezüglich der Jahreszeit (Wassertemperatur) und der angewendeten Parameterkombination kritisch hinterfragt. Die zeitliche Verteilung von Aktionen innerhalb der unabhängigen Versuche wurde betrachtet und mögliche Lerneffekte der Fische in Bezug auf die hybride Barriere Elektro-Seilrechen wurden untersucht.

5.3 Weiterführende Untersuchungen

Um Erkenntnisse, welche aus den ethohydraulischen Versuchen stammen, auf verschiedenste Arten übertragen zu können, wurden qualitative Versuche mit den Fischarten Europäischer Aal (*Anguilla anguilla*) aus der Familie der *Anguillidae*, Rotaugen (*Rutilus rutilus*), Brachse (*Abramis brama*) und Rotfeder (*Scardinius erythrophthalmus*) aus der Familie der Karpfenfische (*Cyprinidae*) sowie Flussbarsch (*Perca fluviatilis*) aus der Familie der Echten Barsche (*Percidae*) durchgeführt und auf die Schutz- und Leitwirkung des Elektro-Seilrechens hin untersucht. Diese Vorversuche wurden stichprobenartig durchgeführt und lassen somit keine statistisch belastbare Auswertung zu.

Um weiterführend die Fragestellung beantworten zu können, ob eine potentielle Gefahr des elektrischen Feldes auf kleine, schwimmschwache Individuen (Larven, Jungfische) ausgeht, welche durch das elektrische Feld hindurch driften, wurden ethohydraulische Versuche mit Bachforellenlarven durchgeführt. Diese Driftversuche wurden in einem eigens dafür umgebauten Setup durchgeführt. Dabei wurden die Larven kontrolliert durch das elektrische Feld verdriftet und nach der Passage wieder aufgefangen. Um die Gefährdung bewerten zu können, wurden die Larven unmittelbar nach der Drift, nach 24 Stunden und nach 48 Stunden untersucht und auf ihr Verhalten hin beobachtet.

Auch wurden verschiedenste Ausdehnungen und Intensitäten der möglichen elektrischen Felder auf ihre Homogenität und die zu erwartende Fischschutzwirkung hin untersucht. Die hydraulische Situation (Geschwindigkeitsverteilung) im Bereich des Bypass Einstieges wurde weiterführend simuliert und optimiert. Dies verspricht in weiterer Folge eine höhere Akzeptanz und somit höhere Abstiegsraten über den sicheren Bypass in der Praxis.

In einer ersten Pilotanwendung an einem Schöpfwerk am Saubach in Deggendorf (Bayern) wurde eine vereinfachte Version des Elektro-Seilrechens für ein einwöchiges Monitoring, welches vom Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie der TU München durchgeführt wurde, angewendet. Ziel war die Bewertung des Fischschuttpotentials anhand des Fischverhaltens im Nahbereich des Elektro-Seilrechens. Die Beobachtung des Versuchsbereichs und die weiterführende Auswertung erfolgten mit einem multibeam Sonar (ARIS).

5.4 Kostenanalyse

Die Kostenanalyse wurde im Rahmen einer Variantenstudie durchgeführt. Ziel war es, die spezifischen Kosten (Preis / m²) für verschiedene Längen und Höhen, sowie für verschiedene Ausführungen und technische Konzepte zu ermitteln und miteinander zu vergleichen.

6 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

6.1 Allgemein

Die Bewertung der Fischschutz- und Fischleitfunktion sowie des Fischverhaltens im Nahbereich der hybriden Barriere Elektro-Seilrechen stellte eine der Kernaufgaben im Projekt dar. Anhand der zwei vorgestellten Technologien (PIT-Tag und Video) war eine umfassende Auswertung möglich, welche auch die Betrachtung der Arten und der Fischlängen zulässt. Durch den Einsatz der zwei Methoden konnten die Daten validiert und die Ergebnisse jeweils bestätigt werden. Umfassendes Wissen über das Verhalten der Fische an der hybriden Barriere konnte gewonnen und ein beispielloser Datenpool aufgebaut werden.

Obgleich die verwendeten Fischarten (Wildfische der Arten Bach- und Regenbogenforelle, Äsche und Aitel) in den Versuchen doch deutliche Unterschiede in der Aktivität zeigten, ließen alle Fischarten dasselbe Verhaltensmuster in Bezug auf den Elektro-Seilrechen erkennen. In Bezug auf die Fischlänge konnten in den Versuchen keine Abhängigkeiten gefunden werden – die in den Versuchen erkennbare Reaktion der Fische auf den Elektro-Seilrechen ist unabhängig von deren Länge.

Über die Fortdauer der Versuchsreihe ist die Anzahl der Aktivitäten in den Versuchen leicht zurückgegangen. Dieser leichte Rückgang wurde jedoch von einer setupabhängigen Aktivitätsrate überlagert. Das verwendete Setup (Anstellwinkel, lichter Seilabstand, Ausdehnung des elektrischen Feldes) kann eine höhere oder geringere Aktivität induzieren. Beispielsweise erhöht ein geringerer lichter Seilabstand die Fischaktivität im Versuch, da die Fische an einer ausgeprägten mechanischen Barriere vermehrt entlangschwimmen. Auch schwankte die Wassertemperatur über den Zeitraum der Versuche zwischen 13° und 8° Celsius. Innerhalb dieses Temperaturbereichs ist für die untersuchten Fischarten jedoch kein signifikanter Unterschied in ihrem Verhalten zu erwarten.

Das Verhalten der Fische innerhalb eines Versuches (Verhältnis zwischen den möglichen Aktionen) veränderte sich über die Versuchsdauer nicht. Die Verteilung der Aktionen innerhalb eines Versuches war über alle Versuche und je nach Setup in etwa gleich verteilt und unabhängig von der gesamten Aktionenzahl oder der Jahreszeit.

Es wurde kein Lerneffekt in Bezug auf den Elektro-Seilrechen beobachtet. Die Fische zeigten im Nahbereich des Elektro-Seilrechens immer dasselbe Verhalten. Auch die Anzahl

der Rechendurchgänge, welche von den untersuchten Parametern abhängen, war über die Versuchsdauer gleichbleibend.

Innerhalb der Zeitdauer von jeweils 60 Minuten für einen Versuch konnten typischerweise keine überdurchschnittlich aktive oder inaktive Phase erkannt werden.

6.2 Fischschutzfunktion

Die Fischschutzfunktion wird als Überblick über alle in den ethohydraulischen Versuchen verwendeten Arten und angewendeten Parameterkombinationen als Rechendurchgang in Prozent dargestellt. Die Fischschutzwirkung ist dementsprechend umso besser, je geringer der Rechendurchgang (siehe Abbildung 8) für das jeweilige Setup ist.

Bei den Kontrollversuchen - rein mechanische Barriere (in Abbildung 8 weiß) - ergibt sich erwartungsgemäß ein signifikanter Unterschied in der Fischschutzwirkung zwischen den unterschiedlichen lichten Seilabständen (30 und 60 mm). Die Fischschutzwirkung ist umso besser, je geringer die lichten Seilabstände sind.

Vergleicht man nun die Kontrollversuche mit den Versuchen zur hybriden Barriere Elektro-Seilrechen (in Abbildung 8 gelb und grau), fällt die über alle Parameterkombinationen deutlich verbesserte und sehr gute Fischschutzfunktion auf. Für alle untersuchten Setups ist die Fischschutzfunktion (über alle getesteten Fischarten) höher als 95 %. Deutlich zu erkennen ist auch, dass der Unterschied in der Fischschutzfunktion zwischen den zwei untersuchten lichten Seilabständen (30 und 60 mm) beim Elektro-Seilrechen vollständig verschwindet. Dies zeigt eindrucksvoll, dass die Fischschutzwirkung bei einem elektrifizierten Seilrechen mit lichtem Seilabstand von 60 mm gleich gut ist, wie die Fischschutzwirkung bei einem lichtem Seilabstand von 30 mm.

Interessant ist auch, dass zwischen den zwei unterschiedlich großen elektrischen Feldern (Feldausdehnung ca. 10 cm respektive 25 cm) im Sinne der Fischschutzwirkung kein wirklicher Unterschied ausgemacht werden kann. Dennoch lässt die Videoauswertung vermuten, dass das große elektrische Feld einige Vorteile gegenüber dem kleinen elektrischen Feld aufweist, da der Fisch in etwas größerem Abstand zur mechanischen Barriere in das elektrische Feld einschwimmt und aus diesem Grund mehr Raum für eine kontrollierte Flucht zur Verfügung hat. Dies ist in besonderem Maße relevant, wenn sich Fische im Schwarm dem Elektro-Seilrechen nähern und sich gegenseitig im Verhalten beeinflussen.

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

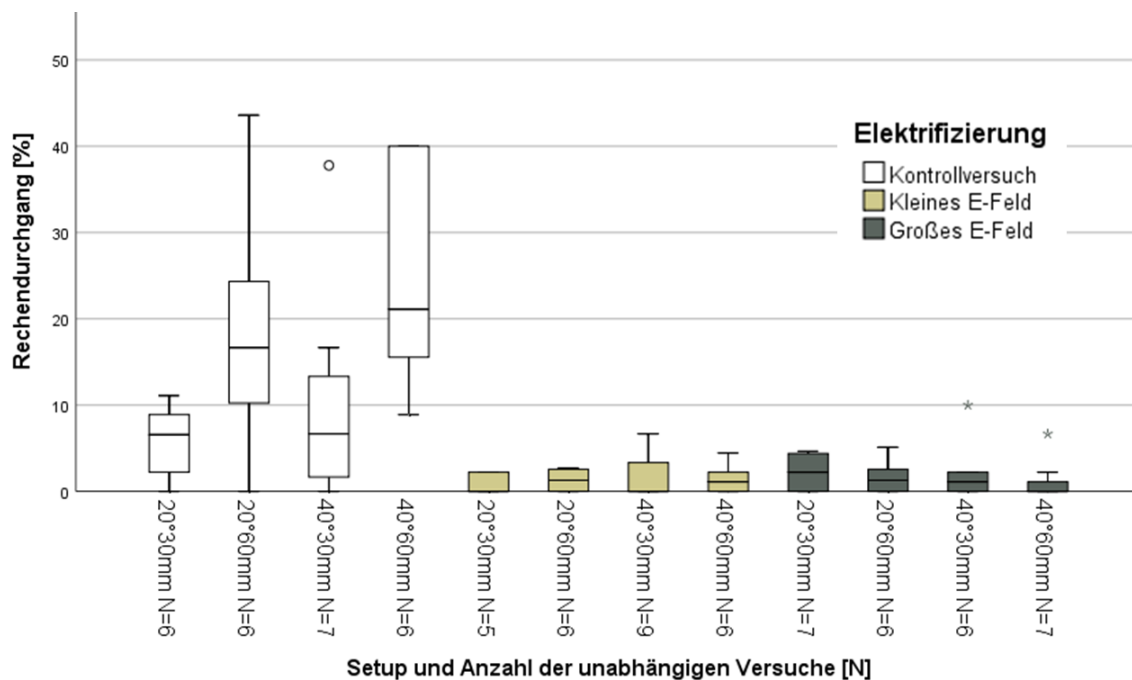


Abbildung 8: Fischschutzfunktion der 12 untersuchten Parameterkombinationen dargestellt als Rechendurchgang (aller Arten) in % mit der Anzahl an unabhängigen Versuchen [N]

Der Anstellwinkel (20 oder 40°) hat keinen signifikanten Einfluss auf die Fischschutzwirkung. Vielmehr kann dieser Bereich zwischen 20 und 40° als sinnvoll und gut (auch für Anwendungen in der Praxis) angesehen werden.

Für die Fischschutzfunktion bei der hybriden Barriere Elektro-Seilrechen kann kein signifikanter Unterschied, weder zwischen den einzelnen Arten, noch für die Fischlängen, erkannt werden. Die Fischschutzfunktion kann für alle Arten und Längen nachgewiesen werden (> 95 %).

Im Falle einer rein mechanischen Barriere (Kontrollversuche) kann erkannt werden, dass die Fischart Forelle besonders sensibel auf die mechanische Barriere Seilrechen reagiert. Deutlich weniger Forellen passieren die rein mechanische Barriere als die Fischart Aitel oder Äsche. Die hier dargestellten Ergebnisse stammen aus der PIT-Tag Auswertung, konnten jedoch mit den Videodaten geprüft und bestätigt werden.

6.3 Fischleitwirkung

Die Fischleitwirkung entlang des Elektro-Seilrechens ist von entscheidender Wichtigkeit, um einerseits einen sicheren Fischabstieg über den Bypass zu ermöglichen und andererseits eine zeitliche Verzögerung der Wanderung gering zu halten. In den ethohydraulischen Versuchen kann eine Fischleitwirkung entlang des Elektro-Seilrechens in aber auch gegen die Strömungsrichtung sowie parallel zum Elektro-Seilrechen oder wellenförmig beobachtet werden. Die Fischleitwirkung konnte für alle Parameterkombinationen sowie für alle Arten und Längen beobachtet werden. Die Auswertung erfolgt in erster Linie über Videodaten als

relative Häufigkeit und konnte durch die Bypass-Abstiegsrate (PIT-Tag Datensatz) verifiziert werden.

Aus der Auswertung geht klar hervor, dass der lichte Seilabstand bzw. die mechanische Barriere entscheidend für die Leitwirkung ist. Je ausgeprägter die mechanische Barriere ist, desto besser scheint das Gieren (paralleles oder sprungartiges; in oder gegen die Strömung gerichtetes Entlangschwimmen an der Barriere), oder das 'sich leiten lassen' zu funktionieren. Der Elektro-Seilrechen mit einem lichten Seilabstand von 30 mm zeigt dementsprechend über alle Versuche die höhere Leitwirkung als der Elektro-Seilrechen mit einem lichten Seilabstand von 60 mm. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Leitwirkung bei 60 mm nicht zufriedenstellend ist, sondern vielmehr, dass durch die Reduktion des lichten Seilabstandes die Leitwirkung entsprechend forciert werden kann. Es scheint, als orientieren sich die Fische im Nahbereich des Elektro-Seilrechens an der mechanischen Barriere.

Das Anlegen eines elektrischen Feldes vermindert die Leitwirkung entlang des Elektro-Seilrechens nicht – es ergeben sich für die Leitwirkung keine signifikanten Unterschiede durch die möglichen Arten der Elektrifizierung. Bezüglich des Anstellwinkels ergibt der 40° Winkel geringfügig bessere Ergebnisse als der 20° Winkel.

Bezüglich der Fischarten kann eine erhöhte Leitwirkung der Fischart Aitel bei einem lichten Seilabstand von 30 mm erkannt werden (Forellen und Äschen schwimmen deutlich seltener entlang des Elektro-Seilrechens). Dieser Effekt verliert sich fast zur Gänze bei dem lichten Seilabstand von 60 mm. Daraus lässt sich schließen, dass Aitel wenig Scheu vor mechanischen Strukturen haben und sich von diesen leiten lassen. Die Arten Forelle und auch Äsche scheinen vorsichtiger in Bezug auf mechanische Barrieren zu sein.

6.4 Fischverhalten im Nahbereich des Elektro-Seilrechens

Das hier dargestellte Fischverhalten basiert auf den fünf im Vorhinein definierten Kategorien der Videoauswertung (siehe Tabelle 1). Grundsätzlich ruft eine stärker ausgeprägte mechanische Barriere eine höhere Fischaktivität am Elektro-Seilrechen hervor, da vor allem die Fischleitwirkung durch einen geringeren lichten Seilabstand angeregt wird. Vor allem die Art Aitel ist sehr aktiv bei einem lichten Seilabstand von 30 mm und weist die höchste Aktivität innerhalb der gesamten Versuchsreihe auf.

Das Verhältnis der Aktionen zueinander ist über alle Versuche in etwa gleich verteilt, auch wenn die Summe der Aktionen, welche unter anderem vom angewandten Setup abhängen, etwas variieren. Auch die zeitliche Verteilung der Aktionen innerhalb der Versuche zeigt keine Auffälligkeiten. Alle möglichen Aktionen können zu allen Zeitpunkten beobachtet werden. In Bezug auf die Fischlänge (Fischlängen in den Versuchen zwischen 10 und 25 cm) können keine Auffälligkeiten beobachtet werden.

Die Fischschutzfunktion des Elektro-Seilrechens konnte für alle untersuchten Arten und Längen nachgewiesen werden. Dabei begründet sich die Fischschutzfunktion in erster Linie aus der Reaktion der Fische auf den Elektro-Seilrechen, wie dies in folgender Abbildung dargestellt wird.

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

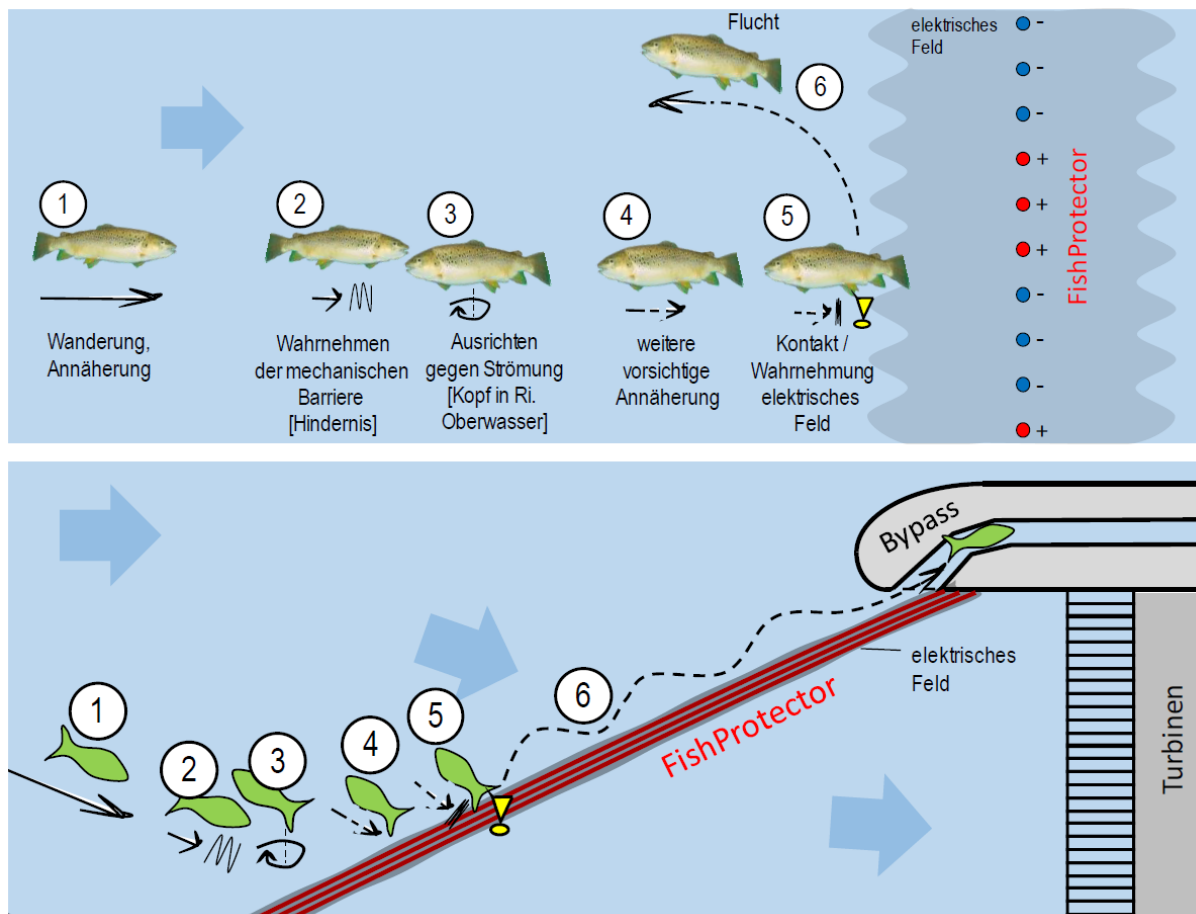


Abbildung 9: Die Fischechtwirkung begründet sich auf dem Verhaltensmuster der Fische im Nahbereich des Elektro-Seilrechs (oben: Längsschnitt; unten: Grundriss)

Bei der Wanderung flussabwärts (1) wird die mechanische Barriere wahrgenommen (2) und der Fisch richtet sich infolge dessen gegen die Strömung aus (3). Die weitere Annäherung an den Elektro-Seilrechen erfolgt langsam und vorsichtig (4). Sobald der Fisch in das elektrische Feld einschwimmt (5), wird er kontrolliert in etwa 0,5 m in Richtung Oberstrom, gescheucht (6). Der Fisch kommt wieder und wieder an die hybride Barriere und wiederholt die kontrollierte Fluchtreaktion. Durch die Ausrichtung des Elektro-Seilrechs wird der Fisch schlussendlich in Richtung Bypass geleitet, wo der Fisch sicher absteigen kann. Sehr wichtig ist die homogene Ausbildung des elektrischen Feldes, da sich die Fische oft dem Elektro-Seilrechen nähern. Durch die kontrollierte Scheuchwirkung, welche vom Elektro-Seilrechen ausgeht, haben die Fische nicht die Möglichkeit die Barriere zu erkunden oder diese schlussendlich zu passieren.

Die zwei untersuchten elektrischen Felder (Feldausdehnung ca. 10 cm bzw. 25 cm) zeigen beide eine sehr gute Fischechtwirkung, wobei das größere elektrische Feld doch einige Vorteile, vor allem in Bezug auf ein früheres Warnen und kontrolliertes Scheuchen gegenüber dem kleineren elektrischen Feld, zu haben scheint. Die Reaktion der Fische auf das gepulste elektrische Feld ist jedoch unabhängig von der Ausdehnung und für alle untersuchten Fischarten und Fischlängen identisch. Der lichte Seilabstand und der

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Anstellwinkel sind innerhalb der Grenzen, welche in den durchgeführten ethohydraulischen Versuchen zum Einsatz kamen, sehr gut für die Fischschutzwirkung geeignet.

Was die kontrollierte Fluchtreaktion und das ´nach oberstrom Schwimmen´ der Fische anbelangt, können kaum Unterschiede zwischen den Arten oder den Fischlängen erkannt werden - nicht in der Reaktion oder im Verhalten der Fische und auch nicht in der Häufigkeit dieser Aktionen.

Innerhalb der Versuche kann kein Lerneffekt in Bezug auf den Elektro-Seilrechen festgestellt werden, da sich Fische wieder und wieder dem Elektro-Seilrechen nähern und von diesem kontrolliert gescheucht werden. Auch über die gesamte Versuchsreihe kann kein Lerneffekt in Bezug auf den Elektro-Seilrechen beobachtet werden, da Fische immer dieselbe Reaktion auf den Elektro-Seilrechen zeigen, unabhängig davon, ob sie das erste Mal im Versuch sind oder schon in vorangegangenen Versuchen (eine minimale Versuchspause von einer Woche wurde eingehalten) zum Einsatz kamen.

6.5 Pilotanlage Schöpfwerk

In einer ersten Anwendung des Elektro-Seilrechens in der Praxis an einem Schöpfwerk am Saubach in Deggendorf, Bayern, konnte die gute Eignung des Elektro-Seilrechens als Fischschutzeinrichtung bestätigt werden. Das einwöchige Monitoring wurde vom Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie der TU München durchgeführt. Die Fische (Forellen und Karpfen) zeigten eine kontrollierte Fluchtreaktion und ein starkes Meide-Verhalten in Bezug auf den Elektro-Seilrechen, was wiederum die Fischschutzwirkung, ausgehend vom Elektro-Seilrechen, beschreibt (Egg et al., 2019).



Abbildung 10: Elektro-Seilrechen am Pumpwerk Saubach/Deggendorf, bestehend aus zwei Feldern und Schwimmponton an dem das Multibeam-Sonar ARIS befestigt wurde

6.6 Ergebnisse aus weiterführenden Versuchen

6.6.1 Nachweis der Fischschutzwirkung für kleine Individuen

Im Rahmen der ethohydraulischen Versuche zum Elektro-Seilrechen wurden drei Vorversuche mit kleinen Individuen der Cypriniden-Arten Rotauge, Rotfeder und Brachse und der Art Barsch aus der Familie der Echten Barsche durchgeführt. Ziel dieser Vorversuche war es, die Fischschutzwirkung des Elektro-Seilrechens für verschiedenste Arten und kleine Individuen nachzuweisen.



Abbildung 11: Auszug aus den durchgeführten Versuchen – Fische welche sich gegen die Strömung ausgerichtet haben und durch den Elektro-Seilrechen (Anstellwinkel 20°, lichter Seilabstand 60 mm) geschützt werden

Neben einem Versuch mit kleinem elektrischen Feld (Feldausdehnung ca. 10 cm) und einem Versuch mit großem elektrischen Feld (Feldausdehnung ca. 25 cm) wurde auch ein Kontrollversuch ohne elektrisches Feld realisiert (siehe Tabelle 2). Alle Versuche wurden als Mischversuche (Mix aus den verschiedenen Fischarten) durchgeführt, wobei die Versuchsdurchführung identisch zu den Hauptversuchen war. Die Länge der Versuchsfische betrug dabei zwischen 6,0 und maximal 17,0 cm.

Die Versuchsauswertung wurde als Videoauswertung durchgeführt und in Kategorien unterteilt. Die untersuchten Arten wurden in der Videoauswertung nicht unterschieden – es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Arten erkannt.

Die prozentuale Verteilung der Aktionen wird in Abbildung 12 gezeigt. In besonderem Maße sticht die hohe Fischschutzwirkung der Versuche mit elektrischem Feld (hybride Barriere) im Vergleich zum Kontrollversuch (rein mechanische Barriere) ins Auge. Dies kann anhand der sehr geringen Anzahl an Rechenpassagen (hohe Schutzwirkung) vor allem für ein elektrisches Feld mit einer Ausdehnung von in etwa 25 cm erkannt werden. Lediglich ca. 2 % der gewerteten Aktionen sind dem Rechendurchgang bei einem großen elektrischen Feld zuordenbar. Im Vergleich dazu betreffen beim Kontrollversuch knapp 84 % der gewerteten Aktionen die Kategorie Rechendurchgang. Zusätzlich erkennt man die hohe Schutzwirkung des Elektro-Seilrechens auch an der hohen Scheuchwirkung bzw. dem Wegschwimmen in Richtung Oberstrom im Falle des elektrifizierten Seilrechens (grün in Abbildung 12). Als sehr positiv zu bewerten ist auch die gute Leitwirkung sowohl für das große als auch das kleine elektrische Feld.

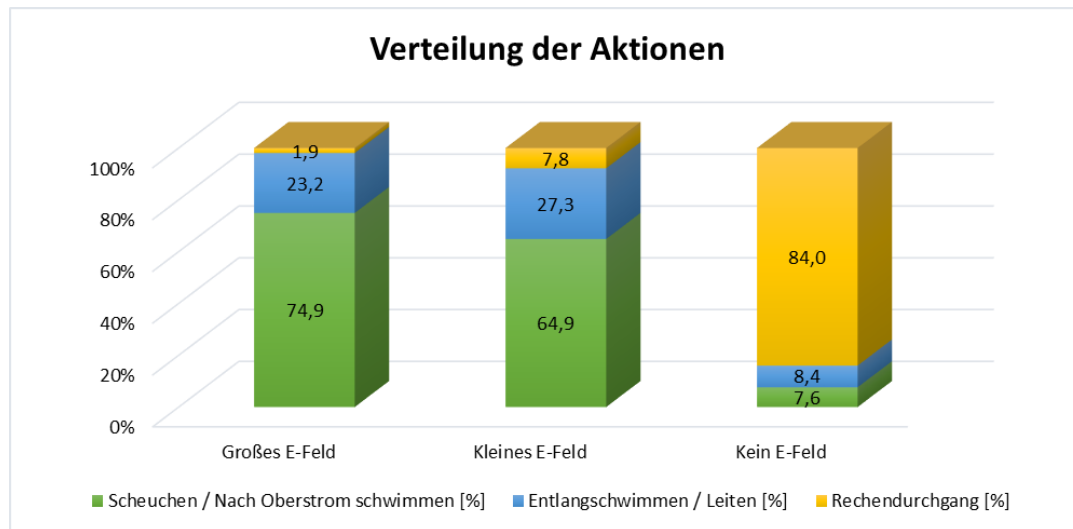


Abbildung 12: Fischschutzwirkung in Abhängigkeit des elektrischen Feldes bei einem Anstellwinkel von 20° und einem lichten Seilabstand von 60 mm, Ergebnis der Auswertung nach Aktionen

Bei den dargestellten Ergebnissen handelt es sich um die Auswertung von jeweils einem Versuch. Um statistisch belastbare Daten zu erhalten, müssten weiterführende Versuche durchgeführt werden. Dennoch geben die umfassenden Beobachtungen und die mit großem Aufwand durchgeführte Auswertung und Einteilung der typischen Aktionen bereits ein sehr deutliches Bild. Es zeigen sich sehr klare Hinweise, dass der hybride Fischschutz auch bei kleinen Individuen der untersuchten Fischarten funktioniert. Dies bestätigt auch die in den Hauptuntersuchungen (bei etwas größeren Fischlängen) festgestellte Unabhängigkeit der guten Fischschutzwirkung von der Fischlänge und der Fischart.

6.6.2 Vorversuche mit Aalen

Die Vorversuche mit Aalen wurden nach demselben Schema wie alle anderen Versuche durchgeführt. Untersucht wurde ein lichter Seilabstand von 60 mm mit kleinem und großem elektrischen Feld. Auch Kontrollversuche (ohne elektrisches Feld) wurden durchgeführt. Eine hohe Schutzrate und eine gute Eignung der hybriden Barriere Elektro-Seilrechen konnte nach Anpassung der Intensität des elektrischen Feldes auch für diese Fischart beobachtet werden. Dies ist aus folgenden Gründen besonders wertvoll:

- Die Länge der verwendeten Versuchstiere betrug in etwa 1,0 m. Somit kann die Fischschutzwirkung der hybriden Barriere Elektro-Seilrechen auch für große Individuen nachgewiesen werden.
- Aale sind nicht strukturscheu – sie suchen regelrecht den Kontakt mit der mechanischen Barriere (anders als alle anderen untersuchten Arten). Dennoch konnten hohe Schutzraten erzielt werden.
- Der Aal ist eine gefährdete Fischart – Lösungen zum Schutz der Art an Wasserkraftanlagen bei der flussabwärts gerichteten Migration werden dringend gesucht

Um statistisch belastbare Daten zu erhalten, müssten weiterführende Versuche durchgeführt werden. Das Verhalten der Aale im Nahbereich zum Elektro-Seilrechen wurde

ausschnittsweise zu einem Videoclip zusammengeschnitten und kann auf YouTube unter <https://www.youtube.com/watch?v=6csbg4bGRP4> aufgerufen werden.

6.6.3 Larvenversuche

Die Driftversuche (kontrollierte Drift durch das elektrische Feld) mit Larven der Fischart Bachforelle wurden im April 2018 durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es, eine mögliche Schädigung von Fischlarven, schwimmschwachen Jungfischen und anderen kleinen Organismen, welche aus einer Drift durch das elektrische Feld herrühren könnte, bestimmen und quantifizieren zu können. Auch sollte eine Reaktion der Larven auf das elektrische Feld evaluiert werden. Das Versuchsssetup wurde so ausgeführt, dass pro Versuch 50 Larven kontrolliert in eine 0,5 m breite Rinne (gebaut aus Schaltafeln) gegeben, durch den Elektro-Seilrechen verdriftet und im Anschluss wieder an einer schrägen Ebene vorsichtig eingesammelt werden konnten. Die Fließgeschwindigkeit in der Rinne betrug ca. 0,25 m/s. Die Elektrifizierung des Seilrechen, welcher mit einem lichten Seilabstand von 30 mm ausgeführt wurde, betrug wie auch in den Hauptversuchen 80 V. Auch die verwendeten Impulse waren ident zu den Hauptversuchen.

Es wurden jeweils fünf Versuche mit elektrischem Feld und fünf Kontrollversuche ohne elektrisches Feld durchgeführt. Um eine potentielle Schädigung unmittelbar nach der Drift durch das elektrische Feld bewerten zu können, wurden die Fischlarven unmittelbar nach dem Versuch auf ihr Verhalten untersucht. Auch wurden die Larven nach dem Versuch für 48 Stunden gehältert, um Langzeitfolgen bewerten zu können. Nach 24 und nach 48 Stunden wurden die Larven erneut auf ihr Verhalten hin untersucht.

Die Versuche ergaben, dass die untersuchten Larven weder unmittelbar nach der Drift durch das elektrische Feld, noch nach 24 oder nach 48 Stunden ein geändertes Verhalten zeigten. Weiterhin kam es zu keiner Mortalität aufgrund der Drift durch das elektrische Feld. Somit zeigten diese Untersuchungen deutlich, dass keine unmittelbaren und auch keine Folgeschäden für Larven, Jungfische oder andere kleine Organismen aufgrund einer Drift durch das elektrische Feld zu erwarten sind.

Eine Auswertung der Videodaten aus den Driftversuchen machte folgenden Sachverhalt weiterhin deutlich:

- Bei der Drift durch das elektrische Feld konnte eine klare Flucht- und Meidungsreaktion in Bezug auf das elektrische Feld der Larven bereits in diesem Stadium deutlich erkannt werden.
- Im Gegensatz zu den Versuchen mit einem elektrischen Feld, nutzten die Larven im Falle der Kontrollversuche (kein elektrisches Feld) den Strömungsschatten der Seile um sich dort zu verstecken und einer weiteren Abdrift entgegenzuwirken.

Dies wird als klares Indiz dafür gewertet, dass eine grundsätzlich verhaltensbeeinflussende Wirkung der hybriden Barriere Elektro-Seilrechen auf alle Fischarten- und Längen ausgeht. Auch ist kein Schadenspotential für Organismen, unabhängig von deren Länge, aus dem elektrischen Feld zu erwarten.

6.7 Konzipierung integraler Fischschutzsysteme

Mit Fortdauer des Projekts haben sich einige konkrete Anfragen von Kraftwerksbetreibern zur Planung und Ausarbeitung eines Angebots für die Nachrüstung von Bestandsanlagen mit Elektro-Seilrechen als Fischschutzeinrichtung ergeben. Durch die umfassende Datengrundlage, welche durch die ethohydraulischen Versuche generiert werden konnte und die einhergehende technische Entwicklung, konnten passende technische Konzept entwickelt werden. Die Konzipierung integraler Fischschutzsysteme ist immer als umfassende Planungsleistung zu verstehen, welche von der Anforderung zum Fischschutz über die technische Umsetzung des Elektro-Seilrechens und der Machbarkeit am jeweiligen Standort bis hin zu den Kosten für die Nachrüstung alles beinhaltet.

Die für den Fischschutz relevanten Parameter wie Ausdehnung des elektrischen Feldes und lichter Seilabstand sollen innerhalb eines gewissen Bereichs variabel bleiben, um auf die spezifischen Anforderungen gezielt reagieren und so die bestmögliche Lösung für den jeweiligen Standort finden zu können. Die Ausrichtung des Elektro-Seilrechens hin zu einer Fischabstiegsmöglichkeit ist von großer Wichtigkeit und soll unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten gewählt werden.

Anhand eines aus der Praxis stammenden Beispiels wird die Konzipierung integraler Fischschutzsysteme mit Elektro-Seilrechen weiterführend dargestellt:

An einer Wasserkraftanlage soll am Beginn des Triebwasserkanals eine Leiteinrichtung zu einer neu zu errichtenden Wasserkraftschnecke, welche u.a. dem Fischabstieg dienen soll, geschaffen werden. Ziel der Leiteinrichtung ist es, Fische schon am Beginn des Triebwasserkanals über die Wasserkraftschnecke zurück in das Mutterbett zu führen und somit eine Turbinenpassage der Fische zu verhindern. Als Leiteinrichtung wird der Elektro-Seilrechen aufgrund seiner vielversprechenden Ergebnisse im Sinne der Fischschutz- und Fischleitwirkung vorgesehen. Die Höhe des Elektro-Seilrechens beträgt 2,55 m und die Spannweite 25 m. Der lichte Seilabstand wird mit 60 mm vorgeschlagen und die Ausdehnung des elektrischen Feldes soll in etwa 25 cm betragen.

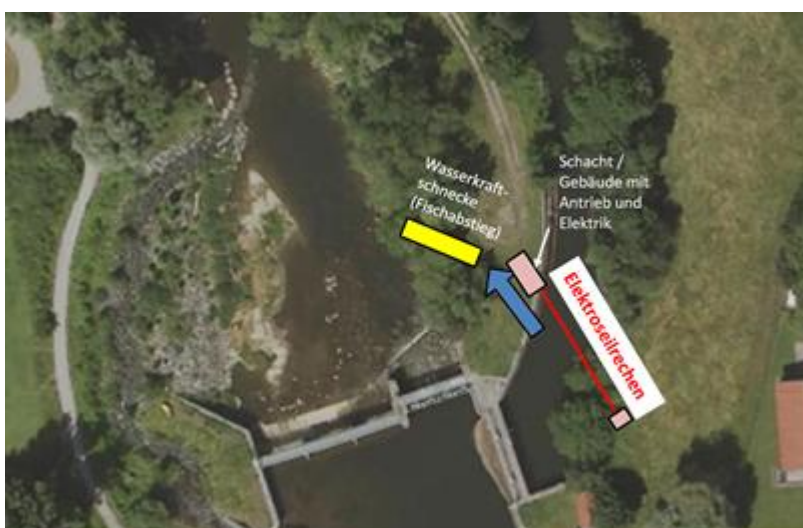


Abbildung 13: Lageplan der Ausleitungssituation mit dem neu zu errichtenden Elektro-Seilrechen

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Im Grundriss kann die Anordnung des Elektro-Seilrechs mit dem festen Auflager am rechten Ufer des Kanals und dem beweglichen Auflager inklusive Betriebsgebäude des Elektro-Seilrechs am linken Ufer erkannt werden. Im Anschluss an den Elektro-Seilrechen liegt am linken Ufer der Zulauf zur Wasserschnecke, das dazugehörige Betriebsgebäude und schließlich die Schneckenturbine, welche für den Fischabstieg geeignet ist. Bei der Planung wird auf die günstige hydraulische Ausführung und auf die Einhaltung geometrischer Grenzwerte geachtet.

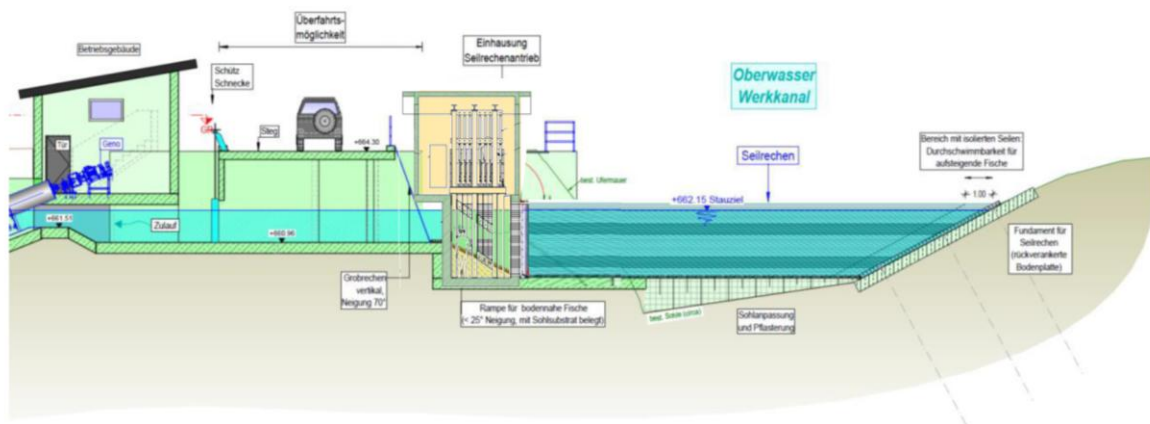


Abbildung 14: Längsschnitt des Elektro-Seilrechs mit Zuleitungskanal und Fischabstiegsschnecke (verändert nach IB Koch).

In diesem speziellen Fall – eine Tauchwand am Beginn des Triebwasserkanals hält grobes Treibgut zurück, wodurch der Reinigungsbedarf am Elektro-Seilrechen vermutlich gering sein wird – können beide in Kapitel 4 beschriebenen technischen Konzepte angewendet werden. Zum einen die Variante mit den Zylindern, über welche die Stahlseile gespannt werden, zum anderen die Variante mit dem Klappmechanismus. Kleineres Geschwemmsel wird durch das Auflösen der Rechenstruktur durch den Elektro-Seilrechen durchgeleitet und wie bisher an der Wasserkraftanlage entfernt. Aufgrund der Elektrifizierung des Elektro-Seilrechs müssen alle Stahlseile voneinander isoliert ausgeführt werden.

Da es sich um eine Pilotanlage handelt, wird ein umfangreiches Monitoring-Programm, welches die Betriebssicherheit und vor allem die Fischschutz- und die Fischleitwirkung untersucht, das Projekt begleiten.

Die Ausführungen zu diesem Pilotstandort und zu den möglichen Anwendungen des Elektro-Seilrechs dienen als Beispiel für eine Vielzahl von Standorten, an denen derzeit die Planung für den Einsatz eines Elektro-Seilrechs als Fischschutzeinrichtung vorangetrieben wird.

6.8 Kostenanalyse

Die Kostenanalyse wurde als Variantenstudie angelegt. Seilrechen von unterschiedlichen Dimensionen wurden dabei untersucht und deren spezifische Herstellungskosten verglichen.

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische
Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Die variierten Dimensionen waren die Länge (20 m bis 80 m Seillänge), und die Rechenhöhe (1 m bis 4 m Höhe). Die lichte Seilweite betrug konstant 60 mm. Die Anzahl der Seile pro Hydraulikzylinder wurde ebenso variiert (1, 2 bzw. 4 Seile pro Zylinder).

Die Kostenanalyse der Herstellungskosten beinhaltet alle Anlagenteile, welche mit dem Elektro-Seilrechen in direktem Zusammenhang stehen, wie z.B. Seile inkl. Fittings, Hydraulikzylinder, Hydraulikaggregat, Steuerung, Stahlbau, Schaltschrank zur Elektrifizierung, sowie Planungs- und Montagearbeiten. Nicht enthalten sind die hoch- und tiefbaulichen Komponenten wie die Betonarbeiten für Fundamente und die Einhausung für die Steuerung ein, da diese je nach standortspezifischen Rahmenbedingungen sehr unterschiedlich sein können.

Zur Berechnung der spezifischen Herstellungskosten wurden die Kosten auf die überspannte Rechenfläche bezogen. Die Analyse ergab, dass die spezifischen Herstellungskosten für kleine Rechenflächen (ca. 20 m²) im Bereich von 5.000 – 6.000 Euro/m² liegen. Für große Rechenflächen (ab 100 m²) reduzieren sich die Kosten auf 1.000 – 3.000 Euro/m². Bei kleineren Flächen fallen die teuren hydraulischen Komponenten (Zylinder, Aggregat, Steuerung) mehr ins Gewicht als bei größeren Flächen. Je kleiner die Anlage, desto höher sind die spezifischen Kosten. Ein kostensparender Faktor ist auch das Spannen mehrerer (bis zu 4) Seile mittels eines Zylinders.

Technische Variante für kleine Anlagen:

Für kleinere Versionen des Elektro-Seilrechens ist die ursprünglich geplante Variante mit dem hydraulischen Spannmechanismus zu aufwendig und zu kostspielig. Somit ist dieses Konzept mit hydraulischem Spannmechanismus für mittlere bis große Anlagen sowie für Anlagen, bei denen mit hohem Treibgutaufkommen zu rechnen ist, prädestiniert. Für kleinere Anlagen und Anlagen, an welchen von geringen Verlegungsraten ausgegangen werden kann, wurde aus diesem Grund, wie in den vorhergehenden Kapiteln erwähnt, ein weiteres Konzept mit Klappmechanismus erarbeitet. Die Kostenreduktion kommt zustande, da keine Hydraulikzylinder und kein Hydraulikaggregat verbaut werden und auch die Steuerung deutlich vereinfacht ist.

Für den in Kapitel 6.7 beschriebenen Elektro-Seilrechen inklusive des Schaltschranks zur Elektrifizierung reduzieren sich die Kosten durch den Einsatz dieser vereinfachten Technik und für diesen speziellen Fall um über 40 %.

Für noch kleinere Anlagen können bei günstigen Randbedingungen hinsichtlich des Treibgutanfalls der Aufwand und die Kosten weiter reduziert werden, indem die Stahlseile in einem Rahmen oder Korb gespannt werden und über Führungsschienen und Hebevorrichtung eingebracht bzw. auch wieder gehoben werden können.

7 Diskussion

Im Rahmen des von der FFG geförderten Forschungsprojekts *Elektro-Seilrechen* konnte die Fischschutzwirkung der hybriden Barriere, welche aus einer mechanischen Barriere (Seilrechen) und einer Verhaltensbarriere (gepulstes elektrisches Feld) besteht, in ethohydraulischen Versuchen eindrucklich nachgewiesen werden. Zum Einsatz kamen Wildfische der Arten Bach- und Regenbogenforelle, Äsche und Aitel mit einer Länge zwischen 10 und 25 cm. Die Fischschutzwirkung, welche für alle Parameterkombinationen (Anstellwinkel, lichter Seilabstand, Ausdehnung des elektrischen Feldes) der hybriden Barriere Elektro-Seilrechen stets > 95 % ist, beruht auf dem Verhalten der Fische im Nahbereich zum Elektro-Seilrechen. Dieses kann durch ein 'sich Ausrichten gegen die Strömung' und einem weiteren, vorsichtigen Nähern mit anschließender kontrollierter Fluchtreaktion beim Einschwimmen in das elektrische Feld beschrieben werden. Über alle Fischarten und Fischlängen konnte dasselbe Verhaltensmuster beobachtet werden und die ausgezeichnete Fischschutzwirkung nachgewiesen werden. Durch die Ausrichtung des Elektro-Seilrechens werden Fische zusätzlich zum Bypass hingeleitet. Es hat sich gezeigt, dass die Ergebnisse für die zwei untersuchten lichten Seilabstände (30 mm und 60 mm) im Sinne der Fischschutzwirkung gleichwertig sind. Für einen Einsatz in der Praxis verspricht dies hohe Betriebssicherheit, geringe Bau- und Instandhaltungskosten und einen geringen Wartungsaufwand. In qualitativen Vorversuchen konnte die ausgezeichnete Fischschutzwirkung bei einem lichten Seilabstand von 60 mm auch auf weitere Arten und kleinere Individuen ausgeweitet werden. Auch für die Fischart Aal wurden in Vorversuchen vielversprechende Ergebnisse erzielt. Weiterhin wurde ein einwöchiges Monitoring am Schöpfwerk Saubach in Deggendorf (Bayern) vom Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie der TU München, mit dem Elektro-Seilrechen als Fischschutzeinrichtung durchgeführt. Im abschließenden Bericht wird eine kontrollierte Fluchtreaktion und ein starkes Meide-Verhalten der Fische in Bezug auf den Elektro-Seilrechen beschrieben, was wiederum die Fischschutzwirkung beschreibt.

Die Leitwirkung entlang des Elektro-Seilrechens kann durch eine ausgeprägte mechanische Barriere (lichter Seilabstand von 30 mm verursacht eine höhere Leitwirkung entlang der hybriden Barriere als der lichte Seilabstand von 60 mm) angeregt werden, wobei die Leitwirkung auch für 60 mm lichten Seilabstand nachgewiesen werden konnte. Dies kann in der Praxis bei entsprechenden Aufgabenstellungen von Bedeutung sein.

Da die Parameter des Elektro-Seilrechens (Anstellwinkel, lichter Seilabstand, Größe und Intensivität des elektrischen Feldes) je nach Anforderungsprofil variabel umsetzbar sind, kann für jeden Standort eine maßgeschneiderte Lösung gefunden werden. Für verschiedene Anlagengrößen stehen unterschiedliche technische Konzepte zur Verfügung. Dies ist bei der Konzipierung von integralen Fischschutzkonzepten mit dem Elektro-Seilrechen von entscheidender Wichtigkeit. Auch aus wirtschaftlicher Sicht kann für jeden Standort ein konkurrenzfähiges Angebot unterbreitet werden, wie dies im Kapitel Kostenanalyse dargestellt wird.

Das technische Konzept des Elektro-Seilrechens ist ausgereift und hat das Potential ein bisher ungelöstes Problem – den Fischschutz an mittleren bis großen Wasserkraftanlagen – zu lösen und die Lücke zu schließen. Der Elektro-Seilrechen kann dabei bei einem Neubau von Anfang an berücksichtigt, oder bei bestehenden Anlagen einfach und kostengünstig nachgerüstet werden. Vor allem in der Nachrüstung von Bestandsanlagen besteht enormes Potential.

8 Ausblick und Empfehlungen

Die Anwendung des Elektro-Seilrechens als Fischschutz und Fischleiteinrichtung an diversen Pilotstandorten in der Praxis wird laufend untersucht und vorbereitet. Nach erfolgtem Bau müssen die Projekte von einem intensiven Monitoring-Programm begleitet werden. Ziel dieser Monitoring-Programme muss es sein, die ausgezeichneten Ergebnisse im Sinne der Fischschutzwirkung aus den ethohydraulischen Versuchen zu bestätigen. Sehr wichtig sind auch die Sammlung von Betriebserfahrung und die Bestätigung der Betriebssicherheit (Rechenreinigung) in der Praxis.

9 Literaturverzeichnis

- Energie-Control Austria. (2017). *E-control Statistik Broschüre*.
- BMLFUW. (2012). *Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen*. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Böttcher, H., Unfer, G., Zeiringer, B., Schmutz, S., & Aufleger, M. (2015). Fischschutz und Fischabstieg - Kenntnisstand und aktuelle Forschungsprojekte in Österreich. *Österr Wasser- und Abfallw*, S. 299-306.
- Brinkmeier, B., Böttcher, H., Tutzer, R., & Aufleger, M. (2017). Fish Protection using Electric Flexible Fish Fences. *Proceedings of 2017 HYDRO, Sevilla*.
- Ebel, G. (2018). *Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen - Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. Ingenieurbiologische Grundlagen, Modellierung und Prognose, Bemessung und Gestaltung. Band 4*. Halle (Saale): Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel.
- Ebel, G., Gluch, A., & Kehl, M. (2015). Einsatz des Leitrechen-Bypass-Systems nach Ebel, Gluch & Kehl an Wasserkraftanlagen - Grundlagen, Erfahrungen und Perspektiven. *WasserWirtschaft Ausgabe 7/8*.
- Egg, L., Pander, J., Mueller, M., & Geist, J. (24. May 2019). Effectiveness of the electric fish fence as a behavioural barrier at a pumping station. *Marine and Freshwater Research*.
- EU. (2000). *Richtlinie 2000/60/EG der Europäischen Parlaments und der Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen im Bereich der Wasserpolitik*. .

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische
Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- Keuneke, R., & Dumont, U. (2013). *Wasserkraft und Wasserrahmenrichtlinie - eine Flussgebietsstrategie*. WasserWirtschaft 1/2.
- Lehmann, B. (2012). *Ethohydraulik: Untersuchungen und Erkenntnisse zur Fischdurchgängigkeit*. 35. Dresdner Wasserbaukolloquium 2012.
- NGP. (2009). *Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009, Lebensministerium*.
- Schwevers, U. (2000). Biologische Mechanismen der Fischabwanderung. *Wasser & Boden* 52. Jahrg.
- Tutzer, R., Brinkmeier, B., Böttcher, H., & Aufleger, M. (2-3 2019). Der Elektro-Seilrechen als integrales Fischschutzkonzept. *WasserWirtschaft*, S. 36 - 40.

10 Kontaktdaten

Markus Aufleger, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Wasserbau
Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck – Österreich
t: +43 512 507 62201
f: +43 512 507 62199
m: wasserbau@uibk.ac.at
<https://www.uibk.ac.at/wasserbau/>
<https://www.uibk.ac.at/wasserbau/forschung/elektro-seilrechen/>
<https://www.seilrechen.at>

Auflistung der weiteren Projekt- bzw. Kooperationspartner:

- Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, Universität für Bodenkultur, Wien
- Albatros Engineering GmbH
- IUS Weibel & Ness GmbH