

Masterarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur

Experimentelle Untersuchungen zur Fischschutz- und Leitwirkung an einer Hybridbarriere (Elektro-Seilrechen)

verfasst von

Florian Darmann

eingereicht an der
Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt
Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement

Matrikelnummer: 00740765
Studienkennzahl: 431
Studienrichtung: Kulturtechnik und Wasserwirtschaft

Betreuer: Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Stefan Schmutz
Mitbetreuer: Dipl.-Ing. Bernhard Zeiringer
Dipl.-Ing. Simon Führer

Wien, Mai 2019

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe, alle Ausführungen, die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommen wurden, kenntlich gemacht sind und die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht Bestandteil einer Studien- oder Prüfungsleistung war.

Unterschrift des Verfassers

Kurzfassung

Fische führen Wanderungen innerhalb von Gewässern sowohl flussauf- als auch flussabwärts durch. Diese Wanderungen sind aber aufgrund der großen Anzahl an anthropogenen Eingriffen (z.B. Wasserkraftwerke) nur eingeschränkt durchführbar, da der Ausbau erneuerbarer Energieträger in den letzten Jahrzehnten u.a. im Zuge der Europäischen Klimaschutzpolitik stark vorangetrieben wurde. Dies steht allerdings in direktem Konflikt mit der EU-Wasserrahmenrichtlinie, die die Sicherstellung der Durchgängigkeit des Gewässers einfordert. Vor allem bei der flussabwärts gerichteten Wanderung, z.B. über einen Bypass, der mögliche Verletzungen der Fische bei der Turbinenpassage verhindern soll, herrscht nach wie vor großer Forschungsbedarf. Nach derzeitigem Stand des Wissens weisen mechanische Barrieren (z.B. Feinrechensysteme mit geringen Stabweiten) die höchsten Schutzraten auf, bringen aber auch betriebliche Probleme mit sich. Dementsprechend sind solche Systeme bisher nur an kleineren Anlagen technisch und wirtschaftlich umsetzbar. Folglich sind Lösungskonzepte erforderlich, die sowohl ökologischen Anforderungen (u.a. Fischschutz) als auch wirtschaftlichen bzw. betrieblichen Anforderungen (u.a. hydraulische Verluste, Wartung) genügen.

Als neuartiges System wurde an der Universität Innsbruck der sogenannte "Seilrechen" entwickelt, aus dessen Weiterentwicklung der Elektro-Seilrechen hervorging. Dabei handelt es sich um eine Kombination aus mechanischer Barriere und Verhaltensbarriere. Beide Systeme bestehen aus horizontal gespannten Stahlseilen, die unter einer bestimmten Neigung vor dem Turbineneinlauf situiert werden. Die Stahlseile (mechanische Barriere), die infolge der Anströmung und in Abhängigkeit der Vorspannung in Schwingung versetzt werden (und dadurch u.a. einen optischen Reiz auf Fische ausüben), wirken v.a. bei Elektrifizierung als Verhaltensbarriere. Konkret wird eine elektrische Spannung im Niederspannungsbereich an die Stahlseile angelegt, die in der Rechenebene ein elektrisches Feld erzeugt (elektrischer Reiz). Ziel dieser Arbeit ist es, die Auswirkung verschiedener elektrischer Felder sowie unterschiedlicher Seilabstände (lichte Weite) hinsichtlich Fischschutz- und Leitwirkung zu quantifizieren. Zu diesem Zweck wurden ethohydraulische Versuche an der HyTEC-Versuchsanlage (Hydromorphological and Temperature Experimental Channel) in Lunz am See durchgeführt, wobei Versuche mit Strom (*Treatment*) und ohne Strom (*Kontrollversuche*) durchgeführt wurden. Getestet wurden unterschiedliche Fischarten, lichte Weiten, Stromfeldkonfigurationen und Neigungswinkel.

Gegenständlich wird auf drei Versuchsreihen fokussiert, wobei neben potamodromen Kurzstreckenwanderern ergänzend auch Versuche mit einem katadromen Wanderer, dem Europäischen Aal, durchgeführt wurden. Die Datenerhebung erfolgte mittels PIT-tag-Antennen und mehreren Unterwasserkameras. Entsprechend wurde allen Fischen vorab ein passiver Transponder (PIT-tag) appliziert, der bei Querung einer Antennenspule eine eindeutige Zuordnung der Individuen ermöglicht. Die Antennen wurden flussab des Rechens sowie innerhalb des Bypasses angeordnet. Die Unterwasserkameras wurden so positioniert, dass das Verhalten von Fischen im Bereich des Rechens und des Bypasses beobachtet werden konnte. Neben einer Rechenpassage konnte somit auch ein Einschwimmen in den Bypass festgestellt werden. Die Versuche zeigten einen eindeutigen Unterschied zwischen *Treatment* und *Kontrollversuchen*: In Versuchen ohne Strom passierten mehr Fische den Rechen als in Versuchen mit Strom, unabhängig von der verwendeten Stromfeldkonfiguration. Zusätzlich konnte ein Einfluss der Fischlänge nachgewiesen werden, da bei abnehmender Körpergröße der Anteil an Rechenpassagen zunahm. Zudem traten artspezifische Unterschiede hinsichtlich Aktivität und Rechenpassagen auf. Um breitere Erkenntnisse hinsichtlich einer Scheuch- und Leitwirkung des Elektro-Seilrechens zu erhalten, erfolgte ergänzend eine Videoauswertung. Dabei wurden Reaktionen der Fische im Nahbereich des Rechens erfasst und klassifiziert, wobei die Auswertung der PIT-tag-Daten bestätigt werden konnte.

Abstract

Fish migrate within river systems in upstream as well as in downstream direction. Through the expansion of renewable energy, which has been enforced by the climate policy of the European Union in the last decades, these migrations have been hindered due to anthropogenic influence (e.g. hydropower plants). The result is a conflict with the EU Water Framework Directive, which enforces the ability of fish to be able to migrate in both directions. Especially for a safe downstream migration, e.g. through a bypass system, which prevents fish from turbine related injuries, further investigations are needed. Nowadays, the most effective systems are physical barriers (e.g. very fine racks), but they are also causing operational problems. These systems are only suitable for smaller hydropower plants because of economic and technical reasons. Therefore, there is need for new concepts concerning ecological requirements (i.e. fish protection) as well as economic and operational requirements (i.e. hydraulic capacity, maintenance etc.). The University of Innsbruck developed the electrified flexible fish fence (EFFF). It is a combination of a physical and behavioral barrier. The EFFF consists of horizontally tensioned steel cables, positioned at a certain angle in front of a hydropower plant. The steel cables represent the physical barrier, while through the application of electricity an electrical field is created, which acts as a behavioral barrier. The target of this thesis is to quantify the effect of the electrical field as well as the differences in cable clearance concerning its protection and guiding effect. For this reason, ethohydraulic experiments were performed at the Hydromorphological and Temperature Experimental Channel in Lunz am See (Lower Austria). In order to compare the effect of the EFFF experiments with (*treatment*) as well as experiments without electricity (*control*) were performed. There were different fish species tested as well as differences in cable clearance, angle of inclination and the electrical field. There were three experimental designs created, which included potamodromous and catadromous fish, whereas for latter the behavior of the European eel was examined. For data acquisition PIT-tags and several cameras were used. For that reason, transmitters were implanted, which send out a signal after fish pass a certain area. The PIT-tag-antennas were located downstream behind the EFFF and within the bypass. The position of the cameras was chosen in order to observe the behavior of the fish next to the EFFF. Fence passage as well as bypass detections were recorded and compared. The results showed a difference for all three experimental designs when electricity was applied: For the experiments without electricity, more fish passed the fence as they did when the electrical field was active. Additionally, an impact of fish length was observed, because smaller fish were more likely to pass the fence. In addition, differences in the behavior of fish species in terms of activity and passage were noted. To improve knowledge of the deterring and guiding effect of the EFFF, additionally the received videos were evaluated. The video results also confirmed the PIT-tag-results.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	11
1.1. Problematik	11
1.2. Schutzmaßnahmen - Stand der Technik.	12
1.3. Der Elektro-Seilrechen.	14
1.4. Ziel dieser Arbeit	17
2. Versuchsstandort	19
3. Versuchsfische, Fischmarkierung und Hälterung	20
3.1. Kurzbeschreibung der Fischarten	21
3.1.1. Salmoniden - Lachsfische	21
3.1.1.1. Bachforelle - <i>Salmo trutta fario</i>	21
3.1.1.2. Regenbogenforelle - <i>Oncorhynchus mykiss</i>	22
3.1.1.3. Äsche - <i>Thymallus thymallus</i>	23
3.1.2. Cypriniden - Karpfenfische	24
3.1.2.1. Aitel - <i>Squalius cephalus</i>	24
3.1.2.2. Rotfeder - <i>Scardinius erythrophthalmus</i>	24
3.1.2.3. Rotauge - <i>Rutilus rutilus</i>	25
3.1.2.4. Brachse - <i>Abramis brama</i>	26
3.1.3. Flussbarsch - <i>Perca fluviatilis</i>	26
3.1.4. Europäischer Aal - <i>Anguilla anguilla</i>	27
4. Methodik	29
4.1. Versuchsaufbau.	29
4.2. Versuchsdurchführung	31
4.3. Versuchsauswertung	33
5. Ergebnisse	35
5.1. Versuchsreihe 1 – "Regelversuch"	35
5.1.1. PIT-tag-Auswertung	36
5.1.2. Videoauswertung.	40
5.1.3. Vergleich der Auswertungsmethoden	44
5.1.4. Artspezifische Unterschiede.	45
5.1.5. Größenverteilung der Fische	46
5.2. Versuchsreihe 2 – "Mixed"	47
5.3. Versuchsreihe 3 – "Aal"	49
6. Diskussion	51
6.1. Versuchsreihe 1 – „Regelversuch“	51
6.2. Versuchsreihe 2 – „Mixed“	53
6.3. Versuchsreihe 3 – „Aal“	54
6.4. Resümee.	54
7. Ausblick	56
Literaturverzeichnis	57

Abbildungsverzeichnis	60
Tabellenverzeichnis	62
Anhang A: Versuchsprotokolle	63
Anhang B: PIT-Daten	78
Anhang C: Videoauswertung - Protokolle	82

1. Einleitung

Wasserkraft ist eine der ältesten Ressourcen der Menschheit, deren Potential bereits vor tausenden von Jahren erkannt wurde. In Österreich hat diese aufgrund der großen Anzahl an Gewässern mit ganzjähriger Wasserführung einen hohen Stellenwert. Mit rund 60% stellt die Wasserkraft den größten Anteil an der inländischen Stromerzeugung (vgl. E-Control, 2018). Aktuell gibt es in Österreich bereits mehr als 5000 Wasserkraftanlagen, was in etwa 70% des energiewirtschaftlichen Potentials entspricht (vgl. Jungwirth et al., 2003).

Wasserkraft ist ebenso wie Windkraft eine erneuerbare Energiequelle, bei deren Anwendung keinerlei Emissionen anfallen. Dementsprechend wurde der Ausbau in den letzten Jahrzehnten im Rahmen der europäischen Klimapolitik stark forciert. Doch die Nutzung von Wasserkraft hat nicht nur positive Aspekte, da es gleichzeitig zu Eingriffen in das betroffene Gewässer kommt. Diese haben Auswirkungen auf das Gewässer und die darin lebenden Organismen.

1.1. Problematik

Fische führen innerhalb ihres Lebenszyklus Wanderungen sowohl flussauf- als auch flussabwärts durch. Diese Wanderungen unterscheiden sich je nach Art und Altersstadium und dienen dem Wechsel zwischen bestimmten Zielhabitaten. Dies umfasst beispielsweise das Aufsuchen der Nahrungshabitate oder den Wechsel ins Winterhabitat. Das Ziel dieser Wanderungen ist es, die räumlichen und zeitlichen Ressourcen des Gewässers optimal zu nutzen (vgl. DWA, 2005). Durch den Bau von Wasserkraftanlagen, die im Regelfall über den gesamten Flussquerschnitt ausgeführt sind, wird das Gewässer im Längsverlauf unterbrochen und in kleinere Abschnitte fragmentiert. Diese Bauwerke stellen für Fische nahezu unüberwindbare Hindernisse dar und verzögern bzw. unterbinden diese Wanderungen. Dies kann große Auswirkungen auf die Artenvielfalt haben und im schlimmsten Fall zum Aussterben einzelner Arten führen. Das wird dadurch belegt, dass in Österreich nur mehr 29% (17 von 65) der heimischen Fische und Neunaugen als nicht gefährdet gelten (vgl. Spindler, 1997).

Aktuell gibt es in Österreich mehr als 33000 Querbauwerke, wobei bei knapp 70% die Durchgängigkeit nicht gegeben ist (vgl. BMLFUW, 2015). Daher werden in den letzten Jahren seit dem Inkrafttreten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie vermehrt Bemühungen unternommen, die Durchgängigkeit wiederherzustellen.

Die flussaufwärts gerichtete Wanderung ist mittlerweile seit Jahrzehnten Teil von wissenschaftlichen Untersuchungen. Dementsprechend gibt es unterschiedlichste Systeme zur Ermöglichung eines erfolgreichen Fischaufstiegs, abhängig vom Gewässer und den darin vorkommenden Fischarten. Beispiele hierfür sind naturnahe Möglichkeiten wie das gewässertypische Umgehungsgerinne oder der naturnahe Beckenpass, aber auch technische Ausführungen wie der Schlitzpass, Schneckensysteme oder der Fischlift. In Abhängigkeit der Lage und Ausgestaltung des oberwasserseitigen Ausstiegs sind Fischaufstiegshilfen jedoch nicht zwingend als Abstiegsanlage geeignet. Neben der Bereitstellung geeigneter Abstiegsmöglichkeiten ist die Vermeidung einer Schädigung von Fischen infolge einer Turbinenpassage von zentraler Bedeutung. Die Schädigungen sind von Faktoren wie der

Fischart, dem Altersstadium und dem Turbinentyp abhängig (vgl. Holzner, 2000). Speziell Jungfische sind durch das Auftreten von natürlichen Driftbewegungen aufgrund mangelnder physischer Voraussetzungen vom Fehlen geeigneter Schutzmechanismen betroffen. Es besteht daher vermehrt Interesse daran, an Wasserkraftanlagen eine sichere Abwärtswanderung durch den Einsatz entsprechender Maßnahmen zu ermöglichen. Insbesondere an mittleren und großen Laufwasserkraftwerken sind existierende Systeme aktuell technisch bzw. ökonomisch nur schwer realisierbar.

1.2. Schutzmaßnahmen - Stand der Technik

Das Ziel von Fischschutzanlagen besteht darin, Fische auf ihren Wanderbewegungen vor dem Einschwimmen in den unmittelbaren Turbinenbereich zu bewahren, in Richtung eines Alternativkorridors (Bypass) zu leiten und so verletzungsfrei ins Unterwasser zu führen (vgl. Larinier, 2002). Obwohl in diesem Bereich noch immer erheblicher Forschungsbedarf besteht, existieren bereits einige Konzepte zum Schutz bei Abwärtswanderung. Es fehlen allerdings nach wie vor einheitliche Standards, etwa in Form von Leitfäden, mit praktischen Empfehlungen zur Bemessung und zum Bau solcher Systeme.

Fischschutzeinrichtungen

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen mechanischen Barrieren (konventionelle Rechensysteme, Louvers, Tauchwände) und Verhaltensbarrieren (akustische, elektrische, optische Hindernisse). Rechensysteme werden typischerweise zum Schutz der Turbine vor Treibgut verwendet und kommen an nahezu allen Wasserkraftwerken zum Einsatz. Diese eignen sich bei entsprechender Ausführung auch als Barriere zum Schutz der Fische vor dem Einschwimmen in den Gefahrenbereich. Die Funktionsweise von Rechensystemen beruht dabei auf der physischen Undurchlässigkeit der Barriere (Filterfunktion), wobei die Wirksamkeit auf hydraulischen und geometrischen Parametern beruht (vgl. Ebel 2013; DWA 2005). Die Wahl der lichten Weite hängt dabei von der zu schützenden Fischart und den Altersstadien ab, wobei maximale Abstände von 20 mm und Anströmgeschwindigkeiten von $\leq 0,5$ m/s empfohlen werden (vgl. DWA, 2005; Travade et al., 2006). Weiters sollen neben dem Schutz vor dem Einschwimmen in den Gefahrenbereich Fische in Richtung eines Alternativkorridors (Bypass) geleitet werden. Erreicht wird dies beispielsweise durch eine Schräganstellung des Rechens zur Fließrichtung in Kombination mit einem am unterstromigen Ende angeordneten Bypass. Die Kombination dieser beiden Faktoren (mechanische Barriere und Bypass) weisen nach aktuellem Wissensstand das größte Schutzpotential auf (vgl. Ebel, 2013; Böttcher et al., 2015). Vor allem an kleineren Wasserkraftanlagen wurden mit diesen Systemen bereits gute Erfahrungen gemacht.

Die Nutzung dieser Konzepte bringt allerdings Probleme mit sich, da diese Barrieren bei der Wahl der lichten Stabweiten limitiert sind. Um auch den Schutz kleiner Fischarten bzw. Altersstadien sicherzustellen, sind geringe Stababstände nötig, die zu hohen hydraulischen Verlusten führen. Daneben ergeben sich zusätzliche Nachteile hinsichtlich effizienter Reinigungsverfahren sowie erhöhter Investitionskosten durch die notwendige Schräganstellung. Dies führt in weiterer Folge zu einem Widerspruch zwischen wirksamem Fischschutz auf der einen und den betrieblichen Problemen in Kombination mit erhöhten Kosten auf der anderen Seite.

Eine Alternative zu den beschriebenen Rechensystemen ist der Einsatz von sogenannten Verhaltensbarrieren. Diese nutzen beispielsweise optische oder akustische Reize oder die Wirkung von elektrischen Feldern, um Einfluss auf das Verhalten der Fische zu nehmen.

Vor allem der Einsatz von elektrischen Scheuchanlagen wurde bis zuletzt äußerst kritisch gesehen. Mittlerweile konnte nach Durchführung von mehreren Forschungsprojekten die grundsätzliche Wirksamkeit nachgewiesen werden (vgl. Weibel & Wuest, 2016). Ein Beispiel für elektrische Scheuchanlagen ist das NEPTUN System, bei dem mittels vertikal angeordneter Elektroden ein elektrisches Feld erzeugt wird (vgl. Parasiewicz, 2016).

Bypasssysteme

Um einen gesicherten Fischabstieg zu gewährleisten, ist neben den beschriebenen Schutzmaßnahmen ein Alternativweg notwendig. Diese Verbindung zwischen Ober- und Unterwasser wird als Bypass bezeichnet und hat die Aufgabe, Fischen eine Umgehung des Gefahrenbereichs zu ermöglichen. Neben naturnahen Möglichkeiten, bei denen ein großer Raumbedarf vorliegt, gibt es mittlerweile auch technische Ausführungen für einen kompakten Abwanderungskorridor. Bei entsprechender Gestaltung können Bypässe darüber hinaus andere Funktionen wie Treibgutableitung oder Hochwasserentlastung erfüllen (vgl. Ebel, 2013). Die Bemessung und Gestaltungsmöglichkeiten solcher Systeme sind umfangreich und hängen in erster Linie von den Bedingungen vor Ort, wie etwa den zu schützenden Fischarten sowie den Abflussverhältnissen ab.

Grundsätzlich werden an den Bypass unterschiedliche Anforderungen gestellt. Dieser soll von Fischen aufgefunden werden und eine sichere Passage ohne Verzögerung möglich machen (vgl. Lehmann et al., 2016). Zu diesem Zweck soll der Bypass möglichst nah an der Fischschutzanlage positioniert sein und bestimmte geometrische Anforderungen erfüllen. Dabei werden für viele mitteleuropäische Fischarten Profilbreiten zwischen 0,4 m - 0,6 m und Wassertiefen zwischen 0,6 m - 0,9 m empfohlen. Weiters können diese entweder kanalartig und daher lichtoffen oder rohrartig ausgeführt werden (vgl. Ebel, 2013). Aus Gründen der Wartung (z.B. beim Entfernen von Treibgut) ist die lichtoffene Ausführung zu bevorzugen.

Zusätzliche Maßnahmen

Neben den bisher beschriebenen Maßnahmen, die auf eine Umgehung der Wasserkraftanlage abzielen, ist auch ein Einsatz fischschonender Turbinen bzw. eine Anpassung des Anlagenbetriebes möglich. Beispielsweise kann durch Reduktion der Schaufelzahl und/oder Verringerung der Drehzahl ein Verletzungsrisiko bei einer Turbinenpassage minimiert werden. Ein Beispiel für eine fischfreundliche Turbine ist die sogenannte Doppeldrehrohrschnecke (HYDROCONNECT), welche Fischabstieg und Fischaufstieg ermöglicht (vgl. Grigull, 2015; Zeiringer et al., 2017). Der fischschonende Anlagenbetrieb hingegen zeichnet sich durch ein periodisches Öffnen der Wehrfelder aus (vgl. DWA, 2005). Dabei wird durch gleichzeitiges Einstellen des Betriebes kurzfristig eine sichere Abwanderung ermöglicht. Vor allem für Arten, bei denen der Abwanderungszeitraum sowohl zeitlich begrenzt als auch vorhersehbar ist, stellt dies eine gute Maßnahme dar (vgl. DWA, 2005; Ebel, 2013).

Falls keine der oben genannten Varianten eine Option darstellt, gibt es noch die Möglichkeit der Fischtransportsysteme ("Trap and Truck"). Dabei werden die Tiere vor dem Passieren einer Kraftwerkskette eingefangen und weiter flussabwärts, sobald eine sichere Fortsetzung der Wanderung möglich ist, wieder freigelassen (vgl. Ebel, 2013). Anwendungen dieser Art finden sich vor allem an größeren Stauketten.

Nach derzeitigem Kenntnisstand wird die größte Schutzwirkung durch mechanischen Barrieren in Kombination mit Bypasssystemen (Leitrechen-Bypass-Systeme) erreicht (vgl. Ebel, 2013). Diese Konzepte haben jedoch hauptsächlich für kleinere Wasserkraftanlagen

Relevanz. Für die Durchführung bei mittleren und großen Laufwasserkraftwerken ($Q > 100\text{m}^3$) besteht vor allem in Hinblick auf den weiteren Ausbau von erneuerbaren Energiequellen noch ein großer Forschungsbedarf. Dies liegt an der technischen Machbarkeit und an den dafür notwendigen Investitionskosten.

In Hinblick auf eine Nachrüstung an bestehenden Anlagen wurde 2012 an der Universität Innsbruck das Projekt "Der Seilrechen" ins Leben gerufen, aus dessen Weiterentwicklung der Elektro-Seilrechen hervorging. Dieser stellt einen neuartigen Ansatz im Bereich des Fischschutzes dar.

1.3. Der Elektro-Seilrechen

Der Elektro-Seilrechen (E-Seilrechen) wird seit 2016 an der Universität Innsbruck am Arbeitsbereich Wasserbau in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern ALBATROS Engineering GmbH, Weibel & Ness sowie der Universität für Bodenkultur Wien entwickelt. Konkret handelt es sich um die Weiterentwicklung des Seilrechens, der ein modifiziertes Konzept herkömmlicher Rechensysteme zum Schutz und Leiten von Fischen im Zuge der flussabwärts gerichteten Wanderungen darstellt. Das Funktionskonzept ähnelt dabei dem Leitrechen-Bypass-Systemen nach Ebel et al. (2015). Im Gegensatz zum Leitrechen, ist der Seilrechen als flexibles System mit horizontal gespannten Stahlseilen ausgeführt. Wird eine elektrische Spannung an die Stahlseile angelegt, handelt es sich um den E-Seilrechen, der die Vorteile einer Verhaltensbarriere mit jener einer mechanischen Barriere verbindet. Aus diesem Grund wird dieser als Hybrid-System bezeichnet. Die mechanische Barrierewirkung wird durch 8 mm dicke Stahlseile erreicht. Im Gegensatz zu den herkömmlichen Rechenanlagen sind diese aber nicht vertikal, sondern horizontal vor dem Turbineneinlauf angeordnet. Da die meisten Fischarten im Normalfall höher als breit sind, soll dadurch eine höhere Schutzwirkung erzielt werden (vgl. Holzner & Blankenburg, 2009). Zusätzlich zu diesem Schutzeffekt verursachen die Stahlseile durch das anströmende Wasser leichte Schwingbewegungen. Dies hat zur Folge, dass die Seilabstände durchgehend leicht variieren, was ebenfalls Auswirkungen auf das Verhalten herannahender Fische haben kann (vgl. Böttcher, 2014). Allerdings hat der Seilrechen in seiner ursprünglichen Ausführung die gleichen Schwächen wie herkömmliche Rechensysteme, da eine ausreichende Barrierewirkung nur bei sehr kleinen Seilabständen erreicht wird. Dies führt wiederum zu erhöhten Betriebskosten und hydraulischen Verlusten. Aus diesem Grund wurde das Konzept des Seilrechens adaptiert und weiterentwickelt.

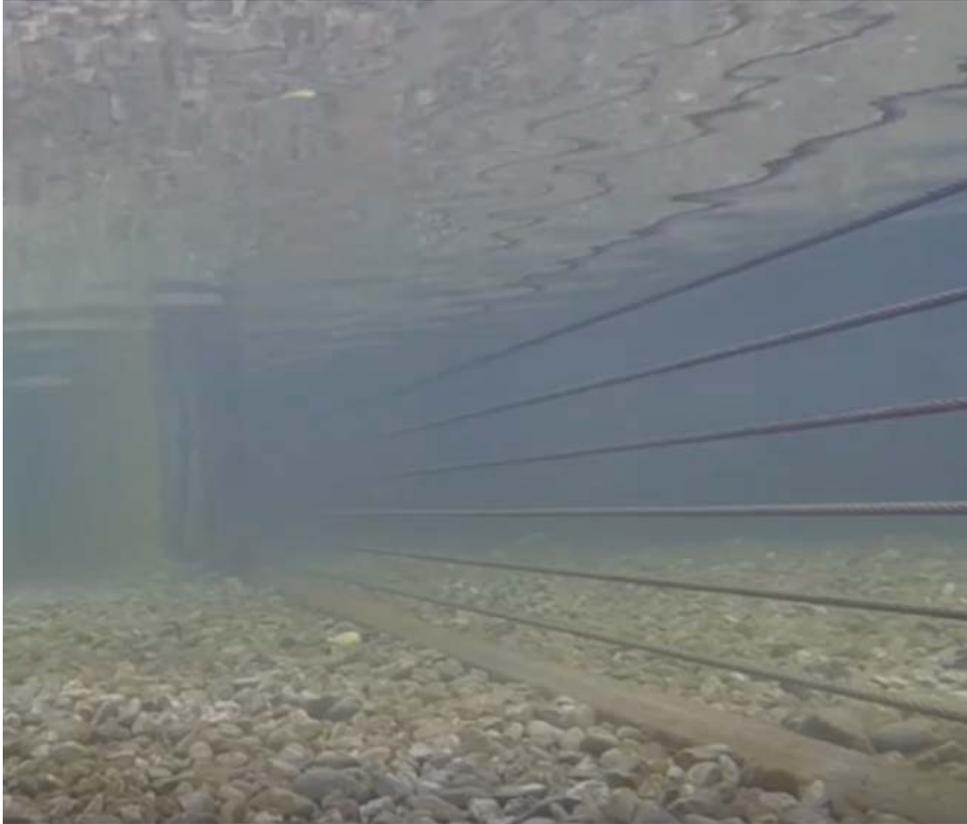


Abb. 1: Elektro-Seilrechen während der Versuchsdurchführung an der Versuchsanlage HyTEC

Die Neuerung stellt die Kombination aus mechanischer Barriere und Verhaltensbarriere dar. Das Ziel bei der Entwicklung des E-Seilrechen ist es, den Abstand zwischen den Seilen zu erhöhen, um den hydraulischen Verlusten vorzubeugen. Gleichzeitig soll die Schutzwirkung erhalten bleiben. Durch das Anlegen einer elektrischen Spannung an die Stahlseile wird ein elektrisches Feld erzeugt, welches das Verhalten der Fische im unmittelbaren Bereich um den Rechen beeinflusst. Schwimmt ein Fisch in den Wirkungsbereich dieses Feldes, so fließt Strom durch seinen Körper, wodurch eine körperliche Reaktion (Muskelbewegungen) hervorgerufen wird. Dabei schwimmt der Fisch mit gezielten Bewegungen auf die Anode zu, während im Wirkungsbereich der Kathode eine Scheuchreaktion hervorgerufen wird (Galvanotaxis). Der Effekt ist abhängig von der Potentialdifferenz und nimmt somit mit der Größe des Fisches sowie zunehmender Stärke des elektrischen Feldes zu (vgl. DWA, 2005).

Das elektrische Feld wird in der folgenden Abbildung 2 in Form der Stromdichte dargestellt. Diese entstammt einer Simulation, welche von Wüst (2017) durchgeführt wurde. Dargestellt ist die Stromdichte in Volt/Meter (V/m) rund um den Rechen mit Seilabständen von 60 mm. Dabei ist ersichtlich, dass durch unterschiedliche Anordnung der Elektroden unterschiedlich große Felder entstehen. Beim kleineren Feld werden die Elektroden so angeordnet, dass die Seile abwechselnd als Kathode und Anode wirken. Dieses wird in den weiteren Kapiteln als 1+/1- dargestellt. Das elektrische Feld erfährt dabei nur eine geringe Ausdehnung, dafür ist die Stromdichte innerhalb des Feldes umso stärker. Die Fische nehmen also erst kurz vor der Barriere den Strom wahr. Das größere Feld hingegen resultiert aus einer anderen Anordnung. Dabei stellen die untersten drei Seile die Anode dar, gefolgt von drei Seilen als Kathode. Bezeichnet wird diese Konfiguration in weiterer Folge als 3+/3-. Dabei erfährt das elektrische Feld eine größere Ausdehnung aber mit reduzierter Stromdichte.

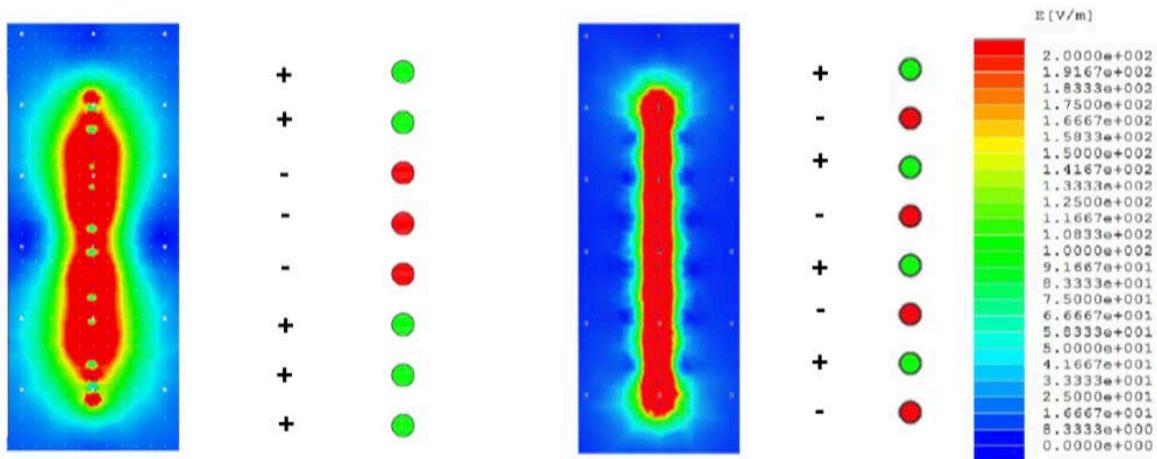


Abb. 2: Simulation des elektrischen Feldes und Darstellung der Polarisation der Stahlseile. Stromdichte in V/m. Links: Größeres elektrisches Feld (3+/-3-); Rechts: Kleineres elektrisches Feld (1+/-1-). Quelle: Wüst, 2017

Positioniert wird der E-Seilrechen im flachen Winkel gegenüber dem Anströmvektor direkt vor dem Einlaufbauwerk. Dabei besteht die Möglichkeit, große Längen zu überspannen. Eine mögliche Anordnung wird in Abbildung 3 dargestellt, in der der Turbinenbereich abgedeckt und zusätzlich ein möglicher Abwanderungsweg verfügbar ist.

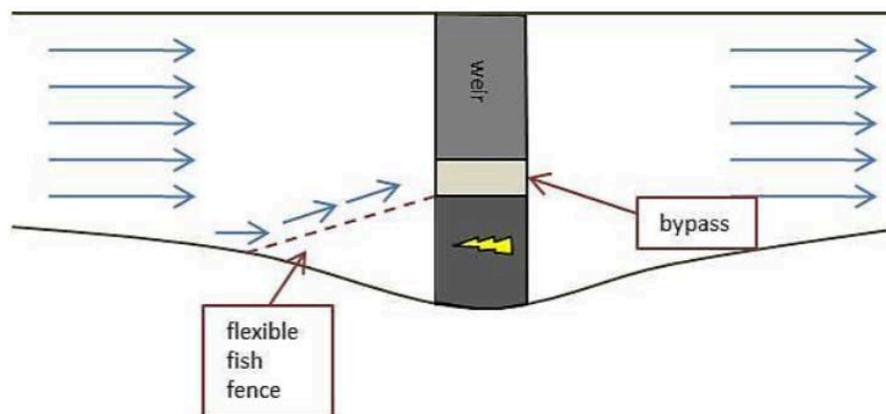


Abb. 3: Mögliche Anordnung des E-Seilrechen und Bypass vor dem Turbineneinlauf einer Wasserkraftanlage. Quelle: Böttcher, 2013

Einen Vorteil stellt der Umgang mit potentiellen Verkläunungen dar. Die Stahlseile sind bei Normalbetrieb an beiden Enden eingespannt und können bei Bedarf gelöst werden. Das betrifft einzelne Seile, um den Seilabstand zu verkleinern bzw. zu vergrößern oder kleine Mengen an Treibgut zu entfernen. Bei größeren Abflüssen besteht die Möglichkeit, alle Seile auf der Gewässersohle abzulegen und so eine vorteilhafte Rechenreinigung zu ermöglichen. Dabei gilt: je größer die Seilabstände sind, desto kostengünstiger ist das Reinigungsverfahren. Da der E-Seilrechen nur dem Fischschutz dient, ist ein zusätzlicher Schutz der Turbine in Form eines Feinrechen notwendig.

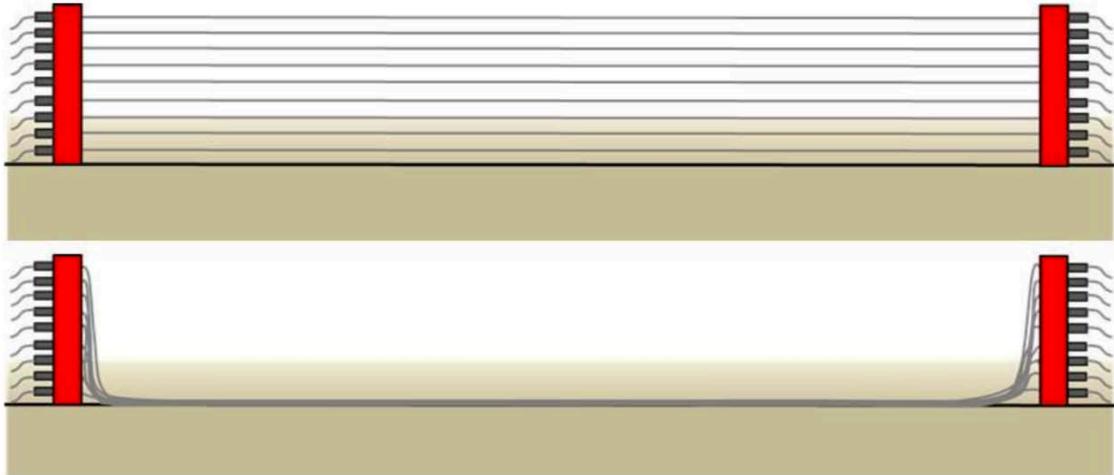


Abb. 4: Standardmäßige Ausführung des Seilrechen oben. Lose Seile im Fall von Hochwasser. Quelle: Böttcher, 2013

Zusammenfassend bietet der Seilrechen folgende Verbesserungen gegenüber bisher bekannten Ausführungen:

- Erhöhter Seilabstand durch Kombination von mechanischer und Verhaltensbarriere
- Einfachere Rechenreinigung durch erhöhte Seilabstände
- Möglichkeit zum Einbau an mittleren und großen Wasserkraftanlagen
- Geringere Betriebskosten
- Geringe Anschaffungskosten
- Einfacher Einbau
- Möglichkeit des nachträglichen Einbaus an bestehenden Anlagen

1.4. Ziel dieser Arbeit

Im Rahmen des Vorgängerprojekts "Der Seilrechen", wurden auch Vorversuche mit elektrifiziertem Setup durchgeführt. Da dabei das Potential als Hybridbarriere erkannt wurde, wird nun die Eignung als Schutz- und Leiteinrichtung untersucht. Dies betrifft mögliche Passagen des Rechen bei geringeren bzw. größeren Seilabständen in Kombination mit unterschiedlichen elektrischen Feldern sowie das Verhalten der Versuchsfische im Bereich des Rechen (Leitwirkung). Ziel dieser Masterarbeit war es, im Rahmen experimenteller Untersuchungen weitere Erkenntnisse über die Funktionsfähigkeit des E-Seilrechen zu erhalten. Daher wurde folgende Hypothese formuliert:

"Durch die Elektrifizierung der mechanischen Barriere wird die Schutz- und Leitwirkung gegenüber dem nicht elektrifizierten System erhöht."

Dazu wurden im Zeitraum von August bis November 2017 umfangreiche ethohydraulische Versuche an der HyTEC-Versuchsanlage in Lunz am See durchgeführt und folgende Forschungsfragen formuliert:

1. Gibt es einen Unterschied zwischen der Anwendung mit bzw. ohne Strom bezüglich der Scheuchwirkung des E-Seilrechen?

2. Gibt es einen Unterschied zwischen der Anwendung mit bzw. ohne Strom bezüglich der Leitwirkung des E-Seilrechens?

3. Gibt es einen Unterschied zwischen der Anwendung des größeren (3+/3-) und des kleineren (1+/1-) elektrischen Feldes?

2. Versuchsstandort

Die Durchführung der Versuche erfolgte an der HyTEC-Versuchsanlage (Hydromorphological and Temperature Experimental Channel) in Lunz am See (Niederösterreich). Die Anlage besteht aus zwei Versuchsrinnen, die sich etwa 400 m flussab des Lunzer Sees befinden. Von dort erfolgt die Wasserversorgung über zwei Transportleitungen, wobei die Wasserentnahme aus zwei unterschiedlichen Tiefen erfolgt. Eine Leitung entnimmt das Wasser oberflächennah und transportiert so verhältnismäßig warmes Wasser zu den Rinnen, die andere ist in rund 10 m Tiefe situiert und leitet so kälteres Wasser aus dem See ab. Die Rinnen können je nach Bedarf mit maximal 600 l/s unabhängig voneinander dotiert werden (vgl. Schmutz et al., 2013). Steuerungs- und Kontrollelemente befinden sich direkt bei den Rinnen in einer Messstation. Die Rinnen selbst haben eine Gesamtlänge von 40 m, sind aber dem Versuchsdesign entsprechend in kleinere Fragmente unterteilt. Das entnommene Wasser aus dem Lunzer See wird am Rinnenende wieder in den Lunzer Seebach zurückgeleitet.

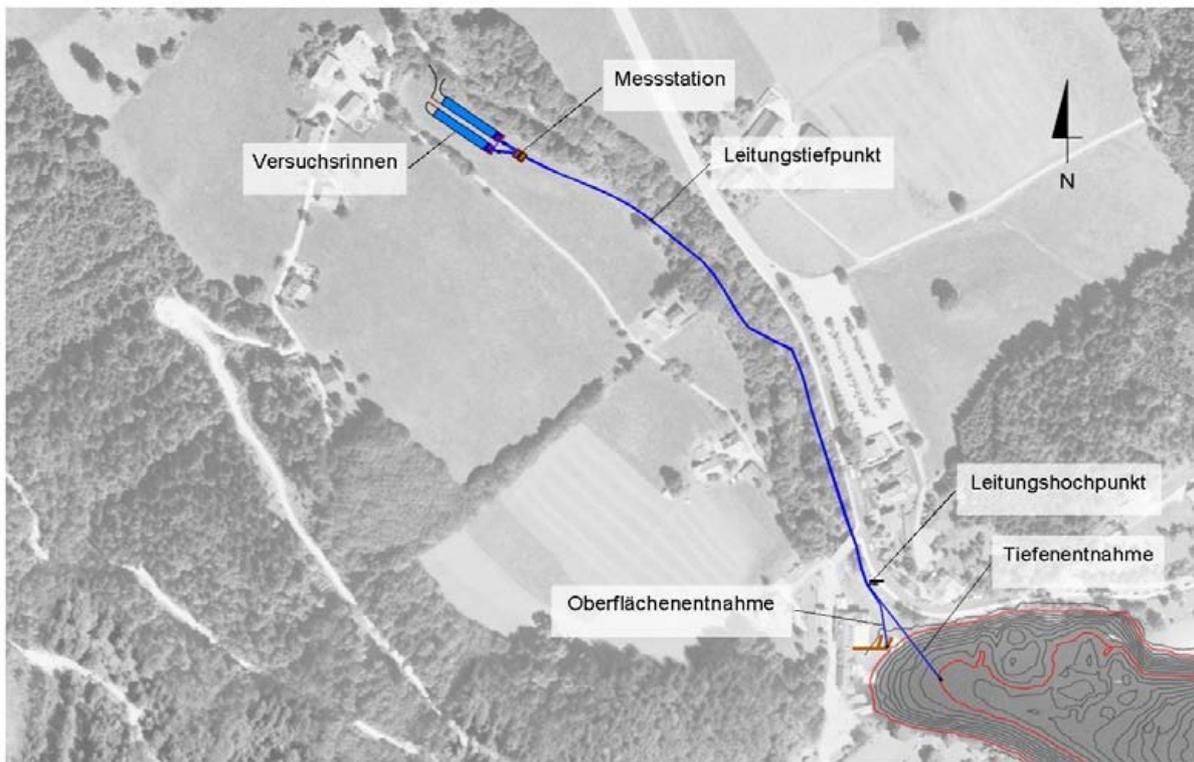


Abb. 5: Lage der Versuchsanlage HyTEC inkl. Transportleitungen vom See. Quelle: <http://hydropeaking.boku.ac.at/hytec.htm>

3. Versuchsfische, Fischmarkierung und Hälterung

Als Versuchsfische wurden potamodrome Fischarten gewählt, die auf ihren Wanderungen von der Problematik des Fischabstiegs besonders betroffen sind. Dabei wurden typischen Leitfischarten des Rhithrals, die Äsche und die Bachforelle sowie ergänzend die Regenbogenforelle ausgewählt. Als Vertreter des Potamals wurde zusätzlich das Aitel gewählt. Neben der Durchführung von Regelversuchen mit den zuvor genannten Arten (Versuchsreihe 1) wurden Zusatzversuche (Versuchsreihe 2) mit erweiterter Artenzusammensetzung (Brachse, Rotfeder, Rotaugen und Flussbarsch) durchgeführt. Ferner wurde das Verhalten des Europäischen Aals untersucht (Versuchsreihe 3). Dieser zählt zu den katadromen Wanderfischen und ist auf seiner flussabwärts gerichteten Laichwanderung massiv von anthropogenen Eingriffen betroffen.

Als Versuchsfische wurden ausschließlich Wildfische verwendet, da Fische aus Aquakulturen zu verändertem Verhalten sowie körperlichen Defiziten neigen können. Die Fischlänge in Versuchsreihe 1 lagen im Mittel bei rund 20 cm (min: 10 cm; max: 29 cm) bzw. rund 11 cm (min: 6 cm; max: 19 cm) in Versuchsreihe 2. In Versuchsreihe 3 lag die mittlere Fischlänge bei rund 80 cm (min: 55 cm; max: 95 cm).

Im Zuge der Erhebung der fischspezifischen Parameter (u.a. Fischart, Fischlänge) wurde den Individuen vorab der Versuchsdurchführungen ein Transponder (PIT-tag) appliziert, wodurch eine automatische Registrierung der Fische an Registrierstationen (Antennen mit Lesegerät und Speichermodul) während der Versuchsdurchführung ermöglicht wurde. Ausgenommen davon waren die Fischarten in Versuchsreihe 2 sowie Versuchsreihe 3 (Aal), da hier ausschließlich Videobeobachtungen durchgeführt wurden. Nach Applikation der Transponder wurden die fischspezifischen Parameter der Identifikationsnummer des Transponders zugeordnet, sodass eine eindeutige Identifikation der Individuen gewährleistet werden konnte. Vorab der Transponderapplikation wurden die Fische in einem separaten Becken durch zuvor zugegebenes Nelkenöl (Wirkstoff Eugenol; Dosierung 40 mg/L; gelöst in Ethylalkohol) betäubt. Da Nelkenöl zusätzlich antibakteriell und pilzhemmend wirkt (vgl. Karapinar & Aktug, 1987; Moleyar & Narasimham, 1992) wird es im Bereich der Fischökologie aufgrund seiner geeigneten Wirksamkeit (vgl. Anderson et al., 1997; Taylor & Roberts, 1999; Waterstrat, 1999) sehr häufig als Anästhetikum eingesetzt und empfohlen. Die Implantate wurden vor dem Einsetzen mittels Betaisodona desinfiziert.

Die Hälterung der Tiere erfolgte in separaten, ständig durchströmten Hälterboxen (Abb. 6), die zum Schutz vor Prädatoren und menschlicher Aktivität (z.B. Scheuchen) mit Planen abgedeckt wurden.



Abb. 6: Hälterbereich in Rinne 2. Mehrere separate Bereiche zur Sicherstellung ausreichender Regenerationsphase

3.1. Kurzbeschreibung der Fischarten

3.1.1. Salmoniden - Lachsfische

Die Familie der Lachsfische ist der einzige Vertreter aus der Ordnung der Lachsartigen (Salmoniformes) und besteht aus den drei Unterfamilien Salmoninae, Thymallinae und Coregoninae. Die wichtigsten Vertreter in Österreich stellen Bachforelle, Seeforelle, Huchen, sowie der Seesaibling dar. Ihr Körper ist langgestreckt und der Strömung, welcher sie aufgrund ihrer Vorliebe für kühle, sauerstoffreiche Bäche ausgesetzt sind, angepasst. Der wesentlichste Unterschied zwischen Salmoniden und anderen Familien ist das Vorhandensein einer Fettflosse, welche sich direkt zwischen Rückenflosse und Schwanzflosse befindet. Salmoniden verbringen ihr ganzes Leben im Süßwasser, obwohl mit dem atlantischen Lachs auch anadrome Arten vertreten sind.

3.1.1.1. Bachforelle - *Salmo trutta fario*

Die Bachforelle ist einer der wichtigsten heimischen Vertreter aus der Familie der Salmoniden. Sie gehört zu den rheophilen (strömungsliebenden) Arten und ist die wichtigste Fischart des Epi- und Metarhithrals (obere- und untere Forellenregion). Die Bachforelle kommt in vielen regionalen Formen in ganz Europa und Vorderasien vor und bevorzugt Gebirgs- und Bergbäche mit kühlen Temperaturen und hohem Sauerstoffgehalt. Sie gehört zu den potamodromen Kurzstreckenwanderern, da sich die Wanderbewegungen auf lokale Strecken von bis zu 30 km pro Jahr in eine Richtung beschränken (vgl. Jungwirth et al., 2003). Außerdem gelten sie als sehr standorttreue Tiere, die lediglich zur Reproduktion flussaufwärts zu ihren Laichgründen ziehen. Danach kehren sie wieder in ihr Ausgangshabitat zurück, was als "homing" bezeichnet wird. Der Zeitpunkt für diese Wanderungen liegt in den Sommermonaten, da die Laichzeit zwischen Oktober und Dezember ist. Die Rückwanderung erfolgt kurz danach (Kottelat & Freyhof, 2007).

Die Entwicklung der Bachforelle in den unterschiedlichen Altersstadien hängt vor allem vom besiedelten Lebensraum und dem daraus resultierenden Nahrungsangebot ab. In höher gelegenen, nahrungsarmen Gewässern erreicht diese oft nur 15-20 cm, wo sie dann als Steinforelle bezeichnet wird. Im Mittel erreichen Bachforellen Längen von 50 cm, wobei bereits Exemplare bis 90 cm gesichtet wurden (vgl. Honsig-Erlenburg et al., 2002). Optisch erkennbar ist sie vor allem an den roten Punkten, welche weiß umrandet sind.

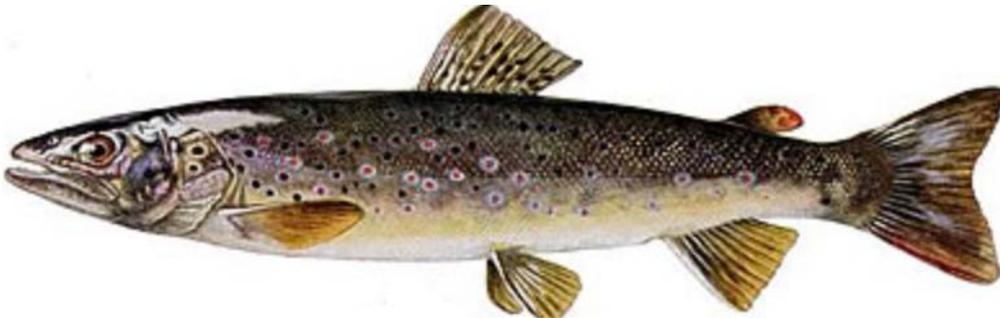


Abb. 7: Bachforelle. Quelle: www.oefg1880.at

3.1.1.2. Regenbogenforelle - *Oncorhynchus mykiss*

Die Regenbogenforelle gehört ebenfalls zu den rheophilen Fischarten und ist im Gegensatz zur Bachforelle in Österreich nicht heimisch. Sie wurde erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts nach Europa importiert und stammt ursprünglich aus Nordamerika. Heutzutage kommt sie in fast allen Salmonidengewässern Europas vor und steht damit in direkter Konkurrenz mit der heimischen Bachforelle. Die Lebensweise der beiden Arten ist sich sehr ähnlich, wobei die Regenbogenforelle wesentlich anspruchsloser an ihren Lebensraum ist. Dies verschafft ihr vor allem in Gewässern mit höheren Wassertemperaturen einen Vorteil. Sie ist dadurch weniger wählerisch bei der Nahrungsaufnahme und zeichnet sich durch schnelleres Wachstum aus. Zudem ist sie weitaus unempfindlicher gegenüber reduziertem Sauerstoffbedarf (vgl. Honsig-Erlenburg et al., 2002). Diese Aspekte begünstigen die wirtschaftliche Nutzung durch den Menschen und dementsprechend ist sie einer der wichtigsten Vertreter in der Teichwirtschaft. Ein weiterer Unterschied zur Bachforelle liegt im optischen Erscheinungsbild. Während die Körperform sehr ähnlich ist, kann man bei der Regenbogenforelle ein rot-violettes Band an der Körperseite erkennen.

Regenbogenforellen gehören ebenso wie die Bachforelle zu den Kieslaichern, die zum Erreichen des Laichhabitats flussaufwärts wandern. Sobald dieses erreicht ist, werden die Eier in einer ovalen Laichgrube abgelegt und nach der Besamung durch das Männchen wieder mit Kies bedeckt. Die Laichzeit ist meistens im Frühjahr, wobei die Reproduktion abhängig vom Gewässer von Oktober bis Mai stattfinden kann (vgl. Honsig-Erlenburg et al., 2002).



Abb. 8: Regenbogenforelle. Quelle: www.fischlexikon.eu

3.1.1.3. Äsche - *Thymallus thymallus*

Die Äsche ist die Leitfischart des Hyporhithrals und fast in ganz Europa verbreitet. Sie gehört ebenfalls zur Familie der Salmoniden, ist aber der einzige Vertreter der Unterfamilie Thymallinae. Der wissenschaftliche Name entstand durch den an Thymian erinnernden Geruch von frischen Äschen. Sie gehört ähnlich der Bachforelle und Regenbogenforelle zu den rheophilen Arten und bevorzugt schnell fließende Gewässer. Die Äsche ist in Österreich heimisch, wobei ihr Vorkommen stark zurückgegangen ist. Durch die hohen Ansprüche, welche die Äsche an ihren Lebensraum stellt und der durch anthropogene Einflüsse in den letzten Jahren stark verändert wurde, gilt sie mittlerweile in ganz Mitteleuropa als gefährdet. Dies liegt vor allem daran, dass sich die Flüsse der Äschenregion aufgrund ihres Gefälles besonders für die Wasserkraftnutzung eignen. Weiters reagiert die Äsche besonders empfindlich auf eine Verschlechterung der Wasserqualität. Wie alle Salmoniden besitzt die Äsche eine Fettflosse sowie eine besonders ausgeprägte Rückenflosse. Äschen erreichen im Mittel Längen von etwa 30-40 cm, selten über 50 cm, weisen aber generell ein sehr langsames Wachstum auf (vgl. Honsig-Erlenburg et al., 2002). Die Äsche gehört ebenfalls zu den potamodromen Kurzstreckenwanderern, die Distanzen bis zu 30 km zurücklegt. Die Laichwanderung startet mit Beginn der Schneeschmelze im März und reicht bis Mai, wobei vor allem die Abenddämmerung dafür genutzt wird (vgl. Jungwirth et al., 2003).



Abb. 9: Äsche. Quelle: www.angeln.de

3.1.2. Cypriniden - Karpfenfische

Die Familie der Karpfenfische gehört zur Ordnung der Karpfenartigen und ist mit etwa 1300 verschiedenen Arten sehr bunt gemischt (vgl. Sterba, 2002). Bekanntester Vertreter ist, wie der Name schon sagt, der Karpfen. Aber auch andere bekannte Arten wie Schleie, Aitel, Barbe oder Rotfeder werden dieser Familie zugerechnet. Ihr Lebensraum beschränkt sich hauptsächlich auf Flüsse des Potamals, wo sie mit Barbe und Brachse Leitfische für Epi- und Metapotamal stellen. Im Gegensatz zu den Salmoniden sind diese nicht mehr auf die kühlen Wassertemperaturen und den hohen Sauerstoffbedarf angewiesen. Es kommt in diesem Bereich zu erheblichen Schwankungen und die Pflanzenbestände nehmen immer weiter zu. Optisch haben Cypriniden meistens einen hochrückigen Körper, wobei Ausnahmen möglich sind. Weiters besitzen sie einen zahnlosen Ober- und Unterkiefer, wobei sie ihre Nahrung mit den sogenannten Schlundzähnen zerkleinern (vgl. Honsig-Erlenburg et al., 2002)

3.1.2.1. Aitel - *Squalius cephalus*

Aitel sind weit verbreitete Fische aus der Familie der Karpfenfische. Er kommt in nahezu allen Gewässertypen vor, lediglich die obere Forellenregion wird nicht besiedelt. Aitel sind bis auf wenige Ausnahmen wie Irland oder der Norden Skandinaviens in ganz Europa verbreitet und haben daher eine hohe Relevanz beim Thema Fischschutz (vgl. Sterba, 2002). Aitel gehören anders als die vorher beschriebenen Salmoniden nicht zu den rheophilen Arten, sondern sind eurytrop. Diese sind sehr anpassungsfähig und können unterschiedlichste Habitate besiedeln (vgl. Spindler et al., 1997). Die Laichzeit des Aitel beginnt normalerweise im April und endet im Juni. Dabei ziehen diese ebenfalls flussaufwärts und legen dabei kurze Strecken von bis zu 30 km zurück, um ihre Laichplätze zu erreichen (vgl. Honsig-Erlenburg et al., 2002).



Abb. 10: Aitel. Quelle: www.oefg1880.at

3.1.2.2. Rotfeder - *Scardinius erythrophthalmus*

Die Rotfeder ist ein weiterer Vertreter aus der Familie der Karpfenfische. Ihren Namen verdankt sie den hellrot gefärbten Bauch- und Schwanzflossen. Sie ist ein Schwarmfisch mit hochrückigem Körper und erreicht mittlere Längen von 20-30 cm. Die bevorzugten Lebensräume der Rotfeder sind Seen, Teiche sowie langsam fließende Gewässer mit schlammigem Grund. Sie halten sich dort hauptsächlich in den Pflanzenbeständen nahe der

Wasseroberfläche auf (vgl. Honsig-Erlenburg et al., 2002). Rotfedern gehören zu den potamodromen Kurzstreckenwanderern, die in kleinen Gruppen ihre flussaufwärts gelegenen Reproduktionsgründe aufsuchen und dort an dicht bewachsenen Flachwasserzonen laichen. Die Laichzeit reicht von April bis Juli.

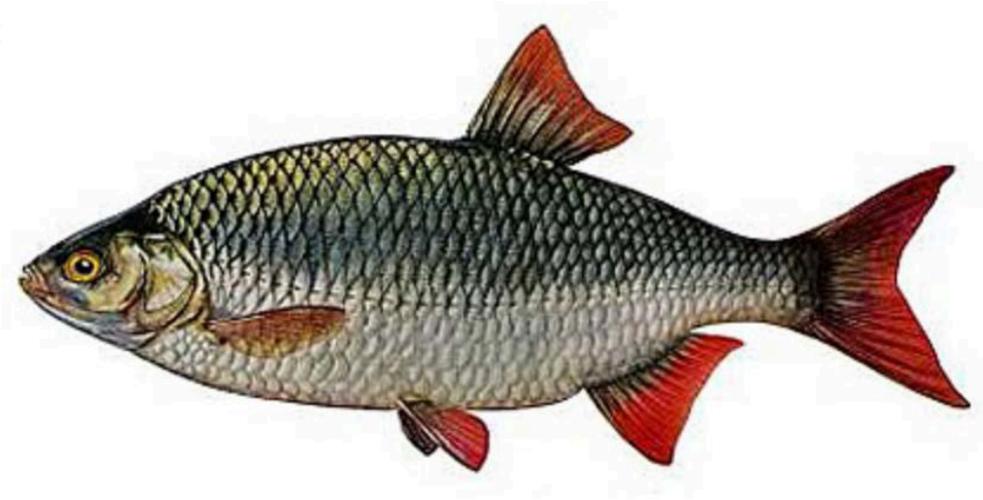


Abb. 11: Rotfeder. Quelle: www.oefg1880.at

3.1.2.3. Rotaug - *Rutilus rutilus*

Rotaugen sind anspruchslose Schwarmfische, die in fast allen Flüssen und Seen Österreichs vorkommen und nur in schnell fließenden Gewässern der Forellenregion fehlen. Ihre Lebensweise ähnelt stark der Rotfeder, daher bevorzugen sie ebenfalls verkrautete Uferzonen und Ruhigwasserbereiche. Im Gegensatz zur Rotfeder besitzen sie ein rotes Auge. Außerdem ist die Rückenflosse knapp hinter der Basis der Bauchflosse, während diese bei der Rotfeder deutlich dahinterliegt. Die Laichzeit beginnt im April und endet im Juli, wobei sie Stellen mit Wasserpflanzen und Steinen bevorzugen, an denen die Eier haften bleiben (vgl. Honsig-Erlenburg et al., 2002).

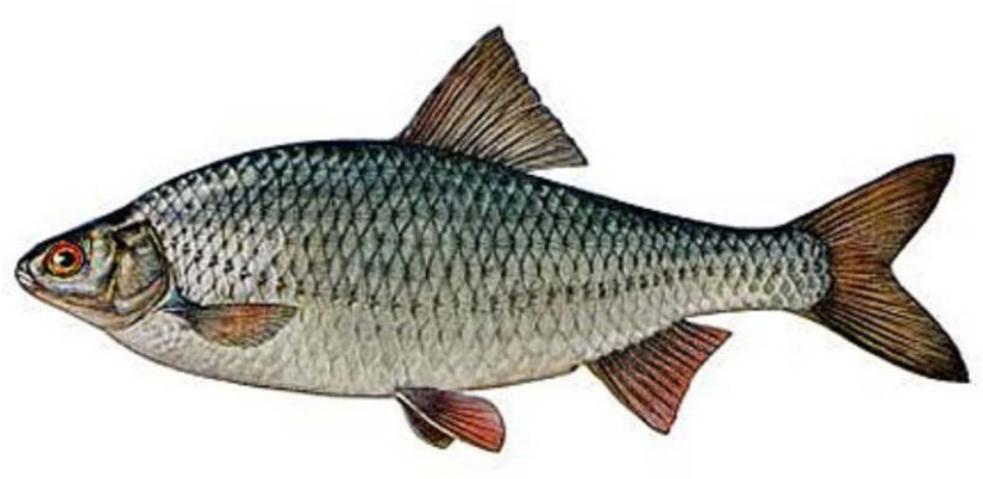


Abb. 12: Rotaug. Quelle: www.oefg1880.at

3.1.2.4. Brachse - *Abramis brama*

Die Brachse ist der Leitfisch des Metapotamals (Brachsenregion) und kommt in nahezu allen Seen und langsam fließenden Gewässern vor. Dabei werden solche mit hohem Nährstoffreichtum und schlammigen Grund bevorzugt. Sie hat einen hochrückigen, seitlich abgeflachten Körper mit einer kurzen dreiecksförmigen Rückenflosse. Brachsen erreichen mittlere Längen von 30-40 cm (vgl. Honsig-Erlenburg et al., 2002). Für die Nahrungsaufnahme vergraben sie ihr rüsselartiges Maul im Boden und ernähren sich so von Schnecken, Zuckermückenlarven oder kleinen Muscheln. Brachsen sind ebenfalls Pflanzenlaicher, deren Laichzeit von Mai bis Juli reicht. Dazu ziehen sie in größeren Laichschwärmen zu ihren angestammten Plätzen flussaufwärts. Die Männchen erhalten zu dieser Zeit den für die Karpfenfische typischen Laichauschlag.

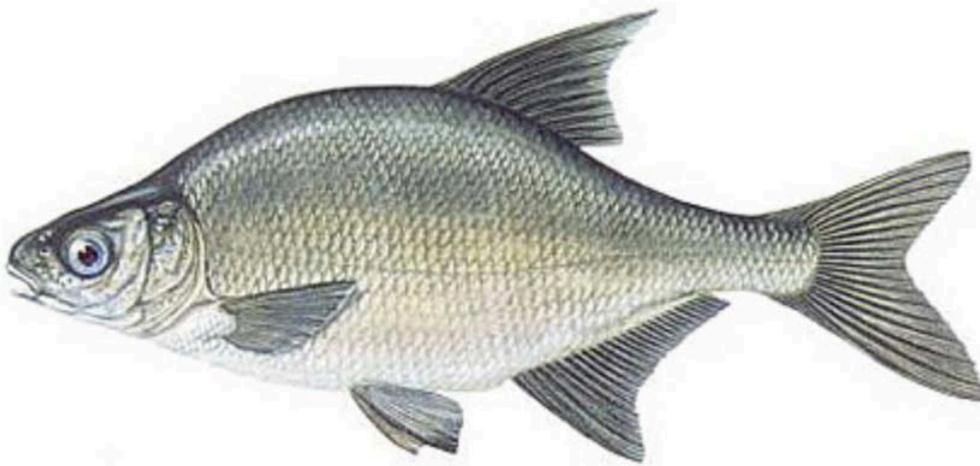


Abb. 13: Brachse. Quelle: www.oefg1880.at

3.1.3. Flussbarsch - *Perca fluviatilis*

Der Flussbarsch ist der einzige verwendete Vertreter aus der Familie der Perciden. Er gehört ebenfalls zu den potamodromen Wanderfischen und ist in ganz Europa verbreitet. Er ist ein Standfisch, der strömungsberuhigte Bereiche mit klarem Wasser bevorzugt und sich hauptsächlich von kleinen Fischen ernährt (vgl. Honsig-Erlenburg et al., 2002). Der Barsch gilt als wenig anspruchsvoll und ist in nahezu allen Gewässertypen zu finden, wobei er teilweise bis in die Brackwasserregionen vordringt. Jungbarsche gelten oft noch als Schwarmfische, werden aber mit zunehmendem Alter zu Einzelgängern. Optisch erkennt man ihn an der Teilung der Rückenflosse in einen vorderen, stachelstrahligen Teil und einen hinteren, weichstrahligen Abschnitt, sowie an den seitlichen Querstreifen. Die mittlere Länge reicht von 15-30 cm (vgl. Honsig-Erlenburg et al., 2002).

Die Laichzeit beginnt im März bei Wassertemperaturen um die 7-8 C°, womit der Flussbarsch als Frühjahrslaicher gilt (vgl. Honsig-Erlenburg et al., 2002). Um die dafür bevorzugten flachen Uferzonen zu erreichen, werden nur geringe Distanzen zurückgelegt. Die Eier werden dazu in Form von länglichen Bändern an Wasserpflanzen oder Steinen abgegeben, wo sie anhaften.



Abb. 14: Flussbarsch. Quelle: www.oefg1880.at

3.1.4. Europäischer Aal - *Anguilla anguilla*

Der Europäische Aal ist der einzige heimische Vertreter der katadromen Wanderfische. Er gehört zur Familie der echten Aale (Anguillidae), zu der etwa 20 weitere Vertreter zählen. Weitere Beispiele wären der amerikanische Aal (*Anguilla rostrata*), der Borneo-Aal (*Anguilla borneensis*) oder der neuseeländische Langflossenaal (*Anguilla dieffenbachii*). Er besitzt einen schlangenförmigen Körper und erreicht Längen von bis zu 150 cm als Weibchen und bis zu 50 cm als Männchen (vgl. Honsig-Erlenburg et al., 2002).

Der Lebenszyklus des Europäischen Aals ist bis heute relativ unerforscht. Im Gegensatz zu anderen Fischarten laicht er in seinem ganzen Leben nur einmal und muss dafür Distanzen von mehreren tausend Kilometern in die Sargassosee zurücklegen. Wie und wo genau der eigentliche Laichvorgang abläuft, ist bis heute nicht restlos geklärt. Die Larven gelangen von dort mit Hilfe der Strömung an die Küsten Europas. Dort angekommen erfolgt die Metamorphose zum unpigmentierten Glasaal. Die Tiere sind zu diesem Zeitpunkt etwa 5-7 cm groß und haben erstmals die für Aale typische Schlangenform. Ein Teil von ihnen verbleibt in Küstennähe, der Großteil beginnt die angrenzenden Gewässer flussaufwärts zu besiedeln. In dieser Phase werden die Tiere als Steigaale oder wegen ihrer gelblichen Färbung am Bauch als Gelbaale bezeichnet. Dabei dringen sie in nahezu alle europäischen Gewässer mit Verbindung zum Meer vor, wo sie bis zum Erreichen der Geschlechtsreife, also etwa 8-15 Jahre, bleiben (vgl. DWA, 2005). Danach treten die Tiere, zu diesem Zeitpunkt als Silber- bzw. Blankaal umgewandelt, im Frühherbst ihre Rückwanderung zu ihren Laichplätzen an. Nach dem Zurücklegen einer Distanz von über 5000 km erreichen die Aale die Sargassosee, wo sie nach dem Reproduktionsvorgang sterben.

In den letzten Jahren wurden viele Abwanderungstrecken durch den Ausbau von Wasserkraftanlagen unterbrochen. Obwohl der Aal über die Fähigkeit verfügt über Land zu gehen, indem er den notwendigen Sauerstoff über die Haut aufnimmt, ist dieser massiv vom Verlust der Durchgängigkeit betroffen. Diese Kontinuumsunterbrechungen stellen für den Aal ein großes Problem dar, da dieser auf das Erreichen seiner Laichgebiete in der Karibik angewiesen ist. Aktuelle Bemühungen, die Reproduktion künstlich zu forcieren, sind bisher gescheitert. Dementsprechend gilt der Aal mittlerweile als vom Aussterben bedroht, was auf mehrere Faktoren zurückzuführen ist:

- **Wirtschaftliche Nutzung:** Durch kommerziellen, teilweise illegalen Fischfang vor den Küsten Europas werden die Jungtiere gefangen und an Aquakulturen verkauft, wo sie gemästet und anschließend als Delikatessen verkauft werden.
- **Parasiten/Krankheiten:** Schwimmblasenschädigung durch den Parasit *Anguillicoloides crassus*, welcher zu reduzierter Kondition führt. Der Aal ist dann nicht mehr in der Lage, die kräftezehrende Rückreise zur Reproduktion zu überstehen.
- **Gewässerverschmutzung:** Schadstoffe lagern sich im Fettgewebe ab und schwächen das Tier.
- **Wasserkraftanlagen:** Die zahlreichen Querbauwerke verhindern einen problemlosen Abstieg, ein sicheres Passieren ist kaum möglich. Durch ihre langgestreckte Körperform sind Aale besonders von turbinenbedingten Verletzungen betroffen.

Relevanz hat diese Problematik vor allem für Länder mit großem Aalaufkommen wie etwa Deutschland oder Frankreich. In Österreich ist ein natürliches Vorkommen nur im nördlichen Waldviertel (entwässert in die Elbe) und in Vorarlberg (Einzugsgebiet des Rheins) gegeben. Bestände im Einzugsgebiet der Donau sind auf Besatzmaßnahmen in den 1960er Jahren zurückzuführen (vgl. Herzig & Herzig-Straschil, 2001).



Abb. 15: Europäischer Aal. Quelle: www.oefg1880.at

4. Methodik

4.1. Versuchsaufbau

Die Versuchsanlage besteht aus zwei rund 40 m langen und miteinander verbundenen Fließrinnen. Die orographisch rechte Rinne wurde zur Versuchsdurchführung genutzt, die orographisch linke Rinne zur Hälterung der Versuchsfische sowie als Speicherbecken. Die beiden Rinnen sind im unteren Abschnitt (flussab) über einen Durchstich, im oberen Abschnitt (flussauf) über eine Rohrleitung samt Pumpvorrichtung verbunden. Die Versuche wurden mit einer konstanten Wassertiefe von 0,5 m durchgeführt. Die Wassertiefe wurde über zwei Wehrklappen am flussabwärts gelegenen Ende der Versuchsrinne reguliert. Zur Gewährleistung einer Fließgeschwindigkeit von 0,5 m/s im Bereich des Rechens (Anströmgeschwindigkeit) wurde eine Wassermenge von 250 l/s aus dem Lunzer See entnommen. Zudem wurden 400 l/s über die Pumpe bereitgestellt (Kreislaufwirtschaft), sodass ein Gesamtdurchfluss von 650 l/s während der Versuchsdurchführung sicherstellt werden konnte. In beide Rinnen wurde geeignete Kiesfraktionen (Mikrolithal) eingebaut.



Abb. 16: Versuchsanlage HyTEC in Lunz am See, Blick in Richtung flussauf. Links: Rinne 1 als Versuchsrinne (orogr. rechte Rinne). Rechts: Rinne 2 mit Hälterbereich für die Versuchsfische (orogr. linke Rinne)

Der Versuchsbereich in Rinne 1, mit einer nutzbaren Breite von 3 m, besteht im Wesentlichen aus Einlauf-, Adaption- und Versuchsabschnitt. Der Versuchsabschnitt mit E-Seilrechen samt am unterstromigen Ende angeordneten Bypass wird flussab von zwei Wehrklappen begrenzt. Der Bypass ist vom fiktiven Gefahrenbereich räumlich abgegrenzt, weist eine Breite von 0,5 m auf und ist über die gesamte Wassersäule ausgeführt. Der Bereich flussab des Rechens weist eine Breite 2,5 m auf. Vorab der Versuchsdurchführung wurde der

Versuchsabschnitt mit Planen abgedeckt, um äußere Einflüsse (z.B. Beschattung) auszuschließen und so für jeden Versuch möglichst gleiche Bedingungen sicherzustellen.



Abb. 17: Darstellung der Versuchsrinne, Blick in Richtung flussab. Linkes Bild: Adaptionsbereich mit flussabwärts gelegenen Testbereich. Rechts: Anordnung von Seilrechen und Bypass

Bei den durchgeführten Versuchsreihen wurden unterschiedliche Konfigurationen des E-Seilrechen mit unterschiedlichen Fischarten getestet. Während die bereits erwähnten abiotischen Parameter Abfluss, Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe bei allen Versuchsreihen konstant gehalten wurden, wurden die Testparameter Seilabstand, Anströmwinkel und elektrisches Feld variiert. Als Spezialfall gilt die elektrische Spannung, die grundsätzlich mit 80 V konstant gehalten wurde und lediglich in Versuchsreihe 3 variiert wurde (vgl. Kap. 4.2). Ein Überblick ist in der folgenden Tabelle 1 dargestellt:

Tabelle 1: Fixe und veränderliche Parameter bei der Versuchsdurchführung

Abiotische Parameter	
Konstant	
Abfluss	650 l/s
Anströmgeschwindigkeit	0,5 m/s
Wassertiefe	0,5 m
Veränderlich	
Seilabstand	30 mm / 60 mm
Rechenneigung	20° / 40°
Rechenlänge	3,9 m / 7,3 m
Elektrisches Feld	klein (1+/1-) / groß (3+/3-) / ohne (Kontrolle)
Elektrische Spannung	38 V - 80 V
Wassertemperatur ¹	7,7° - 12,3°

Insgesamt wurden sieben unterschiedliche Konfigurationen untersucht: Dies betrifft den Seilabstand mit 30 mm bzw. 60 mm, die Rechenneigung mit 20° bzw. 40° sowie das

¹ Wassertemperatur über den Versuchszeitraum der drei durchgeführten Versuchsreihen

elektrische Feld mit einer Verschaltung der Pole 1+/1- („kleineres Feld“) bzw. 3+/3 („größeres Feld“). Ferner wurden Versuche ohne ein elektrisches Feld durchgeführt (Kontrollversuche). Um einen statistischen Einfluss zu erheben, wurden innerhalb jeder Konfiguration mehrere Versuchswiederholungen durchgeführt. Die Datenerfassung erfolgte unter Verwendung der PIT-tag-Anlage mit den dazugehörigen Antennen A1, A2 und A3. Ferner wurden im Bereich des E-Seilrechen bzw. des Bypasses Netzwerkkameras (Typ: Panasonic WV-SFV481) verbaut, die eine Echtzeitbeobachtung während der Versuchsdurchführung ermöglichten (direkter Anschluss an Computer möglich). Die Videodaten wurden für die spätere Auswertung gespeichert. Zusätzlich erfolgte der Einbau von GoPro-Kameras, mit denen die einzelnen Versuche zusätzlich dokumentiert wurden, sodass unterschiedlichste Perspektiven aufgezeichnet werden konnten. Die Positionen der Antennen sowie der Kameras sind in Abbildung 18 dargestellt.

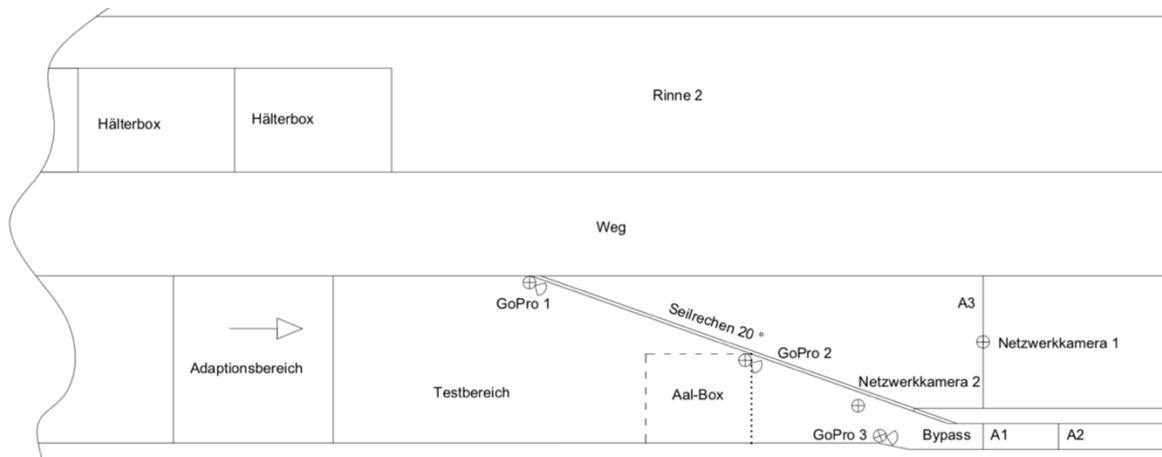


Abb. 18: Übersichtsplan Versuchsanlage HyTEC. Darstellung von Adaptions- und Testbereich sowie Position des E-Seilrechens mit 20°. Anordnung PIT-Antennen sowie der Kameras bei der Versuchsdurchführung. Position der "Aal-Box"

4.2. Versuchsdurchführung

In der vorliegenden Arbeit werden drei unterschiedliche Versuchsreihen behandelt, deren Versuchsablauf folgend erläutert wird. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die getesteten Fischarten bzw. Konfigurationen je Versuchsreihe:

Tabelle 2: Überblick der durchgeführten Versuchsreihen mit Anzahl an Versuchswiederholungen (n) je Konfiguration, Fischarten: A...Aitel, Ä...Äsche, BF...Bachforelle, RBF...Regenbogenforelle, RF...Rotfeder, RA...Rotauge, B...Brachse, FB...Flussbarsch

Anströmgeschwindigkeit: 0,5 m/s						
Rechenneigung: 20°						
	Fischart	Ind.	Seilabstand (mm)	Spannung (V)	Feldkonfiguration	n
Versuchsreihe 1 „Regelversuch“	A/Ä/BF/RBF	45	30	80	1+/1-	5
					3+/3-	5
					ohne Feld	5
Versuchsreihe 2 „Mixed“ (Vorversuch)	RF/RA/B/FB	64	60	80	1+/1-	1
					3+/3-	1
					ohne Feld	1
Versuchsreihe 3 „Aal“ (Vorversuch)	Aal	10	60	38	1+/1-	2
				38, 80	3+/3-	2
				38	ohne Feld	1

Versuchsreihe 1 "Regelversuch"

In Versuchsreihe 1 wurden unterschiedliche Feldkonfigurationen (1+/1-; 3+/3-; ohne Feld) mit je fünf Versuchswiederholungen getestet. Anströmgeschwindigkeit (0,5 m/s), Rechenneigung (20°), Seilabstand (30 mm) sowie die elektrische Spannung (80 V) wurden konstant gehalten. Je Einzelversuch wurden 45 Individuen verwendet, davon je 15 Forellen (beliebig verteilt auf Bach- und Regenbogenforellen), Aitel und Äschen. Die Entnahme aus den Hälterbecken erfolgte mittels Setzreue, wobei auf gleichbleibende Längenverteilungen je Fischart geachtet wurde. Nach Erfassung der Individuen anhand der PIT-tags wurden die Fische im Adaptionsbereich eingesetzt. Dieser diente dazu, die Fische an die vorherrschenden Bedingungen zu gewöhnen und beispielsweise unmittelbare Driftbewegung zu verhindern. Nach 30 Minuten wurde das Trenngitter zum Versuchsbereich langsam mittels Seilzug geöffnet. Die Versuchsdauer betrug 60 Minuten. Dabei konnten Fische ungehindert bzw. freiwillig flussab in Richtung Rechen bzw. Bypass wandern, wobei letztlich eine Rechenpassage bzw. ein Einschwimmen in den Bypass via der PIT-tag-Anlage registriert wurde. Das Verhalten der Fische im Bereich des Rechens bzw. Bypasses wurde anhand der Kameras dokumentiert.

Nach Versuchsende wurden die Fische schonend aus der Versuchsrinne entnommen. Die Auswertung der Versuche erfolgte anhand der PIT-tag-Daten. Zusätzlich wurden die Videoaufnahmen ausgewertet und beide Ergebnisse gegenübergestellt.

Versuchsreihe 2 "Mixed"

In Versuchsreihe 2 (Vorversuche) wurden drei Einzelversuche (je 64 Ind.) mit Rotaugen, Rotfeder, Brachse und Flussbarsche durchgeführt. Die Artenzusammensetzung wurde rein zufällig gewählt, wobei alle Arten je Einzelversuch vertreten waren. Die Fischlängen reichte von 6 cm bis 19 cm (mittlere Länge: 11 cm). Der Versuchsablauf (Besatz im Adaptionsbereich, Adaptionszeit, Versuchsdauer, Entnahme) sowie die getesteten Konfigurationen wurden – mit Ausnahme des Seilabstandes (60 mm) – entsprechend der Versuchsreihe 1 durchgeführt. Da auf die Verwendung der PIT-tag-Anlage verzichtet wurde, erfolgt eine Auswertung ausschließlich auf Basis von Videodaten (Beobachtungsversuch).

Versuchsreihe 3 "Aal"

In Versuchsreihe 3 (Vorversuche) wurden fünf Einzelversuche (je 10 Ind.) mit dem europäischen Aal durchgeführt. Die Fischlänge reichte von 55 cm bis 95 cm (mittlere Länge: 80 cm). Da aufgrund der vorherrschenden Wassertemperaturen zum Versuchszeitpunkt eine geringe Aktivität der Fische vermutet wurde, wurde der Versuchsaufbau und Versuchsablauf adaptiert. Die Aale wurden dazu nicht im Adaptionsbereich, sondern in einer eigens errichteten Gitterkonstruktion (1,5 x 2 m) im unmittelbaren Bereich des Rechens eingesetzt („Aalbox“, siehe Abb. 18). Anströmgeschwindigkeit (0,5 m/s), Rechenneigung (20°) und Seilabstand (60 mm) wurden konstant gehalten. Innerhalb der Einzelversuche wurde die Feldkonfiguration (1+/1-; 3+/3-; ohne Feld) sowie die elektrische Spannung (38 V, 80 V) variiert. Konkret wurde eingangs ein Einzelversuch mit 80 V in der Nacht durchgeführt, welcher aufgrund narkotischer Reaktionen einzelner Individuen abgebrochen wurde. Die Folgeversuche wurden tagsüber mit 38 V und einer Versuchsdauer von 80 min durchgeführt. Zudem wurde für den Einzelversuch A5 die Impulslänge von 200 ms auf 150 ms geändert. Da auf die Verwendung der PIT-tag-Anlage verzichtet wurde, erfolgt eine Auswertung ausschließlich auf Basis von Videodaten (Beobachtungsversuch).

4.3. Versuchsauswertung

Ziel der Versuchsauswertung ist eine Quantifizierung der Rechenpassagen anhand der PIT-tag-Daten. Um das Verhalten der Versuchsfische im Bereich des E-Seilrechens zu erheben bzw. um eine Leitwirkung des Rechens zu beschreiben, wurden zusätzlich die erhobenen Videodaten ausgewertet.

PIT-tag

Die PIT-tag-Daten sind drei Kategorien zugeordnet, abhängig vom Registrierungsort (Antenne), an dem ein Fisch detektiert wurde (flussab des Rechens, innerhalb des Bypasses). Aus der Differenz zwischen der Anzahl an besetzten Versuchsfischen sowie den während der Versuchsdurchführung detektierten Individuen (flussab des Rechens und/oder innerhalb des Bypasses) kann der Anteil an Fischen ermittelt werden, der folgend als „Verweigerer“ bezeichnet wird. Fische, die flussab des Rechens detektiert wurden, werden folgend als „Rechenpassage“, jene, die innerhalb des Bypasses detektiert wurden als „Bypass“ bezeichnet. Da sich die Fische nach erfolgter Detektion weiterhin in der Versuchsrinne befanden, wurde bei der Auswertung nur die Erstdetektion berücksichtigt.

Fische der Kategorie "Bypass" wurden anhand der Antennen A1 und/oder A2 identifiziert. Fische, die hingegen der "Rechenpassage" (Antenne A3) zugeordnet wurden, konnten den E-Seilrechen passieren und somit in einem fiktiven Gefahrenbereich (z.B. Turbineneinlauf) einschwimmen. Fische der Kategorie "Verweigerer" stellten den Anteil an im Oberwasser verbliebenen Fische dar. Die Kategorie umfasste Individuen, die durch die Barriere an der Rechenpassage gehindert wurden und/oder nicht in den Bypass einwanderten und/oder nicht aktiv am Versuch teilgenommen haben (z.B. Einstellen am flussaufgelegenen Rinnenabschnitt). Die Auswertung der PIT-tag-Daten ist somit auf die Kategorien "Bypass" und "Rechenpassage" beschränkt, da die Kategorie "Verweigerer" keine Aussage hinsichtlich einer Wirkung des E-Seilrechens zulässt.

Vor der Auswertung wurden die PIT-tag-Daten auf mögliche Fehler (z.B. Mehrfachdetektion sowohl A1 und A3) überprüft und durch einen Abgleich mit den vorhandenen Videos korrigiert. Daher werden diese in weiterer Folge als korrigierte Rohdaten bezeichnet.

Videoauswertung

Für die Auswertung der Videoaufnahmen wurden mehrere Kategorien definiert. Diese umfassen unterschiedliche Bewegungsmuster in der Nähe des Rechens und des Bypasses. Dazu wurden alle relevanten Aktionen einer von sieben Kategorien zugeteilt, die nachstehend gelistet werden:

- 1 – schwimmt parallel am Rechen entlang
- 2 – schwimmt in Richtung Rechen, kehrt aber ohne ersichtliche Scheuwirkung um
- 3 – wird vom elektrischen Feld gescheucht
- 4 – Rechendurchgang flussab
 - 4.1 – Fisch passiert den Rechen zweimal in Folge, ohne das elektrische Feld zu verlassen
- 5 – Rechendurchgang flussauf
- 6 – Einschwimmen in den Bypass
- 7 – Ausschwimmen aus dem Bypass

Um eine Vergleichbarkeit zwischen Video- und PIT-tag-Auswertung herzustellen, wurde das Verhalten der Fische im Nahbereich des E-Seilrechens (betrifft Kategorien 1 bis 5) zu den Kategorien "Rechenpassage", "Verweigerer" und "den Rechen entlang schwimmend"

zusammengeführt (siehe Tabelle 3). Die Kategorien 6 und 7 wurden in der Videoanalyse vernachlässigt.

Tabelle 3: Darstellung der drei Hauptkategorien inkl. der integrierten Bewegungsmuster

Rechenpassage	Durchgang flussab	
	Durchgang flussauf	
keine Rechenpassage	Verweigerer	Fisch schwimmt zum Rechen und dreht wieder um
		Fisch wird vom elektrischen Feld gescheucht
	den Rechen entlang schwimmend	Fisch schwimmt parallel den Rechen entlang

Als Sonderfall wurden im Zuge der Versuchsreihe 3 ("Aal") aufgrund der modifizierten Versuchsbedingungen die Kategorien 6 und 7 (Bypass flussab, Bypass flussauf) zur Videoanalyse herangezogen und bei "den Rechen entlang schwimmend" integriert.

Im Unterschied zur Auswertung der PIT-tag-Daten kann eine Mehrfachdetektion eines Individuums im Zuge der Videoanalyse nicht ausgeschlossen werden.

Statistische Analyse

Zur graphischen Darstellung der Verteilung der untersuchten Konfigurationen bzw. Fischgrößen wurden Boxplots mittels MS-Excel erstellt. Zur Überprüfung möglicher Unterschiede auf Signifikanz wurden statistische Tests mittels SPSS durchgeführt. Dabei wurden für Versuchsreihe 1 – "Regelversuch" sowohl die PIT-tag-Daten ("Verweigerer", "Bypass", "Rechenpassage") als auch die Daten der Videoanalyse ("Verweigerer", "den Rechen entlang schwimmend", "Rechenpassage") getestet. Aufgrund der geringen Anzahl an Versuchswiederholungen wurden mit dem Median-Test und dem Kruskal-Wallis-Test zwei parameterfreie Verfahren gewählt. Zur Hypothesenverifizierung wurde das Signifikanzniveau α mit 5 % festgelegt. Daher gilt:

1. $p > 0,05$: H_0 wird angenommen; Unterschied ist nicht signifikant (n.s.)
2. $p \leq 0,05$: H_0 wird abgelehnt; Unterschied ist signifikant

Zur Unterscheidung der beiden Tests werden im folgenden Kapitel die p-Werte des Median-Tests als p_M , die p-Werte des Kruskal-Wallis-Tests als p_{KW} bezeichnet.

5. Ergebnisse

Im Rahmen der Versuchsdurchführung wurden insgesamt 121 Einzelversuche im Zeitraum von August bis November 2017 durchgeführt. Gegenständlich werden drei Versuchsreihen gezeigt, die insgesamt 23 Einzelversuche beinhalten:

Ein direkter Vergleich der Ergebnisse ist nur innerhalb einer Versuchsreihe möglich und zielt darauf ab, Unterschiede zwischen Versuchen mit Strom (bei unterschiedlichen elektrischen Feldern) und ohne Strom (Kontrollversuche) zu aufzuzeigen. Da die Seilabstände sowie die Rechenneigung innerhalb der gegenständlich gezeigten Versuchsreihen nicht variieren, ist eine Ableitung entsprechender Aussagen hier nicht möglich.

5.1. Versuchsreihe 1 – "Regelversuch"

Zwischen 16.10.2017 und 23.10.2017 wurden 15 Einzelversuche mit Aitel, Forelle und Äsche durchgeführt. Dabei wurden fünf Versuchswiederholungen je elektrischem Feld (Konfigurationen: 1+/1- bzw. 3+/3-) sowie fünf Kontrollversuche (ohne elektrisches Feld) durchgeführt. Die Wassertemperatur wurde weitgehend konstant gehalten. Nachstehende Tabelle 4 fasst die Konfigurationen aller Einzelversuch zusammen:

Tabelle 4: Überblick der durchgeführten Einzelversuche der Versuchsreihe 1 – "Regelversuch". Elektrische Spannung 80 V, Rechenneigung 20°, Seilabstand 30 mm

ID	Datum	Uhrzeit	Elektrisches Feld	WT [C°]	∑ Fische
V_62	16.10.17	17:15	1+/1-	11,9	45
V_63	17.10.17	11:30	1+/1-	11,8	45
V_64	17.10.17	14:25	ohne Feld	12,1	45
V_65	17.10.17	17:09	1+/1-	12	45
V_66	18.10.17	09:35	ohne Feld	11,2	45
V_67	18.10.17	11:55	3+/3-	11,7	45
V_68	18.10.17	14:27	3+/3-	12,3	45
V_72	19.10.17	14:07	1+/1-	12	45
V_73	19.10.17	16:09	1+/1-	11,7	45
V_74	19.10.17	17:58	ohne Feld	11,3	45
V_75	20.10.17	08:40	ohne Feld	10,6	45
V_76	20.10.17	10:47	3+/3-	11,1	45
V_77	20.10.17	12:44	ohne Feld	11,5	45
V_78	20.10.17	15:00	3+/3-	11,5	45
V_79	23.10.17	17:10	3+/3-	9,6	45

5.1.1. PIT-tag-Auswertung

Folgende Auswertung erfolgt ausschließlich auf Basis der PIT-tag-Daten. Die nachfolgende Tabelle 5 zeigt die korrigierten Rohdaten mit den Detektionen je Antenne sowie dem prozentualen Anteil je Kategorie. Der Anteil "Bypass" setzt sich dabei aus Detektionen an Antenne A1 und/oder A2 zusammen, die "Rechenpassage" wurde anhand der Detektionen an Antenne A3 ermittelt. Der Anteil der "Verweigerer" ergibt sich aus den im Oberwasser verbliebenen Versuchsfischen, die an keiner Antenne detektiert wurden.

Tabelle 5: Korrigierte Rohdaten je Einzelversuch: Anzahl der Detektionen je Antenne und prozentualer Anteil je Kategorie. Versuchsreihe 1. PIT-tag. Antenne A1 und A2 sind der Kategorie „Bypass“, Antenne A3 der Kategorie „Rechenpassage“ zugeordnet. Fische, die nicht detektiert wurden sind der Kategorie „Verweigerer“ zugeordnet

3+/3-											
		Detektionen									
ID	WT [C°]	A1	A2	A3	∑	∑ Fische	Rechenpassage [%]	Bypass [%]	Verweigerer [%]		
V_67	11,7	0	0	2	2	45	4,4	0,0	95,6		
V_68	12,3	9	5	0	14	45	0,0	31,1	68,9		
V_76	11,1	2	0	1	3	45	2,2	4,4	93,3		
V_78	11,5	6	4	2	12	45	4,4	22,2	73,3		
V_79	9,6	6	1	1	8	45	2,2	15,6	82,2		
Mittelwert	11,2							2,7	14,7	82,7	
Summe		23	10	6		225					

1+/1-											
		Detektionen									
ID	WT [C°]	A1	A2	A3	∑	∑ Fische	Rechenpassage [%]	Bypass [%]	Verweigerer [%]		
V_62	11,9	13	1	1	15	45	2,2	31,1	66,7		
V_63	11,8	5	1	0	6	45	0,0	13,3	86,7		
V_65	12	8	5	1	14	45	2,2	28,9	68,9		
V_72	12	8	0	0	8	45	0,0	17,8	82,2		
V_73	11,7	3	0	0	3	45	0,0	6,7	93,3		
Mittelwert	11,9							0,9	19,6	79,6	
Summe		37	7	2		225					

ohne Feld											
		Detektionen									
ID	WT [C°]	A1	A2	A3	∑	∑ Fische	Rechenpassage [%]	Bypass [%]	Verweigerer [%]		
V_64	12,1	4	2	2	8	45	4,4	13,3	82,2		
V_66	11,2	1	0	5	6	45	11,1	2,2	86,7		
V_74	11,3	13	2	1	16	45	2,2	33,3	64,4		
V_75	10,6	1	0	4	5	45	8,9	2,2	88,9		
V_77	11,5	1	0	4	5	45	8,9	2,2	88,9		
Mittelwert	11,3							7,1	10,7	82,2	
Summe		20	4	16		225					

Nachfolgende Abbildung zeigt die gemittelten Anteile der Kategorien "Verweigerer", "Bypass" und "Rechenpassage" je Feldkonfiguration (1+/1-, 3+/3-, ohne Feld).

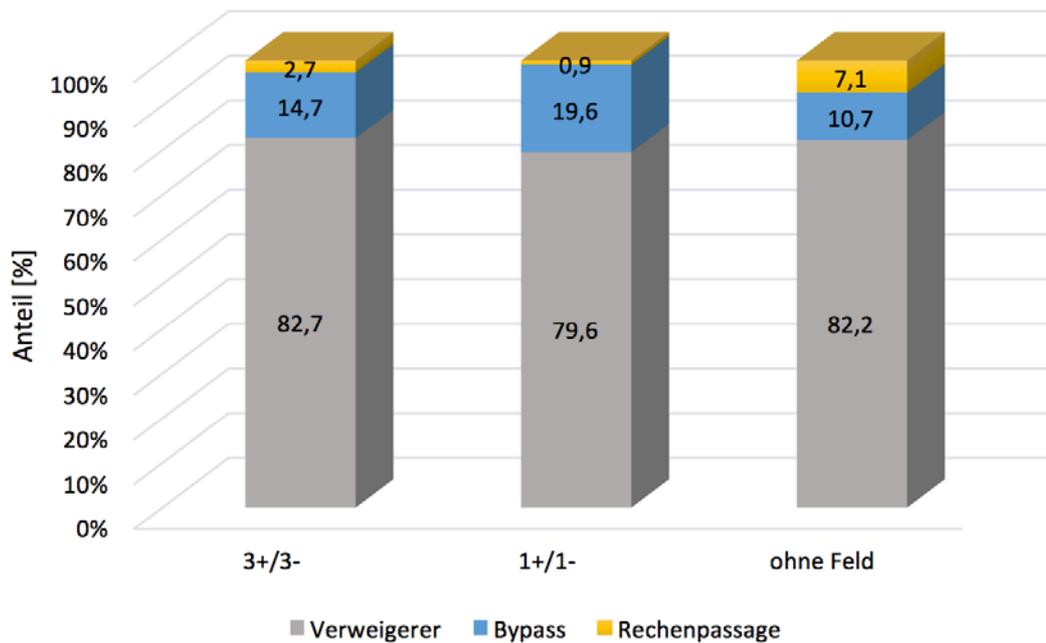


Abb. 19: Mittlerer Anteil der Kategorien je Stromfeldkonfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld). Antenne A1 und A2 sind der Kategorie „Bypass“, Antenne A3 der Kategorie „Rechenpassage“ zugeordnet. Fische, die nicht detektiert wurden sind der Kategorie „Verweigerer“ zugeordnet. Versuchsreihe 1. PIT-tag

Bei allen drei Konfigurationen entfällt der größte Anteil auf "Verweigerer". Dieser liegt bei der Konfiguration 3+/3- (größeres elektrisches Feld) bei 82,7 %, bei der Konfiguration 1+/1- (kleineres elektrisches Feld) bei 79,6 % sowie bei 82,2 % bei Versuchen ohne elektrisches Feld (Kontrollversuche). Diese weisen nach Durchführung statistischer Tests keinen signifikanten Unterschied auf. Die hohen Anteile dieser Kategorie ergeben sich aus der Limitierung der Datenerfassung durch die PIT-tag-Anlage: Die Kategorie inkludiert alle Fische die im Oberwasser verblieben sind bzw. an keiner Antenne detektiert wurden, lässt aber keine Vermutung über die Gründe zu. Dies umfasst sowohl Fische, die durch eine Barrierewirkung an der Rechenpassage gehindert wurde, sowie jene, die während der gesamten Versuchsdauer „inaktiv“ waren. Ein Beispiel dafür ist der Verbleib im Adaptionsbereich. Ebenfalls nicht auszuschließen sind mögliche Fehler bei der Datenerfassung durch die PIT-tag-Anlage. Werden Fische im Bypass bzw. hinter dem Rechen nicht detektiert, erfolgt letztlich eine Zuordnung zur Kategorie „Verweigerer“. Wie groß der jeweilige Anteil innerhalb dieser Fälle ist, lässt sich anhand der Auswertungsmethode nicht beantworten, kann aber durch Auswertung der Videodaten und nach Zuteilung des beobachteten Verhaltens in die entsprechenden Klassen bewertet werden. Entsprechend stellt der Anteil „Verweigerer“ einen Maximalwert dar.

Der Anteil "Rechenpassage" umfasst alle Fische, die den Rechen passieren konnten und an Antenne A3 registriert wurden. Die Konfiguration 1+/1- (kleineres elektrisches Feld) weist mit 0,9 % die geringsten Passagen auf, knapp gefolgt von der Konfiguration 3+/3- (größeres elektrisches Feld) mit 2,7 %. In absoluten Zahlen ausgedrückt bedeutet dies, dass bei den jeweiligen Einzelversuchen in Summe sechs Fische beim größeren und zwei Fische beim kleineren elektrischen Feld den Rechen passieren konnten. Im Zuge der Kontrollversuche

(ohne elektrisches Feld) konnten 16 Fische in den fiktiven Turbinenbereich flussab des Rechens einschwimmen, was einem Anteil von 7,1 % entspricht. Der Anteil der Rechenpassage ist also unter Verwendung eines elektrischen Feldes, unabhängig von dessen Konfiguration, geringer als unter Verwendung keines Feldes. Dabei konnte beim Vergleich zwischen 1+/1- (kleineres elektrisches Feld) und den Kontrollversuchen (ohne elektrisches Feld) ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p_M = 0,029$, $p_{KW} = 0,014$), während dies bei 3+/3- (größeres elektrisches Feld) und den Kontrollversuchen (ohne elektrisches Feld) nicht nachgewiesen werden konnte. Aufgrund möglicher Detektionsfehler der PIT-tag-Anlage stellt die Kategorie „Rechenpassage“ einen Minimalwert dar.

Auf die Kategorie "Bypass" entfallen 44 Detektionen bzw. 19,6 % im Falle des kleineren elektrischen Feldes. Die Kontrollversuche zeigten einen Anteil von 10,7 % bzw. 24 Detektionen. Das größere elektrische Feld liegt mit 33 Detektionen bzw. 14,7 % dazwischen (kein signifikanter Unterschied). Diese Werte stellen gleich wie bei der Rechenpassage den Minimalwert dar. Außerdem geben die Detektionen im Bypass nur bedingt Aufschluss über die Leitwirkung des Seilrechens, da die Reichweite als Leitbauwerk begrenzt ist. Den Fischen war es möglich, ohne Einfluss des Rechens direkt aus dem Adaptionsbereich in den Bypass einzuschwimmen. Dies wurde durch die Erstellung der Klassen für die Videoauswertung berücksichtigt.

In den nachfolgenden Abbildungen werden die Verteilung der Detektionen je Konfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld; jeweils $n = 5$) für die Kategorien „Verweigerer“, „Bypass“ und "Rechenpassage" dargestellt:

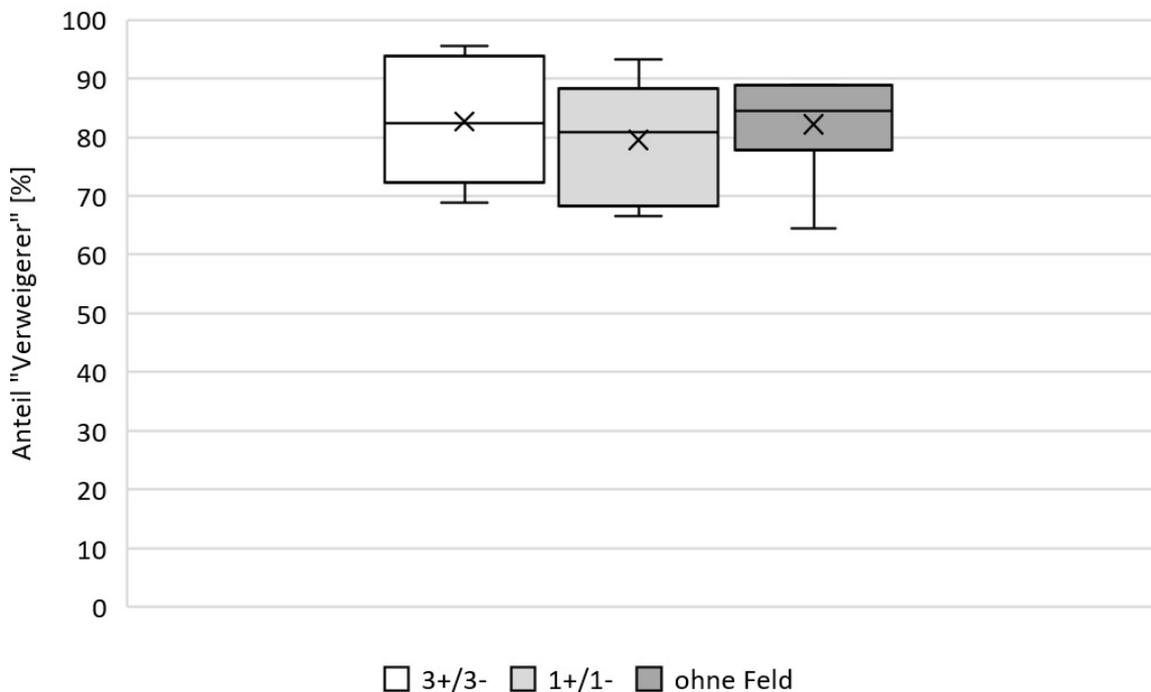


Abb. 20: Anteil "Verweigerer" je Konfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld; jeweils $n=5$), Versuchsreihe 1. PIT-tag. Test auf Unterschiede der Konfigurationen (3+/3-; 1+/1-; Kontrollversuche) n.s.

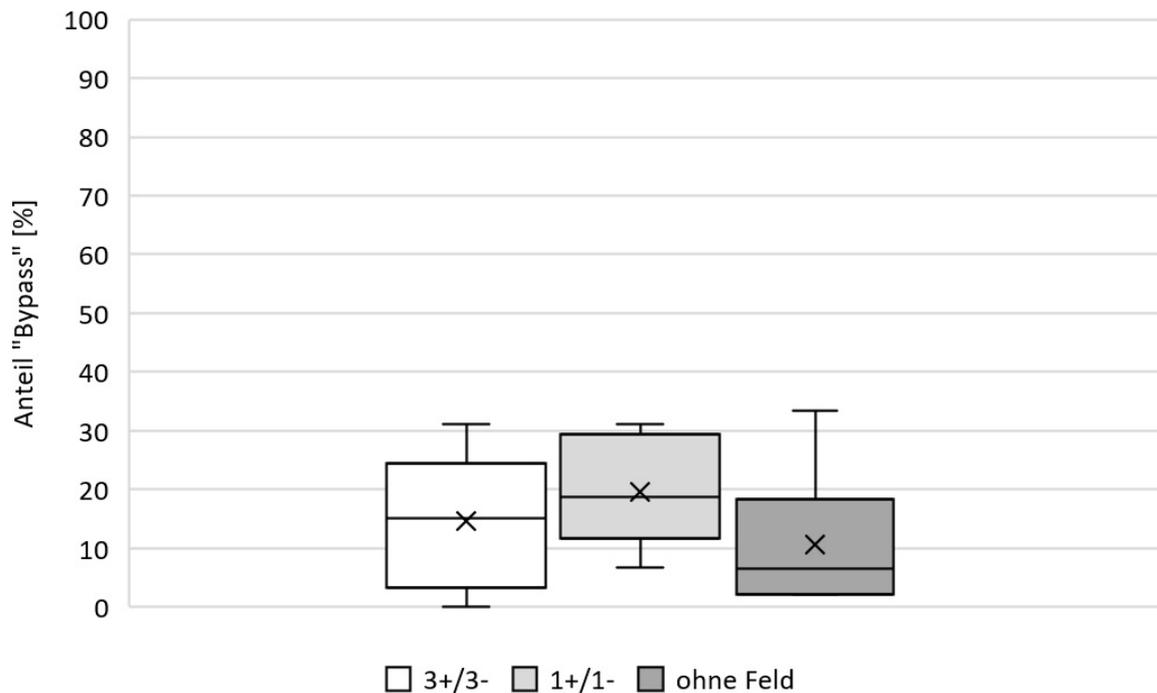


Abb. 21: Anteil "Bypass" je Konfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld; jeweils n=5), Versuchsreihe 1. PIT-tag. Test auf Unterschiede der Konfigurationen (3+/3-; 1+/1-; Kontrollversuche) n.s.

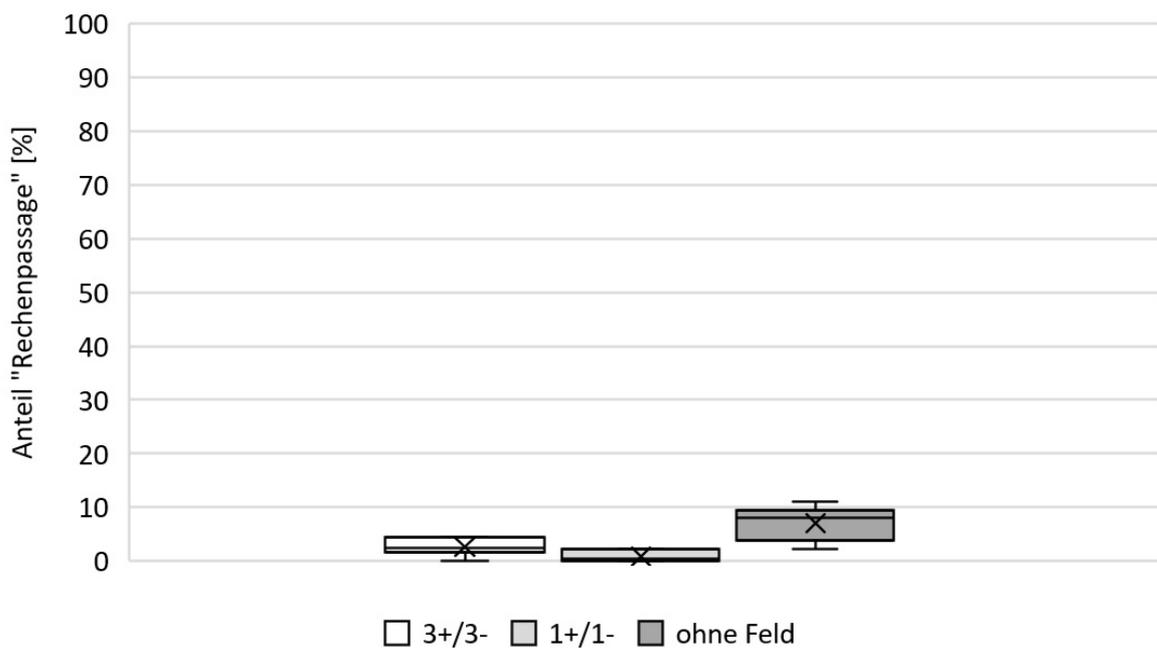


Abb. 22: Anteil "Rechenpassage" je Konfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld; jeweils n=5), Versuchsreihe 1. PIT-tag. Test auf Unterschied innerhalb der Stromkonfigurationen (1+/1-; 3+/3-) n.s.; Vergleich 3+/3- und Kontrollversuchen n.s.; Signifikanter Unterschied zwischen 1+/1- (kleineres elektrisches Feld) und Kontrollversuchen ($p_M=0,029$; $p_{KW}=0,014$)

Die Ergebnisse entsprechen der Annahme, dass unter Verwendung eines elektrischen Feldes mehr Fische an einer Passage des Rechens gehindert werden. Weiterführende Versuche, bei denen der Seilabstand auf 60 mm erhöht wurde, wurden im Zuge einer weiteren Arbeit ausgewertet (siehe Haug, 2018).

5.1.2. Videoauswertung

Um eine Scheuch- und Leitwirkung des E-Seilrechens zu beschreiben, wurden zusätzlich die Videoaufnahmen der 15 Einzelversuche ausgewertet. Um eine Vergleichbarkeit zwischen Video- und PIT-tag-Auswertung zu ermöglichen, wurden die in Kapitel 4.3 definierten Bewegungsmuster (Kategorie 1-5) zu den folgenden drei Kategorien zusammengefasst:

- "Verweigerer" (Kategorie 2 und 3)
- "den Rechen entlang schwimmend" (Kategorie 1)
- "Rechenpassage" (Kategorie 4 und 5)

Die drei Kategorien beinhalten ausschließlich Reaktionen der Versuchsfische in Bezug auf den E-Seilrechen. Der Anteil der "Verweigerer" setzt sich dabei aus den Klassen 2 und 3 zusammen, inaktiv verbliebene Fische werden nicht gezählt. Für "den Rechen entlang schwimmend" zählt ausschließlich Klasse 1, der "Rechenpassage" zugerechnet werden sowohl das Passieren flussab- als auch flussauf. Nachfolgende Tabelle 6 beinhaltet die Rohdaten mit allen gezählten Reaktionen.

Tabelle 6: Überblick der durchgeführten Einzelversuche mit Rohdaten der Videoauswertung: Anzahl an Verhaltensreaktionen je Kategorie. Darstellung getrennt nach Stromfeldkonfiguration: 3+/3- (größeres elektrisches Feld), 1+/1- (kleineres elektrisches Feld), elektrische Spannung 80 V; Kontrollversuch (ohne elektrisches Feld), jeweils n=5, Versuchsreihe 1. Video; Rechenneigung 20°, Seilabstand 30 mm

3+/3-												
ID	Datum	Start	WT [C°]	Kategorie								Σ
				1	2	3	4	4.1	5	6	7	
V_67	18.10.17	11:55	11,7	107	51	46	3	0	2	0	0	209
V_68	18.10.17	14:27	12,3	68	29	41	4	0	0	79	73	294
V_76	20.10.17	10:47	11,1	8	68	17	0	0	0	0	0	93
V_78	20.10.17	15:00	11,5	36	66	57	2	0	0	66	58	285
V_79	23.10.17	17:10	9,6	12	8	5	0	0	0	8	7	40
Summe				231	222	166	9	0	2	153	138	921

1+/1-												
ID	Datum	Start	WT [C°]	Kategorie								Σ
				1	2	3	4	4.1	5	6	7	
V_62	16.10.17	17:15	11,9	97	35	8	0	0	0	44	48	232
V_63	17.10.17	11:30	11,8	97	78	13	3	0	2	6	0	199
V_65	17.10.17	17:09	12	61	93	44	3	0	2	113	112	428
V_72	19.10.17	14:07	12	50	94	20	0	0	0	40	40	244
V_73	19.10.17	16:09	11,7	67	112	8	0	0	0	4	4	195
Summe				372	412	93	6	0	4	207	204	1298

ohne Feld												
ID	Datum	Start	WT [C°]	Kategorie								Σ
				1	2	3	4	4.1	5	6	7	
V_64	17.10.17	14:25	12,1	116	71	0	13	0	7	56	50	313
V_66	18.10.17	09:35	11,2	118	57	0	7	0	6	1	0	189
V_74	19.10.17	17:58	11,3	11	5	0	6	0	0	17	17	56
V_75	20.10.17	08:40	10,6	34	32	0	8	0	5	0	0	79
V_77	20.10.17	12:44	11,5	29	46	0	12	0	2	0	0	89
Summe				308	211	0	46	0	20	74	67	726

In weiterer Folge wurden die gezählten Reaktionen den drei Hauptkategorien zugeordnet. Der Anteil je Kategorie und Konfiguration wird in nachfolgender Tabelle 7 zusammengefasst und die prozentuelle Verteilung in nachfolgender Abbildung 23 graphisch dargestellt.

Tabelle 7: Anzahl der Reaktionen, zugeordnet den drei Verhaltenskategorien, Darstellung getrennt nach Konfiguration: 3+/3- (größeres elektrisches Feld), 1+/1- (kleineres elektrisches Feld), Kontrollversuch (ohne elektrisches Feld), jeweils n=5, Versuchsreihe 1. Video

	Verweigerer	Rechen entlang schwimmend	Rechenpassage	Σ
3+/3-	388	231	11	630
1+/1-	505	372	10	887
ohne Feld	211	308	66	585

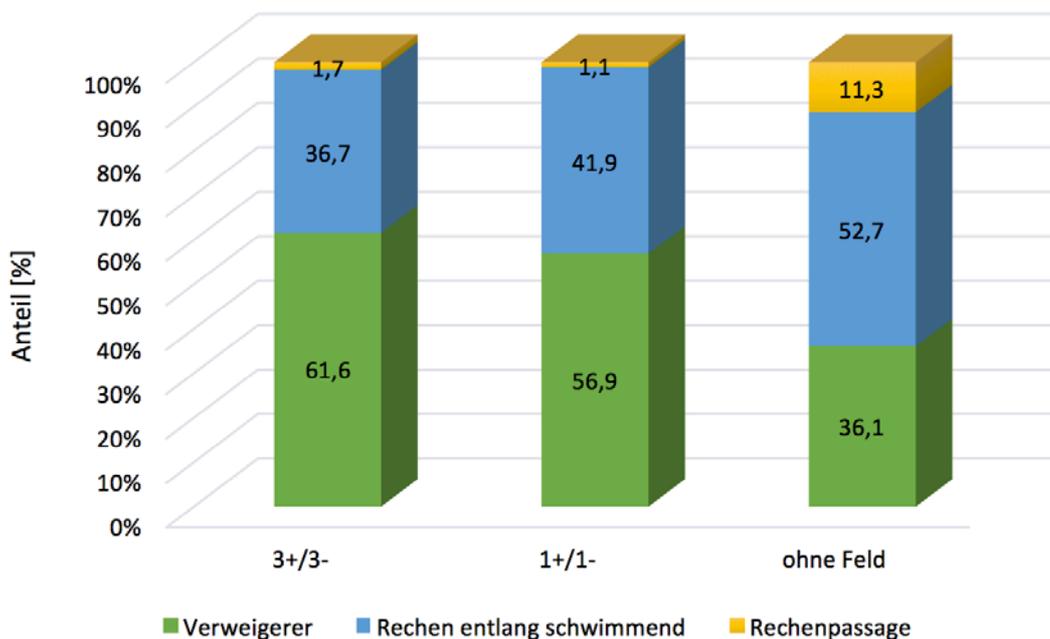


Abb. 23: Mittlerer Anteil der Kategorien je Stromfeldkonfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld). Kategorie 2 und 3 werden „Verweigerern“, Kategorie 1 „den Rechen entlang schwimmend“, Kategorie 4 und 5 der „Rechenpassage“ zugeordnet. Versuchsreihe 1. Video

Der Anteil der "Verweigerer" wurde durch die Änderung der Auswertungsmethode deutlich verändert. Lag dieser bei der PIT-tag-Analyse bei über 80 %, reduzierte sich dieser durch die Videoanalyse beim größeren Feld auf 61,6 % und beim kleineren auf 56,9 %. Bei den Kontrollversuchen lag der Anteil bei 36,1 %, der Unterschied zwischen den drei Konfigurationen ist jedoch nicht signifikant.

Zudem wurde mit "am Rechen entlang schwimmend" ein dem Oberwasser zugeordnetes Verhalten integriert. Diese Kategorie wird der Leitwirkung zugeordnet und beschreibt Fische, die nicht gescheucht wurden, sondern dem Rechen auf der Suche nach einem Alternativweg folgten. Die Konfiguration mit 1+/1- stellt dabei mit 41,9 % den größten Anteil dar, während sich bei 3+/3- mit 36,7 % ebenfalls ein Effekt beobachten lässt. Allerdings ist der Leiteffekt beim Kontrollversuch mit 52,7 % am größten, was auf eine gute Wirkung als rein mechanische Barriere hindeutet. Die Unterschiede sind nicht signifikant.

Die "Rechenpassage" ist mit 11,3 % bei den Kontrollversuchen am größten, reduziert sich aber beim kleineren Feld auf 1,1 % und beim größeren auf 1,7 %. Vergleicht man die jeweiligen Stromkonfigurationen (3+/3-; 1+/1-) mit den Kontrollversuchen, so konnte bei beiden ein signifikanter Unterschied festgestellt werden:

1+/1- mit Kontrollversuchen: $p_M = 0,005$; $p_{KW} = 0,015$

3+/3- mit Kontrollversuchen: $p_M = 0,005$; $p_{KW} = 0,029$

Bei Vergleichen innerhalb der Stromkonfigurationen konnte hingegen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Der Nachteil bei der Auswertung der Videos ist, dass einzelne Fische nicht individuell identifiziert werden konnten. Da bei der Videoanalyse jede Reaktion gezählt wurde, waren Doppelzählungen möglich. Es könnte daher derselbe Fisch den Rechen mehrere Male passiert haben. Dies ist bei der Auswertung der PIT-Daten ausgeschlossen. Die nachfolgenden drei Abbildungen zeigen wieder die statistische Verteilung analog zu Kapitel 5.1.2.

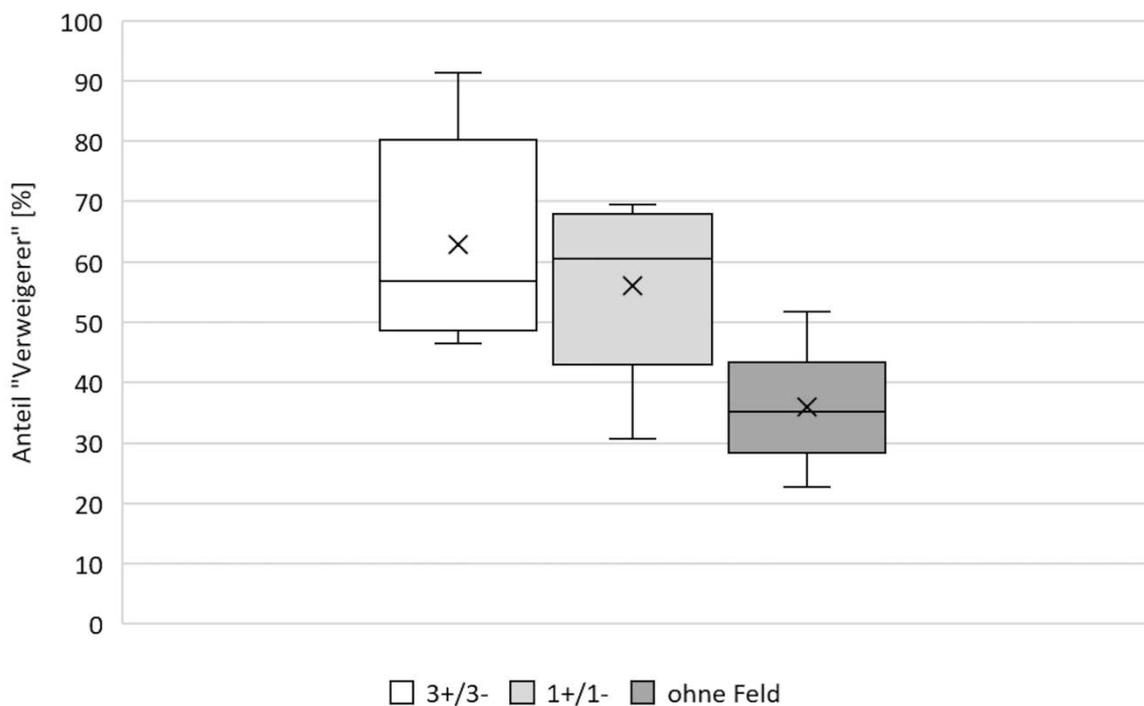


Abb. 24: Anteil "Verweigerer" je Konfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld; jeweils n=5), Versuchsreihe 1. Video. Test auf Unterschiede der Konfigurationen (3+/3-; 1+/1-; Kontrollversuche) n.s.

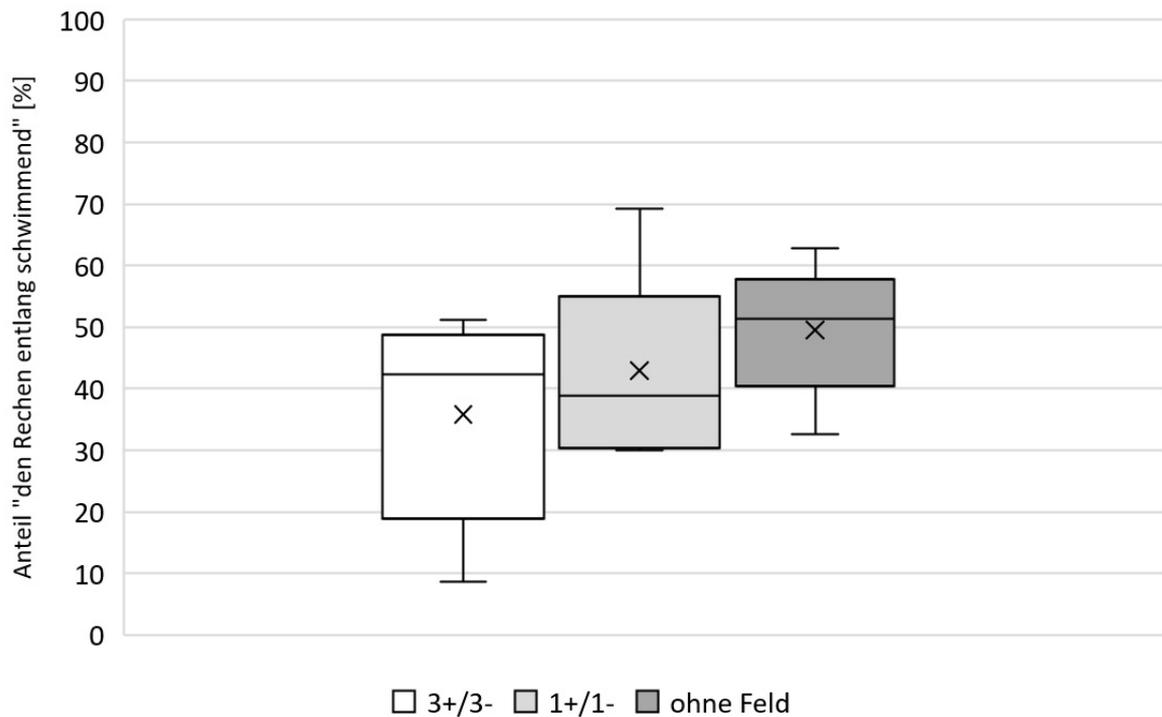


Abb. 25: Anteil "den Rechen entlang schwimmend" je Konfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld; jeweils n=5), Versuchsreihe 1. Video. Test auf Unterschiede der Konfigurationen (3+/3-; 1+/1-; Kontrollversuche) n.s.

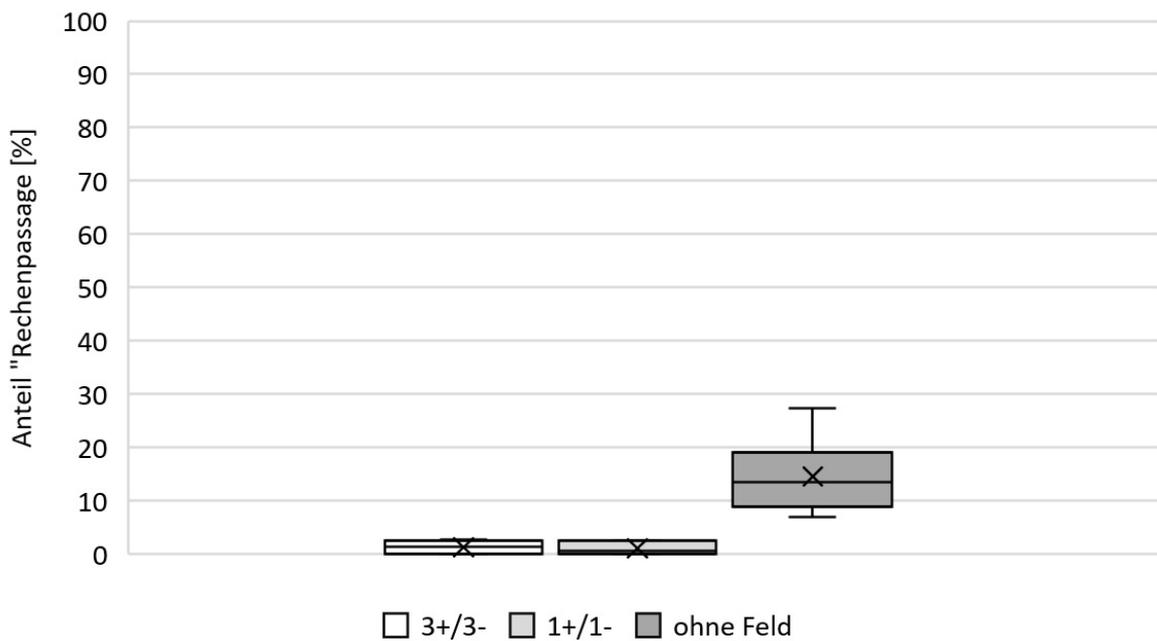


Abb. 26: Anteil "Rechenpassage" je Konfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld; jeweils n=5), Versuchsreihe 1. Video. Test auf Unterschied innerhalb der Stromkonfigurationen (1+/1-; 3+/3-) n.s.; Signifikanter Unterschied zwischen Versuchen mit Strom und ohne Strom: 3+/3- und Kontrollversuche ($p_M=0,005$; $p_{KW}=0,029$); 1+/1- und Kontrollversuche ($p_M=0,005$; $p_{KW}=0,015$)

5.1.3. Vergleich der Auswertungsmethoden

Wie aus den ersten Ergebnissen (Abb. 19, Abb. 23) ersichtlich, führen die unterschiedlichen Auswertungsmethoden zu einer Abweichung der Ergebnisse innerhalb der Versuchsreihe, insbesondere bei der Kategorie der Verweigerer. Zu dieser Kategorie zählen analog zur Videoauswertung solche, die durch die Wirkung des Seilrechens an der Passage gehindert wurden. Gleichzeitig werden bei der PIT-tag-Auswertung den Verweigerern Fische zugerechnet, die nicht in der Nähe des Seilrechens waren, weil sie zum Beispiel den Adaptionbereich nicht verlassen haben. Diese inaktiv verbliebenen werden bei der Videoauswertung nicht berücksichtigt. Während der Anteil der "Verweigerer" bei den PIT-tag-Daten bei 80 % liegt, entfallen bei der Videoauswertung zwischen 36 % (ohne Feld) und 62 % (3+/3-) auf diese Kategorie. Ein weiterer Faktor hinsichtlich der PIT-tag-Daten sind Fehler bei der Datenerhebung. So wurden Fische, die im Bypass oder hinter dem Seilrechen durch die Antennen nicht erfasst werden konnten ebenfalls den Verweigerern zugerechnet. Um dies besser beschreiben zu können, erfolgte zusätzlich die Auswertung der vorhandenen Videoaufnahmen und die daraus resultierende Unterteilung der Reaktionen der Fische auf den E-Seilrechen in bestimmte Kategorien. Diese Kategorien berücksichtigen nur Aktionen in direktem Zusammenhang mit der Barriere. Daher wurde durch die Erstellung der Kategorie "den Rechen entlang schwimmend", welche als Leitwirkung des Seilrechens interpretiert wird, eine zusätzliche, vorher den Verweigerern zugerechnete Kategorie geschaffen. Dabei wird angenommen, dass sich ein Fisch durch die elektrische und mechanische Barrierewirkung des E-Seilrechens gezielt in Richtung Bypass leiten lässt. Bei den PIT-tag-Daten besteht diese Kategorie nur aus solchen Fischen, die den Bypass bereits erreicht haben, obwohl die Möglichkeit besteht, dass dies ohne Einfluss des Seilrechens geschieht (z.B. indem der Fisch direkt von Adaptionbereich in den Bypass driftet). Dementsprechend ist der Anteil der Leitwirkung zugerechneten Kategorien bei der Videoauswertung höher.

Ein weiterer Unterschied bei der Datenerfassung betrifft die Anzahl der Detektionen im Vergleich zu den gezählten Reaktionen. Während bei den PIT-tags nur die Erstdetektion zählte, war eine genaue Unterscheidung der Fische in den Videos nicht möglich. Dementsprechend könnte es sein, dass nur ein einzelnes Exemplar den Rechen passiert hat, dies aber öfter und zwischen flussab und flussauf hin und her pendelt. Die genaue Verteilung der Aktivitäten wird in folgender Abbildung dargestellt.

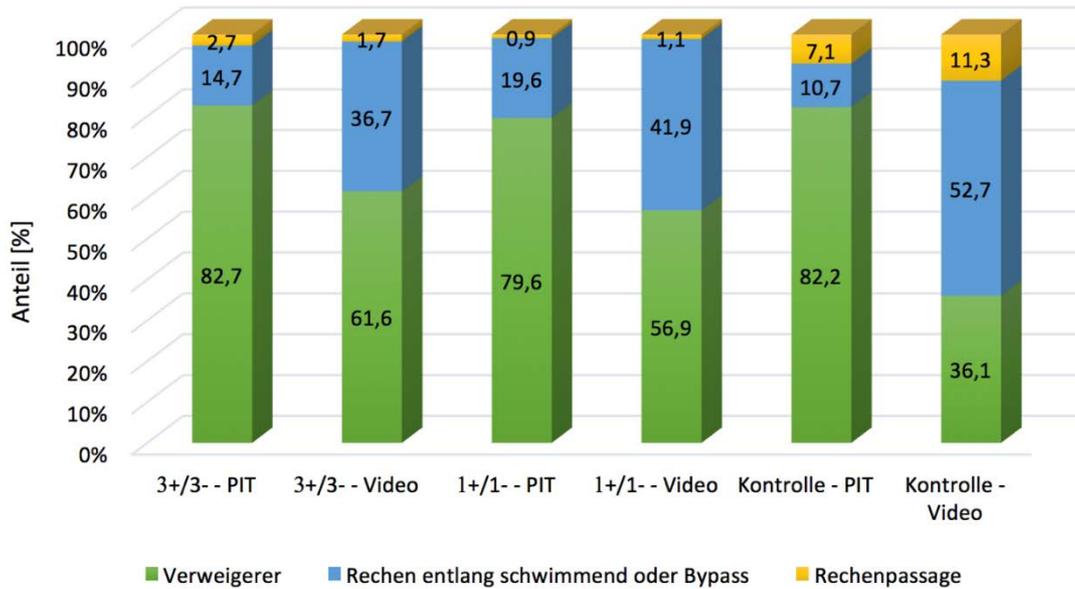


Abb. 27: Anteil aller Aktivitäten anhand der beiden Auswertungsmethode (PIT-tag, Video) als Mittelwert für 3+/3-, 1+/1- und Kontrollversuche ohne Feld. Versuchsreihe 1

5.1.4. Artsspezifische Unterschiede

Zur Auswertung des artsspezifischen Verhaltens wurden die durch die PIT-tag erhaltenen Daten herangezogen und die Anzahl der Individuen nach dem Ort der Detektion in Abbildung 28 dargestellt. Unterschieden wird dabei wieder zwischen den Kategorien "Rechenpassage", "Bypass" und "Verweigerer".

Für die folgende Auswertung wurden alle fünf Einzelversuche je Stromfeldkonfiguration (3+3; 1+/1-; ohne Feld) aufsummiert und die Anzahl je Kategorie und Fischart dargestellt. Bach- und Regenbogenforellen wurden zusammengefasst. Insgesamt wurden 75 Exemplare je Fischart für die jeweiligen fünf Einzelversuche besetzt, wobei die erhaltenen Ergebnisse große Unterschiede zwischen den Fischarten aufzeigten. Aitel stellten dabei mit Abstand die aktivste Fischart dar, die bei Verwendung eines elektrischen Feldes häufig (23 bzw. 35 von 75) dem Bypass zugeordnet werden konnten, während zwei bzw. drei Exemplare den Rechen passierten. Bei den Kontrollversuchen stellte sich mit 29 Detektionen (16 im Bypass, 13 Rechenpassagen) ein ähnlich hoher Wert ein. Im Gegensatz dazu zählen Äschen und Forellen, unabhängig vom Setup, hauptsächlich zu den Verweigerern (Äschen zwischen 69-72, Forellen 66-72), wobei die Äschen den Rechen kein einziges Mal durchschwimmen konnten und nur im Bypass detektiert wurden. Der Anteil der Verweigerer stellt dabei analog zu Kapitel 5.1.2. einen Maximalwert dar, der durch eventuelle Fehler bei der Erfassung durch die Antennen und der Limitierung bei der Datenerfassung erhöht wird.

Ebenfalls angedacht war zusätzlich zur vorhanden Auswertung die Analyse der Videos. Diese waren jedoch hinsichtlich der eindeutigen Identifikation der Fischarten eingeschränkt, was an der teilweisen schlechten Qualität der Aufnahmen (Dunkelheit, Trübung) und an der Länge des Seilrechens lag. Dies erschwerte ein Identifizieren von weiter entfernten, vor allem kleinen Exemplaren.

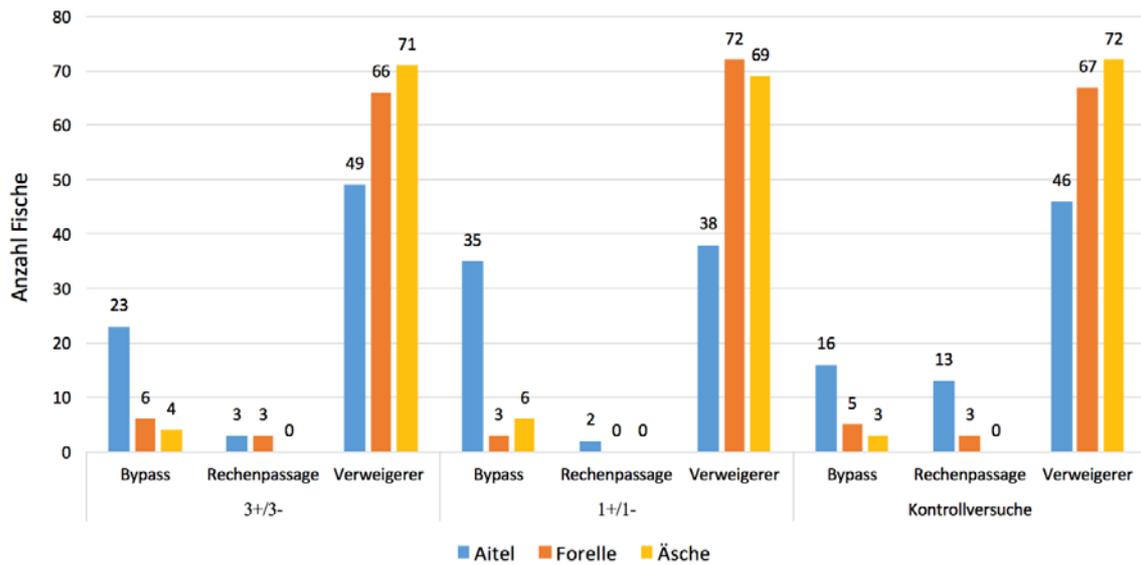


Abb. 28: Anteil an Individuen je Kategorie (Rechenpassage, Bypass und Verweigerern), Fischart und Stromfeldkonfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld). Versuchsreihe 1. PIT-tag

5.1.5. Größenverteilung der Fische

Um Erkenntnisse über den Einfluss der Fischlänge auf Rechenpassage und Abstiegsraten im Bypass zu erhalten, wurden die PIT-tag-Daten hinsichtlich Größe der Fische und Ort der Detektion ausgewertet und in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Größenverteilung der Fische nach dem Ort der Detektion. Alle Versuchsfische der 15 Einzelversuche, der zugehörigen Kategorie zugeteilt. Versuchsreihe 1. PIT-tag

	Verweigerer	Bypass	Rechenpassage	Gesamt
\sum Fische	550	101	24	675
Minimum [mm]	115	100	120	100
Maximum [mm]	285	275	205	285
Mittelwert [mm]	213	193	162	208

Insgesamt konnten 125 Detektionen festgestellt werden, wovon 101 auf den Bypass und 24 auf die Rechenpassage entfielen. Zu erkennen ist dabei eine Zunahme der Rechenpassagen mit abnehmender Fischlänge. Dies umfasst nur Aitel und Forellen, da die Äschen im Vergleich dazu signifikant größer sind ($p_{KW} < 0,001$) und daher keine Rechendurchgänge erfasst wurden. Fische, die den Rechen passierten, sind im Mittel 162 mm, während die mittlere Länge aller Versuchsfische (Äschen 256 mm) betrug. Solche, die im Bypass detektiert wurden, weisen mit im Durchschnitt 193 mm ebenfalls eine geringere Länge auf, wobei auch hier ein signifikanter Unterschied zwischen Äschen und Aitel ($p_{KW} < 0,001$) bzw. Äschen und Forellen besteht ($p_{KW} = 0,008$). Es konnte daher ein Einfluss der Fischlänge, sowohl hinsichtlich Rechenpassage als auch Abstiegsraten im Bypass festgestellt werden. Lediglich die Verweigerer, auf welche 550 Fische entfielen, weisen mit 213 mm einen höheren Mittelwert auf. In Abbildung 29 wird die Größenverteilung nach Fischart und dem Ort der Detektion dargestellt.

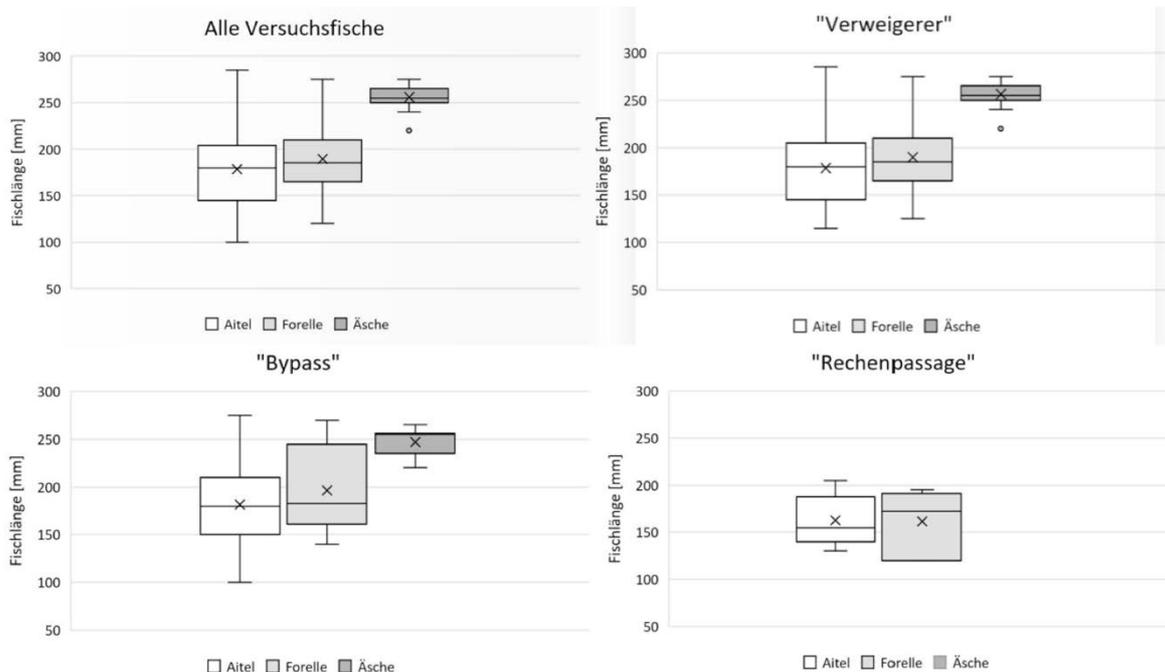


Abb. 29: Größenverteilung aller während der Versuche detektierten Fische, entsprechend der Kategorie (Alle, Verweigerer, Bypass, Rechenpassage). PIT-tag-Auswertung, Versuchsreihe 1. Test auf Unterschiede zwischen Aitel und Forellen für alle Kategorien n.s.; Alle: Signifikanz zwischen Äschen und Aitel/Forellen ($p_{KW}<0,001$); Verweigerer: Signifikanz zwischen Äschen und Aitel/Forellen ($p_{KW}<0,001$); Bypass: Signifikanter Unterschied Aitel-Äsche ($p_{KW}<0,001$) sowie Forelle-Äsche ($p_{KW}=0,008$)

5.2. Versuchsreihe 2 – "Mixed"

Um Aufschlüsse über die Wirkungsweise des E-Seilrechens auf zusätzliche Fischarten zu erhalten, wurden zwischen 27.10.17 und 28.10.17 ergänzende Beobachtungsversuche mit je 64 Fische durchgeführt. Bei den getesteten Fischarten handelt es sich um Rotfeder, Rotauge, Brachse und Flussbarsch mit einer mittleren Länge von 11 cm.

Der Versuchsablauf war ident mit Versuchsreihe 1, für die Datenerhebung wurden ausschließlich Kameras verwendet. Durchgeführt wurde pro Setup nur je ein Einzelversuch. Der Seilabstand lag bei 60 mm, die Rechenneigung bei 20°. Die Wassertiefe (0,5 m), Anströmgeschwindigkeit (0,5 m/s) und elektrische Spannung (80 V) waren konstant. Die dabei protokollierten Reaktionen wurden wieder den jeweiligen Kategorien zugeordnet und sind in Tabelle 9 ersichtlich.

Tabelle 9: Überblick der durchgeführten Einzelversuche mit Rohdaten der Videoauswertung: Anzahl an Verhaltensreaktionen je Kategorie. Darstellung getrennt nach Stromfeldkonfiguration: 3+/3- (größeres elektrisches Feld), 1+/1- (kleineres elektrisches Feld), elektrische Spannung 80 V; Kontrollversuch (ohne elektrisches Feld), jeweils n=1, Versuchsreihe 2. Video; Rechenneigung 20°, Seilabstand 60 mm

ID_Versuch	Datum	Schaltung	WT [C°]	Kategorie								Σ
				1	2	3	4	4.1	5	6	7	
M1	27.10.17	ohne Feld	9,4	74	89	0	484	44	452	24	0	1167
M2	27.10.17	3+/3-	9,4	70	164	69	3	1	2	2	0	311
M3	28.10.17	1+/1-	9,4	36	93	40	6	2	8	13	7	205

Wie in Kapitel 4.6.2 erklärt, wurden die beschriebenen Bewegungsmuster zur besseren Vergleichbarkeit zu drei Hauptkategorien zusammengefasst (Tabelle 10). Die prozentuelle Verteilung wird in Abbildung 30 graphisch dargestellt.

Tabelle 10: Anzahl der Reaktionen, zugeordnet zu den 3 Hauptkategorien, Darstellung getrennt nach Konfiguration: 3+/3- (größeres elektrisches Feld), 1+/1- (kleineres elektrisches Feld), Kontrollversuch (ohne elektrisches Feld), jeweils n=1, Versuchsreihe 2. Video

	Verweigerer	Rechen entlang schwimmend	Rechenpassage	Σ
3+/3-	480	285	285	1050
1+/1-	220	100	115	435
ohne Feld	162	208	213	583

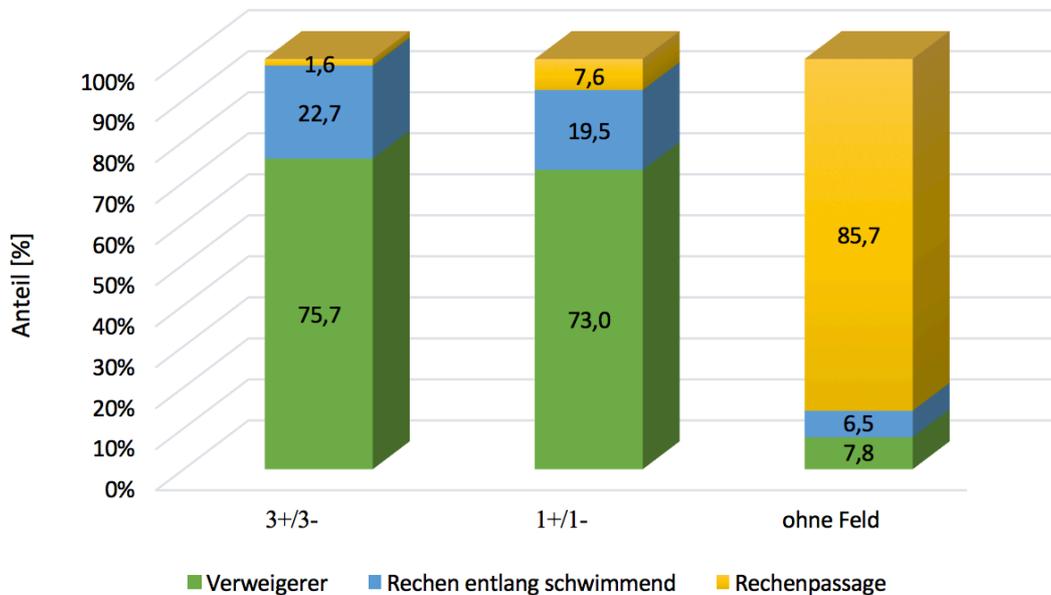


Abb. 30: Mittlerer Anteil der Kategorien je Stromfeldkonfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld). Kategorie 2 und 3 werden den „Verweigerern“, Kategorie 1 "den Rechen entlang schwimmend", Kategorie 4 und 5 der „Rechenpassage“ zugeordnet. Versuchsreihe 2. Video

Die Ergebnisse zeigen einen besonders stark ausgeprägten Unterschied zwischen den Kontrollversuchen und den Versuchen mit Strom. Während bei der Konfiguration ohne Strom 85,7 % aller gezählten Reaktionen auf die Rechenpassage entfielen, konnte dies auf 7,6 % beim kleineren (1+/1-) und auf 1,6 % beim größeren elektrischen Feld (3+/3-) verringert werden. Gleichzeitig wurden bei den Konfigurationen mit Strom über 70% am Passieren der Barriere gehindert, was bei den Kontrollversuchen auf 7,8 % zutraf. Die Fische konnten bei den Kontrollversuchen die Barriere ohne Probleme durchschwimmen, während dies bei den Stromkonfigurationen nur einem vergleichsweise kleinen Teil gelang.

Der Anteil an der Kategorie "den Rechen entlang schwimmend" war bei den Kontrollversuchen mit 6,5 % ebenfalls gering, da der erhöhte Seilabstand die Fische nicht am Passieren hinderte. Diese Kategorie, welche der Leitwirkung zugeordnet wird, erhöhte sich durch die Elektrifizierung auf 19,5 % beim kleineren und 22,7 % beim größeren elektrischen Feld.

5.3. Versuchsreihe 3 – "Aal"

Die dritte Versuchsreihe wurde vom 8.11.17 bis 9.11.17 mit dem europäischen Aal durchgeführt, wobei die grundsätzliche Wirkung des E-Seilrechs in Bezug auf diese Fischart getestet wurde. Konkret wurde das Verhalten im Zuge von Beobachtungsversuchen mit je 10 Individuen unter adaptierten Versuchsbedingungen ("Aalbox" bzw. Versuchsablauf) bei unterschiedlichen Stromfeldkonfigurationen (3+/3-, 1+/1-, ohne Feld) sowie bei einer Spannung von 80 V bzw. 38 V beobachtet. Wassertiefe und Anströmgeschwindigkeit waren analog zu den vorangegangenen Versuchsreihen. Der Seilabstand lag bei 60 mm, die Rechenneigung bei 20°.

Der erste Einzelversuch (A1) wurde bei einer Konfiguration 3+/3- und 80 V durchgeführt. Dabei zeigten sich neben der Passage des E-Seilrechs auch eine narkotische Reaktion (Paralyse) einzelner Individuen, woraufhin der Versuch abgebrochen wurde. Aufgrund dieser Beobachtungen wurde die elektrische Spannung in den Folgeversuchen (A2 - A5) auf 38 V reduziert. Zusätzlich wurde ein Einzelversuch (A5) mit veränderter Impulslänge (Änderung von 200 ms auf 150 ms) durchgeführt.

Eine erste Zuordnung aller in den Videos registrierten Aktionen findet sich in nachfolgender Tabelle 11.

Tabelle 11: Überblick der durchgeführten Einzelversuche mit Rohdaten der Videoauswertung: Anzahl an Verhaltensreaktionen je Kategorie. Darstellung getrennt nach Konfiguration: 3+/3- (größeres elektrisches Feld), 1+/1- (kleineres elektrisches Feld), elektrische Spannung 80 V; Kontrollversuch (ohne elektrisches Feld), jeweils n=1, Versuchsreihe 3. Video; Rechenneigung 20°, Seilabstand 60 mm

ID_Versuch	Datum	Schaltung	Spannung [V]	Impulslänge [ms]	WT [C°]	Kategorie									
						1	2	3	4	4.1	5	6	7	Σ	
A2	09.11.17	3+/3-	38	200	7,7	2	2	23	1	0	0	15	13	56	
A3	09.11.17	ohne Feld	38	200	7,7	2	2	0	6	0	1	4	1	16	
A4	09.11.17	1+/1-	38	200	7,7	0	1	5	2	0	0	1	0	9	
A5	09.11.17	1+/1-	38	150	7,7	6	0	8	4	0	0	10	9	37	

Diese wurden den 3 Hauptkategorien zugeordnet (Tabelle 12). Die prozentuelle Verteilung wird in nachfolgender Abbildung 32 dargestellt.

Tabelle 12: Anzahl der Reaktionen, zugeordnet zu den 3 Hauptkategorien, Darstellung getrennt nach Konfiguration: 3+/3- (größeres elektrisches Feld, Impulslänge 200 ms), 1+/1- (kleineres elektrisches Feld, Impulslänge 200 ms), 1+/1-* (kleineres elektrisches Feld, Impulslänge 150 ms) Kontrollversuch (ohne elektrisches Feld), jeweils n=1, Versuchsreihe 3. Video

	Verweigerer	Rechen entlang schwimmend	Rechenpassage	Σ
3+/3-	25	30	1	56
1+/1-	6	1	2	9
1+/1-*	8	25	4	37
ohne Feld	2	7	7	16

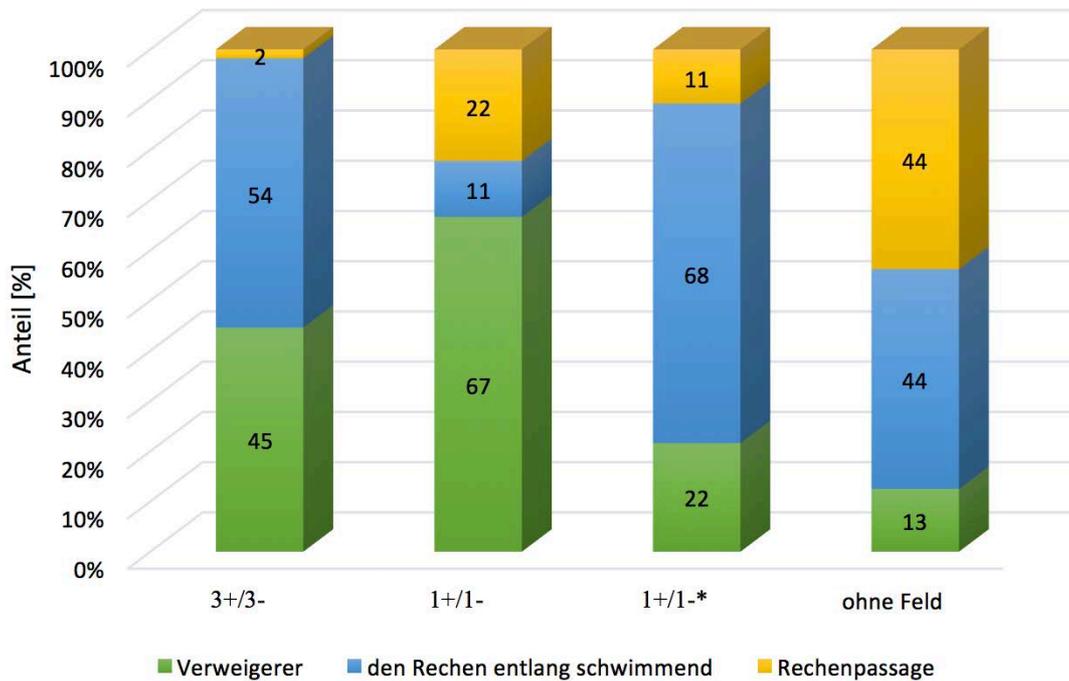


Abb. 31: Mittlerer Anteil der Kategorien je Stromfeldkonfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld). 1+/1-* Änderung der Impulslänge von 200 ms auf 150 ms. Kategorie 2 und 3 werden den „Verweigerern“, Kategorie 1, 6 und 7 "den Rechen entlang schwimmend", Kategorie 4 und 5 der „Rechenpassage“ zugeordnet. Versuchsreihe 3. Video

Beim Kontrollversuch wurden 16 relevante Aktionen gezählt, von denen 7 (44 %) auf die Rechenpassage entfallen. Bei den Konfigurationen mit Strom wurden diese Anteile auf 22 % (2 von 9) beim kleineren und 2 % (1 von 56) beim größeren elektrischen Feld reduziert. Bei den Verweigerern entfällt der größte Anteil auf das kleinere elektrische Feld mit 67 %, während bei den Kontrollversuchen 13 % (2 von 16) der Aale gescheucht wurden. Beim größeren elektrischen Feldentfallen 45 % auf die Kategorie der Verweigerer.

Einen Sonderfall stellt Versuch A5 dar, bei dem die Impulslänge verändert wurde. Dabei entfielen 11 % aller Reaktionen auf die Rechenpassage und 68 % auf "den Rechen entlang schwimmend", was den größten Wert aller Konfigurationen darstellt. Dem größeren Feld konnten dieser Kategorie 54 % (30 von 56 Reaktionen), dem kleineren Feld nur 11 % aller Reaktionen zugeordnet werden. Bei den Kontrollversuchen (ohne Feld) entfielen 44 % auf die der Leitwirkung zugeordneten Kategorie.

6. Diskussion

Folgend werden die gegenständlich gezeigten Ergebnisse zusammengefasst und analysiert. Zusätzlich wird ein Vergleich mit weiterführenden Versuchen der Versuchsreihe 1 (Datengrundlage und Auswertung siehe Haug, 2018) angestellt:

6.1. Versuchsreihe 1 – „Regelversuch“

PIT-tag

Die Datenerfassung mittels PIT-tag erfolgte ausschließlich im Zuge der Versuchsreihe 1, wobei in Summe 101 Einzelversuche (davon 15 im Zuge der vorliegenden Arbeit) durchgeführt wurden. Anhand der getesteten Versuchsreihen (Anströmgeschwindigkeit 0,5 m/s, Rechenneigung 20°, Seilabstand 30 mm) konnte nachgewiesen werden, dass unter Verwendung eines elektrischen Feldes, unabhängig von der genauen Stromfeldkonfiguration (3+/3-, n = 5 bzw. 1+/1-, n = 5; Spannung je 80 V) eine geringe Anzahl an Fischen den E-Seilrechen passierten: Während bei Kontrollversuchen ohne elektrischem Feld (n = 5) der Anteil bei 7,1 % lag, zeigte sich unter Verwendung des größeren elektrischen Feldes (Konfiguration 3+/3-; n = 5) ein Anteil von nur 2,7 %. Unter Verwendung des kleineren elektrischen Feldes (Konfiguration 1+/1-; n = 5) zeigte sich hingegen ein deutlich geringerer Anteil von 0,9 %.

Im Zuge weiterführender Versuche der Versuchsreihe 1 mit geändertem Seilabstand von 60 mm (vgl. Haug, 2018) zeigten sich bei den Kontrollversuchen mit 28,2 % ein erhöhter Anteil an Rechenpassagen. Der Anteil verringerte sich beim größeren Feld (3+/3-) auf 6,4 % bzw. auf 3,4 % beim kleineren Feld (1+/1-). Dies bestätigt grundsätzlich die gegenständlich gezeigten Ergebnisse und zeigt, dass unter Verwendung eines elektrischen Feldes unabhängig von der Stromfeldkonfiguration geringere Rechenpassagen auftraten als bei den Kontrollversuchen ohne Feld. Eine mögliche Erklärung für den deutlichen Unterschied hinsichtlich der Rechenpassage zwischen einem Seilabstand von 30 mm (7,1 %) und 60 mm (28,2 %) könnte die mechanische Barrierewirkung sein, welche bei geringerem Seilabstand ausgeprägter ist. Zudem könnten äußere Einflüsse (z.B. Wassertemperatur) Einfluss auf die Aktivität der Fische während der Versuchsdurchführung haben.

Die Abstiegsrate im Bypass lag bei den Kontrollversuchen bei 10,7 %, erhöhte sich beim größeren elektrischen Feld auf 14,7 % und beim kleineren auf 19,6 %. Allerdings ist ein direkter Zusammenhang zwischen im Bypass detektierten Fischen und der Wirkung des E-Seilrechens schwierig zu ermitteln, da Fische auch ohne dessen Einfluss (z.B. Leitwirkung aufgrund der Seile und/oder aufgrund eines elektrischen Feldes) unmittelbar in den Bypass driften konnten. Dabei könnte die unterschiedlich große Ausdehnung des elektrischen Feldes (Abb. 2) Auswirkungen auf die Auffindbarkeit haben. Konkret könnte durch den Kontakt mit dem elektrischen Feld entweder direkt eine Fluchtreaktion hervorgerufen werden. Eine weitere Möglichkeit wäre ein Leiten der Fische in Bereiche erhöhter Turbulenz, was ebenfalls Auswirkungen auf die Abstiegsrate hätte. Zu diesem Zweck wurden Strömungsmessungen im Nahbereich um den Bypass durchgeführt (siehe Haug, 2018).

Der Anteil der „Verweigerer“, zu denen alle im Oberwasser verbliebenen Versuchsfische zählen, lag bei allen drei durchgeführten Konfigurationen (3+/3-, 1+/1-, ohne Feld) bei rund

80 %. Dazu zählen jedoch sowohl durch die Barriere gescheuchte aber nicht detektierte Fische („Fehldetektion“), als auch „inaktive“ Fische, die beispielsweise ausschließlich im Adaptionsbereich aufhielten. Eine eindeutige Zuordnung war durch die Limitierung bei der Datenerfassung (fixe Antennenpositionen) nicht möglich. Dazu wären zusätzliche Senderantennen im Oberwasserbereich nötig gewesen, um genauere Bewegungsmuster zu erhalten. Ein weiterer Grund für den großen Anteil an Verweigerern könnten Fehler bei der Datenerfassung sein. So wurden nicht ausgelöste Detektionen hinter dem Rechen oder im Bypass den Verweigerern zugerechnet. Der Anteil stellt daher einen Maximalwert dar, die Rechenpassierer und Bypassdetektionen einen Minimalwert. Aus diesem Grund wurde zusätzlich die Auswertung der Videos durchgeführt, in denen das Verhalten der Fische ausschließlich im Bezug auf den E-Seilrechen beschrieben wird.

Beim Verhalten der einzelnen Fischarten lassen sich große artspezifische Unterschiede erkennen. Aitel stellen die mit Abstand aktivsten Versuchsfische in Bezug auf die Anzahl der Detektionen dar. Im Gegensatz dazu wurden von Forellen (Bach- und Regenbogenforelle zusammengefasst) und Äschen kaum relevante Aktionen erfasst. Dies umfasst vor allem Detektionen im Bypass, während Rechenpassagen bei allen Arten kaum bzw. im Fall der Äschen gar nicht auftraten. Die mangelnde Aktivität könnte an der Fischart selbst, aber auch an äußeren Einflüssen wie der Tageszeit oder Wassertemperatur gelegen haben.

Video

Durch die Auswertung der Videos kann das Verhalten der Fische im unmittelbaren Nahbereich des E-Seilrechen beschrieben werden. Vor allem die Kategorie Verweigerer bietet wenig Anhaltspunkte über die tatsächlichen Vorgänge im Oberwasser. Zu diesem Zweck wurden Verhaltenskategorien erstellt und alle auf den Videos ersichtlichen Reaktionen der Fische erfasst. Berücksichtigt wurden nur Reaktionen in Bezug auf den E-Seilrechen. Inaktive Fische im Oberwasser wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Durch die Einteilung in drei Verhaltenskategorien konnte beim Anteil der Verweigerer, der bei der PIT-tag-Auswertung 80 % betrug, erhebliche Abweichungen beobachtet werden. Während bei den Kontrollversuchen 36,1 % am Einschwimmen in den Gefahrenbereich gehindert wurden, erhöhte sich dieser Anteil auf 56,9 % beim kleineren (1+/1-) und 61,6 % beim größeren elektrischen Feld (3+/3-). Da durch den E-Seilrechen Fische gleichzeitig in Richtung einer Abstiegsmöglichkeit (z.B. Bypass) geleitet werden sollen, wurde durch die Klasse "den Rechen entlang schwimmend" eine Kategorie erstellt, welche diese Leitwirkung beschreibt. Dabei ist auffällig, dass mit 52,7 % der größte Anteil auf die Kontrollversuche entfällt. Dieser sinkt beim kleineren Feld auf 41,9 % und beim größeren auf 36,7 %, was auf eine gute Wirkung als mechanische Barriere hindeutet und mit Turbulenzen im Bereich der Stahlseile zusammenhängen könnte. Zudem könnte die unterschiedlich große Ausdehnung des elektrischen Feldes (Abb. 2) einen Einfluss haben, indem bei den Fischen eine Fluchtreaktion hervorgerufen wird und sie nicht geleitet werden können.

Hinsichtlich der Rechenpassage konnten die erhaltenen Ergebnisse durch die Videoauswertung bestätigt werden. Bei den Kontrollversuchen ist der Anteil mit 11,3 % leicht angestiegen (vorher 7,1 %), konnte aber durch die Verwendung eines elektrischen Feldes auf 1,1 % (vorher 0,9 %) beim kleineren und 1,7 % (vorher 2,9 %) beim größeren elektrischen Feld reduziert werden.

Für Versuchsreihe 1 lässt sich zusammenfassend festhalten, dass für die Stromkonfiguration (unabhängig von der genauen Feldkonfiguration) geringere Rechenpassagen festzustellen sind, während eine Leitwirkung auch bei der Konfiguration ohne Feld aufgetreten ist. Bei den Kontrollversuchen war der Anteil der Fische, welche den Rechen passieren konnten,

gering. Dieser Anteil erhöhte sich im Zuge weiterführender Versuchen mit 60 mm Seilabstand (siehe Haug, 2018). Dies ist primär auf den Seilabstand als maßgeblichen Parameter zurückzuführen. Dieser Anteil konnte durch die Verwendung elektrischer Felder weiter reduziert werden. Das kleinere elektrische Feld stellt sich sowohl bei der PIT-tag-Auswertung als auch bei den Videos als effektivere Konfiguration bezüglich Rechenpassage und Leitwirkung dar. Da das größere Feld nur marginal höhere Passagen anzeigt, sind hier weiterführende Versuche in Hinblick auf eine Optimierung der Stromfeldkonfiguration anzustreben.

6.1. Versuchsreihe 2 – „Mixed“

Um Erkenntnisse über das Verhalten zusätzlicher Fischarten zu erhalten, wurde in einer zweiten Versuchsreihe ergänzend karpfen- und barschartige Fische getestet, welche im Mittel eine geringere Länge von 11 cm aufwiesen. Der Versuchsablauf (Versuchsdauer etc.) war ident mit Versuchsreihe 1, allerdings wurde der Seilabstand auf 60 mm geändert. Zudem wurde zur Datenerfassung ausschließlich auf Videobeobachtung zurückgegriffen. Bei den Kontrollversuchen konnten 85,7 % (bei 1143 gezählten Reaktionen) der Versuchsfische den Rechen passieren. Bei den Versuchen mit elektrischem Feld konnte dieser Anteil auf 7,6 % beim kleineren und 1,6 % beim größeren elektrischen Feld gesenkt werden. Es zeigte sich, dass durch die Anwendung des elektrischen Feldes ein deutlich geringerer Anteil an Rechenpassagen festzustellen war. Gleichzeitig wurden bei den Stromkonfigurationen 75,7 % der Fische beim größeren und 73 % beim kleineren Feld am Passieren gehindert. Bei den Kontrollversuchen sind nur 7,8 % im Oberwasser verblieben. Dieser Zusammenhang erklärt sich durch den größeren Seilabstand, der für kleinere Individuen keine mechanische Barriere darstellte. Hinsichtlich des Leiteffektes (den Rechen entlang schwimmend) konnten 22,7 % dem größeren und 19,5 % dem kleineren elektrischen Feld zugeordnet werden. Bei den Kontrollversuchen konnte diesem lediglich ein Anteil von 6,5 % zugeordnet werden.

Die Ergebnisse von Versuchsreihe 2 stellen sich im Vergleich zu den bisher beschriebenen wesentlich eindeutiger dar und bestätigen die Hypothese, dass durch die Verwendung eines elektrischen Feldes die Barrierewirkung des E-Seilrechens erhöht werden kann. Verantwortlich für die großen Unterschiede zwischen den beiden Versuchsreihen sind die unterschiedlichen Seilabstände (30 bzw. 60 mm) sowie die abweichenden Fischgrößen bzw. -höhen. Während ein Seilabstand von 30 mm eine entsprechende Barrierewirkung erzielte, war dies bei einer lichten Weite von 60 mm nicht mehr gegeben. Erst durch die Elektrifizierung der Stahlseile (unabhängig der Stromfeldkonfiguration) konnte Anteil an Passagen reduziert werden. Dabei stellt der E-Seilrechen, anders als bei Versuchsreihe 1, ausgeführt mit dem größeren elektrischen Feld den geringsten Anteil an Rechenpassagen, aber den größten Anteil am Leiteffekt dar. Es ist aber anzumerken, dass diese Versuchsreihe lediglich Vorversuche beinhalten und aufgrund der geringen Fallzahlen (Einzelversuche ohne Versuchswiederholungen) weiterführende Versuche empfohlen werden

6.2. Versuchsreihe 3 – „Aal“

Da der Aal auf seinen Wanderungen erheblich von Kontinuumsunterbrechungen betroffen ist und daher seit einigen Jahren als vom Aussterben bedroht gilt, wurde als letzte Versuchsreihe die grundsätzliche Wirkung des E-Seilrechen in Bezug auf diese Fischart getestet. Der Versuchsablauf wurde, wie in Kapitel 4.2 beschrieben, adaptiert. Der Abstand der Seile lag bei 60 mm, die Datenerfassung erfolgte ausschließlich via Unterwasserkameras.

Da sich während der erstmaligen Versuchsdurchführung (A1) narkotische Reaktionen (Paralyse) einzelner Individuen zeigten, wurde dieser Einzelversuch abgebrochen. Nachdem Verletzungen der Individuen ausgeschlossen werden konnten, wurde die Versuchsreihe mit einer reduzierten Spannung (38 V) fortgesetzt.

Dabei konnten bei je einem Einzelversuch je Konfiguration Unterschiede zwischen der Verwendung elektrischer Felder festgestellt werden. Während bei den Kontrollversuchen 44 % der Individuen den Rechen passierten, konnte dieser Anteil beim kleineren elektrischen Feld auf 22 % bzw. 11% nach Änderung der Impulslänge, beim größeren auf 2 % gesenkt werden. Der Anteil der Verweigerer konnte von 13% beim Kontrollversuch auf 45 % beim größeren, sowie 67 % beim kleineren elektrischen Feld erhöht werden.

Zudem wies das kleinere elektrische Feld mit 57 % bzw. 68 % nach Änderung der Impulslänge den größten Leiteffekt auf. Dieser lag bei der Konfiguration ohne Strom bei 44 %, beim größeren elektrischen Feld bei 54 %. Dies könnte mit den beschränkten Platzverhältnissen durch den Einbau der "Aal-Box" sowie der Größe der Versuchstiere zusammenhängen. Eine Unterscheidung zwischen "parallel den Rechen entlang schwimmend" und "Bypass flussauf sowie flussab" war daher schwierig und eine eindeutige Zuordnung aus Platzgründen nicht möglich. Die Hauptkategorie "den Rechen entlang schwimmend" umfasst daher neben "parallel den Rechen entlang schwimmend" zusätzlich die in Kapitel 4.6.2 beschriebenen Kategorien "Bypass flussauf" und "Bypass flussab" (Kategorie 1, 6, 7). Der daraus resultierende Anteil ist vergleichsweise hoch und wäre bei gleichbleibender Kategorisierung geringer ausgefallen.

Dennoch ist ersichtlich, dass auch in Versuchsreihe 3 die Konfigurationen mit Strom zu geringeren Rechenpassagen führen. Beim größeren Feld konnte der geringste Anteil an Rechenpassagen festgestellt werden, das kleinere Feld wies den größten Anteil am Leiteffekt auf. Dabei ist wiederum festzuhalten, dass es sich bei der durchgeführten Versuchsreihe um Vorversuche ohne Versuchswiederholung handelt.

6.3. Resümee

Die Ergebnisse aller drei Versuchsreihen zeigten, dass der E-Seilrechen unabhängig von der Stromkonfiguration im Vergleich zur Konfiguration ohne Feld zu geringeren Rechenpassagen führt. Dabei wurde ersichtlich, dass die Wirkung hauptsächlich von geometrischen Parametern und den Bedingungen im Bereich rund um den E-Seilrechen abhängig war. Zudem traten große artspezifische Unterschiede auf. Dies betraf sowohl Versuchsreihe 1, in der die abwechselnde Anordnung der Elektroden den geringsten Anteil an Rechenpassagen, aber auch die meisten Detektionen im Bypass aufwies. Nach der Änderung der Auswertungsmethode blieb die Anzahl der Rechenpassagen gleich, jedoch konnte bei den Kontrollversuchen ein erhöhter Anteil an geleiteten Fischen festgestellt

werden. Im Vergleich mit Haug (2018) konnten diese auch bei einem Seilabstand von 60 mm bestätigt werden.

Bei der zweiten Versuchsreihe stellten sich die Ergebnisse weitaus eindeutiger dar. Dies kann primär mit den kleineren Fischen und der Vergrößerung des Seilabstandes zusammenhängen. Dabei zeigte das größere elektrische Feld den geringsten Anteil an Rechenpassagen und den größten Leiteffekt, knapp gefolgt vom kleineren elektrischen Feld. Bei den Versuchen mit Aalen konnten beim größeren Feld die geringste Anzahl an Rechenpassagen festgestellt werden, während das kleinere Feld den größten Anteil am Leiteffekt aufwies.

7. Ausblick

Die Ergebnisse der ethohydraulischen Versuche in Lunz am See zeigen ein Potential des E-Seilrechens in seiner Funktion als Fischtorschutz- und Leiteinrichtung. Dieser könnte aufgrund seiner flexiblen Ausführungsart durch nachträglichen Einbau an bestehenden Wasserkraftanlagen eine mögliche Alternative darstellen. Die Vorteile liegen in der Vergrößerung der Seilabstände, die durch die Kombination mit dem elektrischen Feld kompensiert werden und dadurch den Schutz der Fische bei Abwärtswanderung gewährleisten. Dies begünstigt die technische Machbarkeit und führt zur Verringerung der Betriebs- und Investitionskosten. Konkret umfasst dies sowohl geringere Kosten für die Rechenreinigung sowie geringere hydraulische Verluste.

Dennoch ist zu berücksichtigen, dass es sich um experimentelle Untersuchungen an einer Versuchsanlage handelt. Dabei könnten im Vergleich zu Wasserkraftstandorten in der Natur einige Änderungen auftreten, die bei der Erstellung des Versuchssetups nicht berücksichtigt werden konnten. Konkret umfasst dies die reduzierten Dimensionen des E-Seilrechens bezüglich der überspannten Längen und der Rechenhöhe. Zudem treten Abweichungen hinsichtlich der Anströmsituation und des Treibguttransportes auf, welche in ethohydraulischen Versuchen nur schwer darstellbar sind. Entsprechend sind weiterführende Versuche an bestehenden Wasserkraftanlagen erforderlich, um die vorgestellten Ergebnisse zu bestätigen. Zusätzlich können dadurch Erkenntnisse über die Wirkung des E-Seilrechens hinsichtlich weiterer Fischarten, Reinigungsaufwand und hydraulischer Verluste sowie praxisnahe Erfahrungswerte über die Barrierewirkung des E-Seilrechens und die Akzeptanz des Bypasses gewonnen werden.

Literaturverzeichnis

[1] Anderson, W.G., McKinley, R.S., Colavecchia, M., 1997: The use of clove oil as an anesthetic for rainbow trout and its effects on swimming performance. *North Am. J. Fish. Manage.* 17, 301-307.

[2] BMFLUW (2015): Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 - NGP 2015.

[3] Böttcher, H., Brinkmeier B., Aufleger, M., 2013: Flexible Fish Fences - Proceedings of 2013 IAHR World Congress.

[4] Böttcher, H., Brinkmeier, B., Aufleger, M., 2014: Der Seilrechen als neues Fischschutzkonzept - Untersuchung der technischen Machbarkeit. Tagungsband Internationales Symposium 2014 in Zürich, Wasser- und Flussbau im Alpenraum, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich.

[5] Böttcher H., Unfer G., Zeiringer B., Schmutz S., Aufleger M., 2015: Fischschutz und Fischabstieg - Kenntnisstand und aktuelle Forschungsprojekte in Österreich. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft.

[6] DWA, 2005: Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. 2. Korrigierte Auflage, Hennef.

[7] Ebel, G., 2013: Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen - Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. Ingenieurbio-logische Grundlagen, Modellierung und Prognose, Bemessung und Gestaltung. Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie.

[8] Ebel, G., Gluch, A., Kehl, M., 2015: Einsatz des Leitrechen-Bypass-Systems nach Ebel, Gluch & Kehl an Wasserkraftanlagen - Grundlagen, Erfahrungen und Perspektiven.

[9] E-Control, 2018: Betriebsstatistik - Jährliche Erzeugung elektrischer Energie. Verfügbar auf <https://www.e-control.at/statistik/strom/betriebsstatistik/jahresreihen> (17.1.2019).

[10] Grigull, M., 2015: Fish-ecological monitoring at the hydrodynamic screw "Hydroconnect" with "Albrecht fishLift inside" at the Jeßnitz River in Lower Austria.

[11] Haug, J., 2018: Examination of the fish protection and guiding effect of the "electrified flexible fish fence" depending on the electrical field.

[12] Herzig, A., Herzig-Straschil, B., 2001: Das Vorkommen des Aales (*Anguilla anguilla*) im Donaueinzugsgebiet - allochthon versus autochton - Österreichs Fischerei.

[13] Holzner, M., 2000: Untersuchungen zur Vermeidung von Fischschäden im Kraftwerksbereich, dargestellt am Kraftwerk Dettelbach am Main/Unterfranken.

[14] Holzner, M., Blankenburg, D., 2009: Vorversuche zur Eignung horizontaler Rechenanlagen für den Schutz an Fischen an Kraftwerkseinläufen. Ergänzende Ausführung.

- [15] Honsig-Erlenburg, W., Petutschnig, W., 2002: Natur Kärnten - Fische, Neunaugen, Flusskrebse, Großmuscheln. Naturwissenschaftlicher Verein Kärnten.
- [16] Jungwirth, M., Haidvogel, G., Moog, O., Muhar, S., Schmutz S., 2003: Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. Wien. Facultas-Verlag.
- [17] Karapinar, M., Aktug, S.E., 1987: Inhibition of foodborne pathogens by thymol, eugenol, menthol and anethole, International Journal of Food Microbiology, 4: 161-166.
- [18] Kottelat, M., Freyhof, J., 2007: Handbook of European freshwater fishes. Cornol (Publications Kottelat).
- [19] Larinier, M., Travade, F., 2002: Downstream migration: problems and facilities. Bull. Fr. Peche Piscic. 364 (suppl): 181-207.
- [20] Lehmann, B., Adam, B., 2011: Ethohydraulik: Grundlagen, Methoden und Erkenntnisse.
- [21] Moleyar, V., Narasimham, P., 1992: Antibacterial activity of essential oil components. International Journal of Food Microbiology, 16 (4), 337-342.
- [22] Parasiewicz, P., Wisniewolski, W., Mokwa, M., Ziola, S., Prus, P., Godlewska, M., 2016: A low-voltage electric fish guidance system-neptun. Fisheries Research.
- [23] Schmutz, S., Föhler, N., Friedrich, T., Fuhrmann, M., Graf, W., Greimel, F., Höller, N., Jungwirth, M., Leitner, P., Moog, O., Melcher, A., Müllner, K., Ochsenhofer, G., Salcher, G., Steidl, C., Unfer, G., Zeiringer, B., 2013: Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern - Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten. Wien: BMFLUW.
- [24] Spindler T., 1997: Fischfauna in Österreich. Ökologie - Gefährdung - Bioindikatoren - Fischerei - Gesetzgebung.
- [25] Sterba, G., 1999: Süßwasserfische der Welt. Weltbild, Augsburg.
- [26] Taylor, P.W., Roberts, S.D., 1999: Clove oil: an alternative anaesthetic for aquaculture. N. Am. J. Aquac. 61, 150-155.
- [27] Tesch, F., 1999: Der Aal. Biologie und Fischerei.
- [28] Travade, F., Larinier, M., 2006: Erfahrung mit Fischabstiegsanlagen aus Frankreich. Beitrag zum internationalen DWA-Symposium zur Wasserwirtschaft - Durchgängigkeit von Gewässern für die aquatische Fauna 3.-7. April 2006.
- [29] Waterstrat, P.R., 1999: Induction and recovery from anesthesia in channel catfish *Ictalurus punctatus* fingerlings exposed to clove oil. J. World Aquacult. Soc., 30 (2): 250-255.
- [30] Weibel, U., Wüst, S., 2016: Elektrische Verhaltensbarriere, Scheuch- und Leitversuche an der Murg, Ergebnisse der Versuche mit Aalen und Lachssmolts aus dem Jahr 2015, Vortrag vor der 27. SVK-Fischereitagung am 8.3.2016 in Fulda.

[31] Wüst, S., 2017: Simulation des elektrischen Feldes und Polarisierung der Stahlseile im Bereich des E-Seilrechen. IUS Weibel & Ness GmbH.

[32] Zeiringer, B., Führer, S., Auer, S., Struska, N., Albrecht, W., 2017: Fischpassierbarkeit und Doppeldrehrohrschnecken: Eine geeignete Alternative zur Wiederherstellung der Durchgängigkeit?.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Elektro-Seilrechen während der Versuchsdurchführung an der Versuchsanlage HyTEC .	15
Abb. 2: Simulation des elektrischen Feldes und Darstellung der Polarisation der Stahlseile. Stromdichte in V/m. Links: Größeres elektrisches Feld (3+/3-); Rechts: Kleineres elektrisches Feld (1+/1-). Quelle: Wüst, 2017	16
Abb. 3: Mögliche Anordnung des E-Seilrechens und Bypass vor dem Turbineneinlauf einer Wasserkraftanlage. Quelle: Böttcher, 2013	16
Abb. 4: Standardmäßige Ausführung des Seilrechens oben. Lose Seile im Fall von Hochwasser. Quelle: Böttcher, 2013	17
Abb. 5: Lage der Versuchsanlage HyTEC inkl. Transportleitungen vom See Quelle: http://hydropeaking.boku.ac.at/hytec.htm	19
Abb. 6: Hälterbereich in Rinne 2. Mehrere separate Bereiche zur Sicherstellung ausreichender Regenerationsphase.	21
Abb. 7: Bachforelle. Quelle: www.oefg1880.at	22
Abb. 8: Regenbogenforelle. Quelle: www.fischlexikon.eu	23
Abb. 9: Äsche. Quelle: www.angeln.de	23
Abb. 10: Aitel. Quelle: www.oefg1880.at	24
Abb. 11: Rotfeder. Quelle: www.oefg1880.at	25
Abb. 12: Rotauge. Quelle: www.oefg1880.at	25
Abb. 13: Brachse. Quelle: www.oefg1880.at	26
Abb. 14: Flussbarsch. Quelle: www.oefg1880.at	27
Abb. 15: Europäischer Aal. Quelle: www.oefg1880.at	28
Abb. 16: Versuchsanlage HyTEC in Lunz am See, Blick in Richtung flussauf. Links: Rinne 1 als Versuchsrinne (orogr. rechte Rinne). Rechts: Rinne 2 mit Hälterbereich für die Versuchsfische (orogr. linke Rinne).	29
Abb. 17: Darstellung der Versuchsrinne, Blick in Richtung flussab. Linkes Bild: Adaptionbereich mit flussabwärts gelegenen Testbereich. Rechts: Anordnung von Seilrechen und Bypass . .	30
Abb. 18: Übersichtsplan Versuchsanlage HyTEC. Darstellung von Adaption- und Testbereich sowie Position des E-Seilrechens mit 20°. Anordnung PIT-Antennen sowie der Kameras bei der Versuchsdurchführung. Position der "Aal-Box"	31
Abb. 19: Mittlerer Anteil der Kategorien je Stromfeldkonfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld). Antenne A1 und A2 sind der Kategorie „Bypass“, Antenne A3 der Kategorie „Rechenpassage“ zugeordnet. Fische, die nicht detektiert wurden sind der Kategorie „Verweigerer“ zugeordnet. Versuchsreihe 1. PIT-tag	37
Abb. 20: Anteil "Verweigerer" je Konfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld; jeweils n = 5), Versuchsreihe 1. PIT-tag. Test auf Unterschiede der Konfigurationen (3+/3-; 1+/1-; Kontrollversuche n.s.	38
Abb. 21: Anteil "Bypass" je Konfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld; jeweils n = 5), Versuchsreihe 1. PIT-tag. Test auf Unterschiede der Konfigurationen (3+/3-; 1+/1-; Kontrollversuche n.s.	39

Abb. 22: Anteil "Rechenpassage" je Konfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld; jeweils n = 5), Versuchsreihe 1. PIT-tag. Test auf Unterschied innerhalb der Stromkonfigurationen (1+/1-; 3+/3-) n.s.; Vergleich 3+/3- und Kontrollversuchen n.s.; Signifikanter Unterschied zwischen 1+/1- (kleineres elektrisches Feld) und Kontrollversuchen ($p_M = 0,029$, $p_{KW} = 0,014$)	39
Abb. 23: Mittlerer Anteil der Kategorien je Stromfeldkonfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld). Kategorie 2 und 3 werden „Verweigerern“, Kategorie 1 "den Rechen entlang schwimmend", Kategorie 4 und 5 der „Rechenpassage“ zugeordnet. Versuchsreihe 1. Video	41
Abb. 24: Anteil "Verweigerer" je Konfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld; jeweils n = 5), Versuchsreihe 1. Video. Test auf Unterschiede der Konfigurationen (3+/3-; 1+/1-; Kontrollversuche n.s.	42
Abb. 25: Anteil "den Rechen entlang schwimmend" je Konfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld; jeweils n = 5), Versuchsreihe 1. Video. Test auf Unterschiede der Konfigurationen (3+/3-; 1+/1-; Kontrollversuche n.s.	43
Abb. 26: Anteil "Rechenpassage" je Konfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld; jeweils n = 5), Versuchsreihe 1. Video. Test auf Unterschied innerhalb der Stromkonfigurationen (1+/1-; 3+/3-) n.s.; Signifikanter Unterschied zwischen Versuchen mit Strom und ohne Strom: 3+/3- und Kontrollversuche ($p_M = 0,005$; $p_{KW} = 0,029$); 1+/1- und Kontrollversuche ($p_M = 0,005$; $p_{KW} = 0,015$).	43
Abb. 27: Anteil aller Aktivitäten anhand der beiden Auswertungsmethode (PIT-tag, Video) als Mittelwert für 3+/3-, 1+/1- und Kontrollversuche ohne Feld. Versuchsreihe 1	45
Abb. 28: Anteil an Individuen je Kategorie (Rechenpassage, Bypass und Verweigerern), Fischart und Stromfeldkonfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld). Versuchsreihe 1. PIT-tag.	46
Abb. 29: Größenverteilung aller während der Versuche detektierten Fische, zugeordnet der entsprechenden Kategorie (Alle Versuchsfische, Verweigerer, Bypass, Rechenpassage). PIT-tag-Auswertung. Versuchsreihe 1. Test auf Unterschiede zwischen Aitel und Forelle für alle Kategorien n.s.; Alle: Signifikanz zwischen Äschen und Aitel/Forellen ($p_{KW} < 0,001$); Verweigerer: Signifikanz zwischen Äschen und Aitel/Forellen ($p_{KW} < 0,001$); Bypass: Signifikanter Unterschied Aitel-Äsche ($p_{KW} < 0,001$) sowie Forelle-Äsche ($p_{KW} = 0,008$)	47
Abb. 30: Mittlerer Anteil der Kategorien je Stromfeldkonfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld). Kategorie 2 und 3 werden den „Verweigerern“, Kategorie 1 "den Rechen entlang schwimmend", Kategorie 4 und 5 der „Rechenpassage“ zugeordnet. Versuchsreihe 2. Video	48
Abb. 31: Mittlerer Anteil der Kategorien je Stromfeldkonfiguration (3+/3-, 1+/1-, Kontrollversuch ohne Feld). 1+/1-* Änderung der Impulslänge von 200 ms auf 150 ms. Kategorie 2 und 3 werden den „Verweigerern“, Kategorie 1, 6 und 7 "den Rechen entlang schwimmend", Kategorie 4 und 5 der „Rechenpassage“ zugeordnet. Versuchsreihe 3. Video	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fixe und veränderliche Parameter bei der Versuchsdurchführung	30
Tabelle 2: Überblick der durchgeführten Versuchsreihen mit Anzahl an Versuchswiederholungen (n) je Konfiguration, Fischarten: A...Aitel, Ä...Äsche, BF...Bachforelle, RBF...Regenbogenforelle, RF...Rotfeder, RA...Rotaugen, B...Brachse, FB...Flussbarsch	31
Tabelle 3: Darstellung der drei Hauptkategorien inkl. der integrierten Bewegungsmuster	34
Tabelle 4: Überblick der durchgeführten Einzelversuche der Versuchsreihe 1 – "Regelversuch". Elektrische Spannung 80 V, Rechenneigung 20 °, Seilabstand 30 mm.	35
Tabelle 5: Korrigierte Rohdaten je Einzelversuch: Anzahl der Detektionen je Antenne und prozentualer Anteil je Kategorie. Versuchsreihe 1. PIT-tag. Antenne A1 und A2 sind der Kategorie „Bypass“, Antenne A3 der Kategorie „Rechenpassage“ zugeordnet. Fische, die nicht detektiert wurden sind der Kategorie „Verweigerer“ zugeordnet.	36
Tabelle 6: Überblick der durchgeführten Einzelversuche mit Rohdaten der Videoauswertung: Anzahl an Verhaltensreaktionen je Kategorie. Darstellung getrennt nach Stromfeldkonfiguration: 3+/3- (größeres elektrisches Feld), 1+/1- (kleineres elektrisches Feld), elektrische Spannung 80 V; Kontrollversuch (ohne elektrisches Feld), jeweils n = 5, Versuchsreihe 1. Video; Rechenneigung 20 °, Seilabstand 30 mm.	40
Tabelle 7: Anzahl der Reaktionen, zugeordnet den drei Verhaltenskategorien, Darstellung getrennt nach Konfiguration: 3+/3- (größeres elektrisches Feld), 1+/1- (kleineres elektrisches Feld), Kontrollversuch (ohne elektrisches Feld), jeweils n = 5, Versuchsreihe 1. Video	41
Tabelle 8: Größenverteilung der Fische nach dem Ort der Detektion. Alle Versuchsfische der 15 Einzelversuche, der zugehörigen Kategorie zugeteilt. Versuchsreihe 1. PIT-tag	46
Tabelle 9: Überblick der durchgeführten Einzelversuche mit Rohdaten der Videoauswertung: Anzahl an Verhaltensreaktionen je Kategorie. Darstellung getrennt nach Stromfeldkonfiguration: 3+/3- (größeres elektrisches Feld), 1+/1- (kleineres elektrisches Feld), elektrische Spannung 80 V; Kontrollversuch (ohne elektrisches Feld), jeweils n = 1, Versuchsreihe 2. Video; Rechenneigung 20 °, Seilabstand 60 mm.	47
Tabelle 10: Anzahl der Reaktionen, zugeordnet zu den 3 Hauptkategorien, Darstellung getrennt nach Konfiguration: 3+/3- (größeres elektrisches Feld), 1+/1- (kleineres elektrisches Feld), Kontrollversuch (ohne elektrisches Feld), jeweils n = 1, Versuchsreihe 2. Video.	48
Tabelle 11: Überblick der durchgeführten Einzelversuche mit Rohdaten der Videoauswertung: Anzahl an Verhaltensreaktionen je Kategorie. Darstellung getrennt nach Stromfeldkonfiguration: 3+/3- (größeres elektrisches Feld), 1+/1- (kleineres elektrisches Feld), elektrische Spannung 80 V; Kontrollversuch (ohne elektrisches Feld), jeweils n = 1, Versuchsreihe 3. Video; Rechenneigung 20 °, Seilabstand 60 mm.	49
Tabelle 12: Anzahl der Reaktionen, zugeordnet zu den 3 Hauptkategorien, Darstellung getrennt nach Konfiguration: 3+/3- (größeres elektrisches Feld, Impulslänge 200 ms), 1+/1- (kleineres elektrisches Feld, Impulslänge 200 ms), 1+/1-* (kleineres elektrisches Feld, Impulslänge 150 ms) Kontrollversuch (ohne elektrisches Feld), jeweils n = 1, Versuchsreihe 3. Video.	49

Anhang A: Versuchsprotokolle

ID_Versuch	V62					Datum	16.10.17	
Schaltung (+/-)	1+/1-	Video (j/n)		j	Wassertemperatur (°C)		11,9	
Spannung (V)	80	PIT-tag (j/n)		j	Wetterlage		sonnig	
Seilabstand (mm)	30							
Winkel	20							
Aitel		BF		RBF		Äsche		
226000	177113	226000	177607	226000	916413	228000	055734	
226000	177668	226000	177173	226000	177116	228000	055709	
226000	177667	226000	177175	226000	177189	228000	055752	
226000	177647	226000	916495	226000	916332	228000	055769	
226000	177150	228000	055833	226000	177180	228000	055740	
226000	177105			226000	177696	228000	055743	
226000	177247			226000	177633	228000	055725	
226000	177154			226000	916478	228000	055755	
226000	177114			226000	177107	228000	055761	
226000	177209			228000	297571	228000	055749	
226000	177152					228000	055721	
228000	055774					228000	055723	
228000	297492					228000	055764	
228000	055790					228000	055737	
228000	297493					228000	055715	

Besatz (hh:mm)
16:40

Start (hh:mm)
17:15

Ende (hh:mm)
18:15

Clearing (%)
100

Anmerkungen

Gopros um ca. 17 Uhr bereits gestartet

ID_Versuch **V63** Datum **17.10.17**

Schaltung (+/-) 1+/1- Video (j/n) j Wassertemperatur (°C) 11,8
 Spannung (V) 80 PIT-tag (j/n) j Wetterlage sonnig sonnig
 Seilabstand (mm) 30
 Winkel 20

Aitel		BF		RBF		Äsche	
226000	177123	226000	916365	226000	916484	228000	055709
226000	177135	226000	916399	226000	916400	228000	055743
226000	177166	226000	742764	226000	916310	228000	055749
226000	177199	226000	742726	226000	916380	228000	055752
226000	177183	226000	177101	226000	916383	228000	055734
228000	297505	228000	055823	226000	916490	228000	055755
228000	055801	228000	297552	228000	055834	228000	055725
228000	055829	228000	055825			228000	055723
228000	297520					228000	055721
228000	297557					228000	055769
228000	297494					228000	055740
228000	297510					228000	055764
228000	297517					228000	055715
228000	297537					228000	055737
228000	297496					228000	055761

Besatz (hh:mm) 11:10 Start (hh:mm) 11:30 Ende (hh:mm) 12:30 Clearing (%) 100

Anmerkungen

ID_Versuch **V64** **Datum** **17.10.17**

Schaltung (+/-) Referenzversuch Video (j/n) j Wassertemperatur (°C) 12,1
 Spannung (V) PIT-tag (j/n) j Wetterlage sonnig sonnig

Seilabstand (mm) 30

Winkel 20

Aitel		BF		RBF		Äsche	
226000	177163	226000	916264	226000	177613	228000	055709
226000	177148	226000	177153	226000	916427	228000	055743
226000	177157	228000	055824	226000	177635	228000	055749
226000	177190			226000	916467	228000	055752
226000	177652			226000	916423	228000	055734
226000	177128			228000	055804	228000	055755
228000	055827			228000	297553	228000	055725
228000	055799			228000	055778	228000	055723
228000	055800			228000	297579	228000	055721
228000	297584			228000	297523	228000	055741
228000	297491			228000	055788	228000	055740
228000	055798			228000	055826	228000	055764
228000	055783					228000	055715
228000	297521					228000	055737
228000	297589					228000	055761

Besatz (hh:mm) Start (hh:mm) Ende (hh:mm) Clearing (%)
 13:30 14:25 15:25 100

Anmerkungen

Äschen wie bei V63; Äschen wurden in der Rinne belassen

ID_Versuch	V65			Datum	17.10.17		
Schaltung (+/-)	1+/-1-	Video (j/n)	j	Wassertemperatur (°C)	12,0		
Spannung (V)	80	PIT-tag (j/n)	j	Wetterlage	sonnig		
Seilabstand (mm)	30						
Winkel	20						
Aitel		BF		RBF		Äsche	
226000	177699	226000	739994	226000	916436	228000	055709
226000	177194	226000	916289	226000	177124	228000	055743
226000	177108	226000	177127	226000	916386	228000	055749
226000	177145	226000	177671	226000	916402	228000	055752
226000	177149	226000	916344	226000	177265	228000	055734
228000	055789	226000	177159	226000	916341	228000	055755
228000	297549	228000	297586	228000	297544	228000	055725
228000	055776	228000	297543			228000	055723
228000	297526					228000	055721
228000	055806					228000	055741
228000	297512					228000	055740
228000	297528					228000	055764
228000	297506					228000	055715
228000	055775					228000	055737
228000	055818					228000	055761

Besatz (hh:mm)	Start (hh:mm)	Ende (hh:mm)	Clearing (%)
16:15	17:09	18:09	100

Anmerkungen

Äschen wie bei V64; Äschen wurden in Rinne gelassen

ID_Versuch **V66** **Datum** **18.10.17**

Schaltung (+/-) Referenzversuch Video (j/n) j Wassertemperatur (°C) 11,2
 Spannung (V) PIT-tag (j/n) j Wetterlage sonnig

Seilabstand (mm) 30

Winkel 20

Aitel		BF		RBF		Äsche	
226000	916284	226000	916405	226000	916476	228000	055709
226000	177663	226000	177165	226000	916482	228000	055743
226000	916306	226000	916266	226000	916432	228000	055749
226000	916378	226000	177156	228000	297546	228000	055752
226000	177111	226000	916375	228000	297588	228000	055734
226000	177197	228000	297556	228000	297565	228000	055755
226000	916307	226000	055820			228000	055725
228000	055807	228000	055782			228000	055723
228000	297490	228000	297587			228000	055721
228000	297511					228000	055741
228000	055772					228000	055740
228000	055810					228000	055764
228000	055777					228000	055715
228000	297532					228000	055737
228000	297568					228000	055761

Besatz (hh:mm)
09:00

Start (hh:mm)
09:35

Ende (hh:mm)
10:35

Clearing (%)
100

Anmerkungen

ID_Versuch **V67** **Datum** **18.10.17**

Schaltung (+/-) 3+/3- Video (j/n) j Wassertemperatur (°C) 11,7
 Spannung (V) 80 PIT-tag (j/n) j Wetterlage sonnig
 Seilabstand (mm) 30
 Winkel 20

Aitel		BF		RBF		Äsche	
226000	177160	226000	916287	226000	916497	228000	055709
226000	177132	226000	177178	226000	177672	228000	055743
226000	177634	226000	177196	226000	916258	228000	055749
226000	177147	228000	297572	226000	177129	228000	055752
226000	177673	228000	297582	226000	177619	228000	055734
228000	297515			226000	177629	228000	055755
228000	297573			226000	916290	228000	055725
228000	055808			228000	297539	228000	055723
228000	297524			228000	297567	228000	055721
228000	055780			228000	297575	228000	055741
228000	297560					228000	055740
228000	055797					228000	055764
228000	055817					228000	055715
228000	055805					228000	055737
228000	297509					228000	055761

Besatz (hh:mm) Start (hh:mm) Ende (hh:mm) Clearing (%)
 11:15 11:55 12:55 100

Anmerkungen

Video: Rechen Mitte: Durchgang bei 04:25 (GP020281)

ID_Versuch **V68** **Datum** **18.10.17**

Schaltung (+/-) 3+/3- Video (j/n) j Wassertemperatur (°C) 12,3
 Spannung (V) 80 PIT-tag (j/n) j Wetterlage sonnig
 Seilabstand (mm) 30
 Winkel 20

Aitel		BF		RBF		Äsche	
226000	177631	226000	177661	226000	916469	228000	055709
226000	177143	226000	177104	226000	916256	228000	055743
226000	177161	226000	916381	228000	055781	228000	055749
226000	177112	226000	916304	228000	297495	228000	055752
226000	177214	226000	177646	228000	297570	228000	055734
226000	177126	228000	297581			228000	055755
228000	297529	228000	297555			228000	055725
228000	055813	228000	297577			228000	055723
228000	297499	228000	055822			228000	055721
228000	297489	228000	055830			228000	055741
228000	297569					228000	055740
228000	297592					228000	055764
228000	297545					228000	055715
228000	297500					228000	055737
228000	297488					228000	055761

Besatz (hh:mm) 13:40 Start (hh:mm) 14:27 Ende (hh:mm) 15:27 Clearing (%) 100

Anmerkungen
 Viel Aktivität

ID_Versuch **V72** **Datum** **19.10.17**
 Schaltung (+/-) 1+/1- Video (j/n) j Wassertemperatur (°C) 12
 Spannung (V) 80 PIT-tag (j/n) j Wetterlage sonnig
 Seilabstand (mm) 30
 Winkel 20

Aitel		BF		RBF		Äsche	
226000	177652	226000	177607	226000	177635	228000	055709
226000	177608	226000	177196	226000	177124	228000	055743
226000	177177	226000	177188	228000	055781	228000	055749
226000	177154	226000	177646	228000	55788	228000	055752
228000	297519	226000	177101			228000	055734
228000	297520	226000	916264			228000	055755
228000	297487	226000	916495			228000	055725
228000	297492	226000	739959			228000	055723
228000	297557	228000	297577			228000	055721
228000	297505	228000	297543			228000	055741
228000	297541	228000	055823			228000	055740
228000	055827					228000	055764
228000	297568					228000	055715
228000	055806					228000	055737
228000	297537					228000	055761

Besatz (hh:mm) 13:30 Start (hh:mm) 14:07 Ende (hh:mm) 15:07 Clearing (%) 100

Anmerkungen

ID_Versuch **V73** **Datum** **19.10.17**
 Schaltung (+/-) 1+/1- Video (j/n) j Wassertemperatur (°C) 11,7
 Spannung (V) 80 PIT-tag (j/n) j Wetterlage sonnig
 Seilabstand (mm) 30
 Winkel 20

Aitel		BF		RBF		Äsche	
226000	177199	226000	177178	226000	177696	228000	055709
226000	177673	226000	177184	226000	177633	228000	055743
226000	177209	226000	177175	226000	916402	228000	055749
226000	177114	226000	916365	226000	916332	228000	055752
226000	177161	226000	739994	226000	916383	228000	055734
226000	177166	228000	055782	228000	297567	228000	055755
226000	177113	228000	055825	228000	055831	228000	055725
226000	177163	228000	297556			228000	055723
226000	916306					228000	055721
226000	741049					228000	055741
228000	297526					228000	055740
228000	297503					228000	055764
228000	297530					228000	055715
228000	055775					228000	055737
228000	055776					228000	055761

Besatz (hh:mm) 15:35 Start (hh:mm) 16:09 Ende (hh:mm) 17:09 Clearing (%) 100

Anmerkungen

ID_Versuch **V74** **Datum** **19.10.17**

Schaltung (+/-) Referenzversuch Video (j/n) j Wassertemperatur (°C) 11,3
 Spannung (V) PIT-tag (j/n) j Wetterlage sonnig

Seilabstand (mm) 30

Winkel 20

Aitel		BF		RBF		Äsche	
226000	177668	226000	177127	226000	916467	228000	055709
226000	177699	226000	916344	226000	916427	228000	055743
226000	177149	226000	916287	226000	916258	228000	055749
226000	177197	228000	297572	226000	177180	228000	055752
228000	297515	228000	055821	226000	177116	228000	055734
228000	297506			228000	297588	228000	055755
228000	297533			228000	297553	228000	055725
228000	297498			228000	297523	228000	055723
228000	297517			228000	055804	228000	055721
228000	297486			228000	055778	228000	055741
228000	055810					228000	055740
228000	055792					228000	055764
228000	055801					228000	055715
228000	055806					228000	055737
228000	055817					228000	055761

Besatz (hh:mm)
17:35

Start (hh:mm)
17:58

Ende (hh:mm)
18:58

Clearing (%)
100

Anmerkungen

ab 18:25 NetCams dunkel, sehr viel Aktivität Antenne

ID_Versuch **V76** **Datum** **20.10.17**
 Schaltung (+/-) 3+/3- Video (j/n) j Wassertemperatur (°C) 11,1
 Spannung (V) 80 PIT-tag (j/n) j Wetterlage sonnig
 Seilabstand (mm) 30
 Winkel 20

Aitel		BF		RBF		Äsche	
226000	177631	226000	177661	226000	177265	228000	055709
226000	177135	226000	177156	226000	177613	228000	055743
226000	177133	226000	177159	226000	177603	228000	055749
226000	177171	226000	916405	226000	177619	228000	055752
226000	916307	226000	916289	226000	916432	228000	055734
228000	297497			226000	916341	228000	055755
228000	297563			226000	916490	228000	055725
228000	297589			226000	916310	228000	055723
228000	297493			228000	297571	228000	055721
228000	297527			228000	297579	228000	055741
228000	297488					228000	055740
228000	297502					228000	055764
228000	055777					228000	055715
228000	055773					228000	055737
228000	055786					228000	055761

Besatz (hh:mm) 10:15 Start (hh:mm) 10:47 Ende (hh:mm) 11:47 Clearing (%) 100

Anmerkungen
 10:46 Detektion A3

ID_Versuch V77 Datum 20.10.17

Schaltung (+/-) Referenzversuch Video (j/n) j Wassertemperatur (°C) 11,5
 Spannung (V) PIT-tag (j/n) j Wetterlage sonnig

Seilabstand (mm) 30
 Winkel 20

Aitel		BF		RBF		Äsche	
226000	177190	226000	916266	226000	916476	228000	055709
226000	177194	226000	177155	226000	916478	228000	055743
226000	177192	228000	055835	226000	916290	228000	055749
226000	177145	228000	297558	226000	916256	228000	055752
226000	177132			226000	177610	228000	055734
226000	916284			226000	177629	228000	055755
226000	916437			226000	742732	228000	055725
228000	297519			228000	297575	228000	055723
228000	297578			228000	297565	228000	055721
228000	055807			228000	297539	228000	055741
228000	055774			228000	055826	228000	055740
228000	055799					228000	055764
228000	055798					228000	055715
228000	055772					228000	055737
228000	055794					228000	055761

Besatz (hh:mm) Start (hh:mm) Ende (hh:mm) Clearing (%)
 12:10 12:44 13:44 100

Anmerkungen

ID_Versuch **V78** **Datum** **20.10.17**
 Schaltung (+/-) 3+/3- Video (j/n) j Wassertemperatur (°C) 11,5
 Spannung (V) 80 PIT-tag (j/n) j Wetterlage sonnig
 Seilabstand (mm) 30
 Winkel 20

Aitel		BF		RBF		Äsche	
226000	177186	226000	177130	226000	916497	228000	055709
226000	177183	226000	177671	226000	916464	228000	055743
226000	177151	226000	177104	226000	916413	228000	055749
226000	177128	226000	177195	226000	177189	228000	055752
226000	177663	226000	742761	226000	177107	228000	055734
226000	916378	228000	297582	228000	055834	228000	055755
228000	297524	228000	297586			228000	055725
228000	297518	228000	297547			228000	055723
228000	297550	228000	055820			228000	055721
228000	297514	228000	055824			228000	055741
228000	297573					228000	055740
228000	055818					228000	055764
228000	055808					228000	055715
228000	055796					228000	055737
228000	297574					228000	055761

Besatz (hh:mm) 14:30 Start (hh:mm) 15:00 Ende (hh:mm) 16:00 Clearing (%) 100

Anmerkungen

ID_Versuch **V79** Datum **23.10.17**

Schaltung (+/-) 3+/3- Video (j/n) j Wassertemperatur (°C) 9,6
 Spannung (V) 80 PIT-tag (j/n) j Wetterlage regen
 Seilabstand (mm) 30
 Winkel 20

Aitel		BF		RBF		Äsche	
226000	177652	226000	177646	226000	916377	228000	055752
226000	177199	226000	916289	226000	916363	228000	055761
226000	177194	228000	055825	226000	916467	228000	055749
226000	177149	228000	055820	226000	916332	228000	055723
228000	297574			226000	177696	228000	055709
228000	055783			226000	177180	228000	055725
228000	055810			226000	177120	228000	055764
228000	297525			228000	055781	228000	055737
228000	297492			228000	297553	228000	055743
228000	297589			228000	055811	228000	055721
228000	055773			228000	297523	228000	055715
228000	055777					228000	055741
228000	297498					228000	055755
228000	055798					228000	055740
228000	297493					228000	055734

Besatz (hh:mm) 16:45 Start (hh:mm) 17:10 Ende (hh:mm) 18:10 Clearing (%) 100

Anmerkungen

Am Ende dunkel - Videos fraglich!
 Showversuch für Emil Kukulski (Procom)
 Pit-Tag: 17.48 - Durchgang auf Video!

Anhang B: PIT-Daten

V_62		
Zeit	ID	Antenne
18:05:08.12	226000177114	A1
18:00:54.72	226000177116	A1
18:09:23.61	226000177152	A2
18:02:36.47	226000177647	A3
18:05:04.70	226000177668	A1
17:54:36.44	226000741448	A1
17:57:13.32	226000916495	A1
17:55:53.36	228000055709	A1
18:05:29.43	228000055721	A1
17:55:46.86	228000055761	A1
17:55:57.16	228000055764	A1
18:05:57.74	228000055774	A1
18:02:16.81	228000055790	A1
18:05:43.54	228000297492	A1
18:01:47.01	228000297493	A1

V_63		
Zeit	ID	Antenne
12:24:34.98	228000055801	A1
12:24:36.89	228000055829	A1
12:13:58.75	228000297496	A1
12:28:26.91	228000297510	A2
12:23:18.89	228000297517	A1
12:24:33.17	228000297537	A1

V_64		
Zeit	ID	Antenne
15:12:15.04	226000177652	A1
15:10:48.30	228000055741	A1
15:19:42.90	228000055783	A1
14:49:07.43	228000055798	A1
14:38:13.70	228000055800	A3
14:49:39.56	228000055827	A2
14:38:24.25	228000297521	A3
14:51:03.45	228000297584	A2

V_65		
Zeit	ID	Antenne
17:23:00.68	228000055761	A1
17:23:16.81	228000055806	A1
17:24:40.55	228000055776	A2
17:24:54.20	228000297528	A2
17:25:46.62	226000177194	A3

17:26:30.04	228000055775	A1
17:27:07.54	228000055818	A2
17:30:13.36	228000055789	A1
17:35:16.82	228000297506	A1
17:52:16.10	226000177699	A2
17:52:21.06	226000177149	A2
17:55:51.60	228000055734	A1
17:55:59.31	226000916289	A1
18:03:15.24	226000177145	A1

V_66		
Zeit	ID	Antenne
10:32:47.97	226000177111	A3
10:03:57.21	226000916405	A3
10:26:28.03	228000055777	A3
10:28:20.33	228000055807	A3
10:30:27.19	228000297511	A3
10:23:23.85	228000297588	A1

V_67		
Zeit	ID	Antenne
12:07:01.28	226000916258	A3
12:54:21.09	226000177672	A3

V_68		
Zeit	ID	Antenne
14:37:51.29	228000297488	A1
14:38:02.84	228000297499	A1
15:16:11.59	226000177126	A1
15:03:51.62	226000177143	A2
15:11:55.76	226000177214	A2
15:24:37.47	226000177646	A2
14:57:38.74	228000055813	A2
15:11:40.77	228000297495	A1
15:17:39.75	228000297500	A1
15:09:22.65	228000297529	A1
14:57:07.97	228000297545	A1
15:08:51.33	228000297569	A1
15:07:02.13	228000297581	A2
15:08:48.52	228000297592	A1

V_72		
Zeit	ID	Antenne
14:50:07.81	226000177652	A1
14:50:18.40	228000297492	A1
14:55:45.52	228000055827	A1
14:55:57.64	228000297541	A1
14:56:11.87	228000055806	A1
14:56:15.60	228000297520	A1
14:56:26.79	228000297557	A1

15:01:10.55 228000297568 A1

V_73		
Zeit	ID	Antenne
17:01:44.87	228000055789	A1
17:01:52.62	228000055761	A1
17:02:01.01	226000177114	A1

V_74		
Zeit	ID	Antenne
18:10:18.08	228000297588	A1
18:10:19.94	228000297506	A1
18:11:09.55	228000055817	A1
18:11:23.03	228000055800	A2
18:12:01.56	228000297517	A1
18:13:02.57	226000177699	A1
18:13:48.76	228000297515	A1
18:16:57.84	228000055810	A1
18:17:03.74	228000055743	A1
18:19:42.83	228000297486	A2
18:24:36.72	228000055723	A1
18:25:52.57	228000055801	A3
18:27:33.92	226000916427	A1
18:28:14.23	226000177197	A1
18:41:03.00	228000297553	A1
18:41:18.47	226000916467	A1

V_75		
Zeit	ID	Antenne
09:15:01.67	228000297511	A3
09:15:03.22	228000297574	A3
09:18:56.66	228000055816	A3
09:35:59.82	226000177143	A1
09:37:58.43	226000916423	A3

V_76		
Zeit	ID	Antenne
11:31:49.51	226000916405	A3
11:34:17.42	228000297488	A1
11:46:54.28	226000177661	A1

V_77		
Zeit	ID	Antenne
12:46:22.82	228000055826	A3
13:24:27.23	228000055807	A1
13:31:07.20	228000055799	A3
13:31:13.42	228000055798	A3
13:34:18.67	226000916437	A3

V_78		
Zeit	ID	Antenne
15:27:20.35	228000055818	A1

15:27:29.98	226000177128	A1
15:28:25.25	228000297550	A2
15:28:38.51	228000297573	A1
15:29:53.92	228000297514	A2
15:32:54.80	228000297518	A2
15:32:59.13	228000055808	A3
15:33:39.22	226000177663	A3
15:37:28.02	228000055796	A2
15:37:36.38	226000177186	A1
15:39:13.54	226000177183	A1
15:46:04.86	226000916497	A1

V_79		
Zeit	ID	Antenne
17:22:32.96	228000055755	A1
17:22:40.18	228000055723	A1
17:29:17.07	228000055749	A1
18:01:17.61	228000055721	A1
18:00:56.69	228000055773	A3
18:01:24.29	228000055783	A1
18:10:43.44	228000055811	A2
18:10:34.94	228000297492	A1

Anhang C: Videoauswertung - Protokolle

VR1

ID_Versuch	Datum	Schaltung	Seilabstand	Winkel	1	2	3	4	4.1	5	6	7	Σ
V_62	16.10.17	1+/1-	30	20	97	35	8	0	0	0	44	48	232
V_63	17.10.17	1+/1-	30	20	97	78	13	3	0	2	6	0	199
V_64	17.10.17	ohne Feld	30	20	116	71	0	13	0	7	56	50	313
V_65	17.10.17	1+/1-	30	20	61	93	44	3	0	2	113	112	428
V_66	18.10.17	ohne Feld	30	20	118	57	0	7	0	6	1	0	189
V_67	18.10.17	3+/3-	30	20	107	51	46	3	0	2	0	0	209
V_68	18.10.17	3+/3-	30	20	68	29	41	4	0	0	79	73	294
V_72	19.10.17	1+/1-	30	20	50	94	20	0	0	0	40	40	244
V_73	19.10.17	1+/1-	30	20	67	112	8	0	0	0	4	4	195
V_74	19.10.17	ohne Feld	30	20	11	5	0	6	0	0	17	17	56
V_75	20.10.17	ohne Feld	30	20	34	32	0	8	0	5	0	0	79
V_76	20.10.17	3+/3-	30	20	8	68	17	0	0	0	0	0	93
V_77	20.10.17	ohne Feld	30	20	29	46	0	12	0	2	0	0	89
V_78	20.10.17	3+/3-	30	20	36	66	57	2	0	0	66	58	285
V_79	23.10.17	3+/3-	30	20	12	8	5	0	0	0	8	7	40

VR2

M_1	27.10.17	ohne Feld	60	20	74	89	0	484	44	452	24	0	1167
M_2	27.10.17	3+/3-	60	20	70	164	69	3	1	2	2	0	311
M_3	28.10.17	1+/1-	60	20	36	93	40	6	2	8	13	7	205

VR3

A_2	09.11.17	3+/3-	60	20	2	2	23	1	0	0	15	13	56
A_3	09.11.17	ohne Feld	60	20	2	2	0	6	0	1	4	1	16
A_4	09.11.17	1+/1-	60	20	0	1	5	2	0	0	1	0	9
A_5	09.11.17	1+/1-	60	20	6	0	8	4	0	0	10	9	37