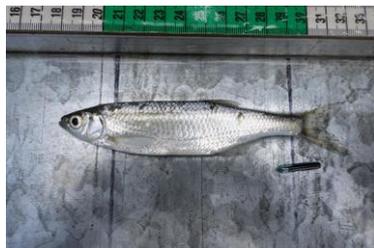




Kurzbericht zum Vorprojekt „PIT-Tagging Untersuchungen am Hochrhein – Kraftwerk Rheinfelden“

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU

Autoren: Armin Peter, Dr., Rolf Mettler, Prof. und Nils Schölzel, Biologe M.Sc.



Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften

CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Kontaktperson

Lukas Bammatter

Tel. 058 464 05 37

lukas.bammatter@bafu.admin.ch

Auftragnehmer

Peter FishConsulting

Hagmattstr. 7

4600 Olten

Tel. 079 964 06 44

apeter@fishconsulting.ch

Projektleitung

Dr. Armin Peter, Peter FishConsulting, Olten

Lukas Bammatter, BAFU, Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften, Bern

Zitiervorschlag

Peter, A., R. Mettler, N. Schölzel. 2016. Vorprojekt „PIT-Tagging Untersuchungen am Hochrhein – Kraftwerk Rheinfelden“. Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU: 43 Seiten.

Hinweis:

Diese Praxishilfe wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Fotos auf dem Titelblatt

Montage einer Antenne im Vertical-Slot Pass

Laube mit 12 mm PIT-Tag

Zählbecken Rheinfelden Deutschland

Kraftwerk Rheinfelden (Luftaufnahme Meyer, Hasel)

1 Inhaltsverzeichnis

2	Einleitung	3
2.1	Vorgeschichte	3
2.2	Inhalt und Ziele des Auftrags.....	3
3	Methoden.....	4
3.1	Interferenzen der technischen Einrichtungen.....	4
3.1.1	Readers und PIT-Tags	4
3.1.2	Grundlegendes zu den elektromagnetischen Interferenzen beim Wasserkraftwerk Rheinfelden	4
3.2	Standorte der Antennen.....	5
3.2.1	Antennen im Vertical-Slot Pass	5
3.2.2	Raugerinnebeckenpass.....	6
3.2.3	Kleiner Einstieg ins Umgehungsgerinne	7
3.2.4	Zählbecken Rheinfelden D, rechtsufrig	7
3.3	Biologische Methoden.....	7
3.3.1	Markierung	7
3.3.2	Abklärungen zu den nötigen tierschutzrechtlichen Bewilligungen/Anforderungen.....	8
3.4	Verletzung der Fische	8
3.5	Auswertungen und statistische Methoden	9
3.5.1	Datenverarbeitung	9
4	Resultate	11
4.1	Zeitlicher Aufwand für die Inbetriebnahme.....	11
4.1.1	Umgehungsgerinne	11
4.1.2	Vertical-Slot Pass	12
4.2	Probleme mit der elektrischen Versorgung der Reader – Antennenstörungen	12
4.2.1	Magnetische Interferenz	12
4.2.2	Power Line Noise (leitergebundene Störungen)	12
4.2.3	Eingestrahlte Störungen (nicht leitergebundene Störungen)	13
4.2.4	Gegenseitige Beeinflussung benachbarter Antennen.....	13
4.3	Markierung der Fische.....	14
4.4	Beurteilung der Benutzung verschiedener Einstiege	19
4.5	Aufstiegsdauer der Fische	21
4.6	Effizienz der FAH.....	23
4.7	Mehrfachzählungen	24
4.8	Umkehr von Fischen – Funktion der Zählbecken	24
4.9	Verletzungen der Fische	26

5	Diskussion und Empfehlungen	29
5.1	Betrieb der Anlagen.....	29
5.2	Markierung der Fische.....	29
5.3	Beurteilung der Benutzung der verschiedenen Einstiege	30
5.4	Aufstiegsdauer.....	30
5.4.1	Aufstiegsdauer vom Aussatzort bis zum ersten Antennenkontakt.....	30
5.4.2	Rheinquerungen	30
5.5	Beurteilung und Bewertung der Auffindbarkeit und Passage der FAH.....	31
5.6	Umkehr von Fischen – Funktion der Zählbecken	31
5.7	Verletzung der Fische	32
6	Zusammenfassung der Probleme	33
6.1	Identifikation der Probleme und Empfehlungen für die Hauptstudie	33
6.1.1	Technische Einrichtungen.....	33
6.1.2	Bewilligungen für Tierversuche	33
6.1.3	Datenmanagement.....	34
6.1.4	Markierung und Transport der Fische.....	34
6.2	Aufstiegsverhalten der Fische und Zählbecken.....	34
6.3	Verletzung der Fische	35
7	Zusammenfassung	36
8	Literatur	37
9	Dank	38
10	Anhang	39
10.1	Zusätzliche Längenfrequenzhistogramme.....	39
10.2	Abfluss und Temperatur.....	42
10.3	Abgebrochene Aufstiegsversuche	43

2 Einleitung

2.1 Vorgeschichte

Das Bundesamt für Umwelt BAFU erteilte im November 2015 an Peter FishConsulting den Auftrag zum Vorprojekt „PIT-Tagging Untersuchungen am Hochrhein - Kraftwerk Rheinfelden“. In den Jahren 1985, 1995, 2005 und 2016/2017 wurden am Hochrhein koordinierte Fischaufstiegszählungen durchgeführt. Bei einer schlechten Bewertung einer FAH (Fischaufstiegshilfe) lieferten diese Untersuchungen jedoch keine Erklärung für mögliche Ursachen. Aus diesem Grunde besteht ein grosses Bedürfnis, die Effizienz einer FAH (Auffindbarkeit und Passierbarkeit) zu beurteilen und zu bewerten. Im Rahmen der Vorbereitungsarbeiten zu den koordinierten Fischzählungen am Hochrhein entstand im Jahre 2014 die Idee, neben den üblichen Zählungen ein PIT-Tagging Projekt durchzuführen. Das Kraftwerk Rheinfelden, welches für die vorliegende Studie ausgesucht wurde, verfügt auf der deutschen Flussseite über ein naturnahes Umgehungsgerinne (UG) mit drei verschiedenen Einstiegen, sowie über einen Vertical-Slot Fischpass auf der Schweizer Seite. Somit bestand die Möglichkeit Antennen sowohl am technischen, wie auch am naturnahen UG zu installieren. Die verwendeten Fische konnten im Rahmen der Zählungen an den Aufstiegshilfen gefangen und besendert werden. Dadurch sollten Erfahrungen für die in den Jahren 2017/2018 geplante Hauptstudie gesammelt werden. Die PIT-Tagging Projekte sollen dazu beitragen, mehr über das Wanderverhalten der Fische in grossen Flüssen zu erfahren. Diese Erkenntnisse stellen eine bedeutende Hilfe bei der Sanierung der Fischgängigkeit an grossen Wasserkraftwerken dar.

2.2 Inhalt und Ziele des Auftrags

Das Projekt dauerte vom 01.04.2016 bis 31.10.2016. Die Daten auf den Readern wurden bis und mit 30.9.2016 berücksichtigt und aufgearbeitet. Mit dem BAFU wurden folgende Inhalte für das Projekt definiert:

- Zeitlicher Aufwand für die Inbetriebnahme der PIT-Tagging Antennen an einem grossen natürlichen Fischaufstiegsgerinne
- Zeitlicher Aufwand für die Inbetriebnahme der PIT-Tagging Antennen an einem klassischen Vertical-Slot-Fischpass
- Erfahrungen sammeln bei der Markierung verschiedener Fischarten (Optimierung der Arbeitsabläufe)
- Abklärungen bezüglich der nötigen tierschutzrechtlichen Bewilligungen/Anforderungen
- Beurteilung der Benutzung verschiedener Einstiege einer FAH
- Aufstiegsdauer der Fische in den FAH
- Umkehr von Fischen in den FAH
- Benutzung der FAH als Lebensraum (z. B. täglicher Wechsel zwischen FAH und Ober- bzw. Unterwasser)
- Kontrolle von Mehrfachzählungen bei koordinierter Zählung
- Beurteilung und Bewertung der Auffindbarkeit von FAH
- Beurteilung und Bewertung der Passierbarkeit von FAH
- Zusammenfassung der Erfahrungen anhand eines Kurzberichtes



3 Methoden

Für die Dokumentation der Wanderungen und Habitatsbenutzung der Fische rund um die Uhr standen vor 20 Jahren bereits Markierungsmethoden zur Verfügung. Ein Durchbruch gelang jedoch im Jahre 2001, als Zydlewski et al. (2001) für juvenile Fische ein autonomes Antennensystem präsentierten, um Fische mit PIT-Tags zu monitoren. PIT-Tagging (Passive Integrated Transponder) ist eine telemetrische Methode zur elektronischen Markierung von Fischen und wird bereits seit 1987 eingesetzt. Im Columbia River Einzugsgebiet (USA) wurden bis 2008 rund 22 Millionen Jungfische mit PIT-Tags markiert (Marvin 2012). Diese Marken eignen sich besonders gut, um zuverlässige Informationen zu der Passage- und Attraktionseffizienz zu erhalten (Hatry et al. 2013) und Fische über eine lange Zeitdauer zu verfolgen. Da es sich um passive Sender (ohne Batterie) handelt, haben sie eine Lebensdauer von mehreren Jahren. Der Nachteil ist allerdings, dass die Fische nur an den Antennen identifiziert werden können. Hier wird die Marke im elektromagnetischen Feld aktiviert. Bis 1998 wurden Marken mit einer Frequenz von 400 kHz verwendet, seit 1999 gilt der neue RFID Industriestandard von 134.2 kHz. Die Marken werden in der Regel – abhängig von ihrer Grösse - ab zirka einer Fischgrösse von 55 mm eingesetzt (Marvin 2012). Für 12 mm Tags wird eine minimale Fischlänge von 70 mm (Gabellänge) empfohlen.

Aus verschiedenen Gründen hat sich in den letzten Jahren weitgehend die HDX (Half Duplex) Technologie durchgesetzt. Am Hochrhein verwendeten wir ebenfalls HDX Marken (ISO-Standard HDX, ISO 11784/11785), welche pro Sekunde zirka 14 Scans erlauben. Mittels HDX Marken lassen sich im besten Fall sehr grosse Antennen bauen (50-60 m Länge). Es stehen drei Grössen von Marken zur Verfügung: 12 mm (0.1 g), 23 mm (0.7 g) und 32 mm (1 g). Die eingesetzten Lesegeräte, sogenannte Reader, waren Produkte von OREGON RFID, Portland, USA. Die Antennen stellten wir selber her und sie hatten – je nach Einsatzort – eine unterschiedliche Charakteristik.

3.1 Interferenzen der technischen Einrichtungen

3.1.1 Readers und PIT-Tags

Es wurden drei Multiantennenreader sowie ein Singleantennenreader eingesetzt (OREGON RFID). Bei den verwendeten PIT-Tags (12 mm und 23 mm) handelte es sich um Marken mit dem Standard ISO 11784/11785 compliant ICAR-registered animal tag.

3.1.2 Grundlegendes zu den elektromagnetischen Interferenzen beim Wasserkraftwerk Rheinfelden

PIT-Tags sind rein passive Komponenten, d.h. sie verfügen über keine eigene Energieversorgung. Befindet sich ein PIT-Tag im elektromagnetischen Feld der Rahmenantenne eines PIT-Tag-Lesegerätes, so wird durch Resonanz eine Kapazität aufgeladen. Erreicht diese Spannung einen Schwellenwert wird der PIT-Tag aktiviert, d.h. er moduliert dieses Feld (FSK, Frequency Shift Keying), wodurch vom Lesegerät seine eindeutige Nummer gelesen werden kann.

Dem PIT-Tag-Lesegerät stehen zum Auswerten nur sehr kleine Energien zur Verfügung, welche um viele Grössenordnungen kleiner sind, als die bei einem Flusskraftwerk erzeugten Energien, respektive deren damit verbundenen elektromagnetischen Felder.



Damit der PIT-Tag-Empfänger die Nummer eines Tags korrekt auswerten kann, benötigt das empfangene Signal ein ausreichendes Verhältnis von Nutzsignal (FSK-moduliertes PIT-Tag-Signal) zu der Gesamtheit an Störsignalen, d.h. das Signal-to-Noise-Ratio (SNR) muss ausreichend gross sein.

Zu den Umgebungsstörungen gehören magnetische Interferenzen, leitergebundene Störungen (z.B. der Stromversorgung, sogenannte Power Line Noise), nicht leitergebundene, also eingestrahlte Störungen durch elektromagnetische Felder der Turbinen des Kraftwerks und dessen Energieverteilung, wie auch die Beeinflussung durch benachbarte PIT-Tag-Antennen, welche auf der exakt gleichen Frequenz arbeiten.

3.2 Standorte der Antennen

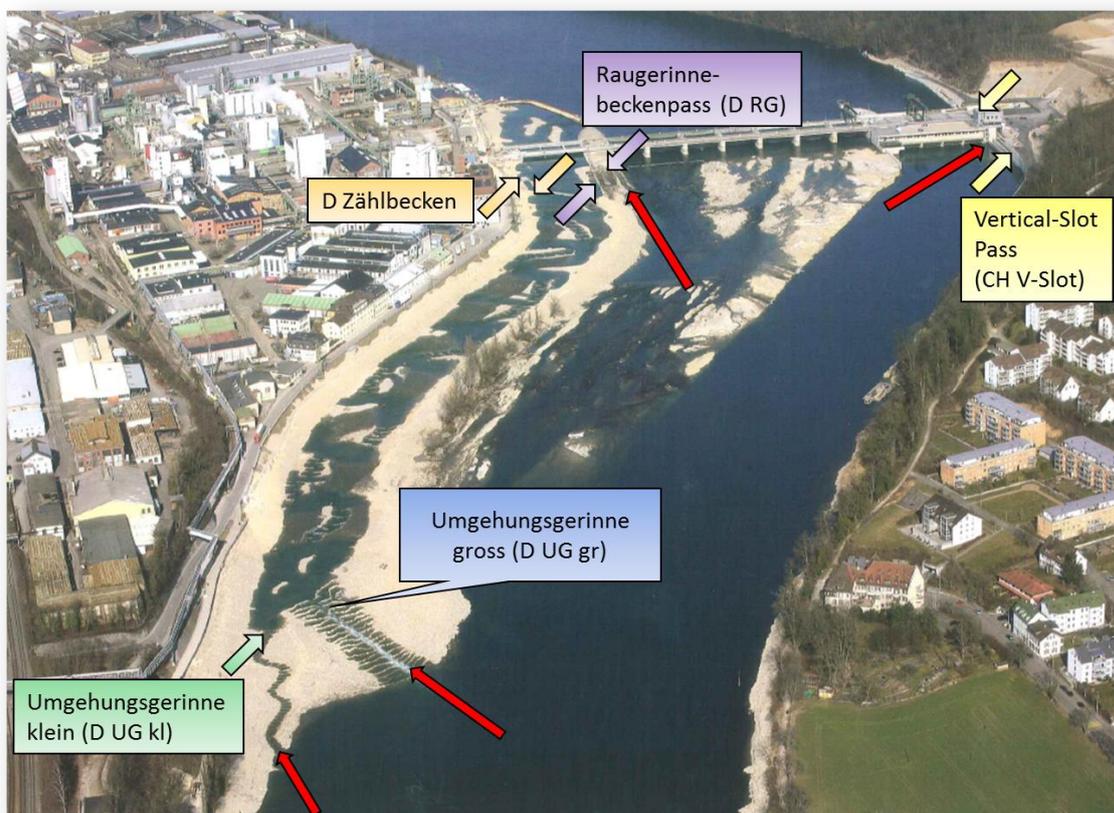


Abbildung 1: Antennenstandorte: Die roten Pfeile markieren die möglichen Einstiegsorte, die farbigen Pfeile die Standorte der Antennen.

3.2.1 Antennen im Vertical-Slot Pass

Im 310 m langen Vertical-Slot Pass (CH V-Slot) auf der linken Uferseite wurden zwei Antennen (Dimension 158 x 30 cm) montiert. Zum Schutz der Antennenkabel wurden diese in Kunststoffröhren verpackt. Die Antennen hatten eine Induktion von 36 resp. 38 μH . Die untere Antenne des Fischpasses wurde im 10. Becken ab Einstieg montiert, denn bis zum 9. Becken staut der Rhein die Fischtreppe bei Hochwasser ein. Die Montage einer Antenne weiter unten im Fischpass wurde nicht als sinnvoll erachtet, da bei Hochwasser die Fische über die Antenne wegschwimmen und somit nicht registriert würden. Die



zweite, obere Antenne befand sich im obersten Schlitz des Fischpasses, kurz vor dem Einstieg ins Zählbecken. Sie war 35 m vom Reader entfernt. Beide Antennen waren über ein Koaxialkabel mit demselben Reader verbunden (Oregon RFID Multiantennenreader mit MUX-board). Die untere Antenne war 75 m vom Reader entfernt und mit einem automatischen Tuner verbunden (ATC Autotuner). Um die Funktionstüchtigkeit der Antennen zu überprüfen, wurde nahe der Antenne ein Marker Tag eingesetzt, welcher die Überprüfung des kontinuierlichen Betriebs erlaubte.



Abbildung 2: Links: Montage einer Antenne im Schlitz. Rechts: Vertical-Slot Pass.

3.2.2 Raugerinnebeckenpass

Es wurden hier ebenfalls zwei Antennen eingebaut. Die untere im 1. Becken nach der ersten 180° Schlaufe. In diesem Bereich wird der Fischpass bei Hochwasser nicht mehr eingestaut. Die obere Antenne wurde im obersten Becken montiert. Die Antennendimension betrug für die untere Antenne 420 x 95 cm, die Induktion 49 μH . Die obere Antenne besaß eine Dimension von 310 x 120 m und eine Induktion von 52 μH . Beide Antennen waren an einem Reader angeschlossen (Oregon RFID Multiantennenreader mit MUX-board). Der Reader und die Stromspeisung waren in einer Aluminiumkiste untergebracht. Auch am Raugerinnebeckenpass wurde der kontinuierliche Betrieb mit einem Marker Tag überprüft.



Abbildung 3: Links: Der Standort der unteren Antenne im Raugerinnebeckenpass ist mit dem roten Pfeil markiert. Rechts: Aluminiumkiste mit Reader und zwei Antennenkabeln.



3.2.3 Kleiner Einstieg ins Umgehungsgerinne

Diese Antenne hatte eine Dimension von 12 x 0.95 m und eine Induktion von 32 μ H. Für den Betrieb dieser Antenne war eine Installation eines zirka 80 m langen Stromkabels nötig. Die Antenne war mit einem Singlereader (Oregon RFID) verbunden. Der Reader und die Stromspeisung waren in einer Aluminiumkiste verpackt.

3.2.4 Zählbecken Rheinfelden D, rechtsufrig

Da der Einstieg ins Zählbecken die engste Stelle im UG ist, wurde dort eine Antenne errichtet. Die am Eingangsgitter montierte Antenne funktionierte gut, obwohl sie auf Metallstäben montiert wurde. Ein möglichst grosser Abstand zum Metallrahmen wurde mit kleinen Holzteilen eingehalten. Bei direktem Kontakt mit dem Metallrahmen funktionierte die Antenne nicht mehr. Die Dimension betrug 158 x 30 cm, die Induktion 36 μ H. Auch für diese Antenne wurde der kontinuierliche Betrieb mit einem Marker Tag überprüft.

Alle im Zählbecken gefangenen Fische wurden durch die Fischer nach der Zählung über ein Plastikrohr in den Rhein zurückgegeben. An diesem Rohr wurde eine Antenne (kreisförmig mit mehreren Windungen) montiert, um allenfalls bei der täglichen Zählung gefangene und bereits markierte Fische zu detektieren. Die Antenne hatte eine Induktion von 18 μ H. Mittels Marker Tag wurde die kontinuierliche Funktion überprüft. Beide Antennen waren mit einem Reader verbunden (Multiantennenreader mit MUX-board).



Abbildung 4: Links: Antenne beim Einstieg in das Zählbecken auf der deutschen Seite. Rechts: Antenne am Rohr (roter Pfeil), über welches die gezählten Fische in den Rhein zurückgegeben werden.

3.3 Biologische Methoden

3.3.1 Markierung

Sämtliche markierten Fische (N=2'042) wurden mit HDX PIT-Tags markiert. Bis zu einer Gesamtlänge von zirka 160 mm wurden 12 mm Tags verwendet, für grössere Fische 23 mm Tags. Sämtliche Fische wurden nach dem Fang entweder beim KW Augst oder KW Rheinfelden (Schweiz) markiert. Die Fische aus dem Zählbecken des deutschen Ufers wurden mit Einverständnis der zuständigen Behörde (Regierungspräsidium Freiburg) für die Markierung in die Schweiz transportiert.



Für die Markierung wurden die Fische mit Eugenol (Nelkenöl) betäubt. Die Dosierung erfolgte so, dass die Anästhesiestufe 4-5 erreicht wurde (Summerfelt & Smith 1990). Konkret wurden 35-40 mg/L benötigt. Von allen Fischen wurde die Totallänge erhoben. Zur Markierung wurde mit dem Skalpell ein kleiner Schnitt (4-5 mm), ventral in die Körperhöhle hinter der Brustflosse vorgenommen und der Tag kaudal eingeführt. Nach der Markierung wurden die Fische in mit reinem Sauerstoff-angereichertes Wasser zur Erholung gegeben (Minimum 30 Minuten). Anschliessend wurden sie im Rhein 500 m unterhalb des UG ausgesetzt, links- oder rechtsufrig, oder 2000m unterhalb des UG rechtsufrig. Der Transport der Fische erfolgte in Rheinwasser mit Sauerstoffeintrag oder Umwälzpumpe. Am Kraftwerk Augst wurden die Fische direkt am Ende des Fischpasses ins Oberwasser zurückgegeben. Neben der Totallänge wurde auch der Verletzungsgrad jedes Fisches beurteilt. Nicht gleich zu Beginn der Markierungen, aber nach den ersten Markierungswochen entschieden wir uns, jeden Fisch einem Verletzungsindex zuzuweisen (siehe Kapitel 3.4).

3.3.2 Abklärungen zu den nötigen tierschutzrechtlichen Bewilligungen/Anforderungen

Für die tierschutzrechtliche Bewilligung wurde der kantonale Veterinärdienst des Kantons Aargau kontaktiert. Dazu musste frühzeitig ein umfassendes Gesuch (Formular A Gesuch für Tierversuche) eingegeben werden. Die Bewilligungserteilung der Behörde für die Markierung der Fische erfolgte am 18.03.2016. Die Markierungen wurden als Tierversuche eingestuft und für künftige Markierungen empfiehlt es sich zirka 4-5 Monate vor dem vorgesehenen Markierungstermin mit den Behörden Kontakt aufzunehmen. Um das Bewilligungsprozedere für die Markierung möglichst einfach zu halten, wurde darauf verzichtet, eine zusätzliche Tierversuchsbewilligung in Deutschland einzuholen. Alle Fische wurden mit dem Einverständnis des Regierungspräsidiums (Freiburg i. Br.) in der Schweiz markiert. Zollmässig stellte der Transport der Fische über die Grenze kein Problem dar (Abklärungen bei der Grenzwache Zollkreis Basel).

3.4 Verletzung der Fische

Nach den ersten Markierungswochen wurde klar, dass eine grosse Zahl der Fische kleinere oder grössere Verletzungen aufwies. Diese wurden zwar von Beginn an einzeln protokolliert. Aber nach zirka 5 Wochen Markierungsarbeiten und zirka 900 markierten Fischen entschlossen wir uns, ab dem 01.07.2016 einen Verletzungsindex einzuführen. Ab diesem Datum wurde allen Fischen eine Verletzungskategorie zugewiesen (0 - 3) (siehe Tabelle 1).

0	keine Verletzung
1	geringe Verletzungen: Körperareale mit fehlenden Schuppen, geringe Verletzungen der Flossen etc., geringe Schürfwunden
2	mittlerer Verletzungsgrad: starker Verlust von Schuppen, starke Verletzungen der Flossen, deutliche Schürfwunden
3	starke Verletzungen: grobe Schürfwunden, Spuren starken Drucks auf Fischkörper, massive Verletzungen der Flossen, offene Wunden, Hämatome etc.

Tabelle 1: Verletzungskategorien. Ein grosser Teil der protokollierten Verletzungen stammte von den Fangeinrichtungen. Zusätzlich konnten jedoch weitere Verletzungen beobachtet werden (Reihiebe etc.).





Abbildung 5: Verletzungen bei Fischen. Links: Rotauge mit mittleren Verletzungen, Kategorie 2 (starker Verlust von Schuppen). Rechts: Stark verletzte Laube, Kategorie 3 (Spuren starken Drucks auf Fischkörper).

3.5 Auswertungen und statistische Methoden

Die Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistikpaket R (Version 3.1.2) und RStudio (Version 0.98.1102). Für die Visualisierungen wurde das Paket ggplot2 (Version 2.1.0) verwendet.

3.5.1 Datenverarbeitung

Alle Detektionen auf den Antennen am KW Rheinfeldern wurden nach Tag-ID und Datum geordnet. Aus der Reihenfolge der Detektionen auf verschiedenen Antennen der FAH wurde die Bewegungsrichtung der Fische abgeleitet. Hierzu wurden die Einträge auf die erste und letzte Detektion an einer Antenne reduziert und zwar bei jedem Wechsel der Antenne innerhalb oder zwischen FAH.

Erfolgreicher Einstieg und Fehleinstiege in eine FAH:

Als erfolgreiche Einstiege in eine FAH wurden für den CH V-Slot und das D RG solche Detektionen auf der unteren Antenne der FAH gewertet, auf welche innerhalb von 12 Std eine Detektion auf der oberen Antenne derselben FAH folgte. Sonst galt der Einstieg als Fehleinstieg, da die Wanderung als zu stark beeinträchtigt eingestuft wurde. Für den kleinen Einstieg ins UG (D UG kl) wurden erfolgreiche Einstiege über eine konsekutive Detektion entweder im Zählbecken D oder auf der oberen Antenne des Raugerinnes (D RG) definiert. Für den grossen Einstieg ins UG (D UG gr) konnten erfolgreiche Einstiege nur abgeleitet werden, für Individuen, die entweder im Zählbecken D oder auf der oberen Antenne des Raugerinnes (D RG) zuerst detektiert wurden. Fehleinstiege konnten für den grossen Einstieg ins UG nicht angegeben werden.

Abstieg

Von einem Abstieg im CH V-Slot und D RG wurde ausgegangen, wenn auf eine Detektion an der oberen Antenne eine Detektion an der Unteren folgte. Von einem Abstieg über D UG kl wurde ausgegangen, wenn auf eine Detektion an der unteren Antenne des Zählbeckens D oder der oberen Antenne des D RG eine Detektion an der Antenne am D UG kl folgte. Von einem Abstieg über D UG gr wurde ausgegangen, wenn auf eine Detektion an der unteren Antenne des Zählbeckens D keine Detektion an der oberen Antenne des D RG oder an der Antenne am D UG kl folgte.



Effizienz der Zählbecken

Die Effizienz der Zählbecken ist angegeben als Anteil gefangener Fische im Vergleich zu allen eingestiegenen Fischen ins Zählbecken. Es wurden für jedes Individuum alle Einstiege ins Zählbecken D bzw. Aufstiege im CH V-Slot gewertet. Das heisst, wenn ein Individuum z.B. erst beim dritten Aufstieg im CH V-Slot im Zählbecken CH gefangen wurde, wurde es trotzdem als erfolgreicher Aufsteiger gewertet.

Beurteilung der FAH

Hier wurde nur der erste erfolgreiche Einstieg eines Individuums nach dem Aussetzen in den Rhein gewertet. Fehleinstiege wurden hier nicht berücksichtigt.

Passageeffizienz

Die Berechnung der Passageeffizienz erfolgte für diejenige FAH, auf dessen Antenne ein Individuum als erstes nach dem Aussetzen registriert wurde. Es wurde nur der erste Aufstiegsversuch gewertet. Die Passageeffizienz für jede Art und FAH berechnete sich aus der Anzahl erfolgreicher Einsteiger im Vergleich zur Summe erfolgreicher Einsteiger und Fehleinsteiger. Für D UG gr konnte keine Passageeffizienz berechnet werden, da keine Informationen zu Fehleinstiegen zur Verfügung standen.

Attraktionseffizienz

Die Attraktionseffizienz gibt an, welche Anteile der ausgesetzten Fischarten am Einstieg welcher FAH zuerst detektiert wurden. Für D UG gr ist diese Aussage nur für erfolgreiche Aufsteiger möglich.

Aufstiegsdauer

Die Aufstiegsdauer im CH V-Slot und D RG berechnete sich aus der letzten Detektion eines Fisches an der unteren Antenne, bis zur ersten Detektion an der oberen Antenne. Für den Einstieg D UG kl galt als obere Antenne der Einstieg ins Zählbeckens D oder die obere Antenne des D RG. Für die Berechnung wurde nur der erste erfolgreiche Aufstieg jedes Individuums je FAH herangezogen.

Nutzung der FAH als Lebensraum

Als Nutzung einer FAH als Lebensraum wurde eine Aufstiegsdauer von länger als 24 Std definiert. Auch hier wurde nur der erste erfolgreiche Aufstieg jedes Individuums je FAH herangezogen.



4 Resultate

4.1 Zeitlicher Aufwand für die Inbetriebnahme

4.1.1 Umgehungsgerinne

Antennenbau

Bei der Verkabelung des Umgehungsgerinnes wurde zuerst der Bau einer sehr grossen Antenne über die gesamte Breite des UG verfolgt. Leider gibt es im ganzen UG keinen Querschnitt, der durchweg geringe Tiefen (< 60 cm) aufweist. Aus diesem Grund bauten wir zwei grosse Antennen nebeneinander. Die erste Antenne war 32 m breit und deckte den flachen Bereich des UGs ab. Die zweite Antenne mit einer Breite von zirka 10 m überspannte den tiefen Bereich (Tiefen > 1.4 m). Einzeln funktionierten beide Antennen ohne Probleme. Gemeinsam im Betrieb, zeigten die beiden Antennen einen starken Leistungsabfall und die Detektion der Marken war nicht mehr zufriedenstellend. Nach Rücksprache mit führenden Antennenbauern in den USA und den weiterhin anhaltenden Problemen, entschlossen wir uns, den Betrieb dieser grossen Antennen erst später anzugehen und stattdessen ab sofort die Fische beim Eingang ins Zählbecken zu detektieren. Der Bau der erwähnten grossen Antennen benötigte zirka eine Woche Arbeit und war für uns ein Lehrstück zur Komplexität von grossen Antennen über einen Querschnitt mit grossen Tiefen.

Obwohl der Eingang ins Zählbecken über einen Schlitz im metallenen Sperrgitter erfolgte, gelang es, eine funktionierende Antenne zu montieren. Der Abstand vom Gitterrahmen musste möglichst gross sein. Diese Antenne funktionierte äusserst zuverlässig und wies exzellente Detektionseigenschaften auf. Sie wurde bewusst nicht exakt getunt, damit die einsteigenden Fische erst beim Durchschwimmen der Antenne detektiert wurden. Zudem bauten wir eine Antenne am Kunststoffrohr, über welches die gezählten Fische vom Zählpersonal in den Rhein zurückversetzt wurden.

Die beiden Antennen am Eingang resp. Ausgang des Zählbeckens waren in einem halben Tag gebaut und montiert.

Den Einbau einer Antenne im grossen unteren Einstieg in das UG erachteten wir von Anfang an als sehr schwierig bis unmöglich (Breite 50 m mit Tiefen > 1 m). Aus diesem Grunde bauten wir am unteren Einstieg nur für das kleinere Gerinne eine Antenne (Breite 12 m, maximale Wassertiefe zirka 75 cm). Aufwand: Zirka ein halber Tag.

Im Raugerinnebeckenpass konstruierten wir im unteren sowie im oberen Bereich je eine Antenne. Bau, Montage und Tuning benötigten rund einen Tag.

Nach allen gesammelten Erfahrungen wäre es möglich, den gesamten Antennenbau im UG in zwei Tagen zu realisieren. Es braucht allerdings in der Regel mindestens dreimal mehr Zeit, da unterschiedliche Konstruktionen und Reader-Einstellungen ausprobiert werden müssen.

Reader und Stromversorgung

Für die Stromversorgung der Reader mussten extra Stromkabel verlegt werden (ausgenommen Antennen im Zählbecken). Wie bereits im Kapitel 2.1 erwähnt, traten massive Störungen bei der Stromversorgung der Reader auf. Das Problem war besonders gross beim Raugerinnebeckenpass. Hier benötigten wir mehrere Tage um das Problem zu beheben. Vorgängig wurden ausführliche Messungen zur Art



der Störungen durchgeführt. Die Analyse und Lösung des Problems benötigte zirka 100 Arbeitsstunden. Darin enthalten ist das Erfassen des Problems inkl. Messungen vor Ort, die Entwicklung der Lösung, Herstellen der entsprechenden Geräte sowie Tests, die den sicheren Betrieb garantieren.

Zusätzlich mussten die beiden Reader, welche draussen im Terrain stationiert waren, für einen ausreichenden Wetterschutz in speziell dafür eingerichteten Alu-Kisten untergebracht werden. Deren Herstellung und Montage erforderte zusätzlich einen Tag Arbeit.

4.1.2 Vertical-Slot Pass

Für die Verkabelung des Vertical-Slot Passes konnte der Durchfluss auf 2 % des normalen Abflussvolumens reduziert werden. Bei diesem Abfluss konnte der gesamte Fischpass (ausgenommen der unterste eingestaute Bereich) zu Fuss begangen werden. Die beiden eingesetzten Antennen wurden im Trockenen vorgefertigt und direkt in die Schlitze eingesetzt. Dabei wurden Löcher für Briden in den Beton gebohrt. Die Koaxialkabel wurden entlang des Fischpasses zum Reader gezogen. Da die untere Antenne mit einem Autotuner ausgestattet war, benötigte der Tuningprozess nur wenig Zeit. Die obere Antenne wurde von Hand getunt. Der Bau, die Montage sowie das Tuning der beiden Antennen erforderten zirka zwei Tage Arbeit (2-3 Personen). Der Unterhalt der Antennen war minimal. Die untere Antenne erforderte keinen Unterhalt, bei der oberen Antenne wurde die Tuning Box während der Betriebsdauer einmal mit Wasser gefüllt und musste getrocknet werden.

4.2 Probleme mit der elektrischen Versorgung der Reader – Antennenstörungen

4.2.1 Magnetische Interferenz

Die vier Generatoren mit je 25 MW befinden sich auf der linken Flussseite, wo auch der Vertical-Slot Pass angelegt ist. Trotz der geringen Distanz zu den Generatoren funktionierten im technischen Fischpass die Rahmenantennen mit den PIT-Tag-Lesegeräten von Anfang an einwandfrei. Begünstigend waren sicher die relativ geringen Abmessungen der Rahmenantennen von 0.3 m x 1.6 m, welche das RFID-Feld auf einen kleinen Raum konzentrieren. Alle anderen Antennen befanden sich auf der deutschen Flussseite, wodurch sie einen ausreichenden Abstand zu den Generatoren hatten.

4.2.2 Power Line Noise (leitergebundene Störungen)

Leitergebundene Störungen können umgangen werden, indem man die PIT-Tag-Lesegeräte mit einer Batterie versorgt, welche vollkommen störungsfreie elektrische Energie liefert. Dies ist für Testzwecke sinnvoll, jedoch für den Dauerbetrieb untauglich. Kommen getaktete Netzgeräte zum Einsatz, dann sollten diese, wie auch die Netzspannung nicht allzu grosse Störungen aufweisen, da diese u.U. via die internen Y-Kapazitäten zur Niederspannungsseite übertragen werden.

Beim CH-Fischpass funktionierte das PIT-Tag-Lesegerät mit einem billigen Netzgerät nicht. Wurde jedoch ein hochwertiges Netzgeräte eingesetzt, funktionierte es einwandfrei, da bei diesem die netzseitigen Störungen wesentlich besser unterdrückt werden und somit kaum zum Lesegerät gelangen können.



Auf der rechten Flussseite (D) war die Situation jedoch anders: Mit Batterien versorgt, funktionierten die PIT-Tag-Lesegeräte einwandfrei. Wurden diese jedoch an der Netzspannung betrieben, konnte kein PIT-Tag erfasst werden. Dies hatte mehrere Gründe:

- Die Netzspannung war konstant, jedoch bemerkenswert im Mittel mit 245V eher hoch. Dies stellt aber meistens kein Problem dar, da handelsübliche Geräte für eine Toleranz von 230V $\pm 15\%$, d.h. 195V bis 265V ausgelegt sind.“
- Die Netzspannung wies erhebliches Rauschen auf, welches bei ungeeigneten Spannungsversorgungen die PIT-Tag-Lesegeräte beeinflusste und unzulässig störte. Abhilfe: Die Netzspannung wurde ausreichend gefiltert und EMV-gerecht auf die Schutzkleinspannung der Lesegeräte gebracht.
- Der Erdanschluss des Niederspannungsnetzes (230V AC) weist gegenüber der „echten Erde“ – wie z.B. direkte Staberdung im Boden oder dem Wasser, welches die Antennen umgibt – Potentialdifferenzen mit hohen Frequenzanteilen auf. Nachfragen beim Kraftwerksbetreiber haben ergeben, dass sowohl die Hochspannungstrasse (220kV AC), wie auch die „Gebäudeautomation“ mittels 240V DC mit jeweils getakteten Netzgeräten in der Nähe zur Niederspannungsversorgung verlegt sind, sodass ein kapazitives, wie auch induktives Übersprechen unvermeidbar ist. Obwohl es sich um eine Gleichtaktstörung (common mode interference) handelte, störte dies enorm, da jede noch so kleine Asymmetrie im Signalpfad ein differentielles Signal generierte, welches die empfindlichen Empfänger unzulässig störte. Abhilfe: Es wurde ein Erdungskonzept realisiert, welches trotz „unruhiger“ Schutzerde des Niederspannungsnetzes die Personensicherheit (Sicherheitskleinspannung – SELV) gewährleistete. Im Weiteren kamen auch Filter zur Unterdrückung von Störungen mit höheren Frequenzen zum Einsatz.

4.2.3 Eingestrahlte Störungen (nicht leitergebundene Störungen)

Bezüglich der durch die Umgebung eingestrahltten Störungen traten keine Probleme auf. Dies unter anderem auch deshalb, weil sich kein Wohngebiet mit „PLC-in-house-communication“ mit Frequenzen von 110-145kHz in unmittelbarer Nähe befand (PLC = Power Line Carrier, d.h. Kommunikation über das Niederspannungsnetz, z.B. Baby-Phones, Datenverkehr, etc.).

Die elektrische Güte der Antennen wurde stets möglichst hoch gehalten, sodass mit den sogenannten Tuningboxen eine kleine Sende- & Empfangsbandbreite erreicht wurde, damit störende Frequenzen nahe der PIT-Tag-Frequenzen bereits bei der Antenne gut unterdrückt wurden.

4.2.4 Gegenseitige Beeinflussung benachbarter Antennen

Entgegen unseren Befürchtungen störten sich die Antennen beim Fischzählbecken und dem Raufischpass gegenseitig nicht. Anscheinend klingen die Felder der doch eher kleinen Antennen ausreichend schnell ab.



4.3 Markierung der Fische

Zwischen dem 25.5.2016 und 15.9.2016 markierten wir in Augst/Wyhlen und Rheinfeldern insgesamt 2'042 Fische. Es wurden 19 verschiedene Fischarten markiert. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Anzahl markierter Fische, den Fangort sowie den Aussatort.

Art	Gesamt	Fangort					Aussatort			
		Rhf D	Rhf CH	Augst	Rhf Ow	Wyhlen	D500	D2000	CH500	A0
Aal	5	0	0	5	0	0	0	0	0	5
Alet	332	231	6	12	82	1	146	3	170	13
Forelle	11	5	1	5	0	0	5	0	1	5
Barbe	1019	356	262	401	0	0	315	27	276	401
Brachsome	9	7	0	1	0	1	1	0	6	2
Egli	101	98	0	3	0	0	48	0	50	3
Giebel	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Groppe	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Gründling	10	10	0	0	0	0	4	3	3	0
Hasel	46	45	0	1	0	0	24	1	20	1
Hecht	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
Karpfen	3	2	1	0	0	0	2	0	1	0
Laube	267	226	2	39	0	0	117	0	111	39
Nase	26	23	1	2	0	0	16	2	6	2
Regenbf.	3	1	0	2	0	0	1	0	0	2
Rotauge	140	60	0	79	1	0	26	1	34	79
Schleie	5	4	0	1	0	0	3	0	1	1
Schneider	58	53	5	0	0	0	20	14	24	0
Wels	4	4	0	0	0	0	2	0	2	0
Gesamt	2042	1127	279	551	83	2	732	51	706	553

Tabelle 2: Übersicht über die Anzahl markierter Fische, Fangorte und Aussatorte. Rhf D: Rheinfeldern Deutschland. Rhf CH: Rheinfeldern Schweiz. Rhf Ow: Fang bei WRRL Befischungen im Oberwasser des KW Rheinfeldern. D500: Deutsche Uferseite, 500 m unterhalb des UG. D2000: Deutsche Uferseite, 2'000 m unterhalb des UG. CH500: Schweizer Uferseite, 500 m unterhalb des UG. A0: KW Augst (Schweizer Seite), Oberwasser.

Die Markierungen in Augst und Rheinfeldern (CH und D) waren enorm aufwendig. Insgesamt waren 25 Tage nötig. Dies lag vor allem daran, dass an den einzelnen Tagen nur wenige Fische gefangen wurden (durchschnittlich 82 Fische an allen drei Fangstationen). In Wyhlen wurden nur an einem einzigen Tag Fische markiert. Der Aufwand für den Fang aus dem Hälterungsbecken, sowie für den Transport in die Schweiz zur Markierung, erwies sich als sehr gross.

Um die Fische aus Augst und Rheinfeldern zu markieren, waren pro Markiertag durchschnittlich zwei Personen mit einer Arbeitszeit von sieben Stunden nötig. Dieser Aufwand beinhaltete die Reisezeit (30 min pro Weg), den Transport der Fische, die Markierung und das Aussetzen. Insgesamt waren zirka 350 Personenstunden für die Markierung und die damit verbundene Arbeit nötig. Somit konnten pro aufgewendete Personenstunde lediglich 6 Fische markiert werden.

Abbildung 6 stellt das Längenfrequenzhistogramm aller markierten Fische dar. In den darauf folgenden Abbildungen sind die Längenfrequenzhistogramme für diejenigen Fischarten dargestellt, von denen mehr als 50 Fische markiert wurden.



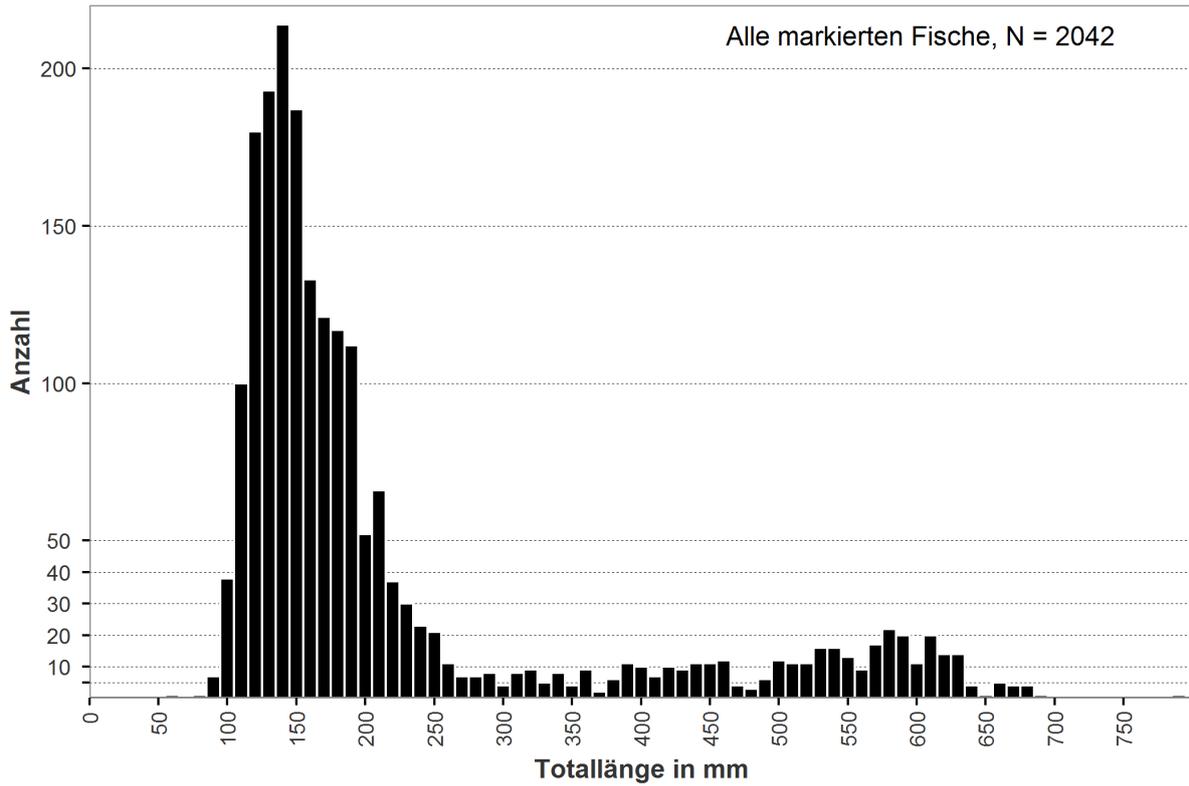


Abbildung 6: Längenfrequenzhistogramm aller markierten Fische.

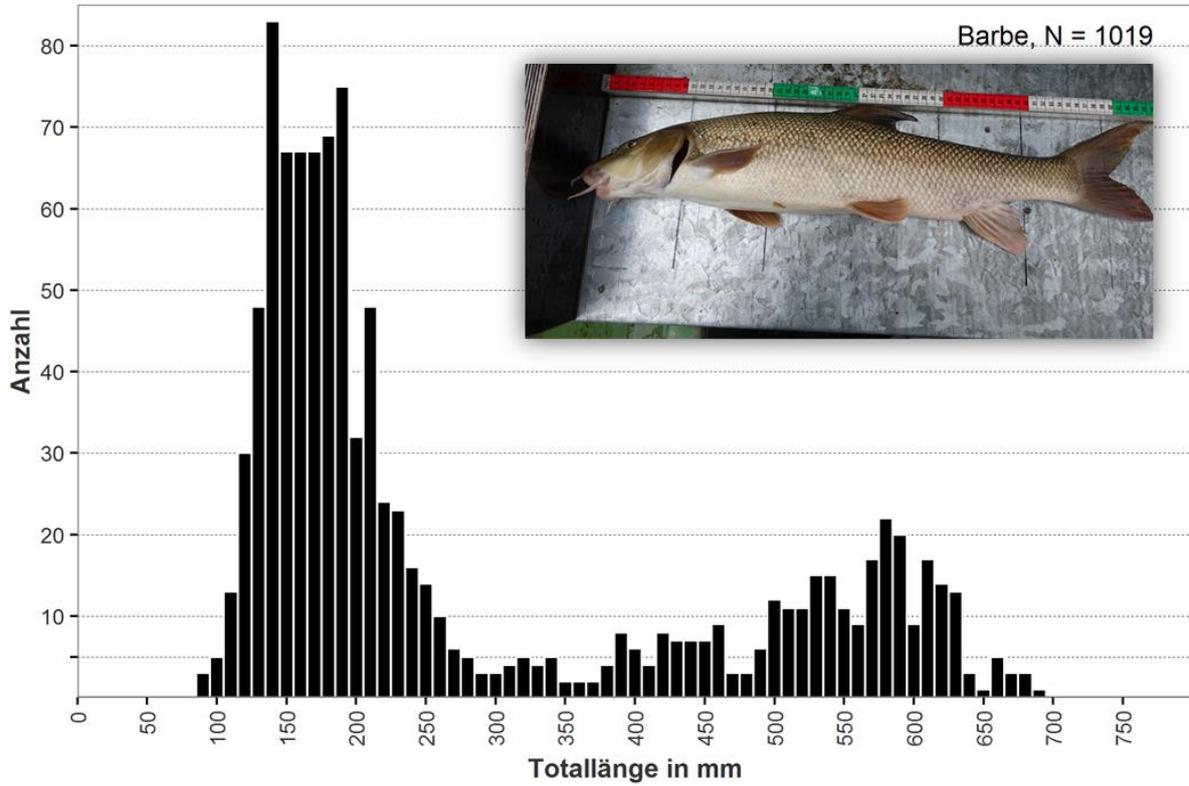


Abbildung 7: Längenfrequenzhistogramm der Barbe (*Barbus barbus*).



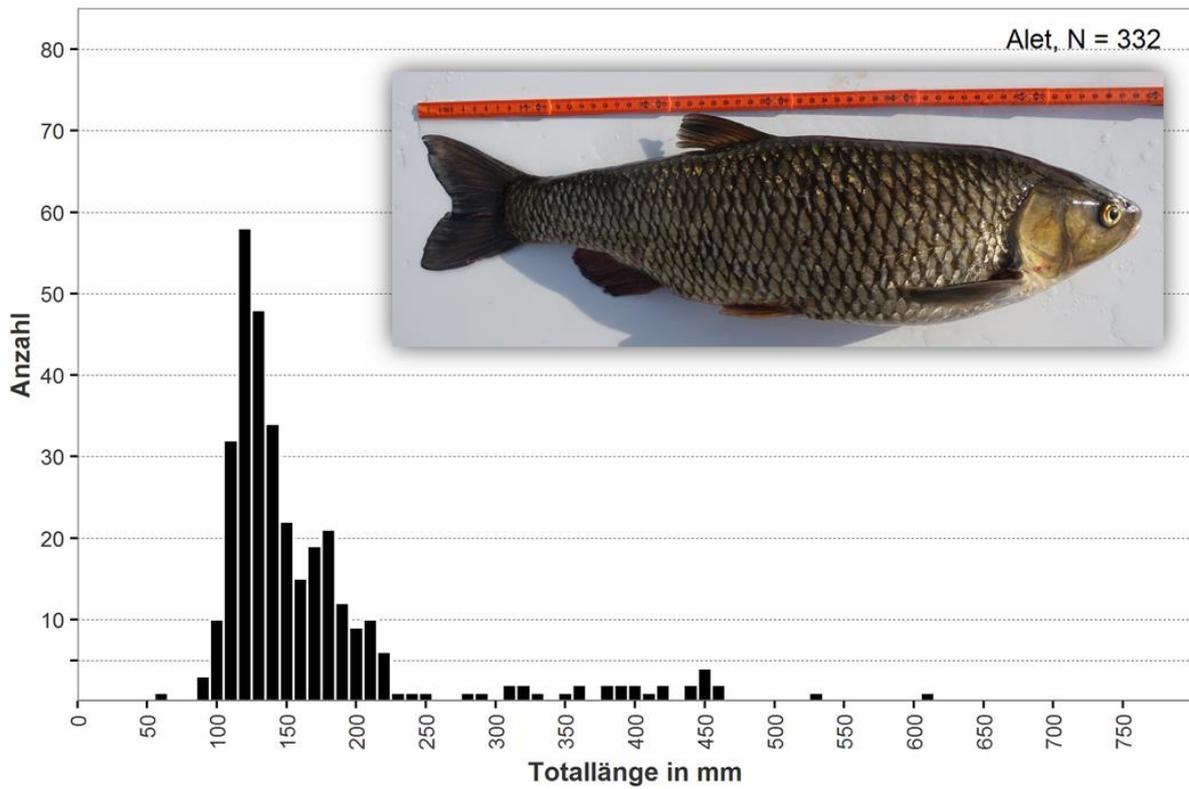


Abbildung 8: Längenfrequenzhistogramm des Alet (*Squalius cephalus*).

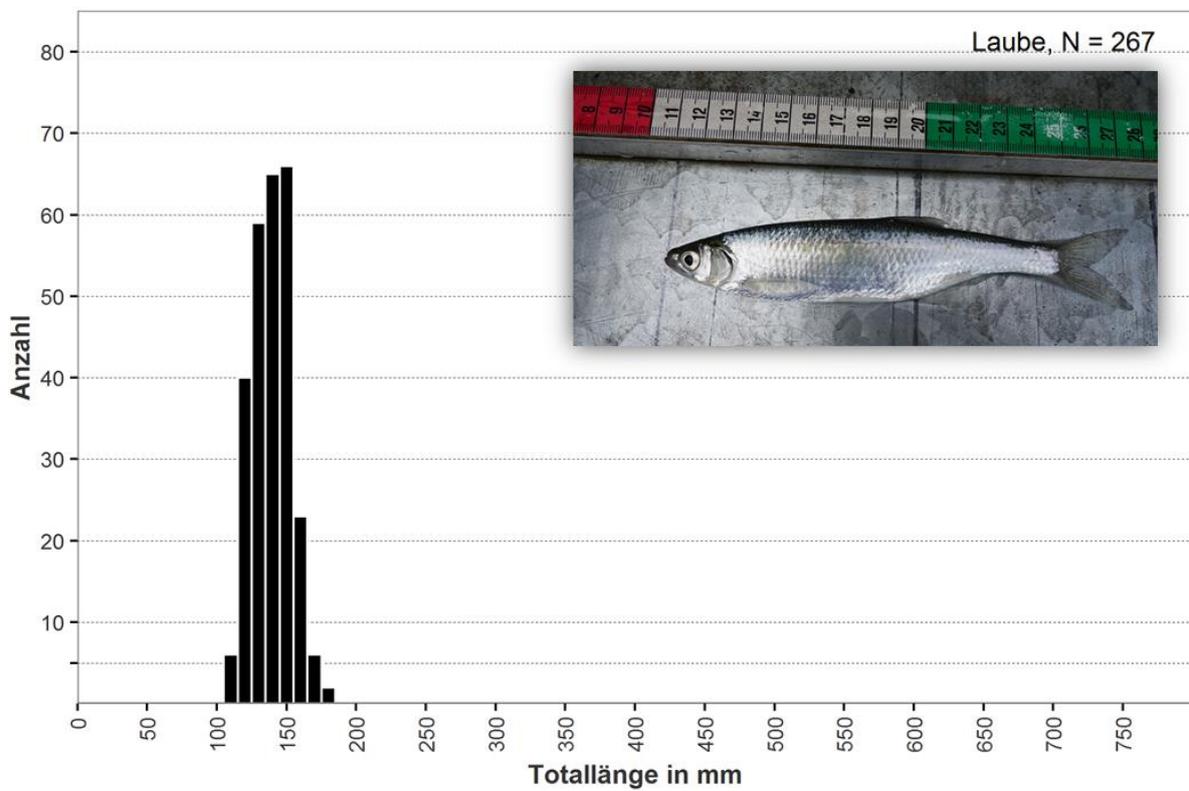


Abbildung 9: Längenfrequenzhistogramm der Laube (*Alburnus alburnus*).



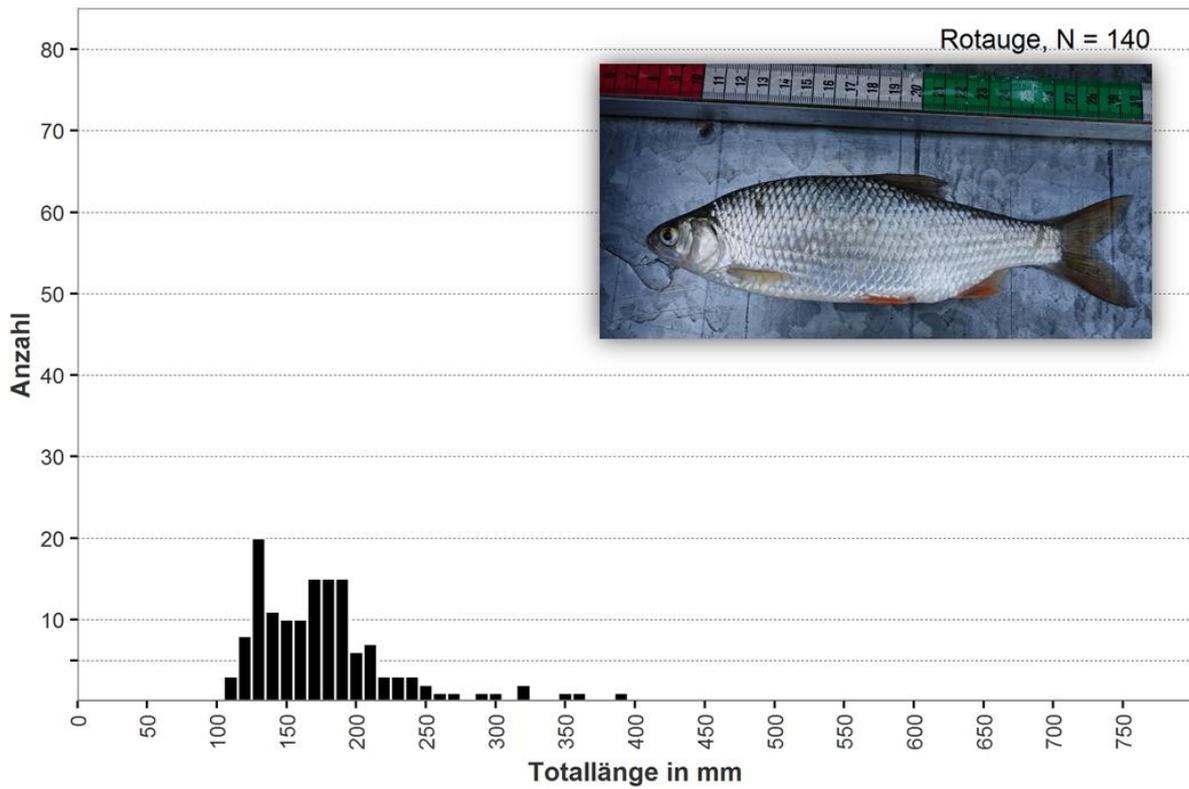


Abbildung 10: Längenfrequenzhistogramm des Rotauges (*Rutilus rutilus*).

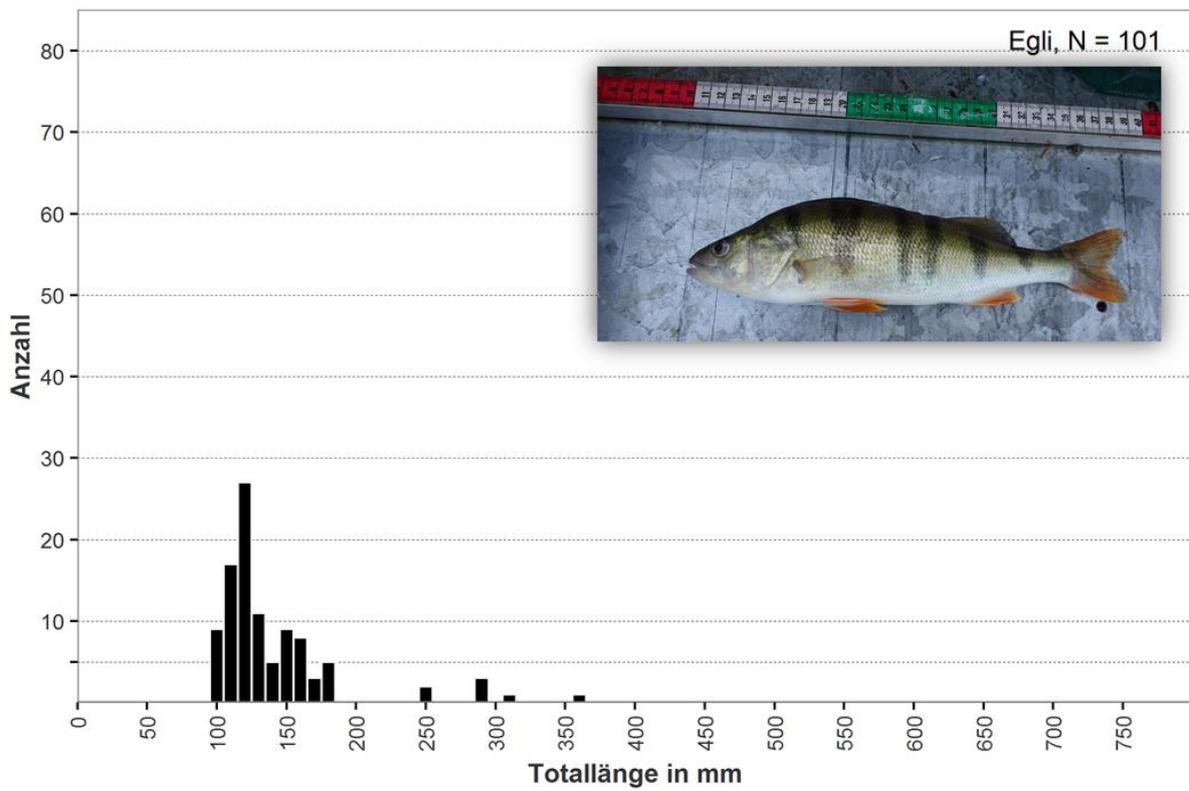


Abbildung 11: Längenfrequenzhistogramm des Flussbarsches/Egli (*Perca fluviatilis*).



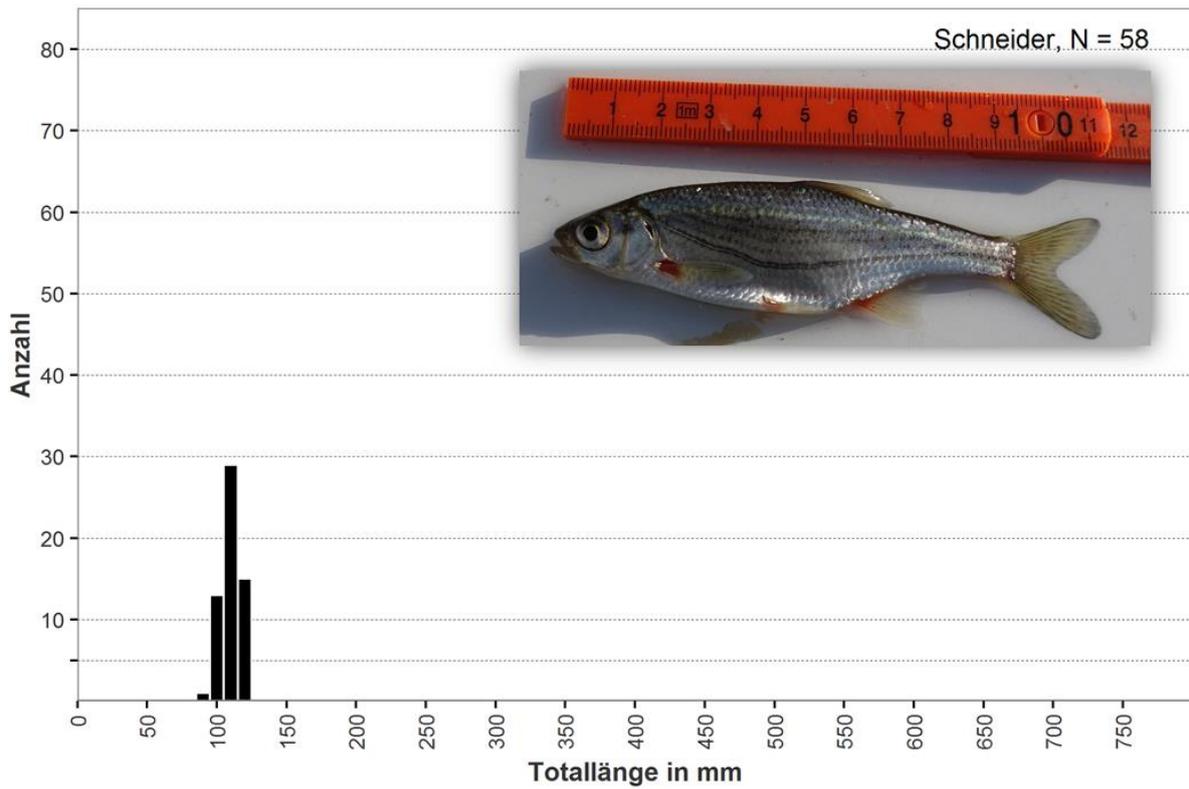


Abbildung 12: Längenfrequenzhistogramm des Schneiders (*Alburnoides bipunctatus*).

Längenfrequenzhistogramme zusätzlicher Arten befinden sich im Anhang.



4.4 Beurteilung der Benutzung verschiedener Einstiege

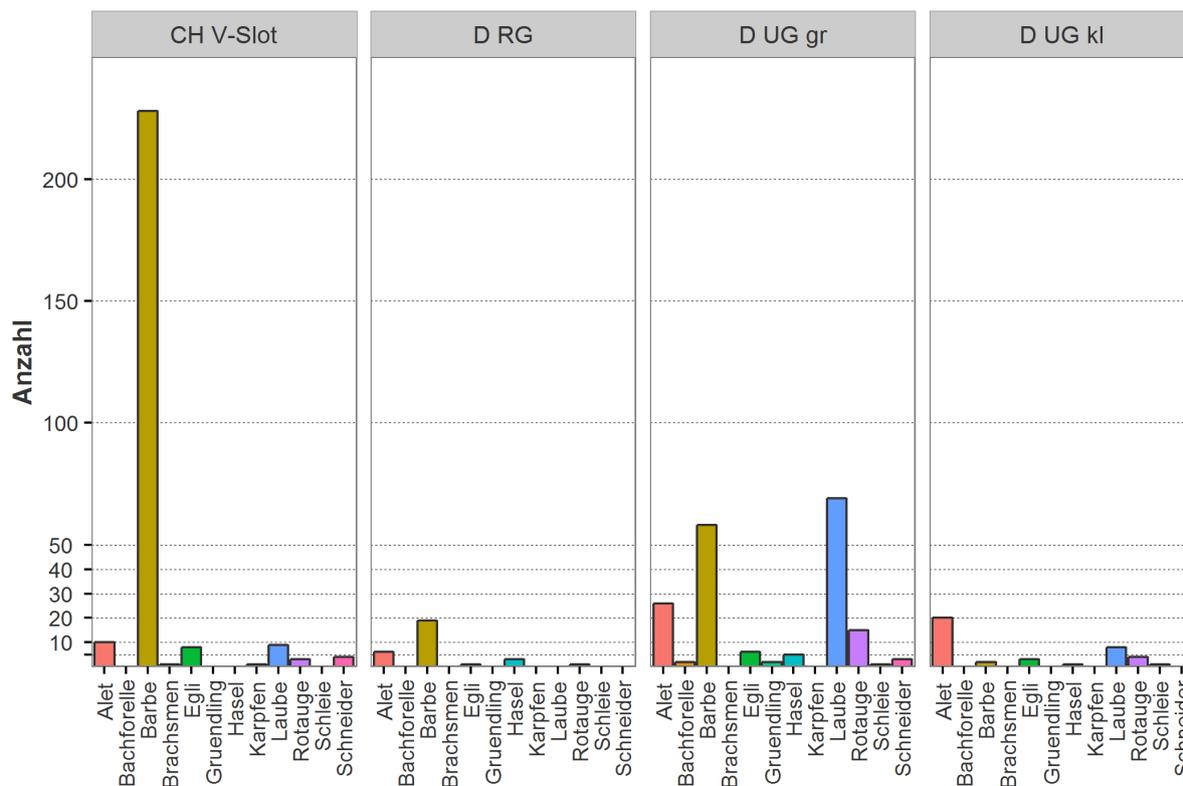


Abbildung 13: Aufstiege der Fische über die vier Aufstiegsmöglichkeiten am KW Rheinfelden. CH V-Slot: Vertical-Slot Pass Schweiz (total 264 Aufstiege). D RG: Raugerinne D (total 30 Aufstiege). D UG gr: UG grosser Einstieg D (total 187 Aufstiege). D UG kl: UG kleiner Einstieg D (total 39 Aufstiege).

Der Vertical-Slot Pass wies am meisten aufsteigende Fische auf. Die Grösse der Fische an den einzelnen FAH ist aus Abbildung 14 ersichtlich.



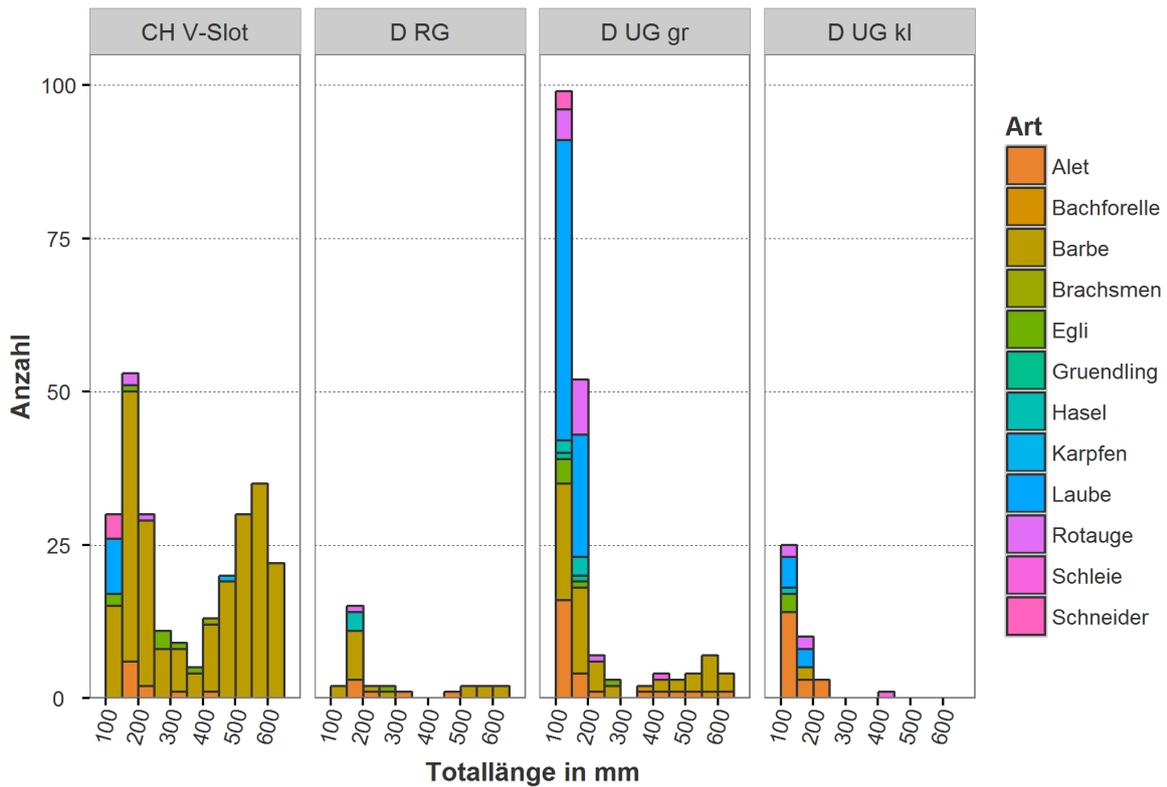


Abbildung 14: Längenfrequenzhistogramm der an den vier Einstiegsorten aufgestiegenen Fischarten.

Abbildung 14 zeigt, dass im Vertical-Slot Pass viele grosse Barben einstiegen. Das Umgehungsgerinne hingegen wird vor allem von kleinen Fischen (Totallänge < 200 mm) benutzt. Die Suchbewegungen der Fische am Kraftwerk waren sehr komplex und beinhalteten Aufstiege, abgebrochene Aufstiege, Abstiege und erneute Aufstiege. Aus diesem Grund wurden hier nur die erstmaligen vollständigen Aufstiege der Fische in einer FAH berücksichtigt.



4.5 Aufstiegsdauer der Fische

Die Aufstiegsdauer für die häufigsten Fischarten in den einzelnen FAH ist aus Tabelle 3 ersichtlich.

Art	Art	Fischpass	Minimum	Median	Maximum	N
Alet	>160mm	CH V-Slot	69	145	753	13
Barbe	< 160mm	CH V-Slot	76	292	28490	19
Barbe	>160mm	CH V-Slot	18	48	1509	223
Egli	< 160mm	CH V-Slot	1663	3183	4703	2
Egli	>160mm	CH V-Slot	90	117	197	7
Laube	< 160mm	CH V-Slot	46	475	899	11
Rotauge	>160mm	CH V-Slot	83	383	683	2
Schneider	< 160mm	CH V-Slot	925	1370	1662	4
Alet	>160mm	D RG	45	160	2823	8
Barbe	< 160mm	D RG	45	103	160	2
Barbe	>160mm	D RG	15	28	127323	36
Hasel	>160mm	D RG	29	66	100	4
Alet	< 160mm	D UG kl	2071	15962	68988	16
Alet	>160mm	D UG kl	1366	6535	22704	4
Barbe	>160mm	D UG kl	154	19409	38663	2
Egli	< 160mm	D UG kl	787	1354	4579	3
Laube	< 160mm	D UG kl	172	401	2174	8
Rotauge	< 160mm	D UG kl	779	2714	7220	3

Tabelle 3: Aufstiegsdauer der Fische im Vertical-Slot Pass (CH V-Slot), Raugerinnebeckenpass (D RG) und im kleinen Einstieg des UG (D UG kl). Die Aufstiegszeit ist in Minuten angegeben. Ein Tag = 1'440 Minuten. Ein Fisch kann mehrmals gezählt worden sein, jedoch nur einmal im selben Fischpass. Die Anzahl N kann daher höher sein als in Tabelle 2.

Auffallend war, dass die Barben rasch aufstiegen. Der Median für die grossen Barben im Vertical-Slot Pass betrug nur 48 Minuten. Auch im Raubeckenpass stiegen Barben und Alet rasch auf. Im UG (kleiner Einstieg) wanderten lediglich die Lauben rasch aufwärts. Rotaugen und besonders die Alet benötigten für den Aufstieg mehrere Tage. Eine mögliche Grenze für die Benutzung der FAH als Lebensraum wurde bei einer Aufstiegszeit von einem Tag festgelegt. Nur Fische, die für ihren Aufstieg mehr als einen Tag benötigen, benutzen demzufolge die FAH als Lebensraum. Die grossen Barben benutzen den Vertical-Slot Pass nicht als Lebensraum, bei den kleinen Barben sind es lediglich vereinzelte Fische (5 %). Der Raugerinne Pass diente ebenfalls nicht als Lebensraum. Wesentlich anders war die Situation für das UG (kleiner Einstieg). Besonders die Alet und kleinen Rotaugen benutzten den Fischpass als Lebensraum. Bei den Lauben waren es aber nur gerade 15 %.

Ebenfalls von Interesse ist die Zeit vom Zurückversetzen in den Rhein bis zum ersten Kontakt mit einer Antenne. Ganz speziell interessierte die Aufwanderungszeit vom KW Augst bis zu den FAH in Rheinfelden. In der folgenden Tabelle sind einige Fischarten und die benötigte Zeit vom Aussetzen in den Rhein bis zum ersten Antennenkontakt angegeben.



Art	Grösse	Aussatzort	Minimale Zeit in Stunden	Median	Maximale Zeit in Stunden
Barbe	>160mm	A0	15	105	1770
Egli	>160 mm	A0	19	162	189
Laube	<160 mm	A0	51	156	787
Rotauge	>160mm	A0	270	755	2081
Barbe	<160mm	CH500	52	274	2235
Egli	> 160mm	CH500	11	176	242
Laube	<160mm	CH500	48	491	1330
Rotauge	<160mm	CH500	852	864	886
Alet	> 160mm	CH500	19	201	899
Alet	<160 mm	CH500	19	181	1053
Barbe	<160mm	D500	56	290	2694
Barbe	< 160 mm	D500	19	475	2819
Egli	> 160m	D500	61	961	1861
Laube	<160mm	D500	15	325	981
Rotauge	<160mm	D500	152	422	1989
Alet	<160mm	D500	17	203	1682
Alet	>160mm	D500	8	35	1609
Schneider	<160mm	D500	39	140	439

Tabelle 4: Aufwanderungszeit vom Zurücksetzen in den Rhein bis zur ersten Detektion an einer Antenne. Aussatzort A0: Oberwasser KW Augst. D500: Deutsche Uferseite, 500 m unterhalb des UG. CH500: Schweizer Uferseite, 500 m unterhalb des UG.

Die grossen Barben, welche in Augst markiert wurden, benötigten rund 4.4 Tage für den Aufstieg nach Rheinfeldern, die minimale Zeit betrug 15 Stunden. Aber auch die viel kleineren Lauben benötigten im Mittel für diese Wanderung von rund 8.5 km nur 6.5 Tage. Beim strömungsindifferenten (eurypoten) Rotauge waren es dann rund 31 Tage. Grundsätzlich waren die Aufwanderungszeiten vom Aussatzort Rheinfeldern 500 m unterhalb des UG bis zur ersten Antenne relativ lang. Dies könnte durch Zeitverzögerungen bedingt sein. Um dies zu überprüfen, wären jedoch umfangreichere Analysen oder Studien mittels Radiotelemetrie notwendig.

Die Frage nach der Überquerung des Rheins ist ebenfalls von Interesse. Als eine Querung des Rheins definierten wir eine Benutzung einer FAH am anderen Ufer als der Fischaussatz erfolgte. Von den im Augst markierten und bis nach Rheinfeldern aufgewanderten Fischen (N=219), querten 26 % den Rhein. Von den 500 m unterhalb des UG auf Schweizer Seite ausgesetzten Fischen waren es 56 % (N = 171), von den auf gleicher Höhe auf deutscher Seite ausgesetzten Fischen 27 % (N = 243). Bei den 2'000 m unterhalb des UG ausgesetzten Fische in Deutschland querten 82 % den Rhein (N=11 Fische).



4.6 Effizienz der FAH

Attraktivitäts- und Passageeffizienz sind zwei wichtige Parameter für die Beurteilung von Fischaufstiegshilfen. In Anlehnung an Bunt et al. (1999, 2012) definieren wir die Attraktivitätseffizienz als den Anteil markierter und zurückversetzter Fische, welche sich anschliessend in unmittelbarer Nähe des Einstieges befanden. In unserem konkreten Fall berücksichtigten wir markierte Fische, welche auf der untersten Antenne der entsprechenden FAH registriert wurden. Im Prinzip entspricht diese berechnete Attraktivitätseffizienz der Eintrittseffizienz in den Fischpass oder aber der Auffindbarkeit. Die Passageeffizienz berechnet sich aus der Anzahl der Fische einer bestimmten Art, welche die obere Antenne am Ende der Fischtreppe erreichte, dividiert wurde durch die Anzahl Fische, die in den Fischpass einstieg (Bunt et al. 1999). Wir berechneten die Auffindbarkeit einzeln für die bestehenden Einstiege. Bisher gibt es keine Beispiele in der Literatur für derartige Berechnungen. Bunt et al. und Noonan et al. (2012) berechnen die Attraktionseffizienz jeweils für einen Fischpass. Die Attraktivitätseffizienz wurde für jede Art einzeln berechnet (N > 20 Individuen).

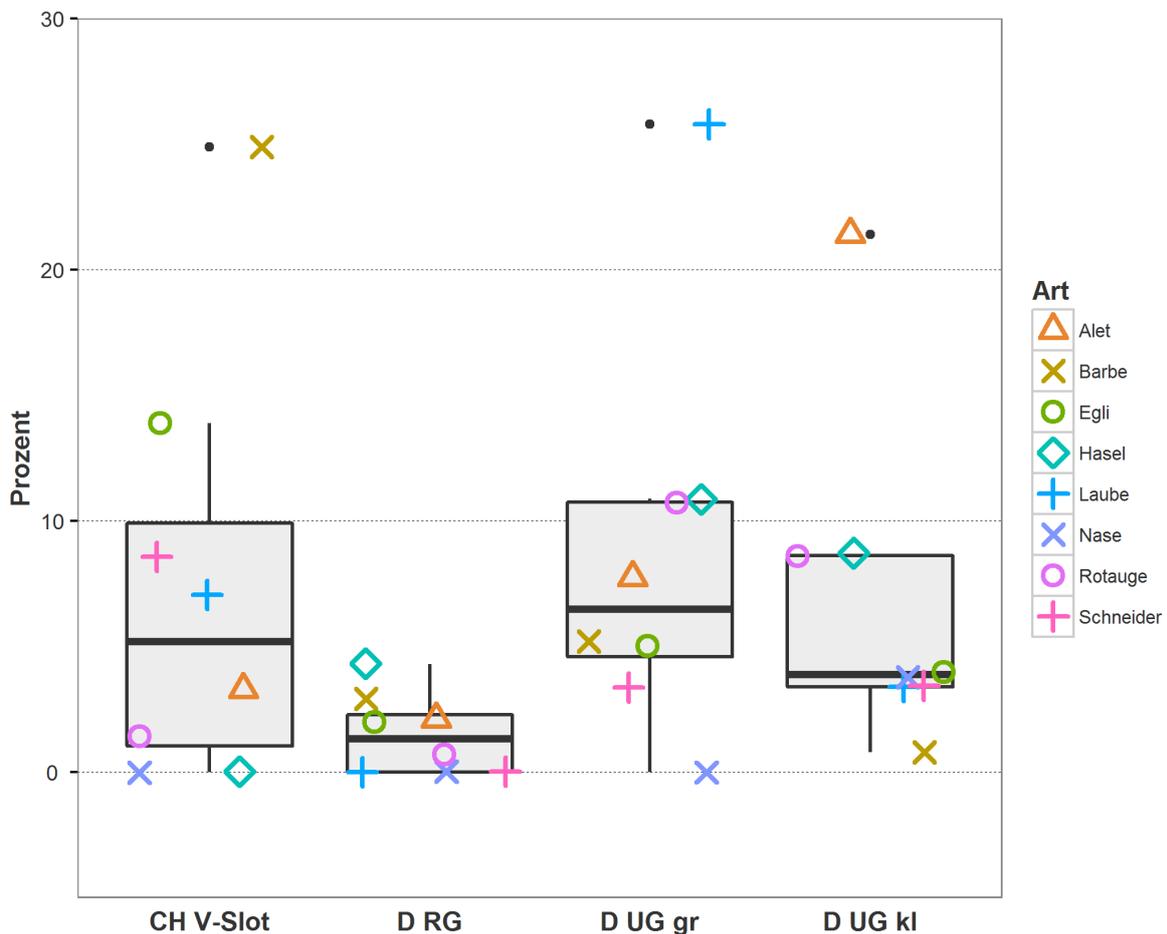


Abbildung 15: Auffindbarkeit (Attraktivitäts- oder Eintrittseffizienz) der markierten Fischarten an den vier verschiedenen Einstiegsorten.



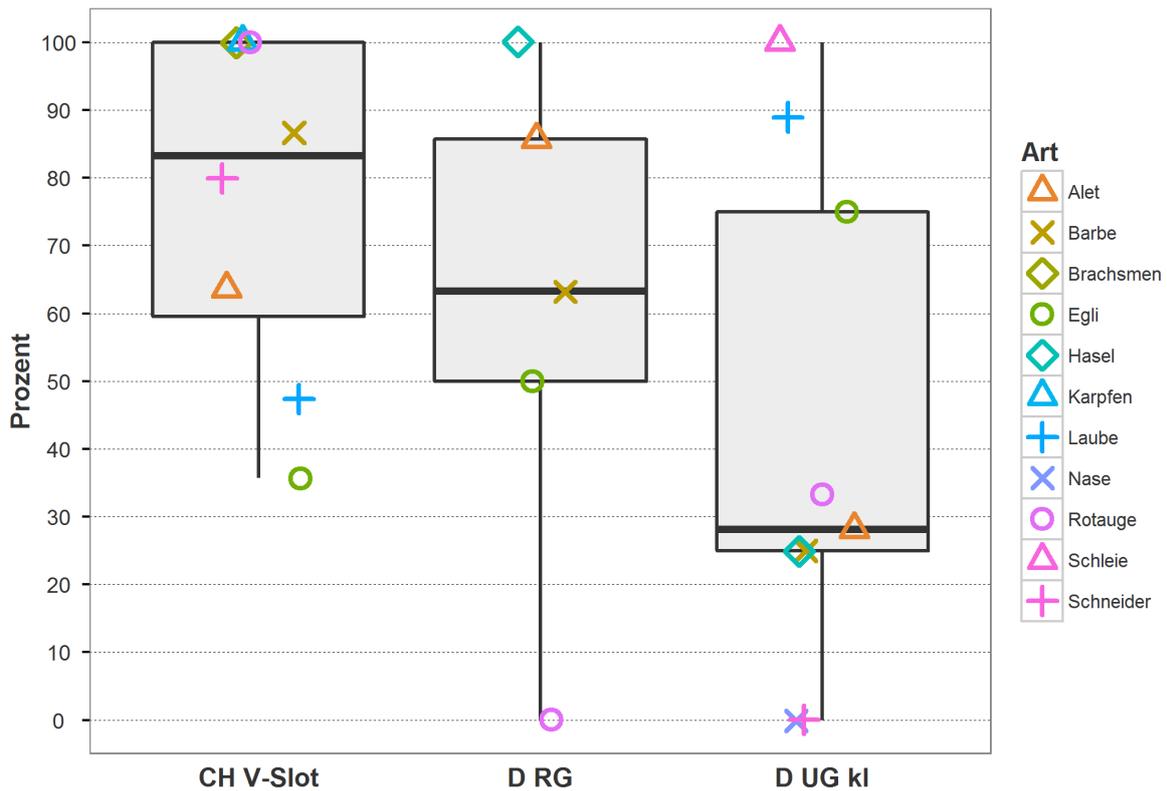


Abbildung 16: Passageeffizienz der Fischarten an den drei verschiedenen Aufstiegshilfen. Für den grossen Einstieg im UG liess sich keine Passageeffizienz berechnen.

4.7 Mehrfachzählungen

Bei den Mehrfachzählungen wurden nur Fische erfasst, welche die Zählbecken in Rheinfeldern mit Erfolg passierten. Es gab nur gerade eine einzige Barbe (Totallänge 531 mm), welche den Vertical-Slot Pass erfolgreich passierte, auf unbekanntem Wege wieder abstieg und später im Umgehungsgerinne via Zählbecken (D) erneut erfolgreich aufstieg und somit von den Fischern im Zählbecken (D) wiederum gezählt wurde. Drei weitere Fische (1 Barbe, 1 Egli, 1 Laube) stiegen erfolgreich über die Zählbecken auf. Danach stiegen sie wieder ab und erschienen auf der Antenne des Zählbeckens in Rheinfeldern D. Allerdings stiegen auch alle drei Fische wieder aus dem Zählbecken aus und wurden somit kein zweites Mal durch die Fischer gezählt. Das Problem der Mehrfachzählungen war somit eher von geringer Bedeutung.

4.8 Umkehr von Fischen – Funktion der Zählbecken

Auf beiden Seiten des Rheins ist ein Zählbecken in die FAH integriert. Das Zählbecken auf der deutschen Seite wurde beim Eingang mit einer PIT-Tag Antenne ausgerüstet (siehe Abbildung 4). Mit den Fischern, welche für die Fischzählung verantwortlich waren, hatten wir vereinbart, dass jeder gezählte Fisch einzeln über das Rückgaberohr in den Rhein zurückversetzt wurde. Am oberen Ende dieses Roh-



res wurde ebenfalls eine PIT-Tag Antenne montiert. Somit war es möglich, die in das Zählbecken einschwimmenden Fische zu registrieren und die gezählten Fische bei der Zurückversetzung ins Oberwasser zu erfassen.

Auf der Schweizer Seite im Vertical-Slot Pass wurde das Zählbecken nicht mit Antennen verkabelt. Aber Fische, welche die obere Antenne passierten, waren nur noch 55 m vom Einstieg ins Zählbecken entfernt. Wir interpretieren einen Abstieg in der FAH folgendermassen: Die Fische stiegen ins Zählbecken ein, kehrten aber nach vergeblicher Suche wieder um und verliessen die FAH nach unten. Diese Absteiger konnten auf der unteren Antenne wieder registriert werden.

Im Vertical-Slot Pass sind 242 Barben aufgestiegen (beide Antennen passiert), davon sind 146 Fische nicht mehr abgestiegen. Ein Aufstieg war nur über das Zählbecken möglich. Die Fangwahrscheinlichkeit im Zählbecken betrug somit 60 %. 40 % der aufsteigenden Barben stiegen jedoch im Fischpass wieder ab. Für die Alet betrug die Fangwahrscheinlichkeit im Zählbecken 92 % (N=13), für die Flussbarsche 67 % (N=9) und schliesslich für die Lauben 100 % (N=11). Die Fangwahrscheinlichkeit aller 285 aufgestiegenen Fische betrug 64 %.

Auf der deutschen Seite entsprach das Umkehren einem Ausstieg aus dem Zählbecken. Insgesamt sind 242 markierte Fische beim Einstieg ins Zählbecken registriert worden, jedoch nur 36 Fische davon wurden im Zählbecken durch die Fischer gefangen und gezählt. Dies entspricht einer Fangwahrscheinlichkeit von 15 %. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die einzelnen Arten. Es sind nur Arten aufgeführt, für die mehr als fünf Fische registriert wurden.

Art	Einstieg N	Gezählt N	Fangwahrscheinlichkeit in %
Alet	44	9	20,5
Barbe	73	4	5,5
Egli	12	0	0
Hasel	9	1	11,1
Laube	76	11	14,5
Rotauge	19	9	47,4

Tabelle 5: Einstieg in das Zählbecken am deutschen Ufer in Rheinfeldern, die Zählung durch die Fischer, sowie die daraus berechnete Fangwahrscheinlichkeit im Zählbecken.

Im Kapitel 10.3 im Anhang wird näher auf das Umkehren von Fischen und die Anzahl abgebrochener Aufstiegsversuche eingegangen. Die mehrfachen Aufstiegsversuche der Fische werden dargestellt und mögliche Lerneffekte angesprochen.



4.9 Verletzungen der Fische

Die Verletzungen wurden in den meisten Fällen durch die Fangeinrichtungen hervorgerufen. Es sind aber auch – zu einem geringeren Ausmass – andere Verletzungen möglich. Abbildung 17 zeigt, dass die Anzahl verletzter Fische an den Fangeinrichtungen Augst und Rheinfelden D nicht als gering einzustufen war. Besonders anfällig für Verletzungen durch die Fangeinrichtungen sind die folgenden Fischarten: Rotaugen, Alet, Laube und Barbe.

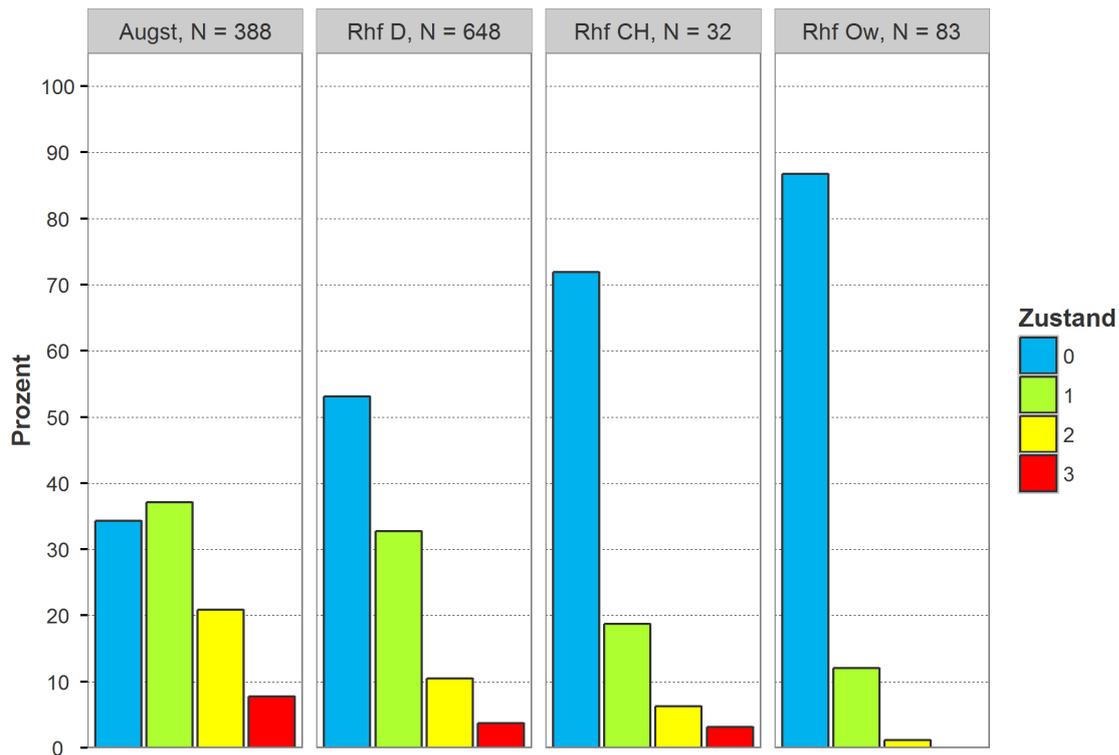


Abbildung 17: Protokollierte Verletzungen an den verschiedenen Fangeinrichtungen (N=1'151 Fische). Rhf Ow beinhaltet Fische, welche im Oberwasser Rheinfelden mittels Elektrofängergeräten gefangen wurden.

Im Folgenden werden die Verletzungen der Lauben, Alet und Rotaugen dargestellt. Die Abbildungen verdeutlichen, dass die Fische durch den Fang in den Reusen und Zählbecken verletzt werden. Im Vergleich zu den Elektrofängen, wiesen alle Fische aus den Zählbecken deutlich mehr Verletzungen auf.



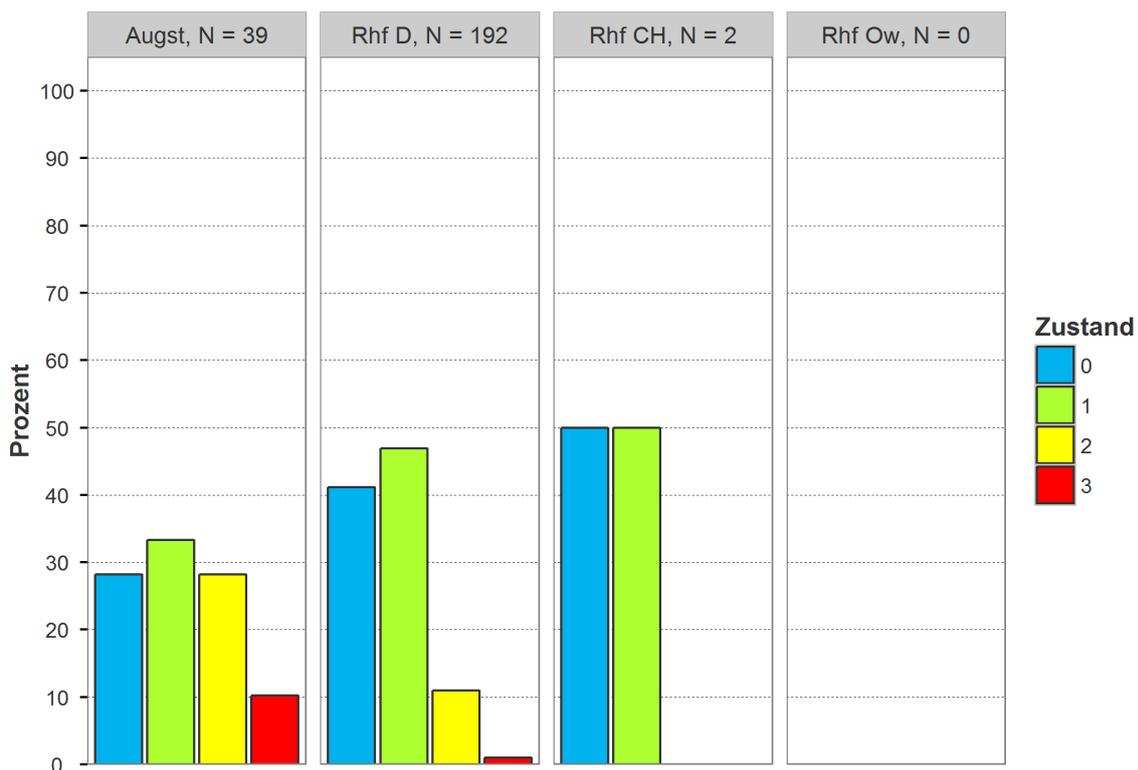


Abbildung 18: Verletzungsgrad der Lauben je Fangeinrichtung.

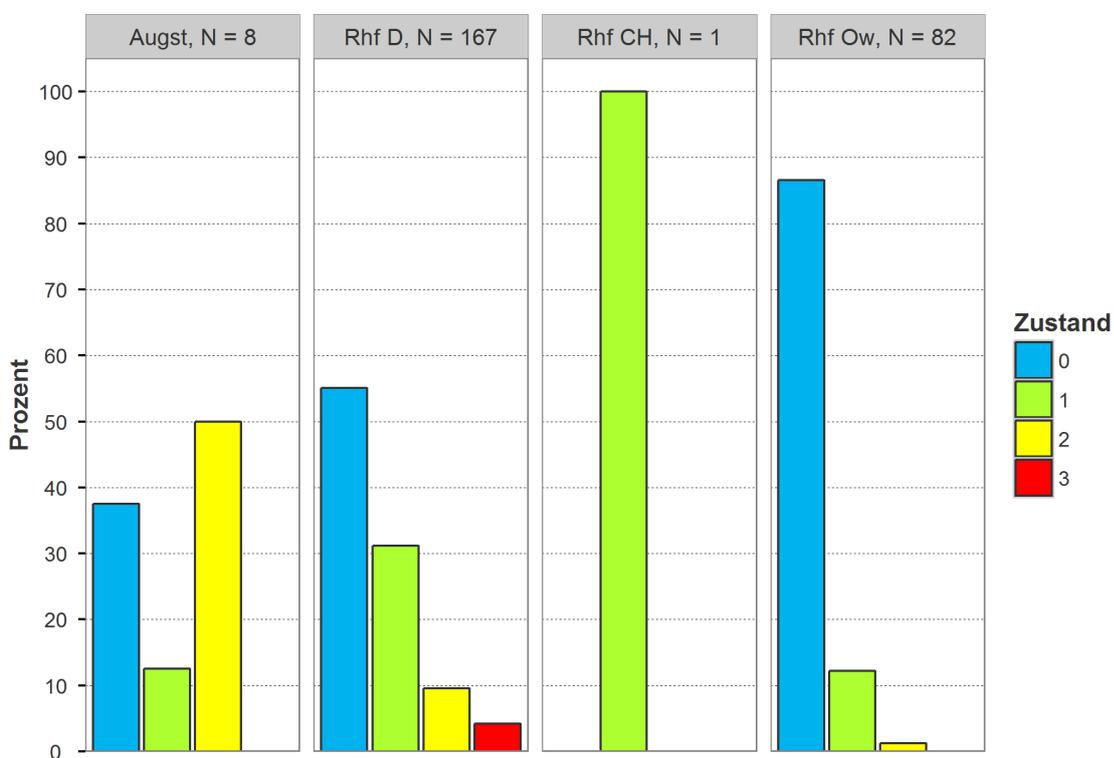


Abbildung 19: Verletzungsgrad der Alet je Fangeinrichtung.



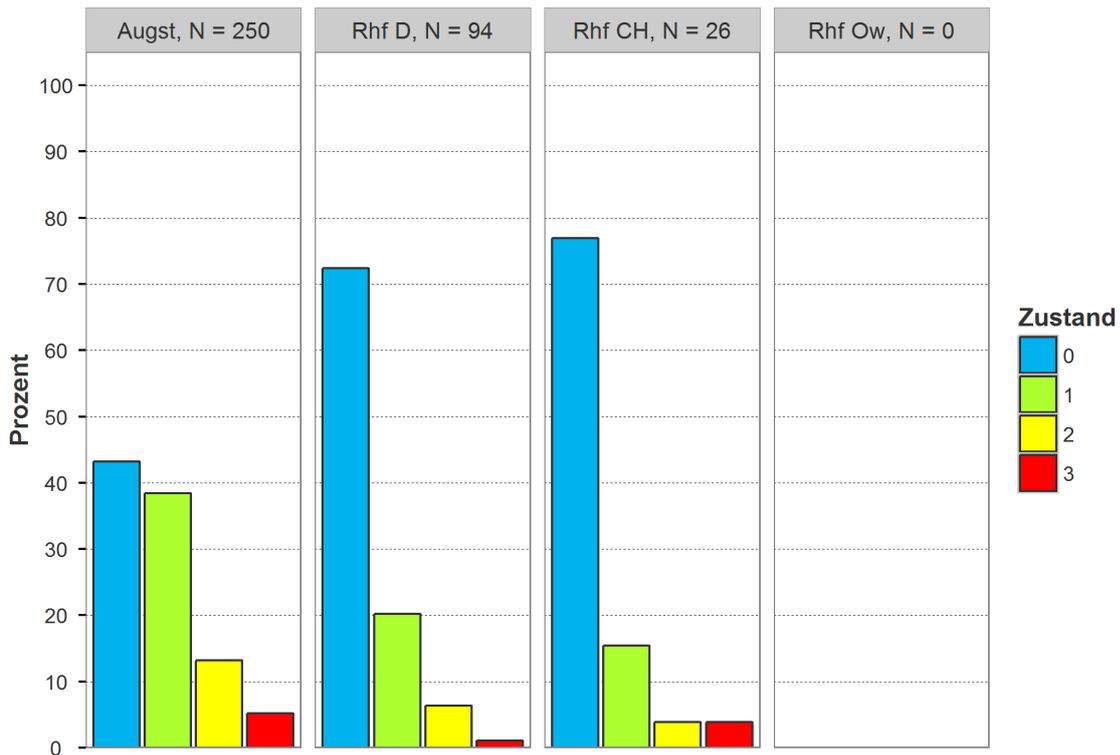


Abbildung 20: Verletzungsgrad der Barben je Fangeinrichtung.

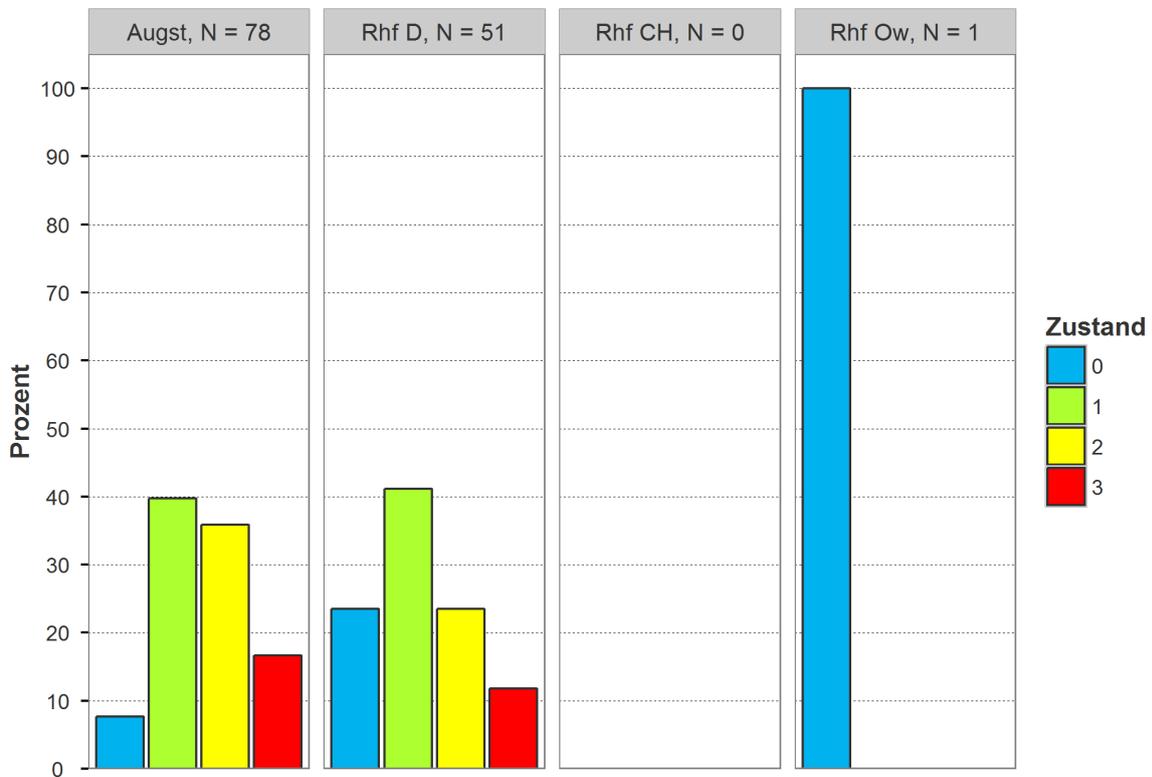


Abbildung 21: Verletzungsgrad der Rotaugen je Fangeinrichtung.



5 Diskussion und Empfehlungen

5.1 Betrieb der Anlagen

Der Betrieb der Anlagen ist ständig zu überwachen. Wir verzichteten darauf, Modems einzusetzen, da unsere Präsenz am Kraftwerk sehr gross war. Auch bei der Überwachung mittels Modem wäre die regelmässige Kontrolle der Antennen und der Reader nötig. Es wird empfohlen, die Anlagen mindestens einmal pro Woche zu inspizieren. Treten keine Hochwasser auf, kann es ausreichen, die Anlagen nur alle zwei Wochen zu kontrollieren.

Grundsätzlich traten nur geringe Probleme mit Treibgut auf.

Bezüglich der leitergebundenen Störungen empfiehlt es sich, genügend Zeit für die Montage der Anlagen einzuplanen. Wenn möglich, sollte jede Antenne einzeln mit einem Reader verkabelt werden, da der Betrieb an Multiantennen Readern weniger zuverlässige Detektionen erlaubt (besonders bei grösseren Antennen) und der Detektionsablauf auf mehrere Antennen verteilt werden muss. Bezüglich der Anordnung der Antennen sollten an jedem Antennenstandort zwei Antennen hintereinander betrieben werden. Dies erleichtert es die Schwimmrichtung eines Fisches zu identifizieren. Die Bewegungen der Fische sind zum Teil sehr komplex und die eindeutige Identifikation der Schwimmrichtung mit zwei Antennen vereinfacht die Auswertung erheblich.

Für die Beurteilung der Benützung der verschiedenen Einstiege in die Umgehungsgerinne ist darauf zu achten, dass an jedem Einstieg und Ausstieg zwei Antennen montiert werden. Ob dies in jedem Fall möglich ist, ist fraglich (z. B. grosser Einstieg ins UG Rheinfelden, Ausstieg in Ryburg-Schwörstadt). Es lohnt sich jedoch für die Abklärung dieser Fragen genug Zeit einzuplanen. Wenn es nicht gelingt, kann unter anderem die Passageeffizienz des UG nicht beurteilt werden.

5.2 Markierung der Fische

Die Markierung der Fische erwies sich als problemlos. Alle im Rhein vorhandenen Fischarten lassen sich mit PIT-Tags markieren. Für die Lauben wurde befürchtet, dass sie durch die Manipulation einen beträchtlichen Teil ihrer Schuppen verlieren würden. Dies traf jedoch auf anästhesierte Lauben nicht zu. Sie liessen sich gut markieren. Generell wird eine Anästhesierung empfohlen, da sie die Fische schont. Infolge der Markierung hatten wir nur sehr wenige Ausfälle (< 1 % der Fische). Das Markierteam bestand aus zwei Personen. Für die Markierung von vielen Fischen (> 400 Fische), empfiehlt es sich mit 3-4 Personen zu arbeiten. Das direkte Einlesen der Tags in den Computer verhindert Fehleinträge durch Abschreiben, wie es bei einem Handprotokoll üblich ist. Grundsätzlich ist es möglich, Fische ab zirka 90 mm Totallänge zu markieren. Wir verwendeten jedoch mit wenigen Ausnahmen Fische ab zirka 120 mm Totallänge. Diese kleinen Fische werden am besten mit 12 mm Tags markiert. Ab einer Totallänge von zirka 160 mm können 23 mm Marken eingesetzt werden. Diese sind für die Detektion aufgrund der grösseren Lesedistanz zuverlässiger.



5.3 Beurteilung der Benutzung der verschiedenen Einstiege

Die Beurteilung basiert auf der Detektion der einzelnen Antennen am Einstieg. Der grosse Einstieg am UG konnte jedoch nicht verkabelt werden. Dazu wäre ein immenser Aufwand nötig gewesen und viele Unsicherheiten bezüglich der Detektion wären geblieben. Da alle anderen Einstiege jedoch mit einer Antenne ausgestattet waren und jeder Fisch, der ins Zählbecken einschwamm, detektiert wurde, liessen sich vorher auf keiner Antenne detektierte Fische dem grossen Einstieg im UG zuordnen. Eine Erstdetektion beim Einstieg ins Zählbecken bedeutete also, dass der Einstieg ins UG über den grossen Einstieg erfolgte.

Der Vertical-Slot Pass auf der Schweizer Seite war vor allem sehr attraktiv für Barben, hier stiegen grosse und kleine Individuen auf. Über das UG stiegen generell wenige grosse Fische auf. Das UG ist attraktiv für kleine Fische, ganz speziell für Lauben, kleine Individuen von Barben und Alet sowie für Egli.

5.4 Aufstiegsdauer

Die Aufstiegsdauer in den technischen Fischpässen (Vertical-Slot-Pass und Raugerinnebeckenpass) war kurz und diese Fischpässe dienten – mit wenigen Ausnahmen – nicht als Lebensräume für die Fische. Das Umgehungsgerinne jedoch – beurteilt anhand der Einstiege im kleinen Gerinne – konnte Fischen als Lebensraum dienen. Ganz konkret profitierten Alet und kleine Rotaugen davon. Bemerkenswert sind die kurzen Aufstiegszeiten der Barben. Die meisten Individuen dieser Art wurden im Verlaufe ihrer Laichwanderungen markiert.

5.4.1 Aufstiegsdauer vom Aussatzort bis zum ersten Antennenkontakt

Die grossen Barben, welche in Augst markiert wurden, benötigten im Durchschnitt 4.4 Tage für den Aufstieg nach Rheinfelden, die schnellste Ankunft erfolgte nach 15 Stunden. Aber auch die viel kleineren Lauben benötigten im Mittel für diese Wanderung von rund 8.5 km nur 6,5 Tage. Beim strömungsindifferenten (eurytopen) Rotauge waren es dann rund 31 Tage. Grundsätzlich waren die Aufwandungszeiten vom Aussatzort Rheinfelden 500 m unterhalb des UG bis zur ersten Antenne relativ lang. Dies könnte durch Zeitverzögerungen und Suchbewegungen bedingt worden sein. Dazu wären jedoch umfangreichere Analysen oder Studien mittels Radiotelemetrie notwendig.

5.4.2 Rheinquerungen

Eine mögliche Erklärung für die Überquerungen des Rheins sind der Ort des Aussatzes sowie die Fischgrösse. Kleine Fische schienen das UG zu bevorzugen, grössere Fische zeigten eine Präferenz für den Vertical-Slot Pass. Je nach Aussatzort wird der Rhein daher gequert.



5.5 Beurteilung und Bewertung der Auffindbarkeit und Passage der FAH

Die Auffindbarkeit der Fischaufstiegsanlagen wurde anhand der Attraktivitätseffizienz oder im vorliegenden Fall anhand der Eintrittseffizienz beurteilt. Abbildung 15 zeigt, dass die Auffindbarkeit eher als gering einzustufen ist, allerdings gelten diese Werte für die einzelnen Einstiegsmöglichkeiten. Entsprechende Vergleiche liegen aus der Literatur nicht vor. Der Vertical-Slot Pass und der grosse Einstieg am UG schneiden am besten ab. Bunt et al (2012) geben für verschiedene Vertical-Slot Pässe eine Attraktivitätseffizienz von etwas mehr als 60 % an (Median). Am KW Rheinfeldern erreichen aber die Barben, die Lauben sowie die Alet fast ähnlich hohe Werte wie die Cypriniden in der Studie von Bunt et al. Diese drei Fischarten sind als aufstiegswillig zu beurteilen, da sie meist während ihrer Laichwanderungen oder zu einem späteren Zeitpunkt im Aufwanderungsspeak (Laube) gefangen wurden. Die mittlere Eintrittseffizienz in der Studie von Noonan et al. (2012) betrug 39.6 %. Für eine bessere Beurteilung der Auffindbarkeit für mehrere Arten braucht es eine grössere Anzahl markierter Fische.

Die Passageeffizienz (Abbildung 16) ist für den Vertical-Slot Pass als sehr gut und für den Raugerinnebeckenpass als gut einzustufen. Beide Werte liegen deutlich höher als der Medianwert von zirka 45 % in der Bunt-Studie und die Werte von Nicht-Salmoniden in der Studie von Noonan et al. Letztere Autoren geben Passage Effizienzen für Vertical-Slot Pässe von zirka 30 % und von naturnahen Fischpässen von zirka 23 % an. Es gibt in Rheinfeldern aber für die einzelnen Arten deutliche Unterschiede zwischen den Fischpässen. Im Vertical-Slot Pass haben eingestiegene Rotaugen, Barben und Schneider eine grosse Aufstiegswahrscheinlichkeit. Im Raugerinnebeckenpass sind dies eher Hasel und Alet. Die Passageeffizienz der Fische über den kleinen Einstieg im UG ist sehr gut für die Laube und gut für das Egli. Der Medianwert ist jedoch deutlich geringer, als in der Studie von Bunt für die naturnahen UG (Median zirka 70 %). Die Studie von Noonan et al. (2011) zeigt aber für Nicht-Salmoniden bei naturnahen UG ebenfalls eine geringere Passageeffizienz auf (zirka 23 %). Mit dieser Studie verglichen schneiden die über den kleinen Einstieg beim UG aufgewanderten Fische besser ab (Medianwert 28 %). Für eine umfassende Interpretation der Auffindbarkeit und der Passage fehlen aus der Literatur entsprechende Studien.

Es ist bei der Interpretation zu berücksichtigen, dass Fische, die ins UG einschwimmen, hier ein Habitat finden können und später eventuell wieder über den unteren grossen Einstieg aussteigen.

Grundsätzlich wäre es interessant, die Attraktivitätseffizienz zuverlässiger zu beurteilen (Aarestrup et al. 2003). Das wäre allerdings nur möglich, wenn sich in sehr geringer Distanz vor dem Einstieg in den Fischpass eine Antenne montieren liesse, welche die Fische detektierte. Bei den meisten Einstiegen an den Rheinkraftwerken wird dies allerdings nicht möglich sein und nur der Einsatz von Radiotelemetrie könnte weiterhelfen. Zur Attraktivitätseffizienz bei Fischtreppe ist daher künftig weitere Forschung notwendig.

5.6 Umkehr von Fischen – Funktion der Zählbecken

In den Zählbecken wurde nur ein Teil der aufsteigenden Fische gefangen. Fische schwammen ein und einige Individuen verliessen das Zählbecken wieder, bevor sie dort gezählt wurden. Vermutlich geschah dies sogar mehrfach bei einigen Individuen.

Auf der Schweizer Seite, wo vorwiegend grosse Individuen aufstiegen, wurden 36 % der Fische nie gefangen (trotz teilweise mehrerer Aufstiege in Folge) und stiegen in der FAH ab.



Auf der deutschen Seite wurden 85 % aller Individuen nicht gefangen, die in das Zählbecken einschwammen. Abbildung 28 in Anhang gibt Auskunft über die Anzahl abgebrochener Aufstiegsversuche (Anzahl Abstiege) und darüber wie oft ein Individuum versuchte, in derselben FAH wieder aufzusteigen.

Die PIT-Tag Registrierungen zeigen somit auf, dass der Fang in den Zählbecken nicht effizient ist. Die Zahl der wirklich aufsteigenden Fische wird deutlich unterschätzt. Die Zählkammern stellen für aufwandernde Fische ein Hindernis dar. Ein grosser Teil der Fische wartet nach dem Einstieg nicht, bis er gezählt und nach oben entlassen wird, sondern steigt wieder aus dem Zählbecken aus. Für den Vertical-Slot Pass konnte gezeigt werden, dass diese Fische rasch wieder absteigen.

Abhilfe kann geschaffen werden, indem der Ausstieg aus dem Zählbecken durch geeignete Vorrichtungen (z. B. mit Borsten) verhindert wird. Zudem sind aber auch Abklärungen nötig, ob ein Teil der aufgestiegenen Fische wirklich in das Zählbecken einsteigt. Dies konnten wir für das Zählbecken auf der Schweizer Seite nicht wirklich nachweisen, aber ein Einstieg ist mit grosser Wahrscheinlichkeit anzunehmen. Auf der deutschen Seite hingegen wurden die Fische nur registriert, wenn sie direkt durch das Antennenfeld ins Zählbecken eintraten.

Die hier gewonnenen Erkenntnisse sollten im Hauptprojekt weiter verfolgt werden. Zudem wird vorgeschlagen, eine ausgedehnte Studie zur Funktion der Zählbecken schweizweit durchzuführen. Dabei sollten mehrere Zählbecken und Fangreusen an unterschiedlichen Flüssen einbezogen werden. So könnten künftige Aufstiegszählungen zuverlässiger interpretiert werden.

5.7 Verletzung der Fische

Fische können sich an den Fangeinrichtungen verletzen. Es gibt einige Arten, die infolge ihrer Grösse und Morphologie oder infolge ihres Verhaltens in der Reuse besonders für Verletzungen anfällig sind. Dies trifft für Alet, Lauben, Rotaugen und Barben zu. In der Reuse des KW Augst ist die Problematik am deutlichsten sichtbar. Nur 35 % der Fische wiesen überhaupt keine Verletzungen auf. Die Situation für die aufsteigenden Lauben ist hier besonders schwierig. Die protokollierten Verletzungsraten werden tatsächlich übertroffen, da diverse Fische in den Reusen tödlich verletzt waren und somit nicht mehr markiert wurden.

In den Zählbecken ist die Situation besser, jedoch nicht zufriedenstellend. Auch hier sollten Anstrengungen für eine geringere Verletzungsrate getroffen werden (z.B. kein Trockenfallen der Fische bei der Entnahme. Lösung: Fische werden in einer Rinne eingesammelt, die stets benetzt ist). Die festgestellten Verletzungen im Zählbecken auf der deutschen Seite fallen durch die Hälterung der Fische für die Markierung etwas höher aus als auf der Schweizer Seite. Künftig ist darauf zu achten, dass Hälterungen für die Markierung ausschliesslich in grossen Gefässen erfolgt.



6 Zusammenfassung der Probleme

6.1 Identifikation der Probleme und Empfehlungen für die Hauptstudie

In der folgenden Aufzählung werden die wichtigsten Probleme zusammengefasst und Lösungen vorgeschlagen.

6.1.1 Technische Einrichtungen

- Der zeitliche Aufwand für die Montage und Inbetriebnahme der Anlage ist hoch und sollte nicht unterschätzt werden. Es lohnt sich am Anfang genug Zeit in die Planung zu investieren, um später zuverlässige Aussagen treffen zu können.
- Die Funktion der Anlage ist mit regelmässigen Kontrollen sicherzustellen. Sogenannte „Markertags“ können zur späteren Identifikation von Funktionsunterbrechungen eingesetzt werden.
- Die Stromversorgung der Reader kann – je nach Ort - problematisch sein (z.B. durch Power Line Noise). Eine ausreichende Filterung der Netzspannung ist unbedingt nötig.
- Ein solides Erdungskonzept zur Gewährleistung der Personensicherheit, aber auch für den störungsfreien Betrieb, ist unumgänglich.
- Magnetische Interferenzen spielen an unseren Antennenstandorten am KW Rheinfelden keine wichtige Rolle, sie können jedoch an anderen Standorten und KW nicht ausgeschlossen werden.
- Im Idealfall sollten alle Eingänge einer FAH sowie deren Ausstieg mit Antennen verkabelt werden. Dies erleichtert die Interpretation der teils komplexen Bewegungsmuster und ermöglicht die Berechnung exakter Aufenthaltszeiten im UG.
- An jedem Antennenstandort sollten zwei Antennen montiert werden, damit sich die Wanderichtung eindeutig erkennen lässt. Wenn immer möglich sollte eher mit Antennen von kleiner Dimension gearbeitet werden. Dies erleichtert den Unterhalt.
- An den Reusen und Zählbecken sollten die Eingänge so gestaltet werden, dass die Fische nicht wieder aussteigen können. Dies ist eine der dringendsten Massnahmen, denn es führt automatisch zu einer grösseren Anzahl markierbarer Fische und reduziert artefakte Bewegungsmuster in den FAH infolge wiederabsteigender Fische, die in den Zählbecken nicht zurückgehalten werden konnten.

6.1.2 Bewilligungen für Tierversuche

- Die notwendigen Gesuche sind frühzeitig (zirka 4-5 Monate vor Markierungsbeginn) bei den zuständigen Behörden einzureichen. Eine ausreichende Schulung des Markierungspersonals ist für die Antragstellung sicherzustellen. Eine Einholung der Bewilligungen in Deutschland und der Schweiz ist angebracht. Somit lassen sich längere Transportwege für die Fische vermeiden.
- Die Markierung mittels Eugenol (Nelkenöl) kann von den zuständigen Veterinärbehörden in Frage gestellt werden. Sie empfehlen eher die Verwendung von Tricain. Die dabei nötige Wartezeit, bis zum Aussetzen der Fische von 21 Tagen (Anforderung aus den USA) oder 70 Tagesgraden (England), ist den meisten Behörden allerdings nicht bekannt. Hier gilt es, mit den Behörden zusammen eine angepasste Lösung zu entwickeln



6.1.3 Datenmanagement

- Es sind Tausende bis mehrere Millionen Einträge auf den Readern zu erwarten. Dies erfordert ein umsichtiges Datenmanagement, sowie umfassende Datenbanken und entsprechende statistische Methoden, um diese Datenmengen zu handhaben und biologisch zu interpretieren (Castro-Santos & Perry, 2012; Zabel et al, 2008).

6.1.4 Markierung und Transport der Fische

- Der Zeitaufwand für die Markierungen ist sehr hoch. Daher empfehlen wir, den Zeitpunkt der Markierung den tatsächlichen Aufwanderungshöhepunkten anzupassen (z.B. Markierung der Lauben und Egli im Herbst).
- Das Betreiben der Zählbecken ist dem effektiven Markierungsbedarf anzupassen. Die Markierpersonen könnten die Becken – mit Hilfe der Fischer – selbständig und nach ihren Bedürfnissen betreiben.
- Um eine hohe Anzahl von Fischen zu markieren, müssen die Zielarten und deren Fischgrössen den effektiv vorkommenden Arten angepasst werden. Von den seltenen Arten wie Äsche, Nase, Forelle, Aal, Brachsme und Groppe können nur äusserst wenige Individuen markiert werden. Dies bedingt eine Konzentration auf andere Zielarten. Nämlich auf Arten, die wesentlich häufiger sind (Barbe, Laube, Alet, Rotaug, Egli).
- Der Transport der Fische ist sehr zeitaufwendig und bedeutet für die Fische zusätzlichen Stress. Daher sollten Fische direkt am Fangort markiert und ins Oberwasser ausgesetzt werden. Ein Zurückversetzen der Fische unterhalb des KW wird besonders für die grossen Individuen (> 25 cm) nicht empfohlen. Ein weiterer Vorteil wäre, dass die Fische nicht zweimal am selben KW aufsteigen müssten und eine mögliche Erfahrung der Fische mit dem Aufstieg am selben KW ausgeschlossen werden könnte. Allerdings könnten dann im gesamten Projekt deutlich weniger Antennendetektionen registriert werden. Es gilt hier also, die Prioritäten zu bestimmen.
- Das Markieren der Laube wird dringendst empfohlen. Diese Fischart ist zu gewissen Zeiten sehr häufig und leicht mit 12 mm Marken zu markieren (Anästhesie notwendig).

6.2 Aufstiegsverhalten der Fische und Zählbecken

- Das Aufstiegsverhalten der Fische wird durch die Zählbecken gestört. Die Zählbecken sollten daher nur dann in Betrieb sein, wenn grosse Aufstiegszahlen für die Markierung zu erwarten sind.
- Der Einstieg in die Zählbecken und Reusen sollte so konstruiert werden, dass die Fische nicht mehr aus den Zählrichtungen entweichen können. Andernfalls sind die Zählrichtungen nicht effizient.
- Die jetzigen Zählbecken erwiesen sich als zu wenig effizient. Aus diesem Grunde ergibt sich ein Forschungsbedarf zur Funktion von Zählbecken. Es wird eine schweizweite Studie empfohlen, die mehrere Zählbecken und Reusen in verschiedenen Flüssen miteinbezieht.



6.3 Verletzung der Fische

Die Verletzung der Fische soll durch geeignete Massnahmen möglichst gering gehalten werden. Dies ist zum einen durch betriebliche Änderungen möglich, indem die Zählleinrichtungen häufig geleert werden (täglich 2-3 Mal). Ausserdem werden Modifikationen an den Reusen und beim Einsammeln der Fische vorgeschlagen. Die Fische sollten im Zählbecken beim Einsammeln nicht trockenfallen. Eine mit Wasser gefüllte Rinne könnte dies verhindern.



7 Zusammenfassung

An allen drei Fischaufstiegshilfen am Kraftwerk Rheinfelden wurden PIT-Tag Antennen und Lesegeräte montiert, um die mittels PIT-Tagging markierten Fische bei ihrer Aufwanderung zu erfassen. Insgesamt wurden in den Monaten Mai bis September 2016 an den Kraftwerken Augst, Wyhlen und Rheinfelden 2'042 Fische (19 Arten) markiert (N=551 für KW Augst, N=1'489 für KW Rheinfelden, N=2 für KW Wyhlen). Die häufigsten markierten Arten waren Barbe (N=1'119), Alet (N=332), Laube (N=267), Rotauge (N=140) und Egli (N=101). Fische < 160 mm wurden mit 12 mm Tags, Fische > 160 mm mit 23 mm Tags markiert. Grosse Barben aus Augst benötigten für ihre 8.5 km lange Aufwanderung bis Rheinfelden durchschnittlich 4.4 Tage, die schnellste Barbe nur gerade 15 Stunden. Die Barben bevorzugten deutlich den Einstieg beim Vertical-Slot Pass auf der Schweizer Seite. Nur wenige grössere Barben stiegen ins Umgehungsgerinne (UG) ein, kleinere Fische wie Lauben, kleine Barben, Alet, Egli und Rotaugen, bevorzugten jedoch den Aufstieg über das UG. Aufgrund langer Aufstiegszeiten von mehr als 24 Stunden für Alet, Egli und Rotaugen, die über den kleinen Einstieg in das UG einschwammen, kann man annehmen, dass das UG von diesen Individuen auch als Lebensraum genutzt wurde. Dagegen wurden die anderen Fischaufstiegshilfen (Raugerinnebeckenpass, Vertical-Slot Pass) schneller passiert und dienten vornehmlich der Wanderung. Die schnellste Aufstiegszeit einer Barbe im Vertical-Slot Pass betrug gerade einmal 18 min. Je nach Aussortort querten 27 – 82 % der Fische den Rhein. Vermutlich überquerten sie den Fluss aufgrund der Präferenzen für eine bestimmte FAH.

Die Beurteilung der Attraktivitätseffizienz wurde für die Einstiege einzeln vorgenommen. Der Vertical-Slot Pass und der grosse Einstieg im UG schnitten am besten ab. Für Barbe, Laube und Alet sind die Werte – im Vergleich zur internationalen Literatur – als gut zu bezeichnen. Für eine ausreichende Interpretation fehlen jedoch umfassende publizierte Studien. Die Passageeffizienz für den Vertical-Slot Pass ist als sehr gut, für den Raugerinnebeckenpass als gut einzustufen. Der kleine Einstieg am UG erzielt für Laube und Egli/Flussbarsch ein sehr gutes Resultat. Die Werte liegen höher als entsprechende Angaben aus der Literatur. Es existieren am KW Rheinfelden allerdings für verschiedene Arten deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen FAH. Der grosse Einstieg am UG konnte bezüglich der Passageeffizienz nicht bewertet werden (fehlende Antenne).

Das Risiko von Mehrfachzählungen durch wiederabsteigende Fische aus dem Oberwasser ist als gering einzustufen. In dieser Studie wurde nur eine Barbe zweimal in einem Zählbecken gefangen. Ein grosses Problem stellt hingegen die Effizienz der Zählbecken dar. Von den aufgestiegenen Individuen, die in die Zählbecken einschwammen, konnten im Schweizer Fischpass 36 % und im deutschen Zählbecken 85 % nicht gefangen werden, da sie wieder ausstiegen. 40 % der Barben im Vertical-Slot Pass stiegen nach einem erfolgreichen Aufstieg im Fischpass wieder ab, im Zählbecken verblieben sie also nicht. Die Zählungen unterschätzen daher deutlich die Anzahl wandernder Fische am KW Rheinfelden. Der Betrieb der Zählbecken blockiert die Wanderung der Fische und erschwert somit exakte Aussagen über die Aufwanderung. Ausserdem liessen sich deutliche artspezifische Verletzungen der Fische durch die Zählrichtungen nachweisen. Besonders betroffen waren Alet, Lauben, Rotaugen und Barben. Bezüglich des Einsatzes von Reusen und Zählbecken zur Aufstiegskontrolle an FAH, sehen wir dringenden Forschungsbedarf hinsichtlich der Effizienz und der Verbesserung des Schutzes der Fische.

Wir beabsichtigen, die Resultate dieser Vorstudie noch weitergehend auszuwerten und international zu publizieren.

Das Vorprojekt identifizierte Probleme und lieferte wertvolle Erfahrungen, welche im Kapitel 6 zuhanden des Hauptprojekts formuliert sind. Dieses wird in den Jahren 2017/2018 durchgeführt.



8 Literatur

Aarestrup, K., Lucas, M. C. & J. A. Hansen. 2003. Efficiency of a nature-like bypass channel for sea trout (*Salmo trutta*) ascending a small Danish stream studied by PIT Telemetry. *Ecology of Freshwater Fish*, 12:160-168.

ATV-DVWK. 2004. *Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen*. 256 Seiten.

Bunt, C. M., T. Castro-Santos & A. Haro. 2012. Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Research and Applications*, 28:457-478.

Bunt, C. M., C. Katopodis & R. S. McKinley. 1999. Attraction and passage efficiency of white suckers and smallmouth bass by two Denil fishways. *North American Journal of Fisheries Management* 19:793-803.

Castro-Santos, T. & R. Perry. 2012. Time-to-event analysis as a framework for quantifying fish passage performance. Seiten 427-452. In Adams, N. S., Beeman J. W. & J. H. Eiler, editors. *Telemetry techniques: a user guide for fisheries research*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.

Noonan, M. J., J. W. A. Grant & C. D. Jackson. 2012. A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries*, 13:450-464.

Marvin, D. P. 2012. The success of the Columbia Basin passive integrated transporter (PIT) tag information system. Seiten 95-134. In J. R. McKenzie, B. Parsons, A. C. Seitz, R. K. Kopf, M. Mesa & Q. Phelps, editors. *Advances in fish tagging and marking technology*. American Fisheries Society, Symposium 76, Bethesda, Maryland.

Hatry, C., T. R. Binder, J. D. Thiem, C. T. Hasler, K. E. Smokorowski, K. D. Clarke, C. Katappodis & S. J. Cooke. The status of fishways in Canada: trends identified using the national CanFishPass database. *Rev Fish Biol Fisheries*, 23:271-281.

R Core Team (2014). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

RStudio Team (2015). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>

Summerfelt, R. C. & L. S. Smith. 1990. Anesthesia, surgery, and related techniques. Seiten 213-272. In C. B. Schreck & P. B. Moyle, editors. *Methods for fish biology*. American Fisheries society, Bethesda, Maryland.

H. Wickham. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2009.

Zabel, R. W., B. J. Burke & M. L. Moser. 2008. Relating dam passage time of adult Salmon to varying river conditions using time-to-event-analysis. Pages 153-163. In Haro, A., K. L. Smith, R. A. Rulifson, & C. M. Moffitt, editors. *Challenges for diadromous fishes in a dynamic global environment*. American Fisheries Society Symposium, 61, Bethesda, Maryland.

Zydlewski, G. B., A. Haro, K. G. Whalen & S. D. McCormick. 2001. Performance of stationary and portable passive transponder detection systems for monitoring of fish movements. *Journal of Fish Biology*, 58:1471-1475.



9 Dank

Wir bedanken uns beim Bundesamt für Umwelt BAFU, welches diese Studie ermöglichte. Ansprechpartner war Lukas Bammatter. Bei der Energiedienst Holding AG, als Betreiberin des Kraftwerkes Rheinfelden, bedanken wir uns für die grosse Unterstützung und den Zugang zu den Anlagen. Jochen Ulrich, Hansjörg Matt und seinen Mitarbeitern am KW Rheinfelden sprechen wir einen besonders intensiven Dank aus. Grosse Unterstützung erhielten wir auch von den Fischern, welche die Fischzählungen durchführten, ganz speziell von Michael Strittmatter, der sich sehr einsetzte, damit wir bei unseren Einsätzen genügend Fische markieren konnten.

Unser Dank geht auch ans Kraftwerk Augst und Wyhlen. Michael Krarup und seine Mitarbeiter gewährten uns unkomplizierten Zugang zu den Anlagen in Augst und unterstützten uns hervorragend. Ganz besonderer Dank für die Koordinationsunterstützung geht an Yannick Hohler und seine Kollegen.

Ebenfalls bedanken möchten wir uns bei den zuständigen Fischereibehörden des Kantons Basel-Landschaft, des Kantons Aargau sowie des Regierungspräsidiums Freiburg. Die Zusammenarbeit war unkompliziert und speditiv. Für diverse Unterstützungen und Koordinationen bedanken wir uns auch bei Joachim Guthruf (Aquatika) und Werner Dönni (Fischwerk).

Schliesslich geht unser Dank an Kevin Cilurzo und Christine Peter, welche uns bei den Markierungen der Fische tatkräftig unterstützten. Bei Warren Leach von OREGON RFID und seinen Kollegen bedanken wir uns für die zahlreichen Tipps und Hilfeleistungen bei komplizierten technischen Problemen. Thomas Mettler half zu Beginn bei der Montage der Antennen. Besten Dank für diese Unterstützung. Dem Bundesamt für Umwelt (Sektion hydrologische Grundlagen Oberflächengewässer) danken wir für Bereitstellung der Abfluss- und Temperaturdaten der Messstelle Rheinfelden.



10 Anhang

10.1 Zusätzliche Längenfrequenzhistogramme

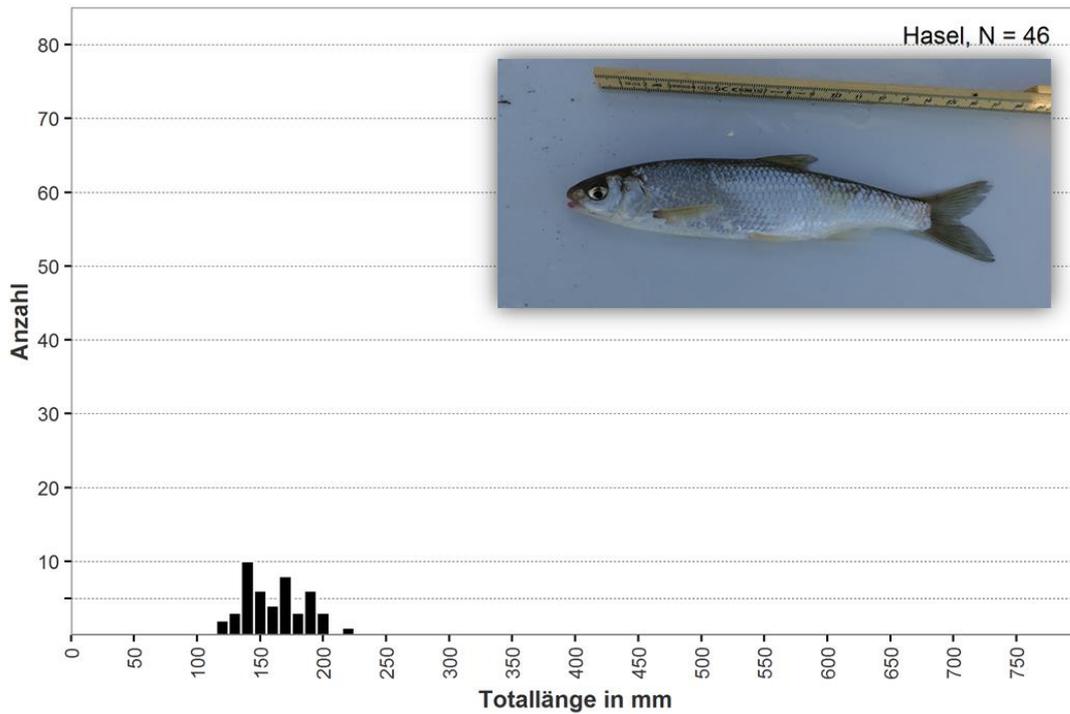


Abbildung 22: Längenfrequenzhistogramm des Hasels (*Leuciscus leuciscus*).

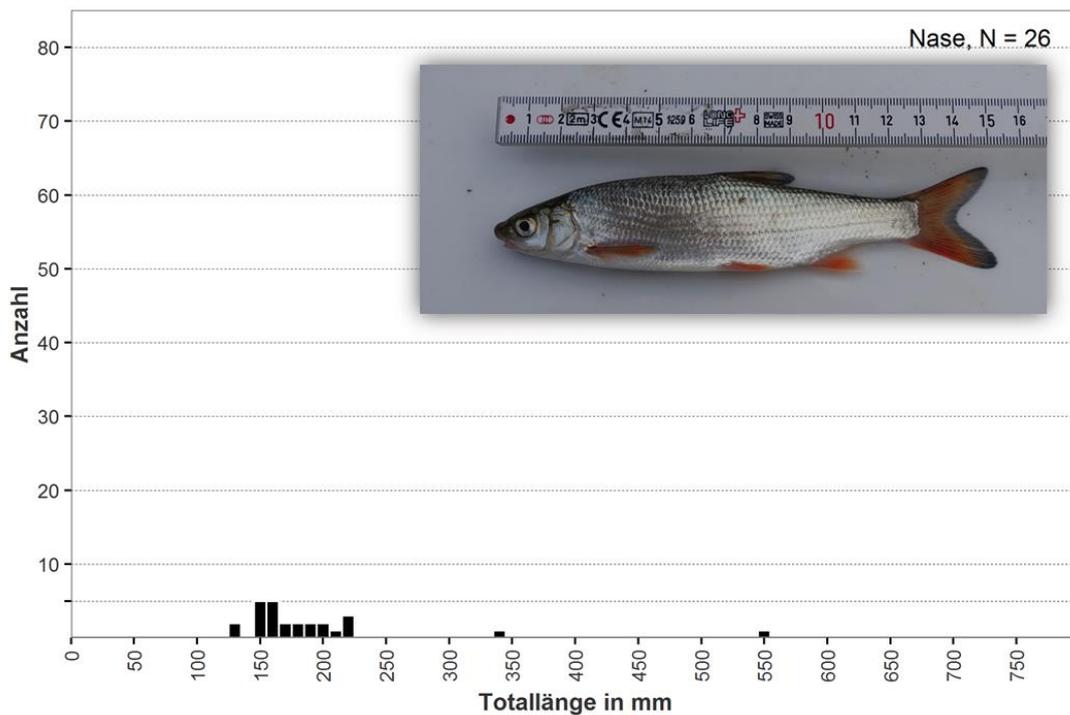


Abbildung 23: Längenfrequenzhistogramm der Nase (*Chondrostoma nasus*).



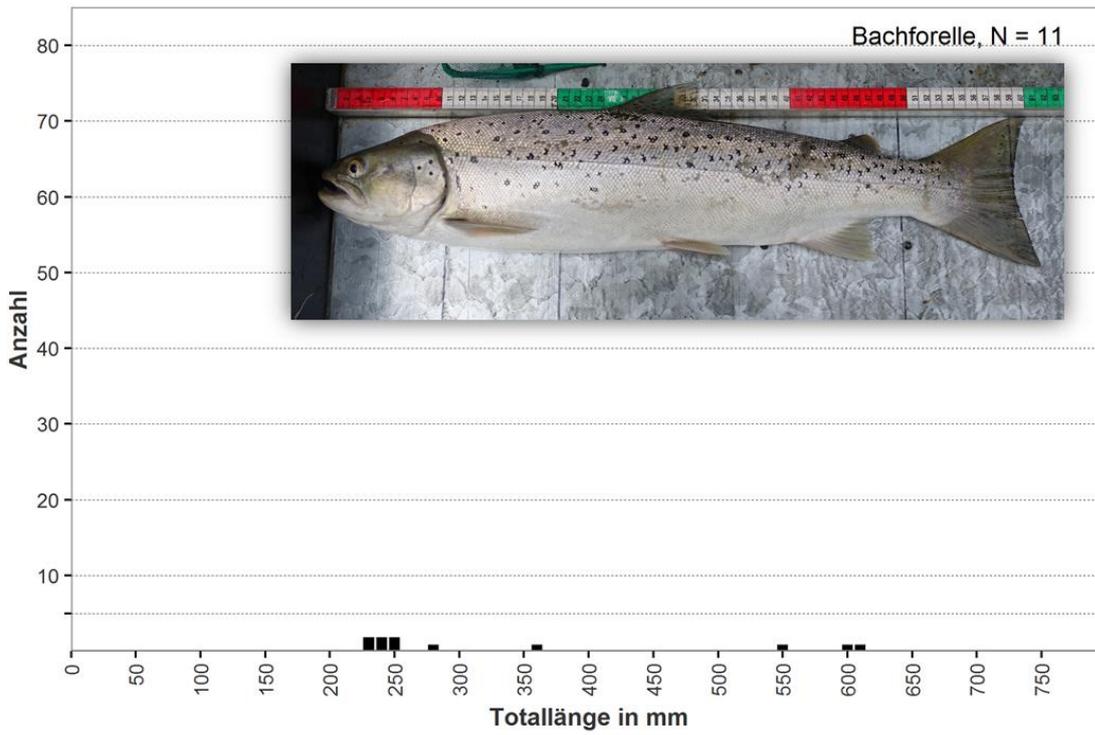


Abbildung 24: Längenfrequenzhistogramm der Forelle (*Salmo trutta*).

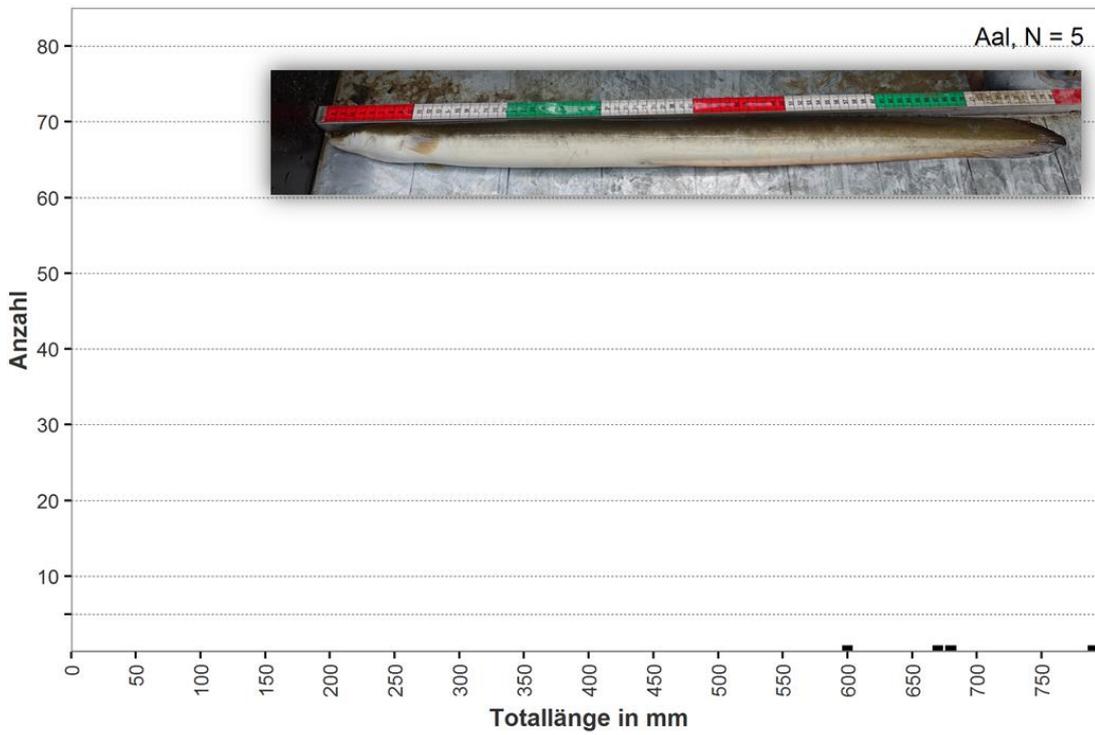


Abbildung 25: Längenfrequenzhistogramm des Aals (*Anguilla anguilla*).



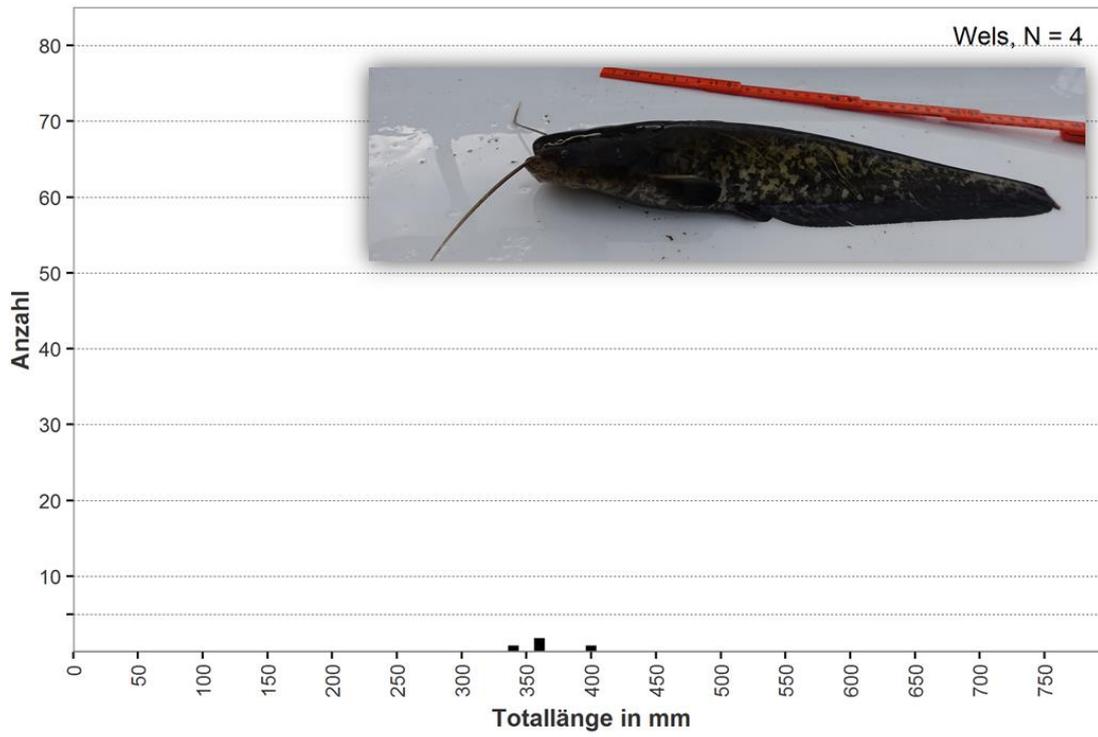


Abbildung 26: Längenfrequenzhistogramm des Wels (*Silurus glanis*).



10.2 Abfluss und Temperatur

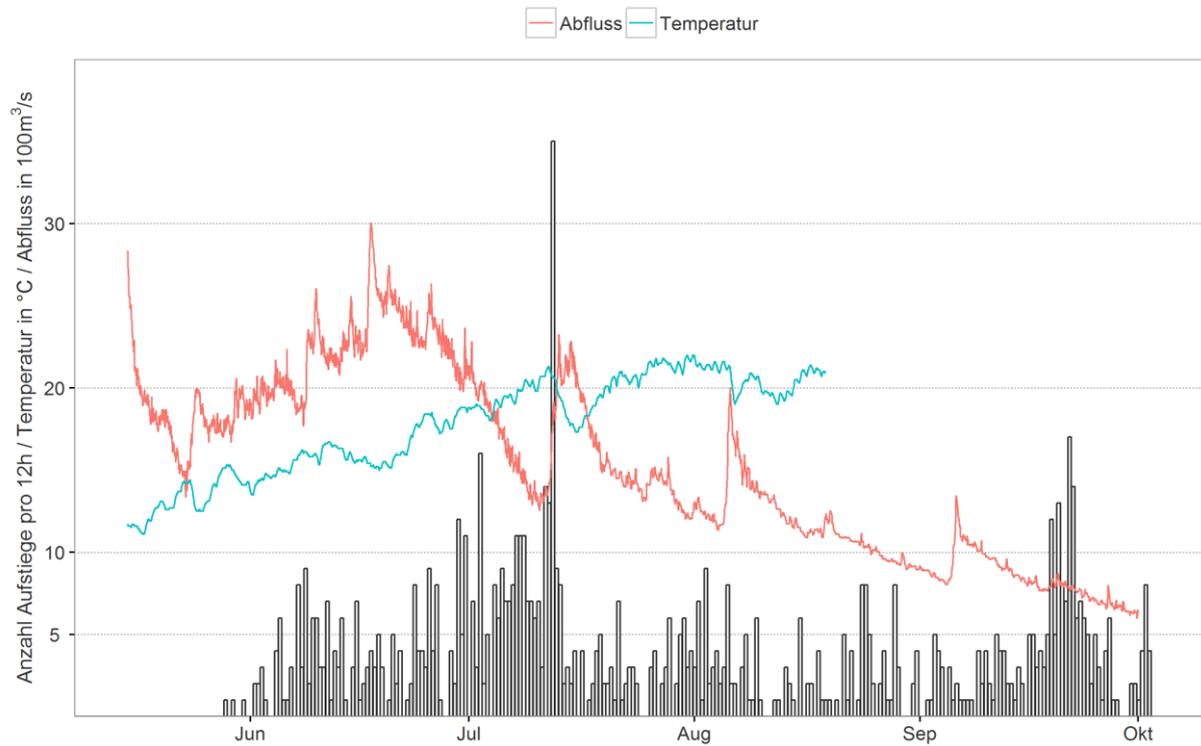


Abbildung 27: Abfluss in 100 m³/s, Temperatur in °C und Anzahl Fischeaufstiege pro 12 Stunden. Die Temperaturdaten standen bis zum Abschluss der Auswertungsarbeiten noch nicht vollständig zur Verfügung.



10.3 Abgebrochene Aufstiegsversuche

Im Zusammenhang mit Kapitel 4.8 Umkehr von Fischen – Funktion der Zählbecken interessiert es, ob einzelne Individuen nach erfolgter Umkehr und dem Abstieg, später erneut in derselben Fischaufstiegs- hilfe aufwanderten. Abbildung 28 stellt dar, wie oft ein Individuum den Aufstieg in derselben FAH ver- suchte und wieder umkehrte. Die meisten Individuen unternahmen nur einen Aufstiegsversuch. Einzelne Fische versuchten allerdings 5-6 Mal aufzusteigen. Die Anzahl der Fische, die einen Wiederauf- stieg versuchten, nimmt jedoch deutlich ab. Ob es sich dabei um einen Lerneffekt oder um den Verlust der Aufwanderungsmotivation handelt, kann nicht entschieden werden. Besonders Barben, Lauben und Rotaugen versuchten mehrmals aufzusteigen. Dies könnte auch mit den Laichwanderungen dieser Arten zusammenhängen.

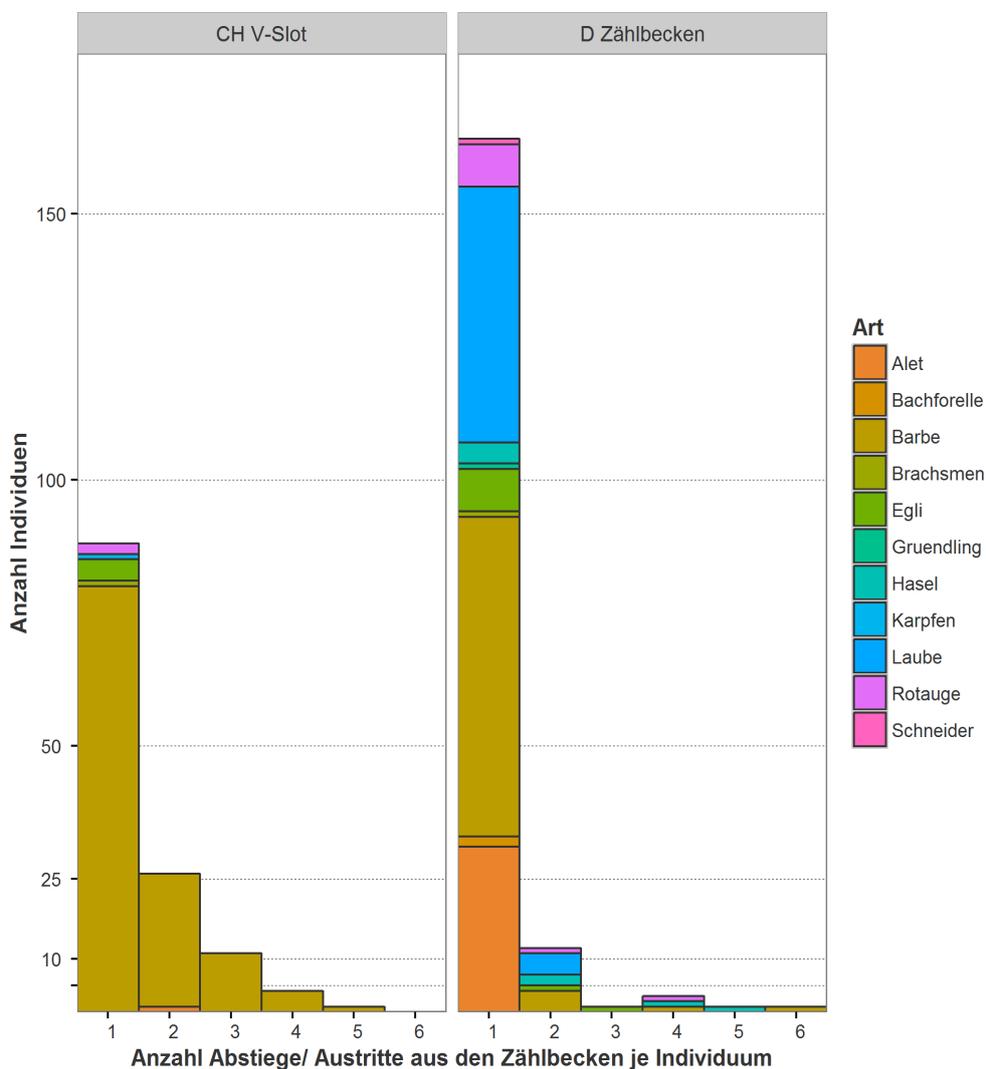


Abbildung 28: Anzahl Abstiege im CH-V Slot und Austritte im Zählbecken D je Individuum. Die Grafik wird durch die Barben, Alet und Lauben dominiert.

