

Schlussbericht PIT-Tagging am KW Schiffmühle und Aue an der Limmat 2017 - 2020

30.06.2020



Auftrag: Limmatkraftwerke AG

Autoren: Nils Schölzel, Biologe M.Sc., Lisa Wilmsmeier, Biologin M.Sc., Armin Peter, Dr.

Auftraggeber

Limmatkraftwerke AG
Haselstrasse 15
5400 Baden

Kontaktperson

Andreas Doessegger
andreas.doessegger@regionalwerke.ch

Auftragnehmer

FishConsulting GmbH
Hagmattstr. 7
4600 Olten
Tel. 079 964 06 44
apeter@fishconsulting.ch

Projektleitung

Dr. Armin Peter, FishConsulting GmbH, Olten

Zitierungsvorschlag

Schölzel, N., Wilmsmeier, L. & A. Peter. 2020. Schlussbericht PIT-Tagging am KW Schiffmühle und Aue an der Limmat 2017 - 2020. 40 S.

Hinweis

Diese Studie wurde im Auftrag der Limmatkraftwerke AG, Baden verfasst. Im Rahmen des EU-Forschungsprojekts FiTHydro wurden die Untersuchungen aber in einem umfangreicheren Rahmen durchgeführt. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Foto auf dem Titelblatt:

Blick in Richtung stromaufwärts am KW Schiffmühle, im Herbst 2018.



Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Hintergrund und Methoden	4
2.1	Hintergrund	4
2.2	Methoden.....	4
2.2.1	<i>Radio Frequency Identification (RFID)</i>	4
2.2.2	<i>RFID-Antennenkonfigurationen</i>	4
2.2.3	<i>Markierung der Fische mit PIT-Tags</i>	6
2.2.4	<i>Fischfang und Aussatz</i>	7
2.2.5	<i>Datenauswertung</i>	8
2.2.6	<i>Definitionen zur Auswertung</i>	8
2.2.7	<i>Störfälle</i>	9
3	Resultate	10
3.1	Kraftwerk Schiffmühle.....	10
3.1.1	<i>Fischaufstieg Kraftwerk Schiffmühle</i>	10
3.1.2	<i>Zeitlicher Verlauf der Aufstiege am KW Schiffmühle</i>	16
3.1.3	<i>Passagedauer der FAH am KW Schiffmühle</i>	18
3.1.4	<i>Fischabstieg Kraftwerk Schiffmühle</i>	19
3.2	Kraftwerk Aue.....	21
3.2.1	<i>Fischaufstieg Kraftwerk Aue</i>	21
3.2.2	<i>Zeitlicher Verlauf der Aufstiege am KW Aue</i>	28
3.2.3	<i>Passagedauer KW Aue</i>	31
3.2.4	<i>Fischabstieg KW Aue</i>	31
4	Bewertung und Diskussion	33
4.1	Fischaufstieg.....	33
4.1.1	<i>Fischaufstieg KW Schiffmühle</i>	34
4.1.2	<i>Fischaufstieg KW Aue</i>	36
4.2	Fischabstieg	38
4.2.1	<i>Fischabstieg Kraftwerk Schiffmühle</i>	38
4.2.2	<i>Fischabstieg Kraftwerk Aue</i>	38
5	Fazit	39
6	Dank.....	39
7	Literatur	40



1 Zusammenfassung

Am Kraftwerk (KW) Schiffmühle an der Limmat wurde vom 28.09.2017 bis zum 25.02.2020 und am Kraftwerk Aue vom 05.06.2018 bis zum 25.02.2020, eine Funktionskontrolle des Fischauf- und des Fischabstiegs durchgeführt. Diese wurde mittels PIT-Tagging/ RFID durchgeführt. An beiden Kraftwerken wurden die Fischaufstiegshilfen (FAH) sowie die Bypässe mit RFID-Antennen ausgestattet. Insgesamt wurden 3'087 Individuen aus 17 Fischarten am KW Schiffmühle mit PIT-Tags markiert und in die Limmat wieder ausgesetzt. Am KW Aue wurden insgesamt 379 Individuen aus 15 Arten markiert, hinzu kamen 24.9 % der Fische vom KW Schiffmühle, welche bis zum KW Aue aufgestiegen waren. Die Fische stammten zum Grossteil aus den Fangeinrichtungen in den FAH, das heisst dem Zählbecken am KW Schiffmühle und der Reuse am KW Aue. Zudem wurden jeweils im Oberwasser der Kraftwerke Elektrofischungen vom Boot aus durchgeführt. Die Fische wurden jeweils im Unterwasser der Kraftwerke ausgesetzt (130 -160 m stromabwärts des unteren FAH-Einstiegs). Am KW Schiffmühle fand zusätzlich eine Elektrofischung im unmittelbaren Unterwasser des Kraftwerks statt. Diese Fische wurden 160 m stromaufwärts der Bypass-Mündung ins Oberwasser versetzt und sollten über was KW Schiffmühle absteigen.

Die Fischaufstiegshilfen konnten an beiden Kraftwerken als funktionsfähig beurteilt werden. Zur Beurteilung wurden die artspezifischen Attraktions-, Einstiegs- und Passageeffizienzen berechnet und verglichen. Zudem wurden die Passagezeiten und das Längenspektrum der markierten und aufgestiegenen Fischarten ermittelt und bewertet. Einschränkungen ergaben sich bei der Bewertung hinsichtlich der Funktionsfähigkeit der FAH für grosse Fische über 250 mm Totallänge, sowie für die sohlorientierten Arten Groppen und Gründlinge. Zudem konnten nur wenige Individuen aus der Gruppe der Salmoniden markiert werden.

Der Fischabstieg erfolgte an beiden Standorten vorwiegend über unbekannte Korridore sowie die FAH. Der Bypass wurde in der Aue nicht benutzt und in der Schiffmühle von höchstens zwei Individuen. Insgesamt wurden die Fischabstiegshilfen damit als nicht funktionsfähig eingestuft.



2 Hintergrund und Methoden

2.1 Hintergrund

In diesem Bericht werden die Endergebnisse des Monitorings zur Funktionskontrolle der Fischaufstiegshilfen (FAH) und des Fischabstiegs mittels PIT-Tagging am Kraftwerk (KW) Schiffmühle und am KW Aue an der Limmat dargestellt. Berücksichtigt wurden die Fischbewegungen seit der ersten Markierung von Fischen ab dem 28.09.2017 bis zum 25.02.2020.

2.2 Methoden

2.2.1 Radio Frequency Identification (RFID)

Die eingesetzte Methode zum Monitoring der Fischaufstiegshilfen an den Kraftwerken Schiffmühle und Aue an der Limmat, ist die der Radio Frequency Identification oder auch PIT-Tagging genannt. PIT steht für Passive Integrated Transponder. Die Fische in dieser Studie wurden mit sogenannten PIT-Tags markiert. Es handelt sich dabei um kleine, in eine Glashülle gefasste, elektronische Marken, mit einer individuellen Identifikationsnummer. Diese Identifikationsnummern können die Marken an eine Antenne senden, sobald sie in deren Reichweite kommen. Ein mit der Antenne verbundener Logger speichert diese Information zusammen mit dem Zeitpunkt der Detektion. Die Vorteile der PIT-Tags liegen in ihrer geringen Grösse und der praktisch unendlichen Haltbarkeit, da sie keine interne Batterie benötigen, sondern im Antennenfeld per Induktion angeregt werden. Der Nachteil ist die begrenzte Reichweite der Antennen von ca. 50 – 100 cm, in Abhängigkeit von der Taggrösse und der Antennenkonfiguration.



Abbildung 1: Antennen im Schlitzpass des KW Aue. Links: Unterste Antenne am Einstieg. Rechts: Obere Antenne am Einstieg.

2.2.2 RFID-Antennenkonfigurationen

Alle Antennen wurden als sogenannte «Durchschwimmantennen» ausgeführt, wodurch die Antennen den gesamten Querschnitt in einer FAH abdeckten (vgl. Abbildung 1). Die unteren Antennen je Einstieg



wurden so nah wie möglich an der Einstiegsöffnung positioniert, jedoch mit einem Abstand, sodass sie nach Möglichkeit bei Hochwasser nicht überspült wurden und somit von den Fischen, nicht ohne detektiert zu werden, umschwommen werden konnten. Es wurden jeweils zwei konsekutive Antennen an den Einstiegen der FAH verwendet, um aus der zeitlichen Abfolge der Detektionen die Bewegungsrichtung der Fische ableiten zu können. Über die unteren Antennen sollte zudem herausgefunden werden, welche Fische nur am Einstieg der FAH detektiert werden, ohne wirklich einzusteigen.

Am oberen Ende wurden die Antennen möglichst nah an den Ausstieg aus der jeweiligen FAH gelegt, um fast die komplette FAH bis zum vollendeten Aufstieg abzudecken. Aus Kostengründen wurden an den oberen Enden der FAH nur einzelne Antennen eingesetzt, wodurch eine Richtungszuweisung an dieser Stelle nicht möglich war. Die Richtung wurde aus den Detektionen auf den unteren beiden Antennen in einer FAH abgeleitet.



Abbildung 2: Das Dotierkraftwerk Schiffmühle aus der Luft. Die Fließrichtung der Limmat ist von links nach rechts. Zu erkennen sind die beiden Einstiegsarme der FAH, das Raugerinne (RG) und der Schlitzpass (SP), sowie der Ausstieg aus der FAH ins Oberwasser (AS). Unten im Bild ist der Ausleitungskanal in Richtung Hauptkraftwerk.

2.2.2.1 KW Schiffmühle

Am KW Schiffmühle wurde die Registrierungsanlage mit allen Antennen am 28.09.2017 mit der ersten Markierung in Betrieb genommen. Hier befinden sich zwei Antennen (Übergang 2./3. Becken resp. Übergang 4./5. Becken) am Einstieg in den Schlitzpass. Die zwei Antennen am Einstieg des Raugerinnes befinden sich am Übergang vom 3./4. Becken resp. vom 5./6. Becken. Nach 10 Schlitzpassbecken und 12 Raugerinnebecken, wird die FAH in Form eines Raugerinnes mit 13 Becken weitergeführt. Nach oben hin schliesst daran nochmals ein Becken mit zwei Riegeln an, welche als Schlitzpass ausgeführt sind. Zunächst war die oberste Antenne am zweitobersten Schlitz angebracht. Später musste sie allerdings aus technischen Gründen (Störungen im Betrieb), an den obersten Schlitz verlegt werden. Neben



den 5 Antennen in der FAH wurde eine Antenne am Rohr des Fischabstiegs-Bypasses installiert, um über den Bypass absteigende Fische zu registrieren.

2.2.2.2 KW Aue

Am Kraftwerk Aue wurden ab dem 05.06.2018 zunächst nur die drei Antennen im Fischaufstieg angeschlossen. Hier befinden sich analog zum KW Schiffmühle 2 Antennen am Einstieg in den Schlitzpass zwischen dem 1./2. Becken resp. 4./5. Becken. Die Antenne am oberen Ende befindet sich zwischen dem 1./2. obersten Becken. Insgesamt weist die Anlage 34 Becken auf. Die Antenne für den Fischabstieg am KW Aue wurde in einem Schacht vor der oberwasserseitigen Öffnung der Bypassleitung installiert. Sie ist seit dem 28.08.2018 in Betrieb.

2.2.3 Markierung der Fische mit PIT-Tags

Zur Markierung kamen HDX (Half-Duplex) PIT-Tags, bezogen über Oregon-RFID, zum Einsatz (Hersteller Texas Instruments, ISO 11784/11785). Es wurden zwei verschiedene Grössen benutzt. Fische mit einer Totallänge von unter 150 mm bekamen einen 12 mm PIT-Tag, grössere Fische einen 23 mm PIT-Tag. Die PIT-Tags wurden unter Narkose den Fischen durch einen kleinen Schnitt in die Bauchhöhle implantiert. Es erfolgte keine spezielle Wundbehandlung. Die Narkose wurde mit einem Eugenolbad (Nelkenöl) eingeleitet. Die Dosierung war 35-40 mg/L. Die Fische wurden ab dem Erreichen der Anästhesiestufe 4 - 5 markiert (Summerfelt & Smith 1990). Anschliessend wurden die Fische für mindestens 30 min bzw. bis zur sichtbaren Erholung von der Narkose, in einem mit Sauerstoff angereichertem Becken gehältert, bevor sie an den benannten Aussatzzorten zurück in das Gewässer versetzt wurden.



Abbildung 3: Oben: Schneider. Unten: Laube mit 12 mm PIT-Tag.



2.2.4 Fischfang und Aussatz

2.2.4.1 KW Schiffmühle

In der Schiffmühle kamen drei Methoden für den Fischfang zum Einsatz. Dies war zum einen die wattend ausgeführte Elektrofischerei im Unterwasser, direkt unterhalb des KW Schiffmühle mit insgesamt 124 markierten Fischen (vgl. Tabelle 4 für genaue Artzusammensetzung). Im Zählbecken wurden insgesamt 2890 Fische gefangen und damit der Grossteil der markierten Fische (vgl. Tabelle 1 für genaue Artzusammensetzung). Aus dem Oberwasser wurden am 26.9.2018 mittels Elektrofischerei von einem Boot aus, 73 Fische gefangen (vgl. Tabelle 3 für genaue Artzusammensetzung).

Der Aussatz der Fische erfolgte ca. 160 m stromabwärts des RaugerinneEinstiegs in die FAH bzw. 210 m stromabwärts des SchlitzpasseEinstiegs in die FAH am gleichen Ufer (orografisch links).

Eine Ausnahme bilden die im Unterwasser gefangenen Fische, welche in erster Linie zum Monitoring des Fischabstiegs am KW Schiffmühle, im Oberwasser ausgesetzt wurden. Deren Aussatz erfolgte ebenfalls am orografisch linken Ufer, ca. 160 m stromaufwärts der Bypassmündung.

2.2.4.2 KW Aue

Am Kraftwerk Aue wurden 239 Fische zur Markierung mit der Reuse in der FAH gefangen (vgl. Tabelle 9 für die genaue Artzusammensetzung). Daneben konnten am 25.9.2018, 140 Fische im Oberwasser des KW Aue mittels Elektrofischerei von einem Boot aus gefangen werden (vgl. Tabelle 10 für die genaue Artzusammensetzung).

Der Aussatz der Fische am KW Aue erfolgte ca. 130 m unterhalb des Einstiegs in die FAH am orografisch linken Ufer.



Abbildung 4: Oben: Nase. Unten: Bachforelle.



2.2.5 Datenauswertung

2.2.5.1 *Fischaufstieg*

Die Auswertung der Daten erfolgte hinsichtlich der Fragestellung, welche Individuen bisher wieder detektiert werden konnten und ob sie erfolgreich aufgestiegen sind. Falls sie erfolgreich aufgestiegen sind, wurde der erste vollständige Weg des Aufstiegs als Route angenommen. Diese Annahme ist für eine vereinfachte Betrachtung nötig, da zahlreiche Fische komplexe Bewegungen innerhalb der FAH zeigten. Die Auswertung dieser komplexen Bewegungen, die entweder auf ein Suchverhalten, oder eine Nutzung der FAH als Lebensraum hindeuten, ist wesentlich aufwendiger und nicht Teil der Funktionskontrolle der FAH am KW Schiffmühle bzw. KW Aue.

2.2.5.2 *Fischabstieg*

Für den Fischabstieg standen an beiden Standorten sowohl ein Bypass am Dotierkraftwerk, die FAH, sowie der Weg über das Hauptkraftwerk zur Verfügung. Bei Wehrüberfall war auch dieser Korridor nutzbar für die Fische. Mit dem PIT-Tagging konnten nur die Bypässe und die FAH abgedeckt werden. Der Abstieg über das Hauptkraftwerk, oder das Wehr konnte nur aus Wiederdetektionen nach einem erfolgreichen Aufstieg eines Fisches abgeleitet werden. In der Schiffmühle kamen diejenigen Fische hinzu, die aus der Aue stammten und diejenigen, welche extra zum Monitoring des Fischabstiegs im Oberwasser ausgesetzt wurden. Für diese Fische wurde kein vorausgegangener erfolgreicher Aufstieg in der FAH vorausgesetzt.

Für aufgestiegene Fische über die FAH wurde eine Unterteilung vorgenommen, in Fische welche nach dem Aufstieg binnen 6 h wieder über die FAH abstiegen und solche, welche später abstiegen. Es lag nahe, dass einige Fische die FAH nicht in Richtung Oberwasser verließen. Aufgrund der einzelnen Antenne am oberen Ende der FAH, war hier die Ableitung der Bewegungsrichtung aus einer Detektionsabfolge nicht möglich. Daher wurde das genannte zeitliche Limit eingeführt und davon ausgegangen, dass ein Fisch nach 6 h die FAH in Richtung Oberwasser zumindest einmal verlassen hatte. Die Idee hinter dieser Unterteilung ist, dass ein Fisch, welcher die FAH ins Oberwasser verlässt und später wieder über die FAH absteigt, diese mehr oder weniger bewusst als Abstiegskorridor ausgewählt haben muss.

Wurde die mittlere Antenne beim Abstieg über die FAH ausgelassen, ergab sich ein Konflikt in der Deutung über den Abstiegskorridor. Der Fisch musste nicht zwingend über die FAH abgestiegen sein, ebenso sehr konnte er über einen unbekanntem Abstiegsweg erneut an den Einstieg der FAH gelangt sein. Hier konnte wieder nur der Abstand der Detektionen einen Hinweis auf den Abstiegsweg geben. Folgte die Detektion auf der untersten Antenne (am KW Schiffmühle im Raugerinne, als auch im Schlitzpass) mehr als 48 h nach der letzten Detektion auf der obersten Antenne, so wurde davon ausgegangen, dass der Fisch nicht die FAH als Abstiegskorridor benutzte.

2.2.6 Definitionen zur Auswertung

Die folgenden Parameter können u.a. bei einem Monitoring mittels PIT-Tagging untersucht werden und ermöglichen eine detaillierte Beurteilung der einzelnen Objekte, sowie die Identifikation möglicher Engpässe („Bottlenecks“) bei der Fischwanderung. Ein normaler Aufstieg hat für einen vom Unterwasser kommenden Fisch folgende Detektionsreihenfolge: 1.Antenne (Attraktion/ Lokalisieren des FAH-Einstiegs), 2.Antenne (Einstieg in die FAH), 3.Antenne (erfolgreicher Aufstieg).

- **Attraktionseffizienz** (vereinfacht): Anteil der markierten Fische im Unterwasser eines Hindernisses, welche den Eingang zu einer FAH lokalisieren können (auf der 1.Antenne detektiert werden). Dieser Parameter gibt vereinfacht Aufschluss über die Auffindbarkeit einer FAH bzw. der verschiedenen Einstiege in eine FAH (wie z.B. am KW Schiffmühle).



- **Einstiegseffizienz:** Anteil der Fische welche in die FAH (bzw. einen FAH-Einstieg) einsteigen (das heisst auf der 2.Antenne detektiert wurden), von denen die die FAH (bzw. einen FAH-Einstieg) lokalisieren konnten (Detektion auf der 1.Antenne).
- **Passageeffizienz:** Anteil der Fische, die nach einem Einstieg in eine FAH (Detektion auf der 2.Antenne) die FAH auch erfolgreich passieren (Detektion auf 3.Antenne) (Bunt et al. 2012)).
- **Passagedauer:** Die Zeit vom Einstieg (letzter Kontakt mit der unteren Antenne einer FAH) bis zum Erreichen der obersten Antenne einer FAH bzw. des Oberwassers.

Niedrige Attraktions-, Einstiegs- und Passageeffizienzen deuten auf Probleme bei der Funktionsfähigkeit von FAH hin. Die erhobenen Parameter können Hinweise darauf geben, wo die Probleme an einzelnen Objekten zu suchen sind. Diese können zum Beispiel bei der Auffindbarkeit oder der Durchwanderbarkeit liegen und gegebenenfalls sogar fischarten- oder grössenspezifisch sein.

Die Attraktionseffizienz entspricht einer Wiederdetektionsrate aller ausgesetzten Fische am Standort KW Aue. Am Standort KW Schiffmühle wird die Attraktionseffizienz spezifisch für jeden Einstieg berechnet. Das heisst, ein Fisch der jeweils von Unterwasser kommend in den Schlitzpass einstieg und zusätzlich in das Raugerinne, wurde für die Attraktionseffizienz bei beiden Einstiegen miteinbezogen. Dies jedoch nur, bis der erste vollständige Aufstieg von diesem Individuum vollzogen wurde. Bewegungen danach wurden nicht mehr gewertet. Das gleiche gilt für die Einstiegseffizienz und die Passageeffizienz. Auch hier konnten einzelne Individuen für beide Einstiege gewertet werden. Jedoch nur so lange, bis sie einen Aufstieg vollzogen hatten (Detektion auf 3.Antenne). Für die Berechnung der Attraktionseffizienz der gesamten Anlage und der Einstiegseffizienz der gesamten Anlage wurden alle Fische nur einmal gezählt. Das gleiche gilt für die Passageeffizienz der gesamten Anlage.



Abbildung 5: Links: Kofferdamm am KW Schiffmühle nach dem Defekt des Wehres. Rechts: Erhöhter Abfluss infolge Wehrröffnung am KW Schiffmühle.

2.2.7 Störfälle

Insbesondere der Wehrbruch in der Schiffmühle am 9.6.2018 führte zu einer Situation, bei der der Fischaufstieg bis zum 6.7.2018 teilweise über das abgelegte Wehr oder den provisorischen Kofferdamm möglich war (vgl. Abbildung 5). Bis zum 21.8.2018 war zudem sogar theoretisch ein Fischaufstieg über die Turbine möglich. Ausserdem wurde beim Ausbaggern des Oberwasserkanals ein Grossteil des Materials wieder in die Restwasserstrecke unterhalb des Dotierkraftwerks Schiffmühle gegeben. Dies führte ebenfalls zu einer veränderten Situation im Unterwasser und bewirkte durch einen verringerten Gewässerquerschnitt eine höhere Strömungsgeschwindigkeit (vgl. Abbildung 6). Ein Effekt der hydraulischen Veränderungen im Unterwasser des KW Schiffmühle auf den Fischaufstieg ist nicht auszuschliessen. Insgesamt werden diese besonderen Ereignisse jedoch nicht in der vorliegenden



Auswertung berücksichtigt.

Durch den Betrieb des Zählbeckens am KW Schiffmühle bzw. der Reuse am KW Aue, zum Fang der Fische für diese Studie, wurde der Fischaufstieg jeweils unterbrochen. Am KW Schiffmühle wurden 11 Schneider, 8 Alet und 2 Barben wieder im Zählbecken gefangen, die bereits markiert waren. Am KW Aue wurde lediglich eine Barbe in der Reuse wiedergefangen.



Abbildung 6: Links: Veränderte Leitströmung des Einstiegs in den Schlitzpass am KW Schiffmühle. Die Leitströmung geht gerade und reicht bis zum Wehr. Unter Normalbetrieb würde die Leiströmung schnell von der Turbinenströmung abgelenkt. Rechts: Im Hintergrund ist die temporäre Querschnittsverengung der Restwasserstrecke durch das Geschiebe aus dem Oberwasserkanal zu erkennen.

3 Resultate

3.1 Kraftwerk Schiffmühle

3.1.1 Fischaufstieg Kraftwerk Schiffmühle

Am KW Schiffmühle wurden bisher 3'087 Fische mit PIT-Tags markiert. Davon konnten seit dem 28.09.2017 insgesamt 2'018 Fische wieder auf den Antennen in den FAH am KW Schiffmühle registriert werden. Dies entsprach einer relativ hohen Attraktionseffizienz der ganzen Anlage von 65.4 %. Wenn man die im Oberwasser ausgesetzten Fische ausschliesst, wurden insgesamt 2'003 Fische wiederdetektiert von 2'963. Dies entspricht einer Attraktionseffizienz von 67.6 %. Von den wiederdetektierten Fischen stiegen 38.2 % im Raugerinne auf und 37.9 % im Schlitzpass. Für ca. 1.5 % (30 Fische) ist der Aufstiegsweg unbekannt, sie wurden nur auf der obersten Antenne detektiert. Im Zusammenhang mit den Störfällen (vgl. Kapitel 2.2.7) ist nicht auszuschliessen, dass zusätzlich Fische über einen anderen Weg als die FAH aufgestiegen sind.

Die drei Gruppen der markierten Fische (Zählbecken, Oberwasser und Unterwasser) werden im Folgenden getrennt betrachtet, da sie unterschiedliche Voraussetzungen für den Aufstieg am KW Schiffmühle hatten. So sind die Fische aus dem Zählbecken bereits einmal bis zum Zählbecken in der FAH aufgestiegen, während die Fische aus dem Oberwasser bisher nicht zwingend die FAH in ihrem Leben passiert haben müssen. Ausserdem kann die Motivation der Oberwasserfische eine andere sein, wie z.B. das sogenannte «Microhoming». Dies bedeutet, dass die Fische versuchen an ihren angestammten Standplatz bzw. an den Fangort zurück zu kehren. Die Fische aus dem Unterwasser wurden ins Oberwasser versetzt, um genau diesen Effekt des «Microhomings» für den Fischabstieg zu nutzen.

3.1.1.1 Fische gefangen im Zählbecken

Aus dem Zählbecken am KW Schiffmühle wurden insgesamt 2'890 Fische entnommen und markiert. Der Grossteil entfiel auf die Arten Barbe, Alet, Schneider und Rotaugen. Die Details sind in Tabelle 1 aufgeführt. Von den markierten Fischen konnten 67.3 % an den Antennen am KW Schiffmühle wiederdetektiert werden. 95.5 % der wiederdetektierten Fische stiegen in die FAH ein und 81.4 % davon



passierten die FAH erfolgreich in Richtung Oberwasser.

Die Attraktionseffizienz unterschied sich zwischen den Arten, lag aber meist zwischen ca. 60 und 90 %. Ausnahmen bilden diejenigen Arten mit wenigen Individuen, bei denen die Attraktionseffizienz bei 0 oder 100 % lag, wie z.B. bei den Bachforellen (100 %) oder den Rotfedern (0 %). Bemerkenswert ist die niedrige Attraktionseffizienz von 6.2 % der Gründlinge, von denen nur ein einziges Individuum wiederdetektiert werden konnte. Die Haseln wiesen mit 89 % die höchste Attraktionseffizienz auf, welche auf einer grösseren Anzahl an Individuen basierte. Danach folgten Rotaugen mit 81.4 % und Schneider mit 76.5 % Attraktionseffizienz.

Tabelle 1: Übersicht der markierten, detektierten und aufgestiegenen Fische am KW Schiffmühle, welche im **Zählbecken** gefangen wurden. Angegeben sind die Attraktions-, Einstiegs- und Passageeffizienzen je Art und FAH-Einstieg, sowie für die gesamte Anlage. SP = Schlitzpass, RG = Raugerinne.

Art	N markiert	N detektiert	N Einstieg gesamt	Unbekannter Aufstiegsweg	Schlitzpass Aufstieg	Raugerinne Aufstieg	SP Attraktionseffizienz in %	SP Einstiegseffizienz in %	SP Passageeffizienz in %	RG Attraktionseffizienz in %	RG Einstiegseffizienz in %	RG Passageeffizienz in %	Attraktionseffizienz ganze Anlage in %	Einstiegs-effizienz ganze Anlage in %	Passageeffizienz ganze Anlage in %
Alet	496	292	281	3	50	158	14.3	100	70.4	50.8	90.9	69	58.9	96.2	75.1
Bachforelle	2	2	1	0	1	0	50	100	100	50	0	-	100	50	100
Barbe	1278	806	777	13	442	202	42.3	97.8	83.6	24.3	84.2	77.4	63.1	96.4	84.6
Egli	134	90	88	2	17	41	23.1	100	54.8	50.7	95.6	63.1	67.2	97.8	68.2
Groppe	3	0	0	0	0	0	0	-	-	0	-	-	0	-	0
Gründling	16	1	0	0	0	0	0	-	-	6.2	0	-	6.2	0	0
Hasel	82	73	64	3	6	46	9.8	100	75	79.3	84.6	83.6	89	87.7	85.9
Laube	105	76	74	3	25	29	35.2	100	67.6	40	90.5	76.3	72.4	97.4	77
Nase	5	3	2	0	0	2	0	-	-	60	66.7	100	60	66.7	100
Rotauge	291	237	213	1	23	156	16.2	100	48.9	69.1	87.6	88.6	81.4	89.9	84.5
Rotfeder	3	2	1	0	1	0	33.3	100	100	33.3	0	-	66.7	50	100
Schneider	472	361	354	4	187	94	49.8	99.1	80.3	38.3	90.1	57.7	76.5	98.1	80.5
Sonnenbarsch	3	3	3	0	2	1	100	66.7	100	33.3	100	100	100	100	100
Gesamt	2890	1946	1858	29	754	729	33.7	98.5	78.5	39	87.9	73.6	67.3	95.5	81.4

Es gab teilweise erhebliche Unterschiede in der Attraktivitätseffizienz, das heisst der Benutzung der zwei Einstiege in die FAH an der Schiffmühle (vgl. Tabelle 1). Während sich bei den Lauben keine eindeutige Präferenz für einen der beiden Einstiege feststellen liess, konnte zum Beispiel bei den Haseln der deutlichste Unterschied gefunden werden. Die Attraktionseffizienz der Haseln für den Schlitzpass betrug lediglich 9.8 %, wohingegen das Raugerinne von 79.3 % der ausgesetzten Haseln aufgefunden wurde. Vor allem die Rotaugen zeigten ebenfalls eine Vorliebe für das Raugerinne, mit 69.1 % der ausgesetzten Fische, die diesen Einstieg aufsuchten, im Vergleich zu 16.2 %, die am Schlitzpass auftauchten. Alet und Egli zeigten eine schwächer ausgeprägte, aber immer noch deutliche Präferenz für das Raugerinne. Die Art, die den Schlitzpass zu bevorzugen schien, waren besonders die Barben mit einer Attraktionseffizienz von 42.3 % im Schlitzpass im Vergleich zu 24.3 % im Raugerinne. Auf den ersten Blick etwas weniger ausgeprägt war die Wahl der Schneider, von denen 49.5 % im Schlitzpass und 38.3 % im Raugerinne wiederdetektiert wurden. Betrachtet man die absoluten Aufstiegszahlen, so



zeigte sich mit 187 Individuen im Schlitzpass, zu 94 im Raugerinne doch eine stärkere Präferenz für den Schlitzpass bei den Schneidern.

Tabelle 2: Präferenzen einiger Fischarten für einen der beiden FAH-Einstiege basierend auf den Attraktionseffizienzen. Die exakten Werte in Prozent sind aus Tabelle 1 ersichtlich.

Art	Präferenz für Raugerinne	Präferenz für Schlitzpass
Hasel	sehr hoch	gering
Rotauge	hoch	gering
Egli	mittel	gering
Alet	mittel	gering
Schneider	mittel	mittel
Barbe	gering	mittel

Die Einstiegseffizienzen für alle Fische zusammen lagen im Schlitzpass bei 98.5 % und damit sehr hoch, fast alle Fische stiegen hier weiter als bis zur ersten Antenne auf. Im Raugerinne lag die Einstiegseffizienz bei 87.9 % und damit 10.6 % niedriger. Insgesamt ist die Einstiegseffizienz des Raugerinnes damit aber immer noch hoch. Die Arten mit einer unterdurchschnittlichen Einstiegseffizienz waren vor allem die Nasen ($N_{\text{detektiert}} = 3$), gefolgt von Barben, Haseln und Rotaugen. Wobei alle bis auf die Barben eigentlich eine Präferenz für das Raugerinne zeigten.

Die Passageeffizienzen waren mit 78.5 % im Schlitzpass zu 73.6 % im Raugerinne über alle Arten zusammengenommen relativ ähnlich. Markante Unterschiede ergaben sich nur für Rotaugen und Schneider zwischen den beiden FAH-Einstiegen. Für beide Arten spiegelte die Passageeffizienz die Präferenz für den jeweiligen FAH-Typ wider.



Abbildung 7: Links: Blick vom Einstieg in Richtung Siphon vom Zählbecken. Rechts: Fischer bei der Leerung des Zählbeckens.

In Abbildung 8 sind die Längen- und Artenverteilung der am KW Schiffmühle aus dem Zählbecken entnommenen Fische dargestellt. Sie sind aufgeteilt in die markierten, detektierten und im Schlitzpass, oder Raugerinne aufgestiegenen Fische. Es handelte sich hauptsächlich um Fische mit einer Totallänge zwischen 90 mm und 250 mm. Es kann festgestellt werden, dass sich die Längenverteilung zwischen den markierten Fischen, den detektierten Fischen und den im Raugerinne aufgestiegenen Fischen, sowie den im Schlitzpass aufgestiegenen Fischen, kaum unterscheidet. Dies deutet auf keine längenspezifische Nutzung der FAH-Einstiege hin. Eine Einschränkung der Passierbarkeit scheint aufgrund der Längenverteilung ebenfalls nicht gegeben.



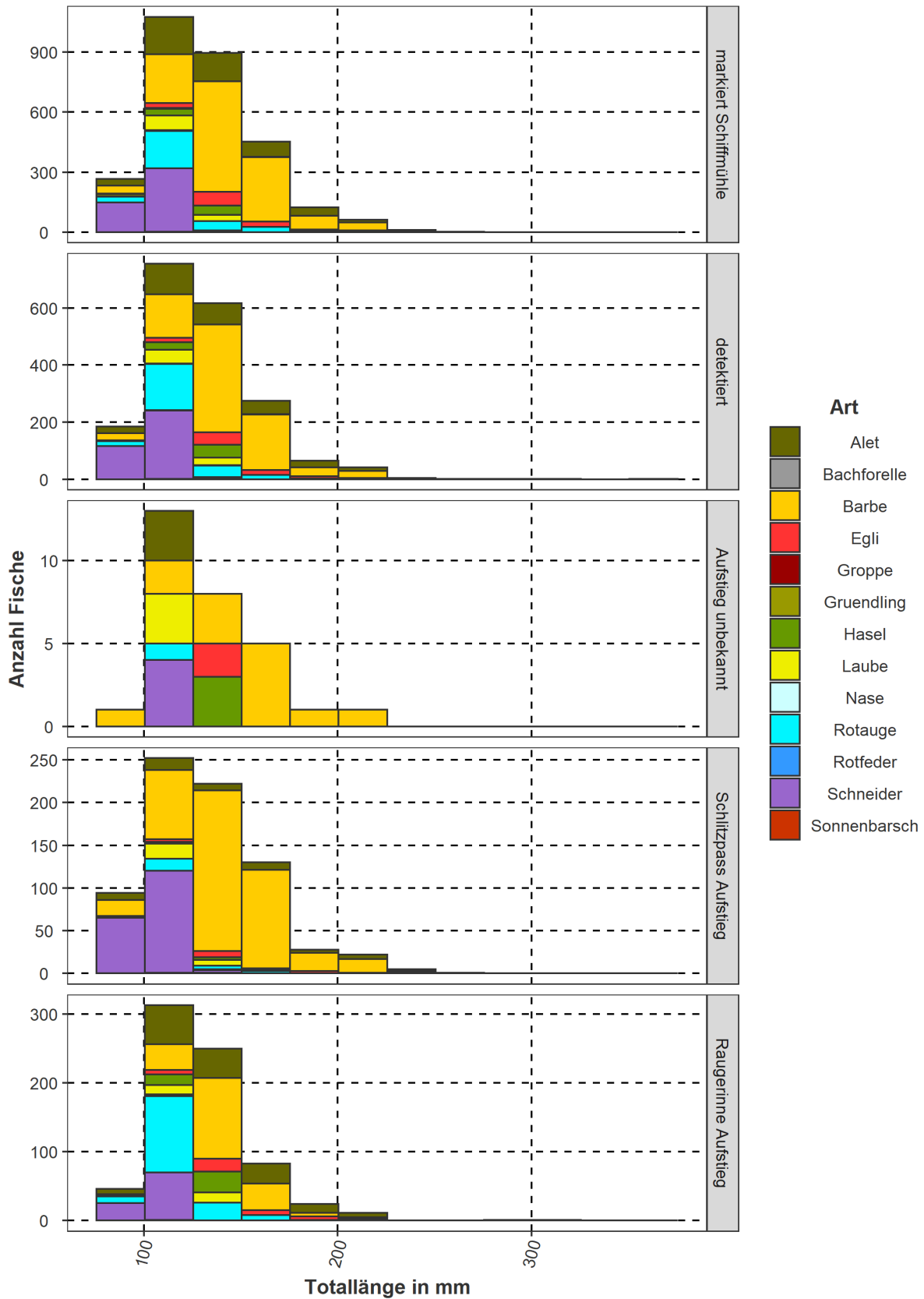


Abbildung 8: Längenfrequenzhistogramm der am KW Schiffmühle im Zählbecken gefangenen Fische. Dargestellt ist die Längenverteilung der markierten, detektierten und aufgestiegenen Fische.



3.1.1.2 Fische gefangen im Oberwasser

Aus dem Oberwasser am KW Schiffmühle wurden insgesamt 73 Fische gefangen und markiert, darunter vorwiegend Alet und Barben (vgl. Tabelle 3). Von den markierten Fischen konnten 57 Stück an den Antennen am KW Schiffmühle wiederdetektiert werden, was 78.1 % aller ausgesetzten Fische entsprach. 52 (91.2 %) der wiederdetektierten Fische stiegen in die FAH ein und 48 (92.3 %) davon passierten die FAH erfolgreich in Richtung Oberwasser. Die Attraktionseffizienz lag mit 10.8 % deutlich höher, als bei den Fischen aus dem Zählbecken. Für die Einstiegseffizienz und die Passageeffizienz war der Unterschied unbedeutend. Zu berücksichtigen ist die andere Artzusammensetzung der Oberwasserfische, im Vergleich zu den Zählbeckenfischen.

Die Attraktionseffizienz der gesamten Anlage lag für die beiden häufigsten Arten, Alet und Barbe, mit 85.4 % resp. 90 % deutlich höher, als bei den Fischen aus dem Zählbecken. Die Einstiegseffizienz war zwischen beiden Gruppen vergleichbar, einzig auffällig war die höhere Passageeffizienz der Alet aus der Oberwassergruppe, welche mit 97.4 % ca. 22.3 % höher lag als für die Zählbeckenfische. Dies könnte daher kommen, dass es sich bei den im Zählbecken gefangenen Fischen auch teilweise um solche handelte, die die FAH als Lebensraum nutzten, während die Fische aus dem Oberwasser eine höhere Motivation zur Aufwanderung besaßen. Zudem ist die wesentlich geringere Anzahl an Fischen aus dem Oberwasser zu beachten, was zu einer grösseren Ungenauigkeit der Ergebnisse führte.-

Die Präferenz der Alet für das Raugerinne zeigte sich bei den Oberwasserfischen noch deutlicher, mit nur 10.4 % der Fische, welche im Schlitzpass wiederdetektiert wurden, im Gegensatz zu 77.1 % im Raugerinne. Für die Barben konnte ebenfalls die Präferenz für den Schlitzpass mit 50 % zu 40 % bestätigt werden. Die Schneider zeigten ein gegenteiliges Bild zu denen, welche im Zählbecken gefangen wurden. Hier wurden 75 % der Fische im Raugerinne detektiert, während keiner der nur vier Fische im Schlitzpass aufstieg.

Tabelle 3: Übersicht der markierten, detektierten und aufgestiegenen Fische am KW Schiffmühle, welche im **Oberwasser** mittels Elektrofischerei gefangen wurden. Angegeben sind die Attraktions-, Einstiegs- und Passageeffizienzen je Art und FAH-Einstieg, sowie für die gesamte Anlage. SP = Schlitzpass, RG = Raugerinne.

Art	N markiert	N detektiert	N Einstieg gesamt	Unbekannter Aufstiegsweg	Schlitzpass Aufstieg	Raugerinne Aufstieg	SP Attraktionseffizienz in %	SP Einstiegseffizienz in %	SP Passageeffizienz in %	RG Attraktionseffizienz in %	RG Einstiegseffizienz in %	RG Passageeffizienz in %	Attraktionseffizienz ganze Anlage in %	Einstiegseffizienz ganze Anlage in %	Passageeffizienz ganze Anlage in %
Aal	1	1	1	0	1	0	100	100	100	0	-	-	100	100	100
Alet	48	41	38	0	5	32	10.4	100	100	77.1	89.2	97	85.4	92.7	97.4
Bachforelle	1	0	0	0	0	0	0	-	-	0	-	-	0	-	0
Barbe	10	9	8	0	3	3	50	100	60	40	75	100	90	88.9	75
Gründling	4	1	0	0	0	0	0	-	-	25	0	-	25	0	0
Hasel	1	1	1	0	0	1	0	-	-	100	100	100	100	100	100
Karpfen	1	0	0	0	0	0	0	-	-	0	-	-	0	-	0
Schleie	2	1	1	0	0	0	0	-	-	50	100	0	50	100	0
Schneider	4	3	3	0	0	3	0	-	-	75	100	100	75	100	100
Wels	1	0	0	0	0	0	0	-	-	0	-	-	0	-	0
Gesamt	73	57	52	0	9	39	15.1	100	81.8	64.4	87.2	95.1	78.1	91.2	92.3



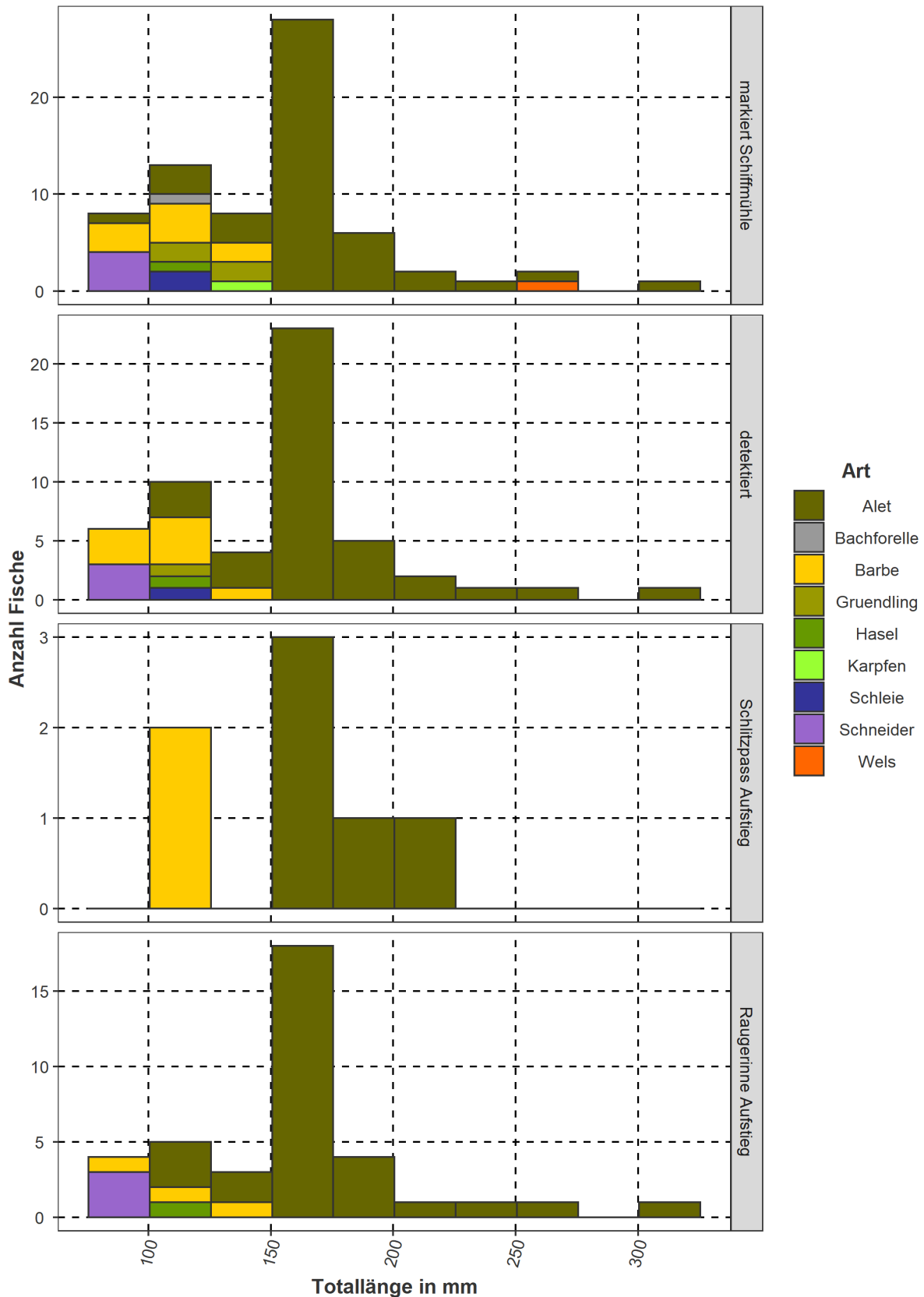


Abbildung 9: Längenfrequenzhistogramm der am KW **Schiffmühle im Oberwasser** mittels Elektrofischerei gefangenen Fische. Dargestellt ist die Längenverteilung der markierten, detektierten und aufgestiegenen Fische. Individuen (N = 3) mit einer Totallänge von mehr als 400 mm wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit in der Grafik ausgeschlossen.



In Abbildung 9 sind die Längen- und Artenverteilung der am KW Schiffmühle im Oberwasser gefangenen Fische dargestellt. Sie sind aufgeteilt in die markierten, detektierten und im Schlitzpass bzw. Raugerinne aufgestiegenen Fische. Es handelte sich hauptsächlich um Fische mit einer Totallänge zwischen 90 mm und 300 mm. Es kann festgestellt werden, dass sich die Längenverteilung zwischen den markierten Fischen, den detektierten Fischen, den im Raugerinne aufgestiegenen Fischen und den im Schlitzpass aufgestiegenen Fischen kaum unterscheidet. Dies deutet auf keine längenspezifische Nutzung der FAH-Einstiege hin. Eine Einschränkung der Passierbarkeit scheint aufgrund der Längenverteilung auch nicht gegeben. Die wenigen Fische, mit einer Totallänge über 400 mm, sind der Übersicht halber nicht dargestellt.

3.1.1.3 Fische gefangen im Unterwasser

Insgesamt wurden im Unterwasser des KW Schiffmühle 124 Fische gefangen, davon hauptsächlich Alet (N = 122). Da diese Fische im Oberwasser des KW Schiffmühle ausgesetzt wurden, wurde von ihnen nicht erwartet, dass sie in der FAH in grosser Anzahl aufsteigen würden. Diejenigen Fische, welche trotzdem aufgestiegen sind, mussten zuvor einen Abstieg aus dem Oberwasser vollzogen haben. Insgesamt sind nur 6 der Alet aufgestiegen. Davon zwei im Schlitzpass und drei im Raugerinne. Betrachtet man die Attraktionseffizienzen, so liegen diese erwartungsgemäss deutlich unterhalb derjenigen der Fische aus dem Zählbecken oder dem Oberwasser. Allerdings zeigte sich für die Alet wieder eine Präferenz für das Raugerinne.

Ein Vergleich der Längenverteilung analog zu den Punkten 3.1.1.1 und 3.1.1.2 erübrigt sich an dieser Stelle für die Oberwasserfische, aufgrund der geringen Anzahl an aufgestiegenen Fischen (N = 6).

Tabelle 4: Übersicht der markierten, detektierten und aufgestiegenen Fische am KW Schiffmühle, welche im **Unterwasser** mittels Elektrofischerei gefangen wurden. Angegeben sind die Attraktions-, Einstiegs- und Passageeffizienzen je Art und FAH-Einstieg, sowie für die gesamte Anlage. SP = Schlitzpass, RG = Raugerinne.

Art	N markiert	N detektiert	N Einstieg gesamt	Unbekannter Aufstiegsweg	Schlitzpass Aufstieg	Raugerinne Aufstieg	SP Attraktionseffizienz in %	SP Einstiegseffizienz in %	SP Passageeffizienz in %	RG Attraktionseffizienz in %	RG Einstiegseffizienz in %	RG Passageeffizienz in %	Attraktionseffizienz ganze Anlage in %	Einstiegseffizienz ganze Anlage in %	Passageeffizienz ganze Anlage in %
Alet	122	15	15	1	2	3	1.6	100	100	10.7	100	23.1	12.3	100	40
Gründling	2	0	0	0	0	0	0	-	-	0	-	-	0	-	0
Gesamt	124	15	15	1	2	3	1.6	100	100	10.5	100	23.1	12.1	100	40

3.1.2 Zeitlicher Verlauf der Aufstiege am KW Schiffmühle

An der Schiffmühle zeichneten sich für beide Einstiege vier Perioden ab, an denen gehäuft Fischaufstiege detektiert wurden. Zu beachten gilt es, dass in Abbildung 10 nur die ersten Aufstiege jedes Fisches dargestellt sind. Diese vier Perioden lagen jeweils nah mit den Aussatzeitpunkten zusammen (schwarze Pfeile in Abbildung 10). Auf einen Aussatz folgten direkt viele neue Aufstiege. Die vier Perioden lagen im Oktober 2017, Mai bis Juni 2018, Ende September bis Mitte November 2018 und Juli bis November 2019. Der Einfluss der Aussatzeitpunkte auf das Registrierungsdatum ist gross, weshalb aus Abbildung 10 Rückschlüsse auf Aktivitätsfenster einzelner Arten nicht ohne weiteres möglich sind. Dennoch zeigt diese Grafik, dass einige der markierten Fische wanderwillig waren und ihre Wanderung ohne grosse Verzögerung fortsetzen konnten. Während des Sommers bzw. der Zeit des defekten Wehrs am KW Schiffmühle, konnten nur vereinzelt aufsteigende Fische festgestellt werden.



Resultate

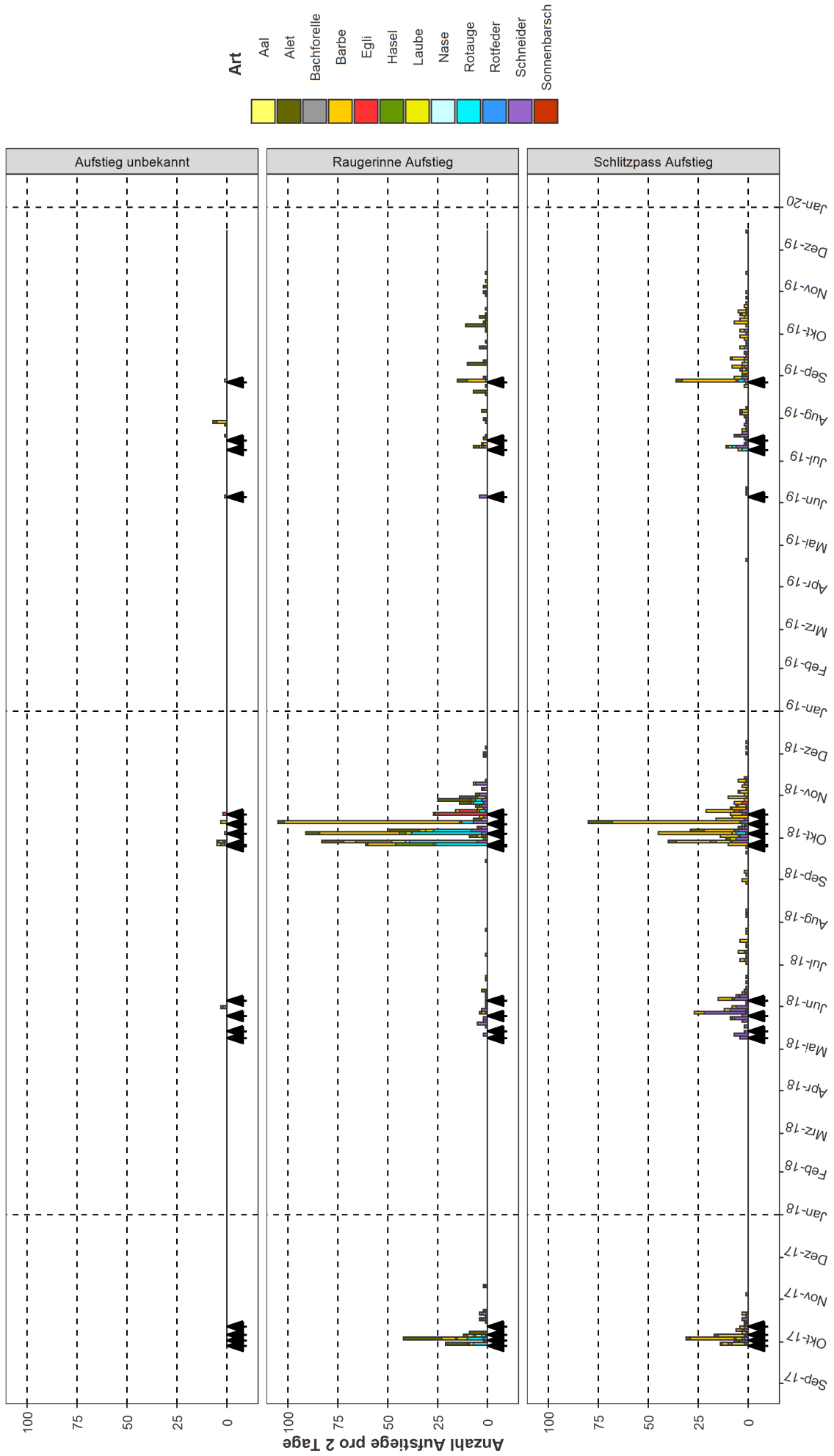


Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der Aufstiege am KW Schiffmühle, für alle Fische (aus dem Zählbecken, dem Unter- und dem Oberwasser). Die schwarzen Pfeile markieren die Aussatzzeitpunkte.



3.1.3 Passagedauer der FAH am KW Schiffmühle

Zur einfacheren Darstellung wurde bei der Passagedauer nicht zwischen den Fischen aus den verschiedenen Fangszenarien unterschieden.

3.1.3.1 Schlitzpass

In Tabelle 5 sind die Passagezeiten des Schlitzpasses am KW Schiffmühle für die verschiedenen in der Limmat markierten Fischarten angegeben. Gemessen wurde von der letzten Detektion auf der untersten Antenne am Einstieg des Schlitzpasses, bis zur ersten Detektion auf der obersten Antenne am Ausstieg der FAH. Demnach konnten nur Aufstiege ausgewertet werden, welche je mindestens eine Detektion auf den genannten Antennen hatten. Die in Tabelle 5 gemachten Angaben zum Mittelwert und Maximum der Passagedauer, sind nur bedingt verwertbar. Dies liegt daran, dass sie durch einzelne Individuen mit aussergewöhnlich langen Passagezeiten, stark verzerrt werden und deshalb keinen Aufschluss über die Passierbarkeit der Anlage geben können. Dagegen sind die Angaben für den Median und das Minimum der Passagedauer aussagekräftiger. Bei den meisten Arten zeigten mindestens 50 % der Fische eine Passagedauer von weniger als 60 Minuten. Auch die Barben lagen mit 62.3 min nur knapp darüber. Deutlichere Ausnahmen stellten der Aal, die Schneider und die Sonnenbarsche dar. Vergleicht man jedoch die schnellsten Passagezeiten, so zeigt sich, dass ein Schneider mit 15 min genauso schnell war, wie der schnellste Alet und nur 2.8 min langsamer als eine Barbe, die mit 12.2 min den schnellsten Aufstieg vollzog.

Tabelle 5: Passagedauer in Minuten vom letzten Kontakt an der untersten Antenne im Schlitzpass, bis zur obersten Antenne am Ausstieg aus der FAH. N ist die Anzahl an Individuen, die zur Auswertung herangezogen werden konnte. Gewertet wurde nur der erste Aufstieg eines Individuums.

Art	Mittelwert	Median	Minimum	Maximum	N
Aal	76.1	76.1	76.1	76.1	1
Alet	77.5	38.0	15.0	927.4	53
Bachforelle	29.4	29.4	29.4	29.4	1
Barbe	217.9	62.6	12.2	28809.0	434
Egli	71.4	59.8	19.6	217.9	17
Hasel	33.2	29.0	14.2	67.0	6
Laube	70.4	42.3	18.0	580.8	24
Rotauge	61.5	42.4	16.0	429.5	23
Rotfeder	52.8	52.8	52.8	52.8	1
Schneider	1549.6	136.7	15.0	53952.9	179
Sonnenbarsch	759.9	759.9	106.4	1413.4	2

3.1.3.2 Raugerinne

Die in Tabelle 6 dargestellten Passagezeiten wurden entsprechend denen von Kapitel 3.1.3.1 berechnet, nur zwischen der untersten Antenne im Raugerinne und der obersten der FAH am KW Schiffmühle. Die Passagezeiten im Raugerinne lagen etwas höher, als diejenigen im Schlitzpass (vgl. Tabelle 5). Im Schnitt nahmen die Mediane um 24.8 min zu, wenn man die Arten Alet, Barbe, Egli, Hasel, Laube und Rotauge betrachtet. Die Zunahme bei den Schneidern fiel aus dem Rahmen, mit einer Zunahme um 502.8 min. Die Schneider hielten sich somit ausgesprochen lange in der FAH auf, wenn sie durch das Raugerinne eingestiegen waren. Die schnellste Passage innerhalb von 36.4 min durch einen Schneider, deutet jedoch darauf hin, dass es sich nicht unbedingt um eine eingeschränkte Passierbarkeit handelte. Der schnellste Aufstieg, welcher am KW Schiffmühle registriert werden konnte, war von einem Alet, welcher die FAH über den Raugerinne-Einstieg innerhalb von 6.4 Minuten durchschwamm.



Tabelle 6: Passagedauer in Minuten vom letzten Kontakt an der untersten Antenne im Raugerinne, bis zur obersten Antenne am Ausstieg aus der FAH. N ist die Anzahl an Individuen, die zur Auswertung herangezogen werden konnte. Gewertet wurde nur der erste Aufstieg eines Individuums.

Art	Mittelwert	Median	Minimum	Maximum	N
Alet	191.1	56.8	6.4	7844.3	182
Barbe	252.5	97.4	24.5	8406.1	196
Egli	225.9	88.7	31.0	926.6	33
Hasel	56.0	47.8	22.4	211.3	47
Laube	109.1	62.9	22.2	764.0	27
Nase	290.0	290.0	96.3	483.6	2
Rotauge	117.6	69.2	27.6	1408.3	148
Schneider	1225.8	639.5	36.4	21518.8	77
Sonnenbarsch	88.4	88.4	88.4	88.4	1

3.1.4 Fischabstieg Kraftwerk Schiffmühle

Am Kraftwerk Schiffmühle konnten insgesamt 8 Fische auf der Antenne im Fischabstiegs-Bypass registriert werden. Aufgrund der äusserst geringen zeitlichen Differenz zwischen den Detektionen auf der Antenne im Bypass und der obersten Antenne in der FAH, ist davon auszugehen, dass es sich bei mindestens 6 Fischen um falsche Detektionen handelte. Vermutlich liegt aufgrund der Konfiguration des Readers ein Softwarefehler vor, der dazu führte, dass die Fische falsch zugewiesen wurden und eigentlich auf der obersten Antenne im Fischpass registriert wurden. Zwei Barben wurden 70 und 79 s nach der Detektion auf der Bypassantenne wieder auf der obersten Antenne der FAH registriert. Diese Abfolge ist höchst unwahrscheinlich, da die Fische innerhalb dieser Zeit abgestiegen und danach ohne eine Detektion bis zur obersten Antenne der FAH wieder aufgestiegen sein müssten. Das Gleiche galt für zwei Schneider, die 16 bzw. 25 s. nach der Detektion im Bypass, wieder auf der obersten Antenne der FAH registriert wurden. Ein Alet zeigte diese Abfolge mit einer Zeitdifferenz von 42 min. Auch hier ist es unwahrscheinlich, dass nach dem Abstieg ein Aufstieg, ohne Detektion bis zur obersten Antenne in der FAH, erfolgte. Bei einem weiteren Alet deutet alles darauf hin, dass die oberste Antenne gegen die Bypassantenne vertauscht wurde, da keine Detektion auf der obersten Antenne zu verzeichnen war, jedoch ein vermeintlicher Abstieg schon 25 min nach der letzten Detektion auf der oberen Antenne im Schlitzpass.

Eine Barbe mit einer Totallänge von 151 mm, sowie ein Schneider mit einer Totallänge von 96 mm nutzten jedoch sehr wahrscheinlich den Bypass zum Abstieg. Sie stiegen ca. 3.3 h resp. ca. 4.5 min nach der letzten Detektion auf der obersten Antenne in der FAH ab. Anschliessend folgten Detektionen auf einer der untersten Antennen in der FAH am KW Schiffmühle. Bei dem geringen Abstand der Detektionen des Schneiders im Bypass und auf der obersten Antenne der FAH, ist ein Fehler jedoch nicht ausgeschlossen.

Andere Abstiegswege wurden im Gegensatz dazu weitaus häufiger benutzt. So konnten insgesamt 265 Abstiege über unbekannte Wege identifiziert werden, wobei es sich hauptsächlich um Bewegungen von Schneidern, Barben und Alet handelte (vgl. Tabelle 7). Aber auch die FAH am KW Schiffmühle diente häufig zum Fischabstieg. Unterschieden wurden dabei zwei Arten des Abstiegs über die FAH. Einmal der Abstieg direkt nach dem Aufstieg (binnen 6 h) und der Abstieg im Zeitraum danach. Bei einem Abstieg nach mehr als 6 h zwischen der ersten und der letzten Detektionen auf der obersten Antenne der FAH, wurde davon ausgegangen, dass der Fisch im Oberwasser war und die FAH danach mehr oder weniger geleitet oder bewusst aufgesucht haben musste. Es wurde also eine Orientierung des Fisches nach dem Austritt ins Oberwasser angenommen. Es lässt sich feststellen, dass sowohl im Raugerinne, als auch im Schlitzpass etwa jeweils gleich viele Abstiege direkt nach dem Aufstieg, als



Tabelle 7: Verteilung der Abstiege am KW Schiffmühle über die einzelnen Arten. Direkter Wiederabstieg über die FAH bedeutet, dass nach dem Aufstieg der Abstieg innerhalb von max. 6 h erfolgte. Spätere Abstiege erfolgten nach diesen 6 h. Einige Individuen vollzogen mehrere Abstiege auch über verschiedene Korridore bzw. direkt oder nach der zeitlichen Grenze von 6 h. Die Anzahl abgestiegener Individuen je Art über alle Korridore ist in der letzten Spalte angegeben.

Art	Schlitzpass Abstieg	Schlitzpass Abstieg direkt	Raugerinne Abstieg	Raugerinne Abstieg direkt	Bypass Abstieg	Unbekannter Abstiegsweg	Anzahl Individuen
Aal	0	0	0	0	0	0	0
Alet	2	9	0	9	0	26	43
Bachforelle	0	0	0	0	0	1	1
Barbe	8	6	3	2	1	92	99
Egli	0	1	0	2	0	4	7
Gründling	0	0	0	0	0	0	0
Hasel	0	2	0	0	0	0	2
Laube	3	6	0	1	0	0	7
Nase	0	0	0	0	0	0	0
Rotaugen	2	6	1	2	0	0	10
Rotfeder	0	0	0	0	0	0	0
Schleie	0	0	0	0	0	0	0
Schneider	43	34	22	13	1	142	142
Sonnenbarsch	0	0	0	1	0	0	1
Gesamt	58	64	26	30	2	265	312

Tabelle 8: Herkunft der am KW Schiffmühle abgestiegenen Fische. Angegeben sind die Abstiegsbewegungen je Herkunftsort, dabei sind einzelne Individuen teilweise mehrfach gezählt, wenn sie wiederholt über einen Korridor abgestiegen sind und/oder über verschiedene Korridore.

	Aue Oberwasser	Aue Reuse	Schiffmühle Oberwasser	Schiffmühle Unterwasser	Schiffmühle Zählbecken	Gesamt
Bypass Abstieg	0	0	0	0	2	2
Raugerinne Abstieg	0	0	0	0	26	26
Raugerinne Abstieg direkt	0	0	1	0	29	30
Schlitzpass Abstieg	0	0	0	1	57	58
Schlitzpass Abstieg direkt	0	0	1	0	63	64
Unbekannter Abstiegsweg	1	3	6	10	245	265
Gesamt	1	3	8	11	422	445



auch verzögert stattfanden. Der Schlitzpassarm der FAH am KW Schiffmühle wurde im Vergleich zum Raugerinnearm etwa doppelt so häufig zum Abstieg benutzt. In der Fischökologie werden Fische, die aufsteigen und gleich anschliessend wieder absteigen als «Fallbacks» bezeichnet. Die Terminologie stammt aus der Aufwanderung von Lachsen. Die Bedeutung des Verhaltens von Fallbacks ist noch weitgehend unbekannt.

Es konnten vier Abstiege von Fischen aus der Aue registriert werden, welche alle über unbekannte Korridore stattfanden (vgl. Tabelle 8). Die meisten Abstiege entfielen auf Fische, welche im Zählbecken am KW Schiffmühle gefangen wurden, welche auch den grössten Anteil an markierten Fischen stellten.

3.2 Kraftwerk Aue

3.2.1 Fischaufstieg Kraftwerk Aue

Am KW Aue wurden 379 Fische mit PIT-Tags markiert. Davon konnten seit dem 05.06.2018 insgesamt 212 Fische wieder auf den Antennen in der FAH am KW Aue registriert werden. Dies entsprach einer Attraktionseffizienz der ganzen Anlage von 55.9 %. Die Einstiegseffizienz über alle Fischarten lag bei 99.5 %, das heisst praktisch alle Fische wurden, wenn sie auf der untersten Antenne am Einstieg registriert wurden, auch auf der folgenden Antenne am Einstieg registriert. Wenn Abbrüche des Aufstiegs stattfanden, dann zwischen der obersten und der mittleren Antenne. Von den wiederdetektierten Fischen stiegen im Schlitzpass 169 Stück erfolgreich auf, das entsprach 44.6 % aller ausgesetzten Fische. Zusätzlich zu den in der Reuse und im Oberwasser des KW Aue gefangenen Fischen, konnten besonders viele Fische registriert werden, die am KW Schiffmühle markiert wurden. Diese Fische hatten bis zum KW Aue nicht nur das KW Schiffmühle passiert (ausgenommen sind die aus dem Unterwasser ins Oberwasser des KW Schiffmühle versetzten Fische), sondern auch das KW Kappelerhof. Insgesamt wurden 769 Fische vom KW Schiffmühle registriert. Die entsprach einer Attraktionseffizienz von 24.9 % aller in der Schiffmühle markierten Fische! Die Einstiegseffizienz war mit 99.9 % ideal. Auch die Passageeffizienz lag mit 97.1 % sehr hoch. Zu berücksichtigen gilt es aber, dass es sich um Fische handelt, welche bereits «Erfahrung» mit den FAH am KW Schiffmühle und KW Kappelerhof hatten und daher ggf. schon ausselektiert wurden, als Individuen, die eine FAH erfolgreich passieren konnten.

Somit ergaben sich wieder drei Gruppen an markierten Fischen (Reuse KW Aue, Oberwasser KW Aue und KW Schiffmühle), welche im Folgenden getrennt betrachtet werden, da sie unterschiedliche Voraussetzungen für den Aufstieg am KW Aue hatten. So sind die Fische aus der Reuse bereits einmal bis zur Reuse in der FAH aufgestiegen, während die Fische aus dem Oberwasser bisher nicht zwingend die FAH in ihrem Leben passiert haben mussten. Ausserdem konnte die Motivation der Oberwasserfische eine andere sein, wie z.B. das sogenannte «Microhoming», dass diese einfach versuchen an ihren angestammten Standplatz bzw. an den Fangort zurück zu kehren. Die Fische vom KW Schiffmühle wurden der Einfachheit halber hier nicht weiter aufgesplittet, wie unter Kapitel 3.1.1.

3.2.1.1 Fische gefangen in der Reuse

Aus der Reuse am KW Schiffmühle wurden insgesamt 239 Fische entnommen und markiert. Der Grossteil entfiel auf die Arten Alet, Barben und Rotaugen. Die Details sind in Tabelle 9 aufgeführt. Von den markierten Fischen konnten 61.1 % an den Antennen am KW Aue wiederdetektiert werden. 100 % der wiederdetektierten Fische stiegen in den Schlitzpass ein und 79.5 % davon passierten die FAH erfolgreich in Richtung Oberwasser.

Die Attraktionseffizienz unterschied sich zwischen den Arten, sie variierte zwischen 0 und 100 %. Allerdings sind die meisten Arten auch mit weniger als 10 Individuen vertreten, weshalb die Aussagekraft für diese Arten nur begrenzt ist. Die höchste Attraktionseffizienz wiesen die Haseln auf, mit 100 % bei 7 markierten Individuen. Danach folgten mit immer noch sehr hohen Attraktionseffizienzen die Rotaugen mit 86.7 % und Alet mit 85.1 %. Die Attraktionseffizienzen der Egli und Barben lagen mit 55.6 % resp. 46.8 % deutlich niedriger, waren aber immer noch hoch.

Die Einstiegseffizienzen lagen durchweg für alle Arten bei 100 % und waren damit optimal.



Die Passageeffizienzen der einzelnen Arten lagen zwischen 60 % und 100 %. Besonders hoch war die Passageeffizienz bei den Haseln, bei denen alle Individuen aufstiegen und bei den Rotaugen mit 96.2 %, sowie den Alet mit 95 %. Dagegen vergleichsweise niedrig war diejenige der Barben mit 61.5%.

Tabelle 9: Übersicht der markierten, detektierten und aufgestiegenen Fische am KW Aue, welche in der **Reuse** gefangen wurden. Angegeben sind die Attraktions-, Einstiegs- und Passageeffizienzen je Art für den Schlitzpass am KW Aue.

Art	N markiert	N detektiert	Einstieg gesamt	Schlitzpass Aufstieg	Attraktionseffizienz in %	Einstiegs-effizienz in %	Passageeffizienz in %
Alet	47	40	40	38	85.1	100	95
Barbe	139	65	65	40	46.8	100	61.5
Brachsmen	1	1	1	1	100	100	100
Egli	9	5	5	3	55.6	100	60
Hasel	7	7	7	7	100	100	100
Rotaug	30	26	26	25	86.7	100	96.2
Rotfeder	2	0	0	0	0	-	-
Schleie	1	1	1	1	100	100	100
Schneider	3	1	1	1	33.3	100	100
Gesamt	239	146	146	116	61.1	100	79.5

Abbildung 11 zeigt die Längenverteilung der am KW Aue in der Reuse gefangenen und markierten Fische. Es handelte sich hauptsächlich um Fische mit einer Totallänge zwischen 90 mm und 300 mm. Es ist zu erkennen, dass der Anteil der Fische ab 180 mm Totallänge bei den wiederdetektierten Fischen und noch mehr bei den erfolgreich aufgestiegenen Fischen, niedriger lag, im Vergleich zu den markierten Fischen. Dies kann auf die geringe Attraktionseffizienz für die Barben zurückgeführt werden, welche einen grossen Anteil der Fische über 180 mm Totallänge ausmachten. Deshalb spricht dieser Befund nicht direkt dafür, dass es sich um eine Grössenselektion bei der Passage der FAH am KW Aue handelte. Dafür spricht jedoch, dass auch die Alet und Rotaugen ab 180 mm Totallänge bei den wiederdetektierten und besonders den aufgestiegenen Fischen unterrepräsentiert waren. Die Beobachtungen basieren aber nur auf wenigen Individuen.



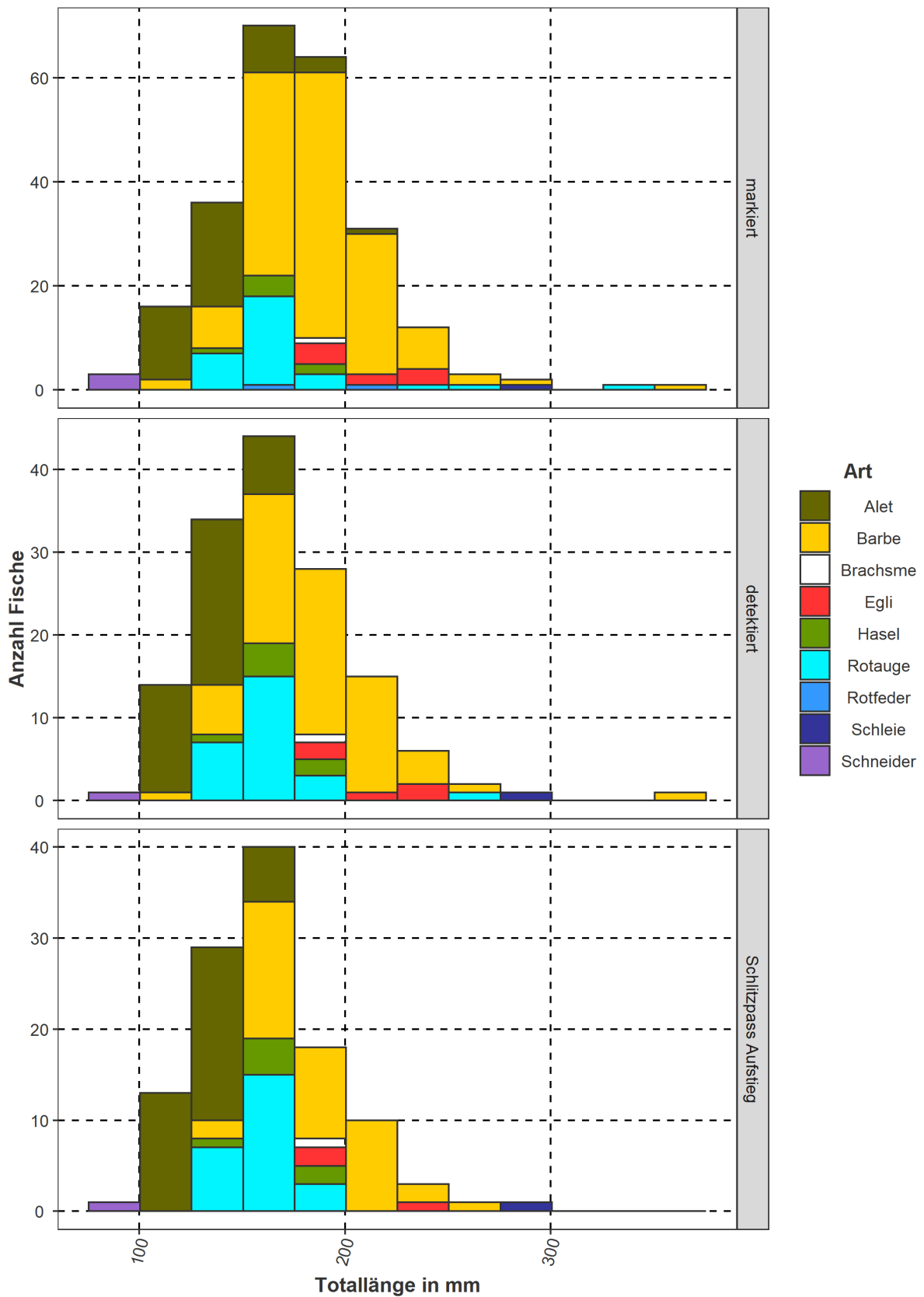


Abbildung 11: Längenfrequenzhistogramm der am KW Aue in der Reuse gefangenen Fische. Dargestellt ist die Längenverteilung der markierten, detektierten und aufgestiegenen Fische.





Abbildung 12: Heben der Reuse am KW Aue.

3.2.1.2 Fische gefangen im Oberwasser

Im Oberwasser des KW Aue wurden insgesamt 140 Fische beim Elektrofischen gefangen. Diese verteilten sich vorwiegend auf die Arten Alet, Gründlinge, Rotaugen, Barben und Schneider. 66 Individuen wurden wiederdetektiert, dies entsprach einer Attraktionseffizienz von 47.1 % und lag damit 14 % niedriger, als bei den Fischen aus der Reuse. Dies widerspricht auf den ersten Blick der These, dass die Oberwasserfische eine erhöhte Wandermotivation aufgrund des «Microhomings» zeigen sollten. Neben einer fast optimalen Einstiegseffizienz von 98.5 %, lag die Passageeffizienz über alle Fischarten bei 81.5 % und damit nur 2 % höher, als für die Fische aus der Reuse.

Die Attraktionseffizienz unterschied sich zwischen den Arten und variierte zwischen 0 und 100 %. Viele der Arten waren aber nur mit wenigen Individuen vertreten. Wiederum hatten die Hasel mit 100 % (N = 3) eine sehr hohe, in diesem Fall optimale Attraktionseffizienz. Auch die Alet hatten mit 73.3 % aller ausgesetzten Fische eine ausgesprochen hohe Attraktionseffizienz, die jedoch um 11.8 % niedriger lag, als für die Gruppe aus den Reusenfängen. Erstaunlich niedrig fiel die Attraktionseffizienz der Rotaugen aus, mit nur 10.5 % der ausgesetzten Fische. Dies ist vermutlich auf die Grösse der markierten Fische zurück zu führen, die mehrheitlich eine Totallänge von unter 100 mm hatten (vgl. Abbildung 13). Dadurch erklärt sich auch der krasse Unterschied von 76.2 % zu den Rotaugen aus den Reusenfängen, welche mehrheitlich eine Totallänge von 120 mm bis 200 mm aufwiesen (vgl. Abbildung 11). Die Gründlinge wiesen wie schon in der Schiffmühle (vgl. Tabelle 1) eine sehr niedrige Attraktionseffizienz von nur 4.5 % auf.

Die Einstiegseffizienzen lagen für die Oberwasserfische am KW Aue, bei optimalen 100 %, einzig bei den Alet lag sie bei 97.7 %, was aber immer noch ausgesprochen hoch ist.

Die Passageeffizienzen der einzelnen Arten variierten ebenfalls zwischen 0 % und 100 %. Besonders hoch war die Passageeffizienz bei den Schneidern mit 100 % (N = 11). Sie war damit identisch zu denen aus den Reusenfängen (N = 3). Die Passageeffizienz der Alet lag hingegen 11.3 % niedriger, als bei den Reusenfängen, mit 88.7 %. Die Passageeffizienz der Barben mit 75 % (N = 12) lag 13.5 % höher, als bei den Reusenfängen.



Die Trüsche ist eine Art, für die in dieser Studie nur wenige Individuen zur Verfügung standen (N = 2). Beide Fische suchten die FAH auf, nur eine stieg wirklich ein, aber auch nicht auf. Was genau die Gründe dafür sind, kann nicht beurteilt werden.

In Abbildung 13 ist die Längenverteilung der im Oberwasser des KW Aue mittels Elektrofischerei gefangenen Fische dargestellt, sowie der Anteil an wiederdetektierten und erfolgreich im Schlitzpass aufgestiegenen Fischen. Es handelte sich hauptsächlich um Fische mit einer Totallänge zwischen 90 mm und 200 mm. Der einzige Unterschied in den Grössenverteilungen war bei den Fischen mit einer Totallänge von bis zu 100 mm gegeben. Hier konnten besonders von den Rotaugen kaum Individuen wiederdetektiert werden, dagegen von den Schneidern in dieser Grössenklasse überproportional mehr. Dieses Verhältnis schlug sich auch in den Aufstiegszahlen nieder. Es kann also nicht auf eine schlechtere Passierbarkeit für die kleinen Fische geschlossen werden, vielmehr muss davon ausgegangen werden, dass die kleinen Rotaugen entweder Probleme bei der Auffindbarkeit der FAH hatten, oder mit dem Markierungsprozess. Eine erhöhte Prädation ist auch nicht auszuschliessen. Bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten gilt es, den mässigen Stichprobenumfang bei den Rotaugen von nur 19 Individuen aus dem Oberwasser.

Fische mit einer Totallänge von mehr als 400 mm sind aus der Grafik ausgeschlossen, aus Gründen der Übersichtlichkeit.

Tabelle 10: Übersicht der markierten, detektierten und aufgestiegenen Fische am KW Aue, welche mittels Elektrofischerei im **Oberwasser** gefangen wurden. Angegeben sind die Attraktions-, Einstiegs- und Passageeffizienzen je Art für den Schlitzpass am KW Aue.

Art	N markiert	N detektiert	Einstieg gesamt	Schlitzpass Aufstieg	Attraktionseffizienz in %	Einstiegs-effizienz in %	Passageeffizienz in %
Aal	1	1	1	1	100	100	100
Alet	60	44	43	36	73.3	97.7	83.7
Barbe	12	4	4	3	33.3	100	75
Egli	2	1	1	0	50	100	0
Gründling	22	1	1	0	4.5	100	0
Hasel	3	3	3	2	100	100	66.7
Kaulbarsch	1	-	-	-	0	-	-
Rotaugen	19	2	2	2	10.5	100	100
Schleie	2	-	-	-	0	-	-
Schneider	11	7	7	7	63.6	100	100
Sonnenbarsch	3	2	2	2	66.7	100	100
Trüsche	2	1	1	0	50	100	0
Wels	2	-	-	-	0	-	-
Gesamt	140	66	65	53	47.1	98.5	81.5



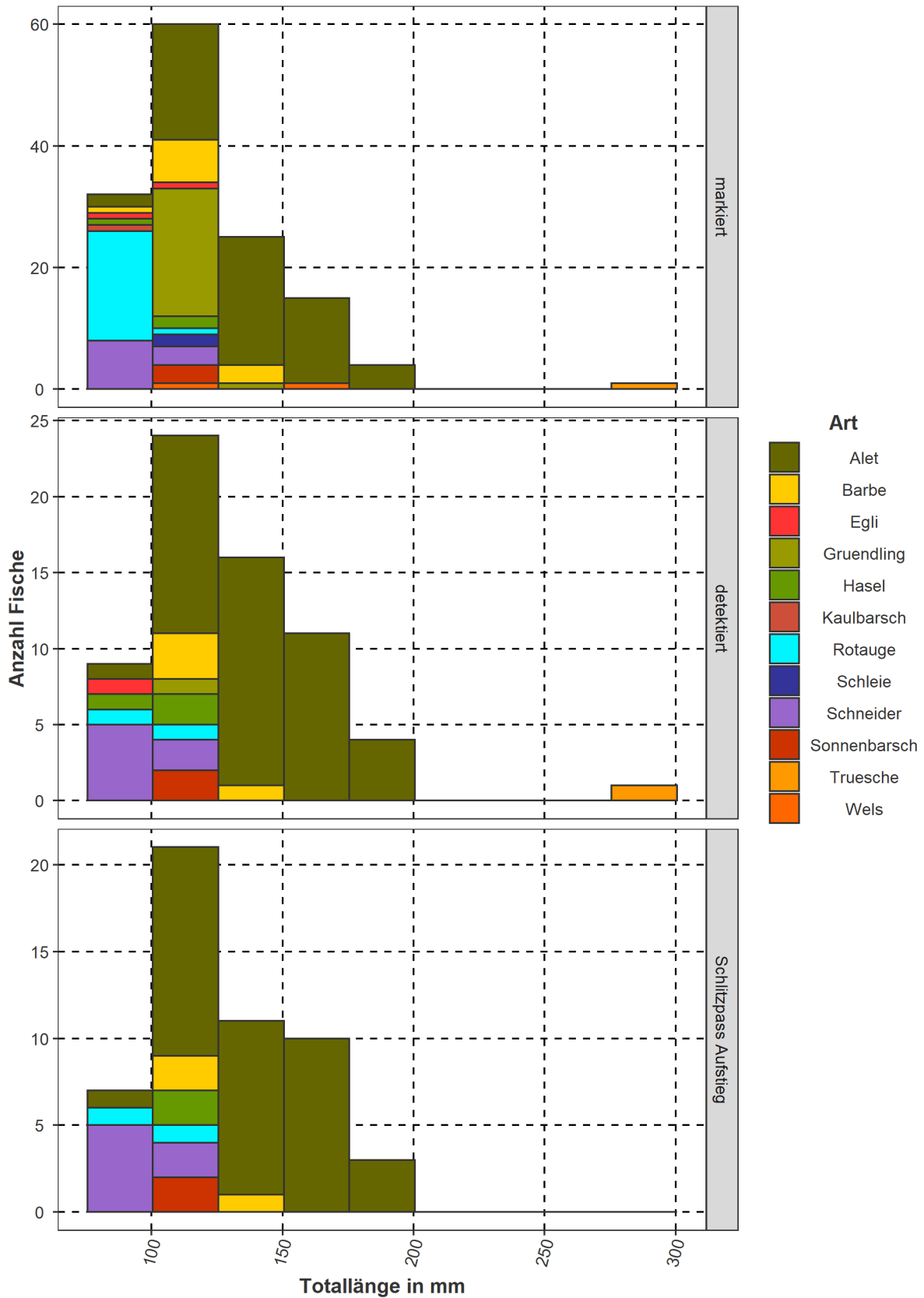


Abbildung 13: Längenfrequenzhistogramm der am KW Aue mittels Elektrofischerei im **Oberwasser** gefangenen Fische. Dargestellt ist die Längenverteilung der markierten, detektierten und aufgestiegenen Fische. Individuen (N = 3) mit einer Totallänge von mehr als 400 mm wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit in der Grafik ausgeschlossen.



3.2.1.3 Fische aus den Fangaktionen beim KW Schiffmühle

Von den Fischen, welche am KW Schiffmühle markiert wurden, konnten insgesamt 769 Fische am KW Aue wiederdetektiert werden, dies entsprach 24.9 % der am KW Schiffmühle markierten Fische. Die Details sind in Tabelle 11 dargestellt. Die Einstiegseffizienz lag bei 99.9 % und war damit optimal. Auch die Passageeffizienz lag mit 97.5 % sehr hoch. Sie überschritt damit diejenige der Fische aus der Reuse am KW Aue, um 17.6 % und diejenige der Fische aus dem Oberwasser, um 15.6 %. Insgesamt lässt sich daraus eine erhöhte Motivation oder Fähigkeit der Fische die FAH am KW Aue zu passieren ableiten.

Besonders auffällig waren die hohen Attraktionseffizienzen (man bemerke, diese sind auf alle ausgesetzten Fische am KW Schiffmühle bezogen) der Hasel, Rotaugen und der Nasen, welche allesamt über 60 % lagen. Auch die Lauben erwiesen sich als sehr motiviert und es konnten immerhin noch 37.1 % am KW Aue wiederdetektiert werden. Niedrig fielen hingegen die Attraktionseffizienzen für die Egli und die Schneider aus, mit 3.7 % resp. 4 % und dies trotz einer jeweils relativ grossen Anzahl an markierten Fischen (N = 134 resp. N = 476).

Tabelle 11: Übersicht der markierten, detektierten und aufgestiegenen Fische am KW Aue, welche aus den Fängen (Unterwasser, Zählbecken und Oberwasser) in der **Schiffmühle** stammen. Angegeben sind die Attraktions-, Einstiegs- und Passageeffizienzen je Art für den Schlitzpass am KW Aue.

Art	N markiert	N detektiert	Einstieg gesamt	Schlitzpass Aufstieg	Attraktionseffizienz in %	Einstiegs-effizienz in %	Passageeffizienz in %
Aal	1	-	-	-	-	-	-
Alet	666	196	196	187	29.4	100	95.4
Bachforelle	3	-	-	-	-	-	-
Barbe	1288	262	261	255	20.3	99.6	97.7
Egli	134	5	5	4	3.7	100	80
Groppe	3	-	-	-	-	-	-
Gründling	22	-	-	-	-	-	-
Hasel	83	61	61	60	73.5	100	98.4
Karpfen	1	-	-	-	-	-	-
Laube	105	39	39	38	37.1	100	97.4
Nase	5	3	3	3	60	100	100
Rotauge	291	183	183	180	62.9	100	98.4
Rotfeder	3	1	1	1	33.3	100	100
Schleie	2	-	-	-	-	-	-
Schneider	476	19	19	18	4	100	94.7
Sonnenbarsch	3	-	-	-	-	-	-
Wels	1	-	-	-	-	-	-
Gesamt	3087	769	768	646	24.9	99.9	97.1

Die Passageeffizienzen der einzelnen Arten lagen bei meist über 95 % und damit sehr hoch. Für den Alet lag sie auf dem Niveau, wie für die Individuen aus der Reuse am KW Aue. Gegenüber den



Oberwasserfischen war sie um 11.7 % höher. Für die Barben lag die Passageeffizienz deutlich höher, mit 22.7 % zu den Oberwasserfischen und 32.6 % zu den Barben aus der Reuse am KW Aue. Die Passageeffizienz der Haseln lag wieder sehr hoch, wie auch bei den Reusenfängen. Das gleiche galt für die Rotaugen.

Von den drei Nasen am KW Aue, konnten am KW Schiffmühle zwar alle detektiert, jedoch nur 2 als aufgestiegen klassifiziert werden.

In Abbildung 14 ist die Längenverteilung der am KW Schiffmühle markierten und am KW Aue wiederdetektierten bzw. aufgestiegenen Fische dargestellt. Es handelte sich hauptsächlich um Individuen im Grössenbereich von 90 mm bis 250 mm. Insgesamt kann kein Unterschied in der Grössenverteilung festgestellt werden. Der geringere Anteil an kleinen Fischen bei den wiederdetektierten gegenüber der Verteilung der markierten Fische, kommt zum Grossteil durch die Schneider zustande, welche anscheinend nicht bis zum KW Aue aufstiegen, oder den Aufstieg dort nicht auffanden. Die 14 Schneider, welche am KW Aue markiert wurden, fanden zumindest mit 63.6 % ($N_{\text{markiert}} = 11$) (Oberwasserfische) bzw. 33.3 ($N_{\text{markiert}} = 3$) die FAH, was gegen eine schlechte Auffindbarkeit spricht und eher für andere unbekannte Gründe. Fische mit einer Totallänge von mehr als 400 mm wurden aus der Grafik ausgeschlossen.

3.2.2 Zeitlicher Verlauf der Aufstiege am KW Aue

In der Aue waren die ersten Aufstiege im Juni 2018 zu verzeichnen, nach der vorerst letzten Markierungsphase von Fischen am KW Schiffmühle im Frühsommer 2018 (vgl. Abbildung 15) und der Inbetriebnahme der Registrierungsanlage. Ende September 2018 begannen die nächsten Markierungen am KW Schiffmühle und KW Aue. Daraufhin konnten gehäuft Fische von beiden Standorten am KW Aue detektiert werden. Im November und Dezember 2018 kamen keine Aufstiege von neuen Fischen hinzu. Erst mit Beginn der neuen Markierungskampagnen im Juni 2019 kamen bis zum Herbst 2019 neue Aufstiege von Fischen, sowohl vom KW Aue, als auch KW Schiffmühle hinzu. Auch hier zeigte sich, wie am KW Schiffmühle, dass die ersten Aufstiege von Fischen kurz nach den Markierungsphasen am häufigsten waren.



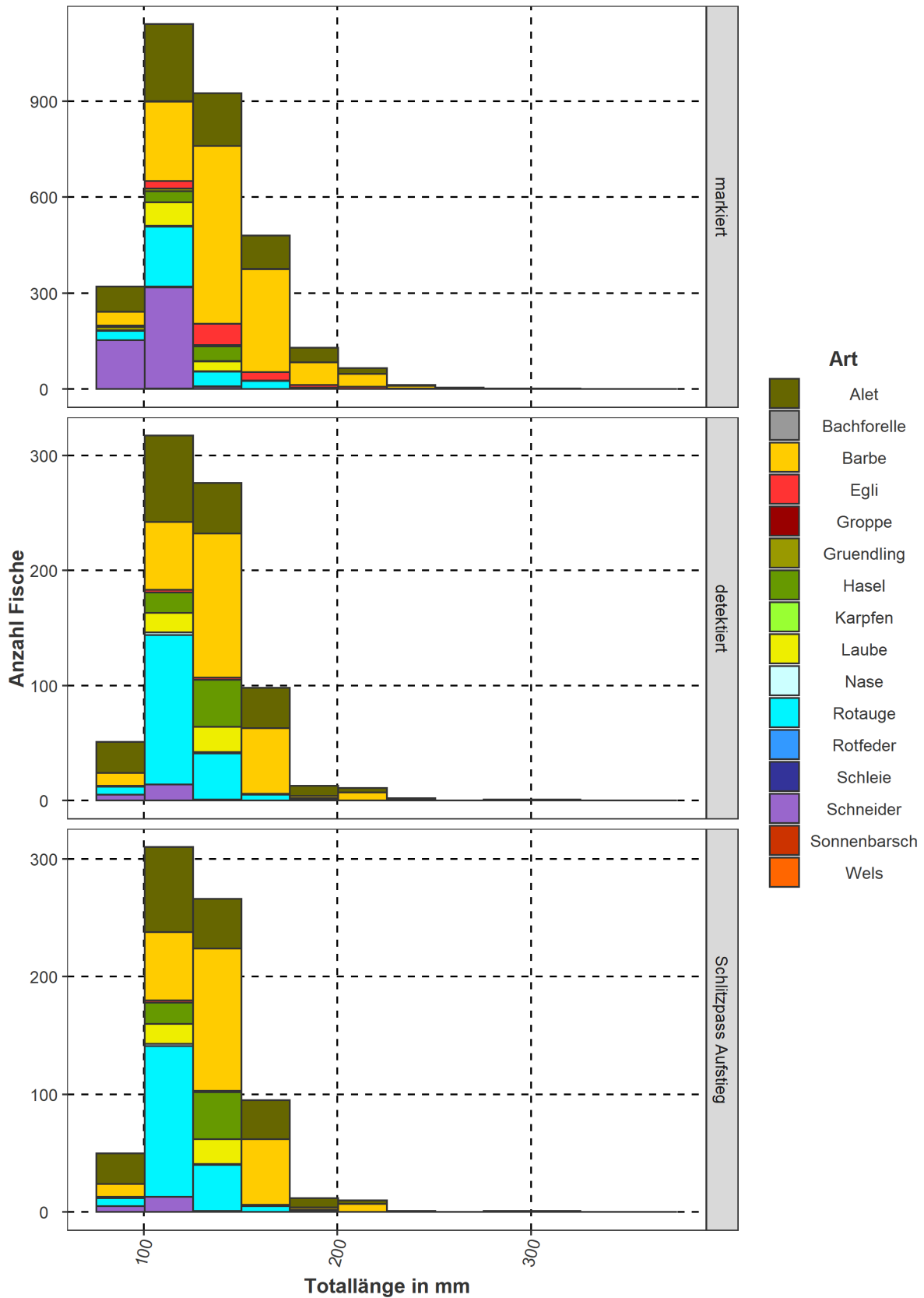


Abbildung 14: Längenfrequenzhistogramm aller am KW **Schiffmühle** gefangenen Fische. Dargestellt ist die Längenverteilung der markierten, detektierten und aufgestiegenen Fische. Individuen (N = 5) mit einer Totallänge von mehr als 400 mm wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit in der Grafik ausgeschlossen.



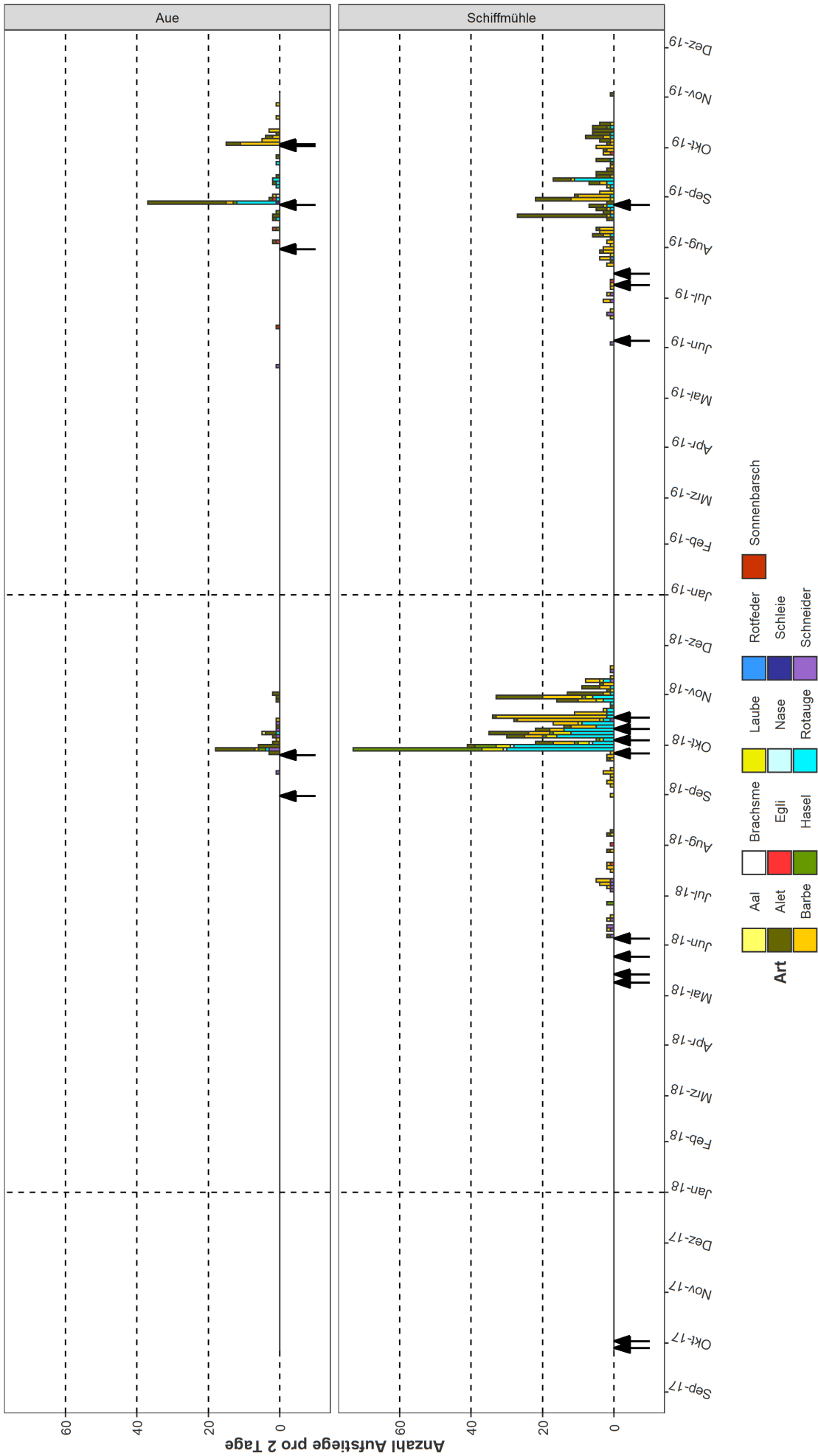


Abbildung 15: Zeitlicher Verlauf der Aufstiege am KW Aue, für alle Fische aus der Aue (Reuse und Oberwasser), sowie aus der Schiffmühle (Unterwasser, Zählbecken und Oberwasser). Die schwarzen Pfeile markieren die Aussetzzeitpunkte.



3.2.3 Passagedauer KW Aue

In Tabelle 12 sind die Passagezeiten des Schlitzpasses am KW Aue für die verschiedenen in der Limmat markierten Fischarten angegeben. Fische aus der Reuse am KW Aue, aus dem Oberwasser des KW Aue und von Markierungen am KW Schiffmühle wurden zusammen betrachtet. Gemessen wurde von der letzten Detektion auf der untersten Antenne am Einstieg der FAH bis zur ersten Detektion auf der obersten Antenne am Ausstieg. Demnach konnten nur Aufstiege ausgewertet werden, welche eine Detektion auf den genannten Antennen hatten. Die in Tabelle 12 gemachten Angaben zum Mittelwert und Maximum der Passagedauer, sind nur bedingt verwertbar. Dies liegt daran, dass sie durch einzelne Individuen, mit aussergewöhnlich langen Passagezeiten, stark verzerrt werden und deshalb keinen Aufschluss über die Passierbarkeit der Anlage geben. Viel mehr sind die Angaben für den Median und das Minimum der Passagedauer interessant. Mit einem Median unter 60 Minuten, sind 50 % der Fische von jeder Art, nach dem Einstieg, innerhalb einer Stunde im Schlitzpass am KW Aue aufgestiegen. Ausnahmen waren der Aal und die Barben, sowie die Schneider. Letztere mit jeweils unter 120 min. Einige der minimalen Passagezeiten lagen unter 30 Minuten. Besonders schnell waren Individuen der Arten Barben (12.5 min), Haseln (14.7 min) und Alet (17.5 Min). Die Haseln waren insgesamt ausgesprochen schnell, auch der Median der Passagedauer lag mit nur 33.5 min am tiefsten.

Tabelle 12: Passagedauer in Minuten vom letzten Kontakt an der untersten Antenne im Schlitzpass, bis zur obersten Antenne am Ausstieg aus der FAH im Schlitzpass. N ist die Anzahl an Individuen, die zur Auswertung herangezogen werden konnte. Gewertet wurde nur der erste Aufstieg eines Individuums.

Art	Mittelwert	Median	Minimum	Maximum	N
Aal	147.8	147.8	147.8	147.8	1
Alet	109.7	54.0	17.5	1266.6	252
Barbe	1480.1	101.5	12.5	354725.3	288
Brachsmen	50.4	50.4	50.4	50.4	1
Egli	33.5	35.3	25.0	36.4	5
Hasel	51.3	33.5	14.7	781.6	67
Laube	70.7	47.8	19.9	255.9	37
Nase	59.7	45.4	33.7	99.9	3
Rotauge	67.7	52.5	20.0	278.1	200
Rotfeder	41.8	41.8	41.8	41.8	1
Schleie	72.3	72.3	72.3	72.3	1
Schneider	319.6	115.1	28.2	1809.9	20
Sonnenbarsch	50.8	50.8	50.8	50.8	1

3.2.4 Fischabstieg KW Aue

Am KW Aue konnten bisher keine Abstiege über den Bypass zum Fischabstieg registriert werden. Es gab jedoch vereinzelt Abstiege über die FAH und unbekannte Wege (vgl. Tabelle 13). Letztere wurden durch erneute Aufstiege über die FAH identifiziert. Insgesamt wurden 52 Abstiege detektiert, darunter waren allerdings drei Barben, welche zweimal einen unbekanntes Abstiegswege benutzten und anschliessend wieder aufstiegen. Damit wurde für 49 Individuen ein Abstieg registriert. Die Meisten Abstiege entfielen auf die Arten Alet (N = 7) und Barben (N = 41). Für Egli, Lauben und Rotaugen, konnte nur für je ein Individuum ein Abstieg verzeichnet werden. In 82.7 % der Fälle wurde ein unbekannter Abstiegswege benutzt, in ca. 5.8 % der Fälle die FAH. 11.5 % der Abstiege fanden binnen 6 h statt und wurden als direkter Wiederabstieg gewertet. Die Grenze von 6 h ist künstlich gesetzt, zumeist stiegen die Fische aber in wesentlich kürzeren Zeiträumen oder deutlich später wieder ab. Bei den mehr oder weniger direkten Abstiegen (N = 6) kann nicht ganz sicher davon ausgegangen werden, dass die Fische



die FAH wirklich ins Oberwasser verliessen. Es ist nicht klar, warum diese Fische wiederabstiegen, eine Benutzung der FAH als Lebensraum ist zum Beispiel denkbar, aber auch Probleme am Ausstieg (z.B. Verklausungen). Bei den späteren Abstiegen (N =3) liegt es nahe, dass die Fische die FAH bewusst als Abstiegskorridor ausgewählt haben könnten, oder zumindest aus dem Oberwasser irgendwie dort hineingeleitet wurden. Die meisten der wiederabgestiegenen Fische stammten aus dem Zählbecken am KW Schiffmühle (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 13: Verteilung der Abstiege am KW Aue über die einzelnen Arten. Direkter Wiederabstieg über die FAH bedeutet, dass nach dem Aufstieg der Abstieg innerhalb von max. 6 h erfolgte, spätere nach 6 h

Art	Abstiegsweg unbekannt	direkter Wiederabstieg FAH	späterer Abstieg FAH	Bypass Abstieg	Anzahl Individuen
Aal	0	0	0	0	0
Alet	6	0	1	0	7
Barbe	34	5	2	0	38
Brachsmen	0	0	0	0	0
Egli	1	0	0	0	1
Gründling	0	0	0	0	0
Hasel	0	0	0	0	0
Laube	1	0	0	0	1
Nase	0	0	0	0	0
Rotaug	0	1	0	0	1
Rotfeder	0	0	0	0	0
Schleie	0	0	0	0	0
Schneider	1	0	0	0	1
Sonnenbarsch	0	0	0	0	0
Trüsche	0	0	0	0	0
Gesamt	43	6	3	0	49

Tabelle 14: Herkunft der am KW Aue abgestiegenen Fische.

	Aue Oberwasser	Aue Reuse	Schiffmühle Oberwasser	Schiffmühle Unterwasser	Schiffmühle Zählbecken	Gesamt
Direkter Wiederabstieg FAH	0	3	0	0	3	6
Späterer Abstieg FAH	0	0	0	0	3	3
Abstiegsweg unbekannt	3	1	2	0	37	43
Gesamt	3	4	2	0	43	52



4 Bewertung und Diskussion

4.1 Fischaufstieg

Die Bewertung von Fischaufstiegsanalgen ist bisher in der Schweiz nicht standardisiert worden. Es gibt zwar Versuche verschiedene FAH miteinander zu vergleichen, wie zum Beispiel am Hochrhein (Guthruf 2008), diese beruhen jedoch auf der Verwendung von Zählleinrichtungen. Diese Methode und die Interpretation der Ergebnisse ist nicht unumstritten und nach neusten Erkenntnissen bedarf es dringend einer Standardisierung der Fangmethode (Wilmsmeier et al. 2020). Ausserdem muss eine Evaluierung des Aufstiegspotentials erfolgen und ein Bewertungsmaassstab sollte die Gewässereigenschaften berücksichtigen. Ein neuer Ansatz wurde vom Österreichischen Fischereiverband veröffentlicht und wird aktuell diskutiert (Woschitz et al. 2020).

Studien, in welchen die Methode des PIT-Tagging angewandt wurde, sind bisher ebenfalls selten. Dies erschwert die Einschätzung der in dieser Studie erhobenen Resultate. Eine Grundvoraussetzung ist, wie bei der Bewertungen von Fischzählungen, eine standardisierte Vorgehensweise. Eine Metaanalyse und eine Definition der in dieser Studie angewandten Bewertungskriterien, liefert Bunt et al. (2012). Diese sind die Attraktionseffizienz, die Einstiegseffizienz, die Passageeffizienz, sowie die Passagedauer (vgl. Kap. 2.2.6). Neuere Untersuchungen griffen diese Parameter auf und so finden sich Vergleichsdaten in den Studien von Peter et al. (2016), Schwevers et al. (2019), sowie in Benitez et al. (2018). Diese werden im Folgenden diskutiert und in die Bewertung der Fischaufstiegshilfen an den KW Schiffmühle und Aue einbezogen. Einschränkungen in der Vergleichbarkeit ergeben sich aus den Eigenschaften des Gewässersystems und des telemetrierten Artenspektrums, sowie der Entfernung des Aussatzortes der Fische zum Kraftwerk und des zu überwindenden Höhenunterschieds zwischen Unterwasser und Oberwasser an einem Hindernis. Zudem ist die Attraktionseffizienz mittels PIT-Tagging eigentlich nicht zu ermitteln, um diese zu erfassen, wäre eine Kombination mit Radiotelemetrie notwendig. Die Anzahl markierter bzw. ausgesetzter Fische, spiegelt nicht zwingend den Anteil wanderwilliger Fische im Unterwasser wider. Vielmehr ist nur ein Teil der ausgesetzten Fische tatsächlich wanderwillig. Wie gross dieser Anteil ist, kann nur herausgefunden werden, wenn die Fische bereits bei der Annäherung an das Hindernis detektiert würden. Der Anteil dieser wanderwilligen Fische, der in die FAH ein schwimmt und am Einstieg detektiert wird, ist die wahre Attraktionseffizienz einer FAH. Indem die Anzahl ausgesetzter Fische als Grundlage zur Berechnung der Attraktionseffizienz herangezogen wird, wird der Anteil an aufstiegswilligen Fischen daher eher überschätzt und kann durch verschiedene Faktoren, wie Saison, Temperatur, Fischart, Fischgrösse und die Art des Gewässers, variieren. Aufgrund der methodischen Einschränkungen muss beim PIT-Tagging ab einem mittleren Gewässer, wie der Limmat, die vereinfachte Berechnung Attraktionseffizienz angewendet werden. Ein Abspannen der gesamten Gewässerbreite mit einer RFID-Antenne, zur Erfassung der wanderwilligen Fische, bei der Annäherung an das Kraftwerk, ist nur unter erheblichen Aufwand realisierbar. Die Passagedauer ist ebenfalls nicht einfach zu deuten. Sie ist abhängig von der Schwimffähigkeit und der Motivation eines Fisches, sowie von den Fliessgeschwindigkeiten innerhalb einer FAH und dem insgesamt zu überwindenden Höhenunterschied zwischen Unterwasser und Oberwasser an einem Hindernis. Weder die physiologischen Fähigkeiten der Fische, noch die technischen Eigenschaften der FAHs wurden in dieser Analyse miteinbezogen.

Besonders zu berücksichtigen ist zudem, dass das Grössenspektrum der Fische in der vorliegenden Studie eher von kleinen Individuen dominiert ist und vorwiegend Fische im Bereich von 90 – 250 mm Totallänge markiert werden konnten. Für grössere Individuen konnten vereinzelt Aufstiege registriert werden, eine belastbare Aussage ist auf dieser Grundlage jedoch nicht möglich. Es wird aber davon ausgegangen, dass der Aufstieg auch für grosse Individuen möglich sein sollte, da während der Untersuchungen keine Defizite festgestellt werden konnten, die diese Annahme in Frage stellen. Zudem ist bezüglich Schwimffähigkeit, eher bei den kleineren schwimmschwächeren Individuen, eine



Einschränkung der Passierbarkeit zu erwarten.

Durch den relativ langen Untersuchungszeitraum dieser Studie, hatten die Fische umso mehr Zeit in einer FAH aufzusteigen, je früher sie markiert wurden. Insgesamt fanden die meisten Aufstiege jedoch innerhalb kurzer Zeit (wenige Tage bis Wochen) nach dem Aussatz statt (vgl. Kap. 3.1.2 und 3.2.2). Viele Fische unternahmen mehrere Anläufe, bis sie sich z.B. für einen Einstieg am KW Schiffmühle entschieden hatten und aufstiegen. Andere Fische wiederum stiegen direkt auf. Brach ein Fisch die ersten Aufstiege ab, bzw. stieg nicht ein, so wurde er bei einem Aufstieg zu einem späteren Zeitpunkt, als Aufsteiger kategorisiert. Vorangegangene potentielle Fehlversuche am selben Einstieg, wurden bei der Auswertung damit ignoriert.

4.1.1 Fischeaufstieg KW Schiffmühle

4.1.1.1 Attraktionseffizienz

Am KW Schiffmühle konnten insgesamt 67.3 % aller ausgesetzten Fische aus dem Zählbecken und 78.1 % der Fische aus dem Oberwasser wiederdetektiert werden. Die Benutzung der Einstiege war in etwa ausgeglichen, mit 754 Individuen im Schlitzpass zu 729 Individuen im Raugerinne. Die Wiederdetektionsrate oder auch Attraktionseffizienz lag am Standort KW Schiffmühle vergleichsweise hoch. In anderen Studien konnten nur Attraktionseffizienzen gefunden werden, im Bereich von 32.9 % für die Mass in Belgien (Benitez et al. 2018), bis zu ca. 30 % für alle Einstiege am KW Rheinfeldern (Peter et al. 2016), 16.1 % im Mittel bis maximal 46.6 % für die von Schwevers et al. (2019) untersuchten FAH der Kraftwerke am Hochrhein. Von Noonan et al. (2012) konnte hingegen in einer Metastudie eine mittlere Attraktionseffizienz von 65.1 % ermittelt werden, wobei einige Studien mit stark wandermotivierten Salmoniden miteinbezogen wurden. Auch Bunt et al. (2012) fanden in ihrer Metaanalyse mit diversen Fischarten und FAH-Typen, eine mittlere Attraktionseffizienz von 66 %. Somit lag die am KW Schiffmühle ermittelte Attraktionseffizienz im oberen Mittelfeld und im Vergleich zu den Hochrheinstudien im höheren Bereich. Hinzu kommt, dass vorwiegend kleine Individuen markiert wurden und für diese der Stress der Markierung, sowie die generelle Überlebenschance in einem Gewässer wie der Limmat geringer ist, als für grössere Fische. In Anbetracht dessen, ist die Attraktionseffizienz bzw. die Auffindbarkeit als hoch einzustufen und damit als gut.

Auf Ebene der Arten fielen nur drei auf, die eine aussergewöhnlich niedrige Attraktionseffizienz hatten. Dies waren zum einen die Groppen, hier konnte keines der drei markierten Exemplare wiederdetektiert werden. Zum anderen fielen die Gründlinge mit einer sehr niedrigen Attraktionseffizienz von nur 6.2 bzw. 25 % auf. Auch der Wels konnte nicht wiederdetektiert werden. Was genau die Ursache ist, kann nicht beurteilt werden. Interpretationen sind schwierig, da nur 3 Groppen, 16 Gründlinge und ein Wels markiert wurden.

Auffällig war die Verteilung der Attraktion auf die beiden Einstiege der FAH. Insgesamt teilten sich die Fische gleichmässig auf, artspezifisch konnten jedoch Präferenzen festgestellt werden. Das Raugerinne wurde dabei von den Haseln und den Rotaugen deutlich bevorzugt. Auch am KW Rheinfeldern, am Hochrhein, wurden die Haseln und Rotaugen eher im Raugerinne und Umgehungsgerinne detektiert, weniger im Schlitzpass (Peter et al. 2016), dessen Einstieg in beiden Fällen direkt neben den Turbinenauslässen lag. Auch eine mittlere Präferenz der Barben für den Schlitzpass, konnte in dieser sowie in der Studie von Peter et al. (2016) belegt werden. Für die Schneider galt dies in schwächerer Ausprägung auch. Für die Lauben hingegen, konnte keine Präferenz eines Einstiegs der FAH am KW Schiffmühle erkannt werden, am Hochrhein bevorzugten sie hingegen das Umgehungsgerinne deutlich (Peter et al. 2016).

4.1.1.2 Einstiegseffizienz

Die Einstiegseffizienz der Zählbeckenfische für den Schlitzpass lag für alle Arten zusammen bei 98.5 % und für das Raugerinne bei 87.9 %. Die Einstiegseffizienzen der Oberwasserfische bei 100 % resp. 87.2 %. Für beide Gruppen schnitt das Raugerinne etwas schlechter ab. Die Fische zögerten hier



scheinbar beim Aufstieg, zumindest zu einem kleinen Teil. Noonan et al. (2012) nennen in ihrer Meta-studie eine mittlere Einstiegseffizienz von 39.6 %. Beide Einstiege lagen deutlich darüber und fast alle Fische, die einen FAH-Einstieg aufgefunden hatten, begannen im Untersuchungszeitraum irgendwann einmal einen Aufstieg, indem sie in die FAH einstiegen. Die Einstiegseffizienz des Schlitzpasses ist als sehr gut einzustufen, die des Raugerinnes als gut.

4.1.1.3 Passageeffizienz

Die Passageeffizienz der ganzen Anlage lag bei 81.4 % für alle Arten der Fische aus dem Zählbecken und bei 92.3 % für die Fische aus dem Oberwasser. Die Passageeffizienzen für den Schlitzpass lagen bei 78.5 % resp. 81.8 %, die des Raugerinnes bei 73.6 % resp. 95.1 %. Für die FAH der Kraftwerke am Hochrhein geben Schwevers et al. (2019) Passageeffizienzen von 56.9 % bis 90.6 % an, im Mittel 74.3 % (ohne Berücksichtigung des Fischlifts Wyhlen). Die Passageeffizienzen am KW Rheinfelden lagen bei 80 - 90 % im Mittel für den Schlitzpass und bei 60 – 70 % für das Raugerinne. Benitez et al. (2018) geben eine Passageeffizienz für einen Schlitzpass an der Maas, über alle markierten Fischarten, von im Schnitt 86.3 % an. Bunt et al. (2012) fanden für Schlitzpässe eine Passageeffizienz von im Mittel 45 %, für naturnahe FAH hingegen eine Passageeffizienz von 70 %. Noonan et al. (2012) fanden in ihrer Metaanalyse eine Passageeffizienz von nur 41.7 %.

Bei der Beurteilung der Passageeffizienz ist zu berücksichtigen, dass die FAH auch als Lebensraum für die Fische dienen kann. Einige Fische konnten mit mehrfachen Auf- und Abstiegen registriert werden und bewegten sich in der FAH derart, dass eine Nutzung als Lebensraum anzunehmen ist. Dennoch sollte für einen Grossteil der Fische die FAH passierbar sein. Insbesondere für die Oberwasserfische lagen die Passageeffizienzen über 90 % und damit in einem sehr guten Bereich. Nahezu allen Fischen war es möglich, nach dem Einstieg, die FAH über diesen Einstieg zu passieren. Die Passageeffizienzen für die Fische aus dem Zählbecken lagen niedriger, aber dennoch im oberen Bereich dessen, was in anderen Studien festgestellt werden konnte. Für diese Gruppe kann die Passierbarkeit als noch gut eingestuft werden.

4.1.1.4 Passagedauer

Der Median der Passagedauer für den Schlitzpass, lag für die meisten Arten bei weniger als 60 min Im Raugerinne lagen die Mediane im Schnitt 24.8 min höher und besonders die Schneider und Nasen hatten lange Passagezeiten. In der Studie von Benitez et al. (2018) lagen die Mediane der Passagezeiten für den Schlitzpass, mit Ausnahme der Salmoniden, bei 71 bis 274 min Am KW Rheinfelden lagen die Mediane der Passagedauer im Raugerinne bei 66 bis 160 min, im Schlitzpass bei 48 bis 475 min (Egli aufgrund geringer Anzahl ausgenommen) (Peter et al. 2016).

Insgesamt ist die Passagedauer für beide FAH-Arme in einem Bereich, der eher niedrig ist, insbesondere für den Schlitzpass. Zu beachten ist dabei der geringe Höhenunterschied, der am KW Schiffmühle durch die FAH überwunden wird. Eine Passagedauer im Bereich von 1 h für mehr als 50 % der Fische, kann nicht als wesentliche Beeinträchtigung der Wanderung angesehen werden. Dazu kommt, dass Individuen aller Arten die FAH deutlich schneller überwinden konnten, darunter auch kleinere Arten, wie die Schneider.

4.1.1.5 Längenselektivität

Sowohl für die Fische aus dem Zählbecken, als auch die Fische aus dem Oberwasser des KW Schiffmühle, konnte keine Längenselektivität bezüglich der Einstiege in die FAH-Arme und der Aufstiege festgestellt werden.

4.1.1.6 Abschliessende Bewertung

Die FAH am KW Schiffmühle, kann mit ihren beiden Einstiegen als funktionsfähig beurteilt werden. Alle Parameter konnten mit gut bis sehr gut beurteilt werden (vgl. Tabelle 15). Artspezifische Defizite konnten nur für Gründlinge und Groppen gefunden werden. Beide Arten waren jedoch nur mit wenigen



Individuen in der Studie vertreten. Auch für die Gruppe der Salmoniden konnten nur 3 Bachforellen markiert werden, eine Beurteilung ist für diese Gruppe anhand der vorliegenden Daten nicht möglich. Da Salmoniden aber als stärkere Schwimmer gegenüber Cypriniden gelten, ist zumindest die Passierbarkeit der Anlage anzunehmen. Die Auffindbarkeit für Salmoniden wäre eine wichtige Ergänzung. Abgesehen davon, konnte für das vorgefundene Artenspektrum die Eignung der Anlage nachgewiesen werden. Für grosse Fische konnte der Aufstieg nur von Einzelexemplaren nachgewiesen werden, da zu wenige grosse Fische zur Markierung zur Verfügung standen. Es ist aber davon auszugehen, dass auch grössere Fische den Aufstieg am KW Schiffmühle vollziehen können. Es konnten keine längenspezifischen Einschränkungen bei der Nutzung der FAH festgestellt werden. Die beiden Einstiege schienen sich zu ergänzen, indem sie von unterschiedlichen Arten präferiert genutzt wurden. Was bei der Schliessung einer der beiden Einstiege passiert wäre, ist jedoch unklar. Es könnte sein, dass die Fische gleichwohl die nicht präferierte Einstiegsvariante angenommen hätten. Bezüglich der Passagedauer, konnten keine wesentlichen Defizite festgestellt werden.

Tabelle 15: Übersicht der Beurteilung der Bewertungsparameter für den Fischaufstieg am KW Schiffmühle. Angegeben sind zusätzlich die artübergreifenden Ergebnisse, für die einzelnen Beurteilungsparameter der im Zählbecken resp. im Oberwasser gefangenen Fische.

Parameter	Bewertung		
	Schlitzpass	Raugerinne	Gesamte Anlage
Auffindbarkeit / Attraktionseffizienz	gut (15.1 - 33.7 %)	gut (39.0 – 64.4 %)	gut (67.3 -78.1 %)
Einstiegseffizienz	sehr gut (98.5 – 100 %)	gut (87.2 – 87.9 %)	gut (91.2 – 95.5 %)
Passageeffizienz	gut (78.5 -)	gut (73.6 -95.1 %)	gut (81.4 - 92.3 %)
Passagedauer	gut	gut	gut
Längenselektivität	keine	keine	keine

4.1.2 Fischaufstieg KW Aue

4.1.2.1 Attraktionseffizienz

Die Attraktionseffizienz kann nur für die direkt unterhalb des KW Aue ausgesetzten Fische beurteilt werden. Diejenige der Fische aus dem Monitoring am KW Schiffmühle, wurde durch den Aufstieg am KW Schiffmühle und am KW Kappelerhof beeinflusst und war damit nicht vergleichbar. Die Attraktionseffizienz lag bei 55.9 % und damit deutlich niedriger, als an der FAH am KW Schiffmühle. Die Attraktionseffizienz der in der Reuse gefangenen Fische lag mit 61.1 % etwas höher. Insgesamt ist sie anhand der Referenzen unter Kap. 4.1.1.1 und im Vergleich zur FAH am KW Schiffmühle, als mässig bis gut einzustufen. Für Gründlinge war die Attraktionseffizienz, wie auch am KW Schiffmühle, sehr niedrig. Die Welse wurden gar nicht detektiert.

4.1.2.2 Einstiegseffizienz

Die Einstiegseffizienzen waren für die Fische aus der Reuse mit 100 %, dem Oberwasser mit 98.5 % und vom Monitoring an KW Schiffmühle mit 99.9 %, durchgehend optimal. Eine Ausnahme stellte die Trüsche mit 50 % (N = 2) dar.

4.1.2.3 Passageeffizienz

Die höchste Passageeffizienz am KW Aue konnte für die Fische aus der Schiffmühle ermittelt werden. Sie lag bei nahezu optimalen 97.1 %. Diejenige der Fische aus der Reuse lag bei 79.5 % und die der Fische aus dem Oberwasser bei 81.5 %. Bei den Fischen aus der Reuse, zeigten vor allem die Barben und Egli unterdurchschnittliche Passageeffizienzen. Bei den Fischen aus dem Oberwasser waren es ebenfalls die Barben, aber auch die Alet, die eine unterdurchschnittliche Passageeffizienz vorwiesen. Bei den Fischen vom KW Schiffmühle, konnten diese artspezifischen Unterschiede nicht festgestellt



werden. Es liegt daher nahe, dass die Motivation der Individuen bei der Passageeffizienz eine Rolle spielte. Vor diesem Hintergrund kann die Passageeffizienz der Anlage trotzdem als gut bezeichnet werden.

4.1.2.4 Passagedauer

Die Passagedauer lag für mindestens 50 % der Individuen der meisten Arten, unter 60 min. Damit waren sie in einem ähnlichen Bereich, wie am KW Schiffmühle. Auffällig waren die deutlich längeren Passagezeiten der Barben und Schneider, deren Mediane mit 101.5 min und 115.1 min fast doppelt so hoch lagen, wie die der meisten anderen Arten. Auch im Schlitzpass, aber besonders im Raugerinne, lagen die Passagezeiten dieser Arten am KW Schiffmühle, ebenfalls etwas höher. Im Vergleich zur FAH am KW Schiffmühle und den unter Kap. 4.1.1.4 aufgeführten Referenzen, konnten keine besonderen Defizite bei der Passagedauer festgestellt werden.

4.1.2.5 Längenselektivität

Bei den Fischen, welche im Zuge des Monitorings am KW Schiffmühle markiert wurden, konnte keinerlei Längenselektivität festgestellt werden. Bei den Fischen aus dem Oberwasser am KW Aue, konnte eine niedrige Attraktionseffizienz für kleine Rotaugen unter 100 mm gefunden werden. Vermutlich hatte die Fischgrösse hier aber eher Einfluss auf andere Faktoren, die die Attraktionseffizienz beeinflussen könnten, wie z.B. Prädation oder die Verträglichkeit der Markierung. Für die Fische aus der Reuse am KW Aue, konnte eine leichte Untervertretung der Fische ab 180 mm Totallänge festgestellt werden. Es handelte sich vorwiegend um Barben, deren Attraktionseffizienz vergleichsweise niedrig war.

4.1.2.6 Abschliessende Bewertung

Der Fischeaufstieg am KW Aue kann als funktionsfähig beurteilt werden. Eine Einschränkung ergibt sich, wie für die FAH am KW Schiffmühle, für die Beurteilung hinsichtlich Salmoniden und grossen Individuen. Hier ist keine sichere Aussage möglich. Die Attraktionseffizienz erreichte nicht die der FAH am KW Schiffmühle. Ausserdem konnte ein leichtes Defizit bei der Attraktion/Auffindbarkeit für grössere Individuen beobachtet werden. Der Einstieg in die FAH liegt am selben Ufer, wie die Dotationsturbine. Auch die Positionierung ist am Übergang eines etwas langsamer strömenden Randbereichs zu Hauptströmung gut. Allerdings ist der Einstieg nicht direkt am Wehrfuss oder am Turbinenauslass, sondern etwas ins Unterwasser versetzt. Dadurch wird zwar der Einstieg für schwimmschwächere Individuen erleichtert, schwimmstarke (wie z.B. grössere Barben), suchen vermutlich näher am Wehr (bei Überfall bzw. am Saugschlauchende), wodurch Sackgasseneffekte entstehen können und die Auffindbarkeit der FAH herabgesetzt wird. Auch für Gründlinge scheint ein Defizit möglich, was die Auffindbarkeit angeht. Die sohlorientierten Welse wurden ebenfalls nie detektiert. Die zwei Trüschen fanden zwar den Einstieg in die FAH, stiegen jedoch nie auf.

Tabelle 16: Übersicht der Beurteilung der Bewertungsparameter für den Fischeaufstieg am KW Schiffmühle. Angegeben sind zusätzlich die artübergreifenden Ergebnisse, für die einzelnen Beurteilungsparameter der in der Reuse resp. im Oberwasser gefangenen Fische. Für die Einstiegs- und Passageeffizienz, wurden auch die Ergebnisse der Fische einbezogen, welche am KW Schiffmühle markiert wurden.

Parameter	Bewertung
	Schlitzpass
Auffindbarkeit / Attraktionseffizienz	mässig bis gut (47.1 - 61.1 %)
Einstiegseffizienz	sehr gut (98.5 – 100 %)
Passageeffizienz	gut (79.5 – 97.1 %)
Passagedauer	gut
Längenselektivität	Keine bis geringe



4.2 Fischabstieg

4.2.1 Fischabstieg Kraftwerk Schiffmühle

Am KW Schiffmühle benutzen die Fische vorwiegend unbekannte Abstiegswege, welche z.B. das Wehr oder die Turbine am KW Schiffmühle sein konnten. Wahrscheinlich waren auch Abstiege über das Hauptkraftwerk Schiffmühle. Darauf folgte die FAH als weiterer Abstiegskorridor, wobei der Schlitzpassarm etwa doppelt so häufig benutzt wurde, wie der Raugerinnearm. Der Bypass, welcher zum Fischabstieg stromabwärts des Rechs installiert ist, konnte nur zwei plausible Abstiegsbewegungen detektieren. Der Bautyp des Bypasses ähnelt dem am KW Aue sehr und damit auch die Probleme im Betrieb. Der Bypass war zum einen konstruktionsbedingt häufig verstopft, wenn sich im Bypassrohr Treibgut ansammelte. Zum anderen waren auch die Blenden zum Vorkammerschacht des Bypasses häufig verstopft (vgl. Abbildung 16). Ausserdem war kein gleichmässiger Strömungspfad zwischen dem Einstieg in den Bypass und der Bypassrohröffnung in der Vorkammer ausgeprägt. Der Bypass zum Fischabstieg in der Schiffmühle muss als weitestgehend funktionsuntüchtig eingestuft werden. Absteigende Fische benutzen praktisch ausnahmslos andere Korridore.



Abbildung 16: Sicht in die Vorkammer des Bypasses am KW Schiffmühle. Links: Grosser Durchfluss und kaum Verstopfung nach der Reinigung. Rechts: Mit Treibgut verlegte Öffnungen in der Lochblende und in Folge nur noch geringer Durchfluss.

4.2.2 Fischabstieg Kraftwerk Aue

Die absteigenden Fische am KW Aue benutzen vorwiegend unbekannte Abstiegswege, vermutlich zum Beispiel durch die Turbinen oder über das Wehr. Selbst die FAH wurde von absteigenden Fischen benutzt, wenn auch in deutlich geringerem Masse. Alles in allem konnte somit ein Abstiegspotential mit 52 Abstiegen für das KW Aue bestätigt werden, auch wenn nicht extra zu diesem Zweck markierte Fische im Oberwasser des KW Aue ausgesetzt wurden. Der zum Fischabstieg angelegte Bypass wurde durch keinen einzigen Fisch aufgesucht. Dies spricht dafür, dass der Bypass am KW Aue seine Funktion nicht erfüllt. Mögliche Gründe dafür liegen sehr wahrscheinlich in der Konstruktion mit der schachtartigen Vorkammer. Diese führte nicht nur zu einem Abreissen des Strömungspfades, sondern auch zu einer Ansammlung von Treibgut und damit der Verstopfung des Bypasses. Das gleiche galt für die Blenden in diesen Schacht, deren Öffnungen konstruktionsbedingt sehr schnell mit Treibgut verstopften, genau wie am KW Schiffmühle.



5 Fazit

Die Funktionskontrolle des Fischaufstiegs an den Kraftwerken Schiffmühle und Aue ergab, dass beide Anlagen funktionsfähig sind und den Fischaufstieg für ein breites Arten- und Grössenspektrum erlauben. Die Passage erfolgte innerhalb angemessener Zeiten. Für Salmoniden und grosse Individuen anderer Arten, konnte die Funktionsfähigkeit der Anlagen nur mit wenigen Beobachtungen belegt werden. Eine weitere Einschränkung deutete sich für die sohlorientierten Arten Groppen und Gründlinge an. Diese Beobachtungen basierten jedoch ebenfalls auf nur wenigen Individuen. Für den Fischaufstieg am KW Schiffmühle konnte eine artspezifische Präferenz der Einstiege in die FAH gefunden werden. Zudem konnte mit 24.9 % aller ausgesetzten Fische, ein beträchtlicher Teil der Fische vom KW Schiffmühle, bis zum KW Aue aufsteigen (Distanz 5.1 km).

Der Fischabstieg an beiden Kraftwerken wurde hingegen nicht genutzt. Einzig am KW Schiffmühle waren einzelne Abstiege möglich. Über andere Korridore absteigende Fische konnten durch Wiederdetektionen in den FAH identifiziert werden. So spielten die FAH selber eine grössere Rolle für den Fischabstieg, als die dazu vorgesehenen Bypässe. Zudem kamen Abstiege über unbekannte Korridore, wie vermutlich z.B. die Turbinen, die Wehrfelder oder das Hauptkraftwerk hinzu. An beiden Standorten ist der Betrieb der Fischabstiegshilfen nicht zielführend. Sofern der Fischschutz vor den Turbinen am KW Aue und Schiffmühle gewährleistet werden kann, scheint eine nach neusten Erkenntnissen konstruierte Fischabstiegshilfe an den Hauptkraftwerken, als wesentlich sinnvollere Alternative. In diesem Fall könnte auf eine Hilfe für den Fischabstieg an den Dotierkraftwerken verzichtet werden.

6 Dank

Wir bedanken uns bei den Limmatkraftwerken, Baden (Andreas Doessegger, Peter Rotenfluh und seinem Nachfolger Christoph Froelich mit seinem Team) für die gute Zusammenarbeit und wertvolle Unterstützung. Für die tatkräftige Hilfe bei den Fischmarkierungen und Befischungen danken wir Reto Wittwer, Pachtvereinigung Stausee Wettingen und seinem Fischerteam (Edgar Horlacher, Heinz Ledergerber, Beni Hunkeler, Barbara Wittwer, Kurt Raimann, Nick Stalder). Ihre Hilfe haben wir sehr geschätzt. Tabea Kropf (Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau) danken wir für die unkomplizierte Abwicklung bezüglich der Abfischungen und Fischmarkierungen.



7 Literatur

- Benitez, J. P., Dierckx, A., Nzau Matondo, B., Rollin, X. & Ovidio, M. (2018). Movement behaviours of potamodromous fish within a large anthropised river after the reestablishment of the longitudinal connectivity. *Fisheries Research*, 207 (June), 140–149.
- Bunt, C. M., Castro-Santos, T. & Haro, A. (2012). Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Research and Applications*, 28 (4), 457–478.
- Guthruf, J. (2008). *Fischaufstieg am Hochrhein. Koordinierte Zählung 2005/06*. Bern. 163 S.
- Noonan, M. J., Grant, J. W. A. & Jackson, C. D. (2012). A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries*, 13 (4), 450–464.
- Peter, A., Mettler, R. & Schölzel, N. (2016). *Kurzbericht zum Vorprojekt „ PIT-Tagging Untersuchungen am Hochrhein – Kraftwerk Rheinfelden “*. 45 S.
- Schwevers, U., Adam, B., Dersch, F., Goepfert, S. & Mögeltönder-Löwenberg, S. (2019). *PIT-Tagging Hochrhein - Abschlussbericht*. Kirtorf-Wahlen. 169 S.
- Summerfelt, L. . & Smith, R. C. (1990). Anaesthesia, surgery and related techniques. In P. Schreck & B. Moyle (Hrsg.), *Methods for Fish Biology* (S. 213–272). American Fisheries Society: Bethesda, Maryland.
- Wilmsmeier, L., Schölzel, N., Peter, A. & Baumann y Carmona, A. (2020). Fischzählbecken - die unterschätzte Bedeutung der Reusenkehle. *WasserWirtschaft*, 110 (2–3), 55–62.
- Woschitz, G., Gumpinger, C., Ratschan, C., Guttman, S. & Zeiringer, B. (2020). *Richtlinie 1/2003 i.d.F. 2020 Mindestanforderungen bei der Überprüfung von Fischaufstiegshilfen (FAH) und Bewertung der Funktionsfähigkeit. Richtlinien der Fachgruppe Fischereisachverständige beim Österreichischen Fischereiverband*. 47 S.

