

Erfolgskontrolle der Fischtreppe Steffstep in Kollbrunn



Eva Baier
November 2016

WRH Walter Reist Holding AG
Industriestrasse 1, CH-8340 Hinwil/Schweiz
Telefon +41 44 938 70 00
www.steffstep.ch



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	2
Einleitung.....	3
Abkürzungen und Befischungsstrecken.....	3

Teil 1 – Untersuchungszeitraum 2 (UZ2)

1 Umweltparameter.....	5
1.1 Abfluss.....	5
1.2 Wassertemperatur.....	6
2 Abfischungsergebnisse.....	6
2.1 Grössenklassen der markierten Fische.....	7
2.2 Klassifizierung der markierten Fische.....	7
3 Auffindbarkeit, Passierbarkeit, Gesamteffizienz.....	8
3.1 Nach Klassifizierung.....	8
3.2 Nach Grössenklassen.....	9
3.3 Fische mit der Klassifizierung u1, u2.....	10
4 Wandergeschwindigkeiten.....	10
4.1 Fischaufstieg.....	10
4.2 Fischabstieg.....	11
5 Wanderzeiten.....	11
5.1 Wanderungen und Tageszeiten.....	11
5.2 Wanderungen und Temperatur.....	12
5.3 Wanderungen und Abflussbedingung.....	12

Teil 2 – Vergleich Untersuchungszeiträume 1 und 2 (UZ1 & UZ2)

6 Optimierungen an der Fischtreppe Steffstep.....	13
6.1 Hydrodynamische Verbesserungen.....	13
6.2 Verbesserung der Leitströmung.....	14
6.3 Weitere Optimierungen.....	14
7 Umweltbedingungen.....	15
8 Abfischungsergebnisse UZ1 & UZ2.....	15
8.1 Grössenklassen der markierten Fische.....	16
8.2 Klassifizierung der markierten Fische.....	16
9 Auffindbarkeit, Passierbarkeit, Gesamteffizienz.....	16
9.1 Grössenklassen.....	18
9.2 Längenvergleich.....	19
10 Wandergeschwindigkeit.....	20
11 Wanderzeiten.....	20
11.1 Wanderungen und Tageszeiten.....	20
11.2 Wanderungen und Temperatur.....	21
11.3 Wanderungen und Abflussbedingungen.....	21
12 Fazit.....	22
13 Literaturverzeichnis.....	22

Zusammenfassung

Im Rahmen von zwei PIT-Studien (= Passive Integrated Transponder) wurde die neuartige Fischtreppe Steffstep an einer Testanlage in Kollbrunn auf ihre Funktionstüchtigkeit überprüft. Die Messungen fanden im Herbst 2015 und im Sommer 2016 bei unterschiedlichen Umweltbedingungen statt. Diese Publikation präsentiert im Teil 1 die Ergebnisse der Messungen im Sommer 2016 und im Teil 2 den Vergleich und die Zusammenfassung der beiden Untersuchungszeiträume.

Untersuchung Sommer 2016

Im Sommer 2016 wurden 219 Bachforellen mit einer Totallänge zwischen 106 mm und 526 mm (Durchschnitt 201.4 mm, Median 170 mm) markiert. Davon stiegen 29 verschiedene Fische insgesamt 51 mal auf und 10 mal ab. Die daraus resultierende **Auffindbarkeit betrug 14.2 %**, die **Passierbarkeit 77.4 %** und die **Gesamteffizienz 11.0 %**. Damit wies die Fischtreppe im ersten Untersuchungszeitraum eine höhere Auffindbarkeit auf als im Zweiten, wohingegen die Passierbarkeit bei der zweiten Untersuchung höher war. Die Optimierungen an der Fischtreppe nach der ersten Untersuchung waren somit hinsichtlich der Hydrodynamik innerhalb des Fischpasses erfolgreich, wohingegen die Auffindbarkeit nicht verbessert werden konnte. Kleine Fische (≤ 210 mm) wiesen sowohl eine geringere Auffindbarkeit als auch eine geringere Passierbarkeit wie die grossen Tiere (> 210 mm) auf. Die Werte sind massgeblich beeinflusst von den herrschenden Umweltbedingungen. Im Gegensatz zu dem trockenen Herbst 2015, in dem teilweise der gesamte Fluss über die Fischtreppe floss und damit eine Auffindbarkeit wohl erleichterte, ereigneten sich im Sommer 2016 mehrere Hochwasser.

Vergleich beider Untersuchungszeiträume

In beiden Untersuchungszeiträumen zusammen wurden **799 Bachforellen** flussaufwärts der Fischtreppe gefangen, markiert und flussabwärts der Fischtreppe wieder ausgesetzt. Insgesamt sind 78 Individuen 113 mal aufgestiegen und davon 14 Individuen 20 mal abgestiegen durch die Steffstep. Dies ergibt nach Definition insgesamt eine **Auffindbarkeit der Anlage von 21 %**, eine **Passierbarkeit von 69 %** und eine **Gesamteffizienz von 21 %**. Diese Werte sind vergleichbar mit den Ergebnissen von herkömmlichen Vertical Slot Fischpässen. Um vor allem die Auffindbarkeit noch zu erhöhen, muss an jedem neuen Standort die optimale Anordnung des Einstieges, sowie eine geeignete Leitströmung eruiert werden.

Beide Untersuchungen ergaben, dass die Fischtreppe Steffstep, wie viele andere Fischtreppen, **grössenselektiv** ist: kleine Tiere haben mehr Schwierigkeiten die Treppe zu finden und zu durchwandern als grosse Tiere. Um die Passierbarkeit zu verbessern sind geringere Fliessgeschwindigkeiten innerhalb der Fischtreppe anzustreben. Die Auffindbarkeit kann an diesem Standort für die kleinen Fische wohl nicht erhöht werden. Der Kolk am Fusse des Hindernisses kann zu erhöhter Prädation der kleineren Tiere führen, wodurch dieser vorwiegend gemieden wird.

Die Fischwanderungen flussaufwärts fanden vorwiegend bei steigendem oder sinkendem Abfluss statt, wobei die Wandergeschwindigkeit positiv korrelierte mit der Grösse der Fische. Die Wanderungen flussabwärts fanden vorwiegend bei sinkendem Abfluss statt und dabei konnte kein Zusammenhang festgestellt werden zwischen der Wandergeschwindigkeit und der Grösse der Tiere. Auch gab es keinen Zusammenhang zwischen der Wassertemperatur und den Wanderungen. Allerdings fanden die Abwanderungen tendenziell bei wärmeren Wassertemperaturen statt als die Aufwärtswanderungen. Gleichzeitig fanden die Abwanderungen vorwiegend am späten Abend oder in der Nacht statt wohingegen die Aufwärtswanderungen den ganzen Tag über beobachtet werden konnten.

Die Erfolgskontrollen an der Steffstep in Kollbrunn ergaben, dass diese Fischtreppe in Bezug auf die Bachforelle nachweislich eine **solide Ergänzung zu den bestehenden Massnahmen** zur Wiederherstellung der freien Fischwanderung ist. Weitere Fischarten werden im Folgenden noch untersucht.

Einleitung

Fische sind aufgrund ihrer Biologie darauf angewiesen, wandern zu können. Heute verhindern jedoch zahlreiche künstliche Hindernisse den Tieren ihren freien Weg durch die Flüsse. Um die negativen Auswirkungen dieser menschlichen Eingriffe in die Flussökosysteme rasch abzufedern, hat die Walter Reist Holding AG (WRH) eine neuartige Fischtreppe namens Steffstep entwickelt.

Im Mai 2015 wurde in der Töss bei Kollbrunn eine Testanlage solch einer Fischtreppe gebaut und in zwei Untersuchungszeiträumen (UZ1 und UZ2) (Tabelle 1) wissenschaftlich auf ihre Funktionstüchtigkeit untersucht. Die Ergebnisse des UZ1 sowie detaillierte Angaben zum Gewässer, der Fischregion, der Methodik und der Fischtreppe selbst sind in der Masterarbeit „Fish pass Steffstep – a solution for disconnected rivers? Potential application and efficiency of a new fish pass type“ (Baier, 2016) zu finden unter

www.fischwanderung.ch/downloads

Abkürzungen und Befischungsstrecken

Tabelle 1: Übersicht über die verwendeten Abkürzungen

UZ1	Untersuchungszeitraum Eins: 11.09.15 – 04.01.16 (116 Tage)
UZ2	Untersuchungszeitraum Zwei: 10.05.16 – 01.09.16 (115 Tage)
BF	Bachforelle (untersuchte Fischart)
A1	Antenne 1: befindet sich beim Einstieg (Auslauf) der Fischtreppe
A2	Antenne 2: befindet sich beim Ausstieg (Einlauf) der Fischtreppe
Klassifizierung der BF	
letzte Ziffer = 1	Aussetzungsort ist der Kolk, alle im UZ2 gefangenen Tiere wurden direkt im Kolk ausgesetzt sowie die Tiere mit der Klassifizierung u1 aus UZ1
W1	Weissbach: Abfischung Weissbach ab Tössmündung ca. 330 m flussaufwärts
TR11	Töss-Runde 1: Abfischung ab Hindernis bis Kraftwerk Bühler (ca. 800 m)
TR21	Töss-Runde 2: Abfischung von Kraftwerk Bühler bis Brücke flussaufwärts (ca. 320 m)
u1	im UZ1 markiert, oberhalb des Hindernisses gefangen und im Kolk ausgesetzt
u2	im UZ1 markiert, oberhalb des Hindernisses gefangen und 100 m flussabwärts ausgesetzt
d3	im UZ1 markiert, unterhalb des Hindernisses gefangen und ca. 280 m flussabwärts ausgesetzt
d4	im UZ1 markiert, unterhalb des Hindernisses gefangen und ca. 300 m flussabwärts ausgesetzt
u1_TR11	im UZ1 als u1 markiert und im UZ2 als TR11 erneut gefangen und ausgesetzt
u1_TR21	im UZ1 als u1 markiert und im UZ2 als TR21 erneut gefangen und ausgesetzt
u2_TR11	im UZ1 als u2 markiert und im UZ2 als TR11 erneut gefangen und ausgesetzt



Abbildung 1: Feldstandort mit Fischklassifizierung im Untersuchungszeitraum 1



Abbildung 2: Feldstandort mit eingezeichneten Abflussstrecken im Untersuchungszeitraum 2

Teil 1: Untersuchungszeitraum 2 (UZ2)

In diesem Teil des Berichts werden die Ergebnisse des zweiten Untersuchungszeitraums vom 10.05.16 bis 01.09.16 vorgestellt.

1 Umweltparameter

Die im folgenden verwendeten Abfluss- und Niederschlags- und Temperaturdaten stammen vom AWEL, Station ZH520 Töss-Rämismühle (AWEL, 2016).

1.1 Abfluss

Während des UZ2 fiel überdurchschnittlich viel Regen im Vergleich zu den letzten 25 Jahren, was mehrere Hochwasser mit sich brachte (Abbildung 3, Abbildung 4).

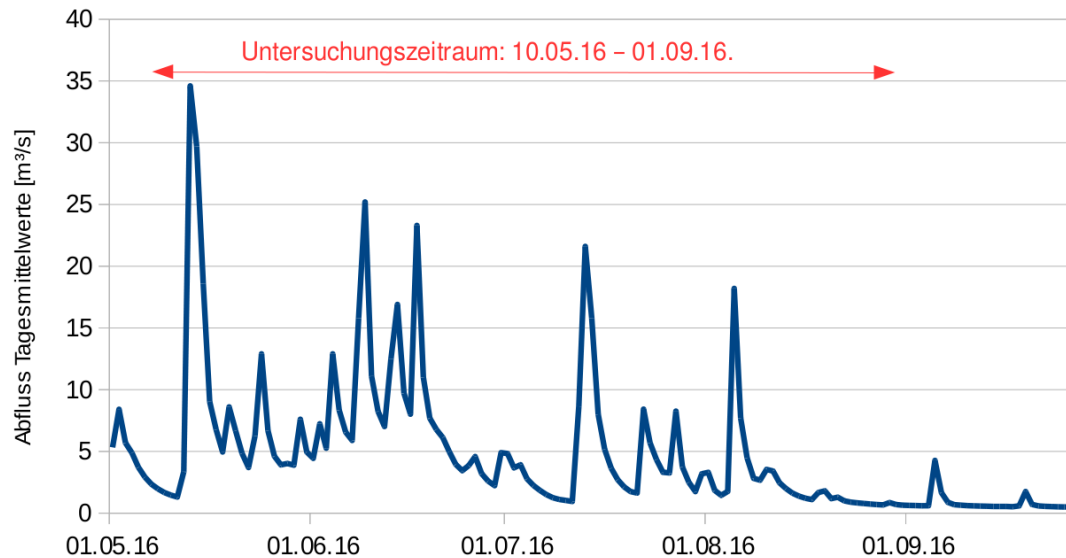


Abbildung 3: Abfluss über die Zeit

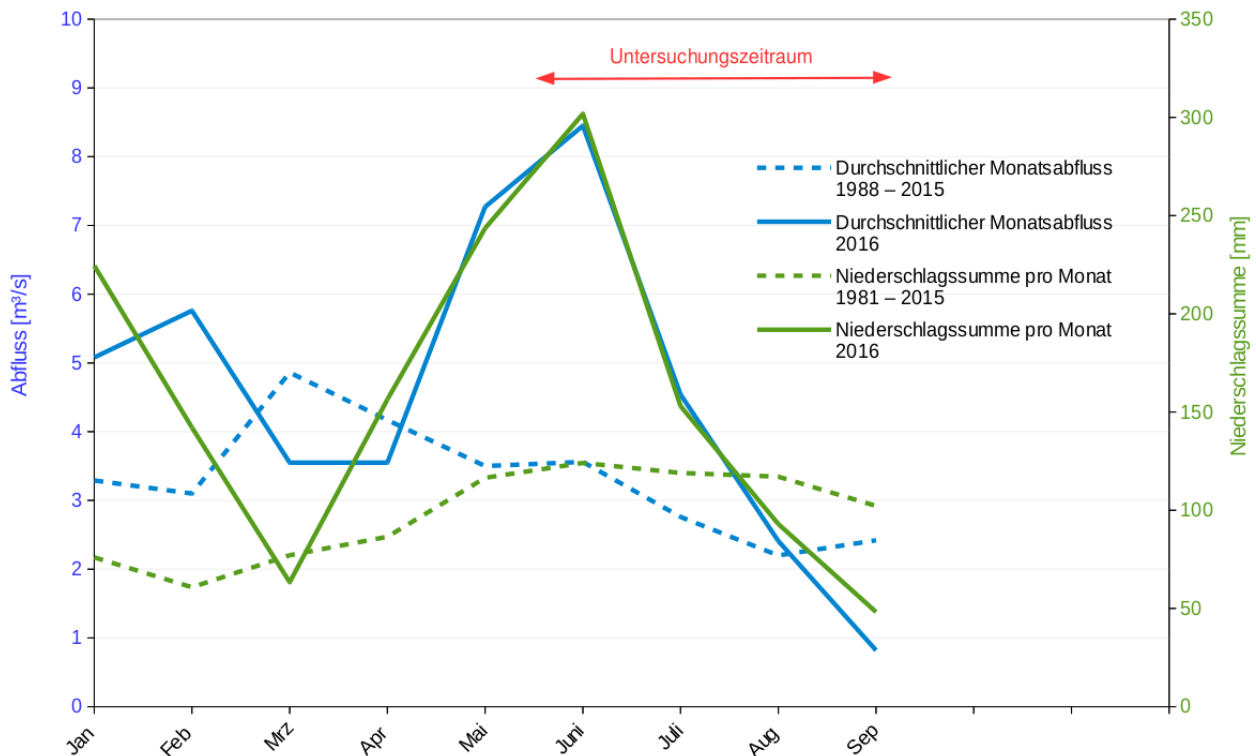


Abbildung 4: Niederschlagssumme und durchschnittlicher Monatsabfluss der letzten 25 Jahre im Vergleich zu 2016

1.2 Wassertemperatur

Die Wassertemperatur nahm natürlicherweise über den Sommer zu (Abbildung 5). Es wurden jedoch keine kritischen Maximaltemperaturen nach Küttel et al. (2002) gemessen (Tabelle 2). Allerdings stammen die Daten von einer Messstation 5 km flussaufwärts (Baier, 2016, S. 81) und stimmen nicht exakt mit den Temperaturen vor Ort überein. Ein Vergleich der Messungen vor Ort und der Messstation im UZ1 ergab, dass die Extremwerte um einige Grad über- resp. unterschätzt werden – im Sommer war es an der Fischtreppe heißer als flussaufwärts gemessen und im Winter kälter. Im Herbst hingegen stimmten die Daten gut überein. Im UZ2 wurden jedoch keine eigenen Temperaturdaten erhoben.

Tabelle 2: Temperatur Monatsmittel & Maximalwerte der letzten 25 Jahre im Vergleich zu 2016

Monatsmittel [C°]			Maximalwerte [C°]		
	2016	1988-2015		2016	1988-2015
Mai	10.7	11.1		16.0	18.3
Juni	12.9	13.0		18.7	20.1
Juli	15.1	14.3		19.1	20.3
August	15.0	14.4		15.0	19.8
September	13.8	12.7		13.8	17.8
					wann
					2007
					2003
					2003
					2003
					2011

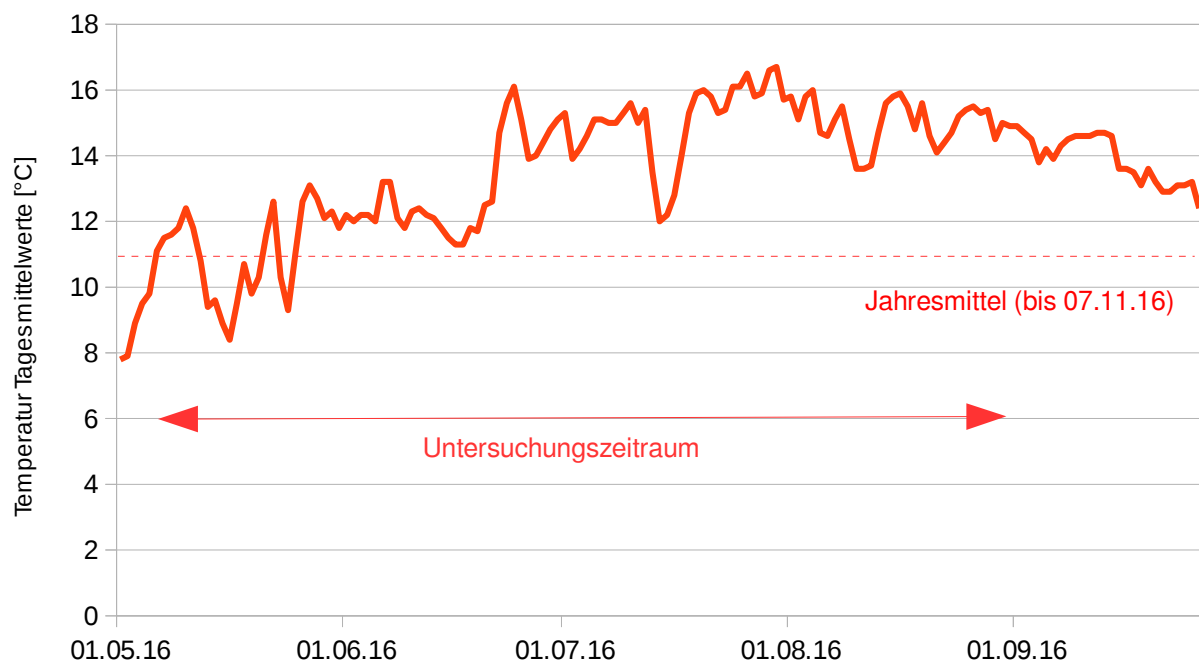


Abbildung 5: Wassertemperatur über die Zeit

2 Abfischungsergebnisse

Im UZ2 wurden 219 Bachforellen aus drei verschiedenen Abfischungsstrecken oberhalb des Hindernisses markiert (Abbildung 2, Tabelle 3) und im Kolk unterhalb der Fischtreppe ausgesetzt. Ein Fisch wurde nur an A2 registriert und nicht an A1. Da alle Tiere im Kolk unterhalb der Fischtreppe ausgesetzt worden sind muss auch dieses Tier aufgestiegen sein und wird daher im Folgenden als Solches behandelt.

2.1 Grössenklassen der markierten Fische

Die markierten Tiere waren zwischen 106 mm und 526 mm gross (Durchschnitt 201.37 mm, Median 170 mm) (Abbildung 6, Tabelle 3).

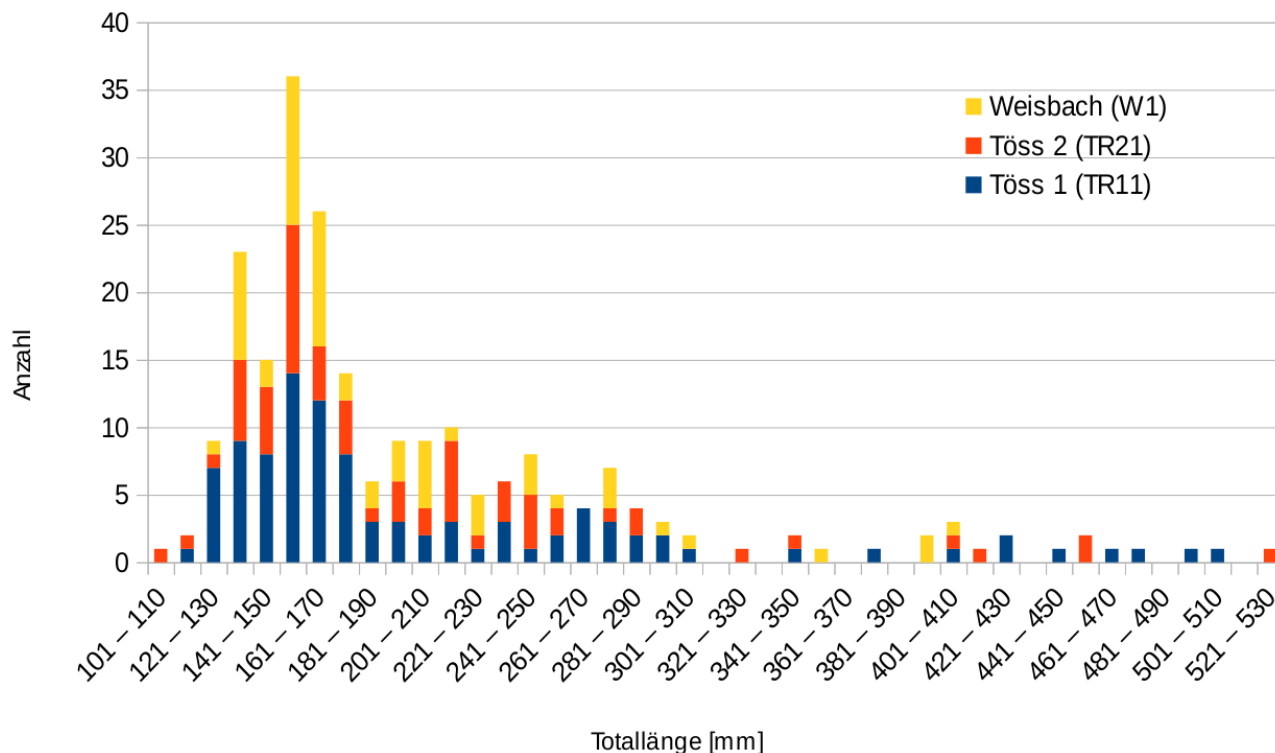


Abbildung 6: Häufigkeit der Grössenklassen der markierten Bachforellen nach Klassifizierung

2.2 Klassifizierung der markierten Fische

Die Fische, welche weit oberhalb des Hindernisses gefangen wurden (TR21), waren grösser als die Tiere aus den anderen zwei Abfischungsstrecken (Tabelle 3). Die Tiere aus dem UZ1, welche den Fischpass schon einmal genutzt haben (u1, u1_TR11, u2) waren im Schnitt wesentlich grösser als der Durchschnitt und der Median der Tiere aus dem UZ2. Dabei ist zu beachten, dass deren Anzahl nur gering ist (n = 6).

Tabelle 3: Fischklassifizierung und Totallänge

		Anzahl Fische	Durchschnitt Totallänge [mm]	Median Totallänge [mm]
Klassifizierung	W1	61	197.7	166.0
	TR11	94	199.7	166.0
	TR21	64	207.4	175.5
	u1	4	266.0	355.0
	u1_TR11	1	499.0	499.0
	u2	1	296.0	296.0
Total*		219	201.4	170.0

* ohne u1, u1_TR11, u2

3 Auffindbarkeit, Passierbarkeit, Gesamteffizienz

Die Funktionstüchtigkeit von Fischtreppe setzt sich zusammen aus der Auffindbarkeit (finden die Fische den Eingang der Fischtreppe?) und der Passierbarkeit (kommen die Fische, welche den Eingang gefunden haben auch oben an?). Das Produkt aus Auffindbarkeit und Passierbarkeit ergibt schliesslich die Gesamteffizienz (wie viele der markierten Fische passieren die Anlage erfolgreich?) In der Literatur werden die Begriffe nicht immer einheitlich verwendet, daher werden sie für die vorliegende Arbeit wie folgt definiert:

$$\text{Auffindbarkeit [\%]} = \frac{\text{Anzahl Fische, die an Antenne 1 registriert worden sind}}{\text{Anzahl Fische, die innerhalb des Kolks ausgesetzt worden sind}}$$

$$\text{Passierbarkeit [\%]} = \frac{\text{Anzahl Fische, die an Antenne 2 registriert worden sind}}{\text{Anzahl Fische, die an Antenne 1 registriert worden sind}}$$

$$\text{Gesamteffizienz [\%]} = \frac{\text{Anzahl Fische, die an Antenne 2 registriert worden sind}}{\text{Anzahl Fische, die innerhalb des Kolks ausgesetzt worden sind}}$$

IM UZ2 stiegen von 219 ausgesetzten Fischen 29 verschiedene Individuen insgesamt 51 mal auf und 10 mal durch die Anlage ab. Die Auffindbarkeit betrug 14.2 %, die Passierbarkeit 77.4 % und die daraus resultierende Gesamteffizienz 11.0 % (Tabellen 4 - 6). Aus der hohen Passierbarkeit sieht man, dass die Fischtreppe gut durchwandert wurde, sofern sie gefunden worden ist. Der Wert für die Auffindbarkeit ist hingegen eher gering. Im Folgenden werden diese Daten genauer analysiert nach Klassifizierung und Grössenklassen.

Es gibt Hinweise darauf, dass Fische lernen können eine Fischtreppe zu nutzen, sprich wenn sie einmal eine Fischtreppe passiert haben, finden und nutzen sie diese auch in Zukunft (Cooke & Hinch, 2013; Castro-Santos, 2015). Aus diesem Grund werden im Folgenden die 6 Fische aus dem UZ1 stets separat aufgelistet und nicht mit den Daten aus dem UZ2 vermischt.

3.1 Nach Klassifizierung

Die Steffstep wies bei den Tieren, welche direkt oberhalb des Hindernisses gefangen wurden (TR11) die höchste Auffindbarkeit von 18.1 % auf (Tabelle 4). Die höchste Passierbarkeit erreichte die Anlage bei den Fischen aus dem Weissbach (W1) obwohl diese im Durchschnitt die kleinsten Tiere waren (Tabelle 5, Tabelle 3).

Tabelle 4: Auffindbarkeit der BF nach Klassifizierung

Fischklassifizierung	im Kolk ausgesetzt	an A1 registriert	Auffindbarkeit [%]
W1	61	6	9.8
TR11	94	17	18.1
TR21	64	8	12.5
Total	219	31	14.2

Tabelle 5: Passierbarkeit der BF nach Klassifizierung

Fischklassifizierung	an A1 registriert	an A2 registriert	Passierbarkeit [%]
W1	6	5	83.3
TR11	17	13	76.5
TR21	8	6	75.0
Total	31	24	77.4

Tabelle 6: Gesamteffizienz der BF nach Klassifizierung

Fischklassifizierung	im Kolk ausgesetzt	an A2 registriert	Gesamteffizienz [%]
W1	61	5	8.2
TR11	94	13	13.8
TR21	64	6	9.4
Total	219	24	11.0

3.2 Nach Grössenklassen

Im UZ1 wurde die Tiere eingeteilt nach „kleine Fische“ (bis einschliesslich 210 mm) und nach „grossen Fischen“ (über 210 mm). Dieser Wert wurde gewählt, da 210 mm der Median aller markierten Fische war. Um die Daten vergleichen zu können, wurden auch die Tiere aus dem UZ2 so eingeteilt, obwohl deren Median 170 mm beträgt. Nach dieser Einteilung weisen die grossen Fische eine 5 mal bessere Auffindbarkeit auf und eine mehr als 3 mal so gute Passierbarkeit als die kleinen Tiere (Tabelle 7). Hier ist ebenfalls zu beachten, dass die Anzahl der kleinen registrierten Bachforellen sehr gering ist (n = 9).

Tabelle 7: Effizienzen der BF nach Grössenklassen (Grenze 210 mm)

	im Pool ausgesetzt	an A1 registriert	zusätzlich an A2 registriert	Auffindbarkeit [%]	Passierbarkeit [%]	Gesamt- effizienz [%]
Kleine Fische	149	9	3	6.0	33.3	2.0
Grosse Fische	70	22	21	31.4	95.5	30.0
Total	219	31	24	14.2	77.4	11.0

Werte ohne u1, u1_TR11, u2

Die aufgestiegenen Fische waren grösser, als diejenigen, welche an der ersten Antenne registriert worden sind und diese wiederum grösser, als der Durchschnitt und der Median aller markierten Tiere (Tabelle 8). Daraus sieht man eine klare Grössenselektion der Fischtreppe (vgl. Teil 2).

Tabelle 8: Längenvergleich der markierten und der in der Steffstep registrierten BF

	Durchschnitt [mm]	Median [mm]	Anzahl Fische
alle markierten Fische	201.4	170.0	219
an A1 detektierte Fische	292.6	261.0	31
an A2 detektierte Fische	325.5	323.0	24

Werte ohne u1, u1_TR11, u2

3.3 Fische mit der Klassifizierung u1, u2

Im UZ2 wurden 6 schon markierte Bachforellen erneut gefangen: fünf mit der Klassifizierung u1 und eine mit der Klassifizierung u2. Diese haben die Fischtreppe schon mindestens einmal genutzt. Von diesen Tieren stieg ein Tier diesen Sommer erneut auf. Zusätzlich stiegen fünf weitere Bachforellen auf, welche letzten Herbst markiert worden sind aber im Sommer 2016 nicht erneut gefangen wurden. Drei von diesen Tieren sind sowohl im UZ1 als auch im UZ2 beim Wandern registriert worden, die zwei übrigen Tiere sind letzten Herbst nicht gewandert sondern nur im UZ2.

Wegen diesen beschriebenen Fischen, ist die totale Auffindbarkeit und Passierbarkeit der zwei Zeiträume nicht gleich die Summe der Werte von UZ1 und UZ2. Vielmehr wurde dazu jedes einzelne Individuum betrachtet und nur die erste Wanderung der Tiere gezählt (siehe Kapitel 9).

Dass insgesamt nur 6 von 580 markierten Tieren aus dem UZ1 im UZ2 wanderten war überraschend, deren Anzahl war höher geschätzt worden. Dass drei von diesen Tieren schon im Herbst wanderten unterstützt die Vermutung, dass die Tiere lernen können, eine einmal durchwanderte Fischtreppe erneut zu finden und zu passieren.

4 Wandergeschwindigkeiten

4.1 Fischaufstieg

Im UZ2 fanden insgesamt 51 Aufwanderungen von 29 verschiedenen Fischen statt (wobei eine BF 19 mal aufgestiegen ist). Im Schnitt dauerte der Fischaufstieg 06:22 min (Median 14:10 min, minimal 01:11 min, maximal 16:44:05 h) (Abbildung 7 - der Ausreisser von 15 h Aufenthaltsdauer ist nicht dargestellt in der Grafik). Aus den Daten ist ersichtlich, dass die Tiere nicht lange im Fischpass verbleiben, woraus man schliessen kann, dass dieser praktisch nicht als Lebensraum genutzt wird.

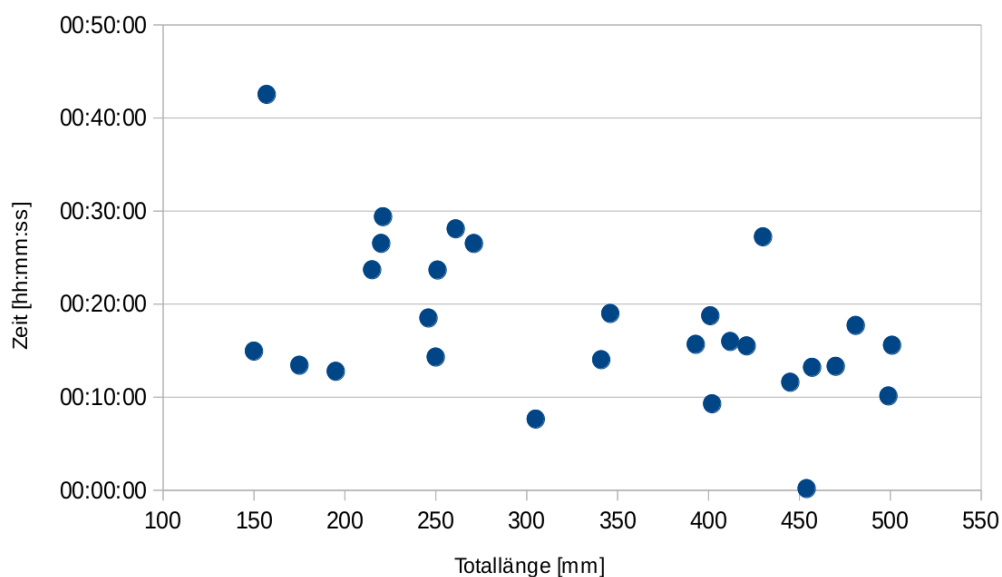


Abbildung 7: Zusammenhang Grösse und Transitzeit (n = 28)

4.2 Fischabstieg

Es fanden insgesamt 10 Abwanderungen von 4 verschiedenen Fische durch die Fischtreppe statt. Die BF, die 19 mal aufgestiegen ist, ist auch 7 mal abgestiegen. Es handelt sich hierbei um den Fisch mit 457 mm Länge. Manche Fische, die mehrmals aufgestiegen sind, sind über das Hindernis abgestiegen und nicht über die Fischtreppe. Im Schnitt dauerte der Fischabstieg 07:44 min (Median 02:06 min, minimal 00:53 min, maximal 56:46 min) (Tabelle 9).

Tabelle 9: Dauer Fischabstieg nach Totallänge

Totallänge[mm]	Zeit [h:m:s]
195	00:04:53
341	00:56:46
412	00:03:43
457	00:02:57
	00:01:24
	00:01:41
	00:01:22
	00:01:06
	00:00:53
	00:02:30
Mittelwert	00:07:44
Median	00:02:06

5 Wanderzeiten

5.1 Wanderungen und Tageszeiten

Die Fischeaufwanderungen fanden vorwiegend zwischen 17 Uhr und 22 Uhr statt. Die Fischabwanderungen verliefen überwiegend am Abend und in der Nacht (Abbildung 8).

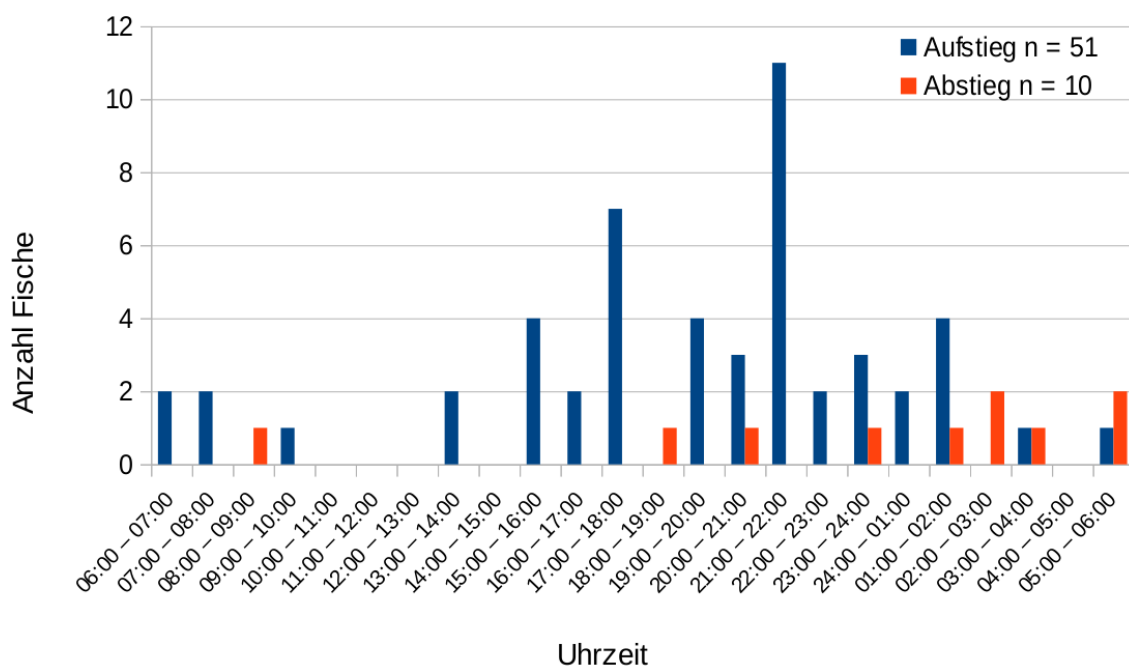


Abbildung 8: Wanderzeiten Fischeaufstieg und Fischabstieg

5.2 Wanderungen und Temperatur

Es konnte keine Korrelation der Wanderungen und der Temperatur festgestellt werden. Die 51 Aufwärtswanderungen fanden bei einer durchschnittlichen Tagestemperatur des Wassers von 12.8 C° (Median 12.3 C°, minimal 9.8 C°, maximal 16.1 C°) statt. Die 10 Abwärtswanderung fanden bei einer durchschnittlichen Tagestemperatur des Wassers von 14.3 C° (Median 15.6 C°, minimal 10.8 C°, maximal 15.9 C°) statt (Abbildung 9). Somit wanderten die Tiere tendenziell bei etwas wärmeren Wassertemperaturen flussabwärts als flussaufwärts.

5.3 Wanderungen und Abflussbedingung

Eine qualitative Auswertung der Abflussdaten zeigt einen Zusammenhang der Wanderungen und der Abflussbedingungen. Die Tiere wanderten vorwiegend bei steigendem oder sinkendem Wasserspiegel flussaufwärts (Tabelle 10). Der durchschnittliche Tagesabfluss betrug dabei 4.28 m³/s (Median 3.35 m³/s, minimal 0.95 m³/s, maximal 11.10 m³/s). Die 10 Abwanderungen fanden vermehrt bei sinkendem Abfluss statt. Der durchschnittliche Tagesabfluss betrug dabei 3.07 m³/s und war somit tiefer als bei den Aufwanderungen (Median 3.27 m³/s, minimal 1.31 m³/s, maximal 5.70 m³/s) (Abbildung 9).

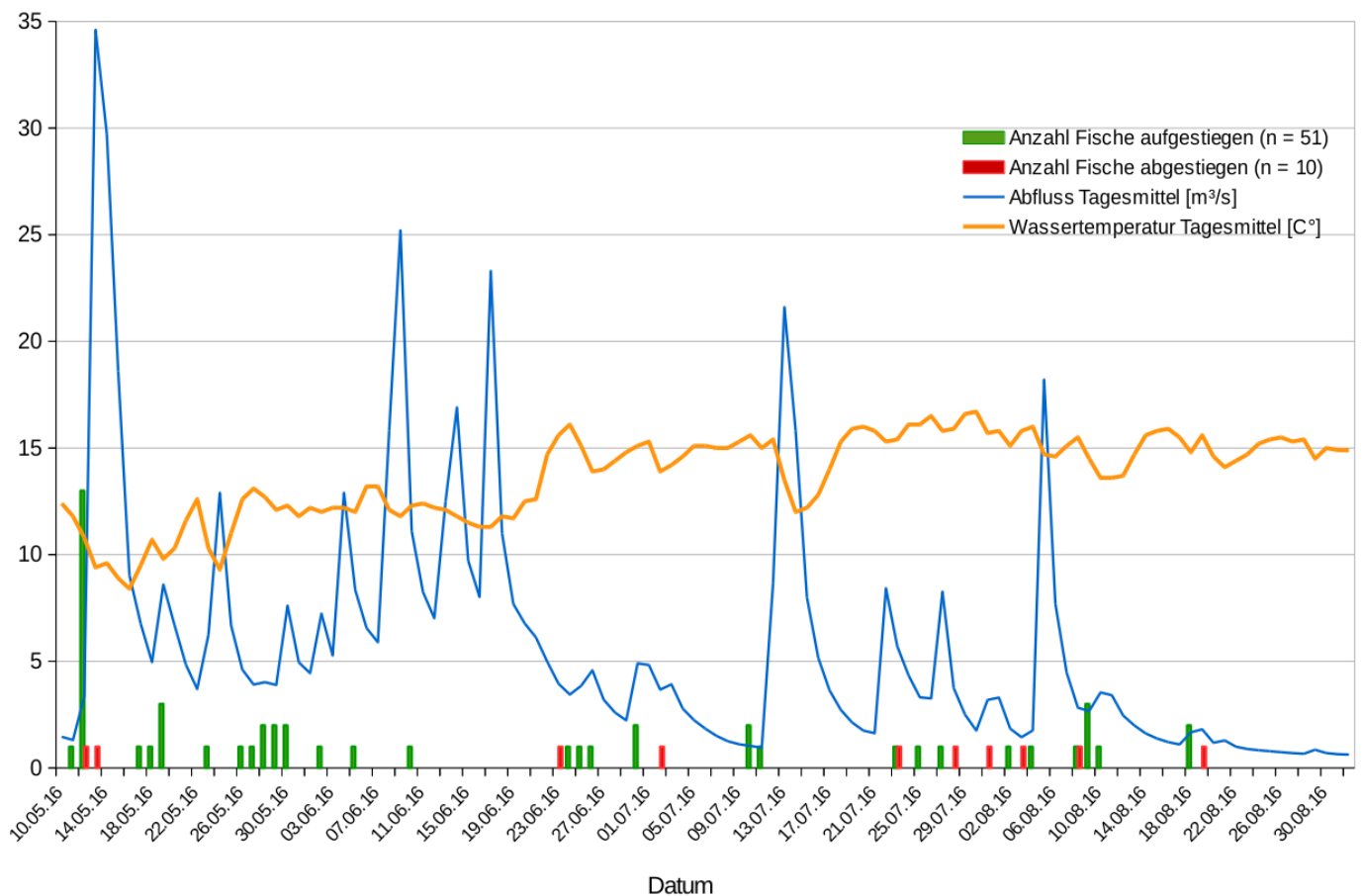


Abbildung 9: Wassertemperatur und Abfluss in Zusammenhang mit Fischauf- und -abstiegen

Tabelle 10: Qualitative Bestimmung der Abflussbedingungen während den Fischwanderungen

Abflussbedingungen	Anzahl Fischaufstiege	Anzahl Fischabstiege
konstant	5	2
sinkend	16	5
steigend	24	2
maximal	1	0
unbestimmt	5	1
Total	51	10

Teil 2:

Vergleich Untersuchungszeiträume 1 und 2 (UZ1 & UZ2)

6 Optimierungen an der Fischtreppe Steffstep

Im UZ1 wurde aus den Daten ermittelt, dass die Fischtreppe Steffstep in Kollbrunn insgesamt eine geringe Auffindbarkeit für alle Bachforellen und eine geringe Passierbarkeit für die kleinen Fische (≤ 210 mm) aufweist (Baier, 2016). Daher wurden nach dem UZ1 die hydrodynamischen Bedingungen innerhalb des Fischpasses verändert, die Leitströmung verbessert und weitere kleine Veränderungen vorgenommen.

6.1 Hydrodynamische Verbesserungen

Die Hydrodynamik innerhalb der Steffstep wurde verbessert (Reduktion der Fliessgeschwindigkeiten und der Turbulenzen), indem die Schlitzformen und zum Teil die Anordnung der Schlitze angepasst wurden (Abbildung 10). In den Becken 2, 12 und 14 wurde der Schlitz auf die andere Seite verlegt und anders geformt. In allen Becken wurden die Eckelemente entfernt (rote Punkte in Abbildung 10). Punktuelle Strömungsmessungen zeigten daraufhin eine Reduktion der maximalen Fliessgeschwindigkeiten innerhalb der Treppe. Die hydrodynamischen Bedingungen sind jedoch wegen unterschiedlichen Wasserständen der einzelnen Becken (wegen verschiedener Substrathöhen), unterschiedlichen Beckenanordnungen und bei verschiedenen Abflussbedingungen variable und komplex. Die genauen Fliessgeschwindigkeiten und Turbulenzen werden daher in einer Folgearbeit genauer untersucht.

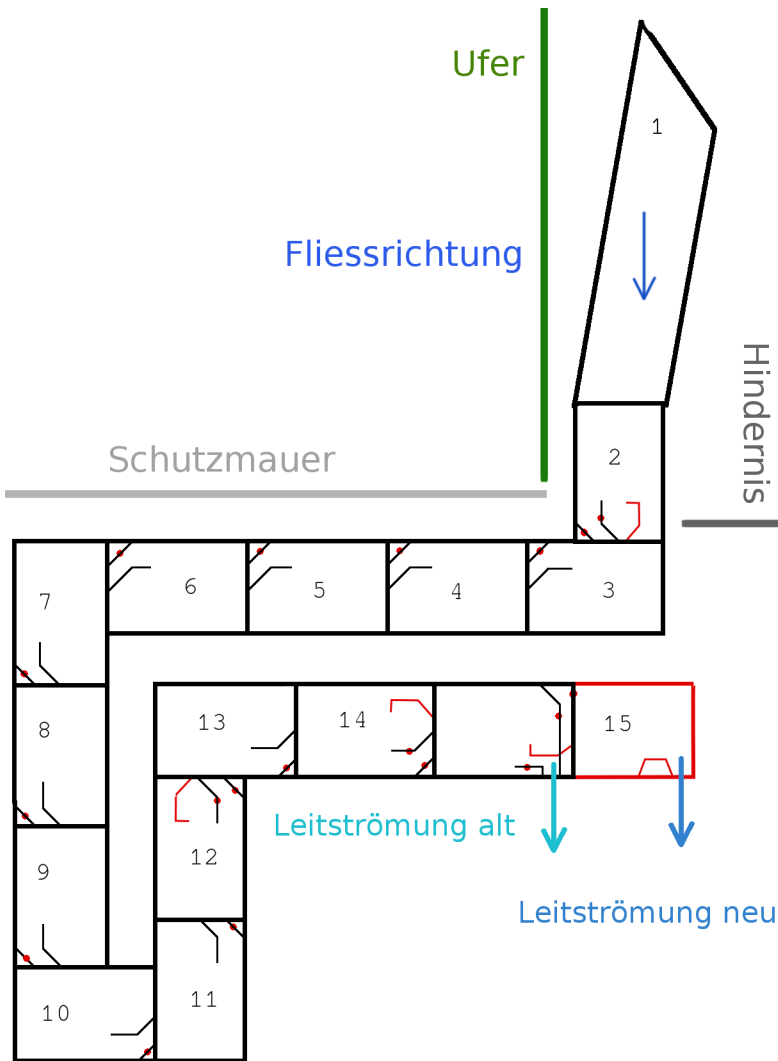


Abbildung 10: Qualitative Skizze der Fischtreppe, schwarz UZ1, rot Optimierungen seit UZ2



Abbildung 11: Einstieg alt (Becken 14 & 15)



Abbildung 12: Einstieg neu (Becken 13, 14 und verlängertes Becken 15)

6.2 Verbesserung der Leitströmung

Das Becken 15 wurde verlängert und zweigeteilt, so dass es nun einen weiteren Schlitz im Becken gibt wo früher die Leitströmung ausgetreten ist und diese erfolgt nun neu versetzt näher in die Flussmitte (Abbildung 10, Fotos 11 und 12). Zusätzlich wurde die Leitströmung verstärkt, indem eine Sickerleitung gebaut worden ist, welche Wasser oberhalb des Hindernisses fasst und direkt unterhalb des Fischeinstieg ausstösst. Das ausströmende Wasser tritt sowohl parallel zur Wasseroberfläche aus und als auch mit einem 45° Winkel in die Tiefe des Kolks.

6.3 Weitere Optimierungen

Weitere kleine Optimierungen an der Anlage fanden statt wie z.B. die Verstärkung des Hochwasserschutzes, um die Wartungsarbeiten der Anlage zu minimieren (Abbildung 13) oder ein Schlitz im Einlaufkanal, der das Überlaufen der Becken verhindert (Abbildung 14).



Abbildung 13: Hochwasserschutz vor dem Einlauf der Steffstep



Abbildung 14: Überlaufschlitz am Einlauf der Steffstep (Becken 1)

7 Umweltbedingungen

Die Umweltbedingung der beiden Untersuchungszeiträume waren sehr unterschiedlich. Im trockenen Herbst 2015 gab es über weite Strecken der Untersuchung einen sehr geringen Abfluss, so dass in dieser Zeit die gesamte Töss über die Fischtreppe floss (Abbildung 16). Im Sommer 2016 sorgte hingegen viel Niederschlag für zahlreiche Hochwasser, welche die Anlage gut überstand (Abbildung 15). Ein erhöhter Abfluss begünstigt in der Regel eine Fischwanderung, jedoch kann es durch Hochwasserereignisse auch zu Verklausung von einzelnen Schlitzten kommen, was erst bei gesunkenem Wasserspiegel behoben werden kann. Bezüglich Wassertemperaturen gab es im UZ1 vereinzelt kritische Temperaturmaxima – passend zu den geringen Abflussdaten.



Abbildung 16: Niedrigwasser November 2015 mit $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$



Abbildung 15: Hochwasser Mai 2016 mit $53 \text{ m}^3/\text{s}$

8 Abfischungsergebnisse UZ1 & UZ2

Insgesamt wurden in den zwei Untersuchungszeiträumen 799 Bachforellen markiert: 580 im UZ1 und 219 im UZ2.

8.1 Grössenklassen der markierten Fische

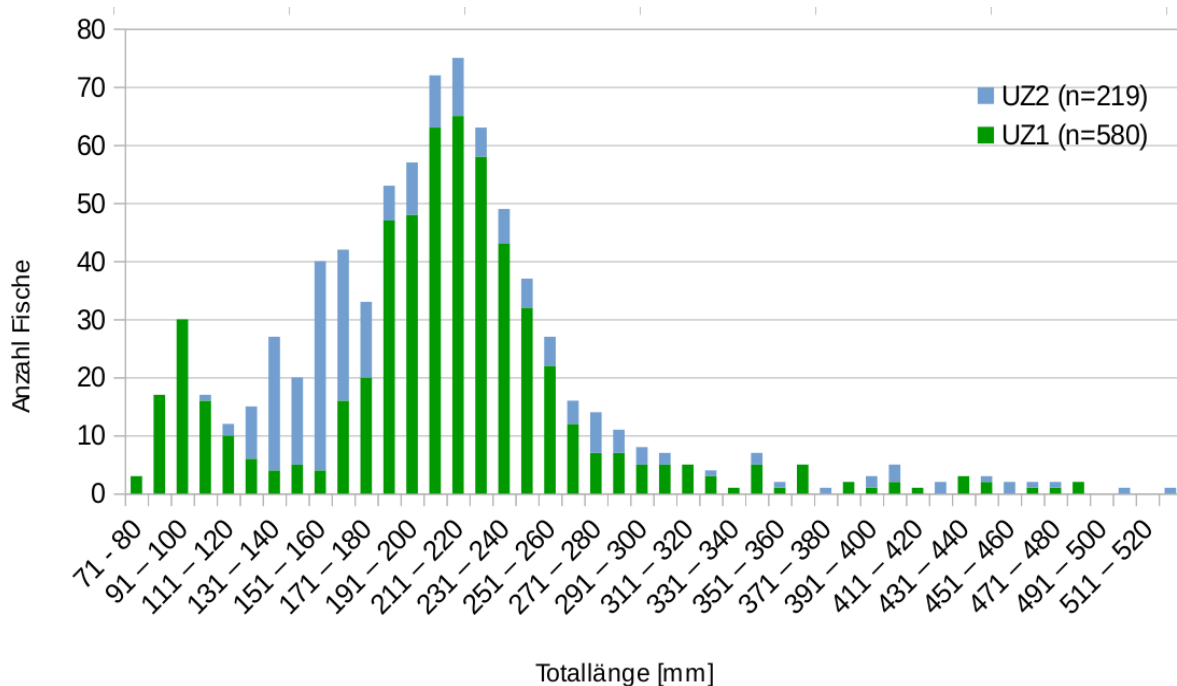


Abbildung 17: Häufigkeit der Grössenklassen aller markierten Fische

8.2 Klassifizierung der markierten Fische

In Tabelle 11 sind die Anzahl Fische der jeweiligen Klassifizierungen aufgelistet. Wie in der Masterarbeit (Baier, 2016) werden nach Definition im Folgenden für die Berechnung der Auffindbarkeit und der Gesamteffizienz nur alle Tiere verwendet, welche direkt im Kolk ausgesetzt worden sind ($n = 374$) – das sind alle Klassifizierungen ausser u2, d3 und d4. Für die Passierbarkeit werden alle Fischklassifizierungen verwendet.

Tabelle 11: Anzahl markierte Fische nach Klassifizierung

UZ	Klassifizierung	Anzahl Fische
1	u1	155
	u2	210
	d3	79
	d4	136
2	W1	61
	TR11	94
	TR21	64
Total		799

9 Auffindbarkeit, Passierbarkeit, Gesamteffizienz

Von 799 markierten Bachforellen sind in beiden Untersuchungszeiträumen insgesamt 78 Individuen 113 mal aufgestiegen und davon 14 Individuen 20 mal abgestiegen. Dies ergibt nach oben beschriebenen Definitionen

insgesamt eine Auffindbarkeit von 20.9 %, eine Passierbarkeit von 69.0 % und eine Gesamteffizienz von 21.2 % (Tabelle 12). In Tabelle 12 ist zu beachten, dass sich das Total der beiden Untersuchungen nicht einfach aus der Summe der beiden Untersuchungszeiträume ergibt, da ein Teil der Fische in beiden Untersuchungszeiträumen gewandert sind aber im Total nur einfach gezählt werden. Des weiteren gab es Fische, die im UZ1 markiert und ausgesetzt worden sind aber im UZ2 gewandert sind (siehe Kapitel 3.3). Dasselbe gilt auch für die Tabellen 13 und 14.

Tabelle 12: Übersicht Effizienzen UZ1 & UZ2

	im Pool ausgesetzt	an A1 registriert	zusätzlich an A2 registriert	Auffind- barkeit [%]	Passier- barkeit [%]	Gesamt- effizienz [%]	
<i>Fischklassifizierungen</i>	<i>u1, W1, TR11, TR21</i>	<i>u1, W1, TR11, TR21</i>	<i>alle</i>	<i>alle</i>	<i>u1, W1, TR11, TR21</i>	<i>alle</i>	<i>u1, W1, TR11, TR21</i>
<i>Berechnungsformel</i>	<i>a</i>	<i>b1</i>	<i>b2</i>	<i>c</i>	$\frac{b1 * 100}{a}$	$\frac{c * 100}{b2}$	$\frac{c * 100}{a}$
UZ1	158*	46	82	53	29.1	64.6	33.5
UZ2**	225	34	37	30	15.1	81.1	13.3
Total	377	79	116	80	20.9	69.0	21.2

* dieser Wert ist um 3 Fische grösser als in Tabelle 11, da der UZ1 aus 2 Abfischungen bestand, und bei der 2. Abfischung 3 schon markierte Tiere erneut gefangen wurden (Details siehe Baier (2016))

** mit u1, u2, u1_TR11, u1_TR21, u2_TR11

Bunt et al. (2012) verglichen in einer Publikation die Effizienzen von 8 Vertical-Slot Fischpässen mit Salmoniden. Diese hatten eine Auffindbarkeit zwischen 12 % – 86 % (Durchschnitt 54 %, Median 58 %) und eine Passierbarkeit zwischen 0 % – 100 % (Durchschnitt 65 %, Median 87 %). Die Steffstep in Kollbrunn ist mit ihren Effizienzen in vergleichbaren Grössenordnungen. Dabei gilt es zu beachten, dass die von Bunt et al. untersuchten Anlagen alle Fischtreppe an Wasserkraftwerken sind, welche daher in Bezug auf die Auffindbarkeit nicht direkt vergleichbar sind.

In Tabelle 12 werden die Ergebnisse vom UZ1 und UZ2 gegenüber gestellt. Im UZ1 wiesen die Tiere insgesamt eine höhere Auffindbarkeit auf, im UZ2 hingegen eine höhere Passierbarkeit. Im Herbst 2016 führte die Töss so wenig Wasser, dass zeitweise der gesamte Fluss über die Fischtreppe floss. Dies könnte die Auffindbarkeit für die Tiere begünstigt haben. Trotz der Optimierung der Leitströmung konnte die Auffindbarkeit der Steffstep insgesamt nicht verbessert werden. Das Wasser welches über das Hindernis fliesst erzeugt wohl zu viele konkurrenzierende Strömungen (vgl. Baier, 2016, Kapitel 4.1.6). Zudem fanden die zwei Untersuchungen zu verschiedenen Zeiträumen statt: Einerseits vom Herbst bis in den Winter und andererseits vom Frühling bis in den Sommer. Bachforellen laichen im Winter, wodurch zu dieser Jahreszeit von einer erhöhten Wanderaktivität ausgegangen werden kann. Dies kann daher ebenfalls zu einer erhöhten Auffindbarkeit im UZ1 geführt haben. Um diesen Aspekt zu berücksichtigen, empfiehlt es sich in Zukunft zu denselben Jahreszeiten oder sogar über zwei gesamte Jahresperioden eine Erfolgskontrolle durchzuführen. Des weiteren konnte eine grosse Bachforelle (457 mm) dabei beobachtet werden, wie sie mehrfach am Eingang der Fischtreppe gefressen hat und andere Tiere vom Eingang der Treppe verjagte. Sie selbst konnte über mehrere Monate insgesamt 53 in der Fischtreppe registriert werden und nutze die Fischtreppe sowohl flussaufwärts als auch flussabwärts. Solch ein territoriales Verhalten ist auch schon an anderen Fischtreppe beobachtet worden und ist nicht zu verhindern. In diesem Fall könnte es aber insbesondere das Verhalten der kleineren Fische massgeblich beeinflusst haben (siehe unten).

Die erhöhte Passierbarkeit im UZ2 deutet darauf hin, dass die Veränderungen innerhalb der Fischtreppe (Anordnung der Becken, Schlitzformen) sich positiv auf die Fischwanderungen auswirkt. Die Optimierungen werden somit beim Bau zukünftiger Anlagen berücksichtigt.

9.1 Grössenklassen

Im Folgenden werden die Effizienzen der zwei Untersuchungszeiträume in Bezug auf die Fischgrössen genauer analysiert. Es ist zu beachten, dass sich wie oben beschrieben das Total der beiden Untersuchungen nicht einfach aus der Summe der beiden Untersuchungszeiträume zusammensetzt sondern separat berechnet worden ist.

Aus Tabelle 13 und Tabelle 14 ist ersichtlich, dass die Fischtreppe grössenselektiv ist: Kleine Bachforellen weisen eine geringere Auffindbarkeit und Passierbarkeit auf als grössere Tiere. Nimmt man die Grenze von 210 mm (s.o.) so hat sich zwischen UZ1 und UZ2 die Auffindbarkeit der kleinen Fische um das 5fache verringert, wohingegen die Passierbarkeit sich nur geringfügig verringert hat. Die geringe Auffindbarkeit kann einerseits mit der Standortsituation zu tun haben. Der tiefe Kolk am Fusse des Hindernisses erhöht die Gefahr der Prädation, wie das oben beschriebene Beispiel der territorialen Bachforellen zeigt, wodurch dieser von den kleinen Tieren eher gemieden wird. Andererseits können auch die zahlreichen Hochwasser eine Rolle spielen, welche zu Drift der kleineren Fische führen können. Die geringe Passierbarkeit lässt darauf schliessen, dass sich trotz der Optimierungen innerhalb der Fischtreppe sich die Situation für die kleinen Tiere nicht verbessert hat und es nach wie vor an einzelnen Stellen zu hohe Fliessgeschwindigkeiten gibt. Hierbei ist zu beachten dass die Datenmenge sehr gering ist ($n = 10$). Grundsätzlich korreliert die Schwimmleistung eines Fisches mit seiner Grösse. Nach DWA (2014) ist die gesteigerte Geschwindigkeit mit der ein Fisch in der Regel eine Fischtreppe überwindet ungefähr 5 mal Länge des Fisches pro Sekunde ($5 \cdot L_{\text{Fisch}}/s$). Bei einer Länge von 210 mm dürfte somit die Fliessgeschwindigkeit von 1.1 m/s nicht überschritten werden. Bei den grossen Tieren hat sich sowohl die Auffindbarkeit als auch die Passierbarkeit erhöht. Sie scheinen von den Veränderungen der Anlage zu profitieren.

Tabelle 13: Übersicht Effizienzen UZ1 & UZ2 nach Grössenklassen (Grenze 210 mm)

		im Pool ausgesetzt	an A1 registriert	zusätzlich an A2 registriert	Auffindbar- keit [%]	Passierbar- keit [%]	Gesamt- effizienz [%]	
Fischklassi- fizierungen		<i>u1, W1, TR11, TR21</i>	<i>u1, W1, TR11, TR21</i>	<i>alle</i>	<i>alle</i>	<i>u1, W1, TR11, TR21</i>	<i>alle</i>	<i>u1, W1, TR11, TR21</i>
Berechnungs- formel		<i>a</i>	<i>b1</i>	<i>b2</i>	<i>c</i>	$\frac{b1 * 100}{a}$	$\frac{c * 100}{b2}$	$\frac{c * 100}{a}$
Kleine Fische (≤ 210 mm)	UZ1	77	23	36	17	29.9	47.2	22.1
	UZ2*	149	10	10	4	6.7	40.0	2.7
	UZ 1 & 2	226	32	45	20	14.1	44.4	8.8
Grosse Fische (> 210 mm)	UZ1	81	23	46	36	28.4	78.3	44.4
	UZ2*	76	24	27	26	31.6	96.3	34.2
	UZ 1 & 2	151	47	71	60	31.1	84.5	39.7
Total	UZ1	158	46	82	53	29.1	64.6	33.5
	UZ2*	225	34	37	30	15.1	81.1	13.3
	UZ 1 & 2	377	79	116	80	20.9	69.0	21.2

*inklusive u1, u2, u1_TR11, u1_TR21, u2_TR11

Zum Vergleich wurde noch eine zweite Unterscheidung von kleinen und grossen Tieren bei 150 mm überprüft (Tabelle 14). Diese Grenze wurde aufgrund der Grössenverteilung des UZ1 gewählt, um die Sömmerlinge von den älteren Tieren zu unterscheiden. Auch hier zeigt sich eindrücklich die Grössenselektion – im UZ1 ist kein Sömmerling aufgestiegen, im UZ2 ein Tier. Die Datenmenge ist jedoch auch hier sehr klein.

Tabelle 14: Übersicht Effizienzen UZ1 & UZ2 nach Grössenklassen (Grenze 150 mm)

		im Pool ausgesetzt	an A1 registriert	zusätzlich an A2 registriert	Auffindbar- keit [%]	Passierbar- keit [%]	Gesamt- effizienz [%]	
Fischklassi- fizierungen		<i>u1, W1, TR11, TR21</i>	<i>u1, W1, TR11, TR21</i>	<i>alle</i>	<i>alle</i>	<i>u1, W1, TR11, TR21</i>	<i>u1, W1, TR11, TR21</i>	
Berechnungs- formel		<i>a</i>	<i>b1</i>	<i>b2</i>	<i>c</i>	$\frac{b1*100}{a}$	$\frac{c*100}{b2}$	$\frac{c*100}{a}$
Kleine Fische (≤ 150 mm)	UZ1	18	3	8	0	16.7	0	0
	UZ2*	50	2	2	1	4.0	50.0	2.0
	UZ 1 & 2	68	5	10	1	7.4	10.0	1.5
Grosse Fische (> 150 mm)	UZ1	140	43	74	53	30.7	71.6	37.9
	UZ2*	175	32	35	29	18.3	82.9	16.6
	UZ 1 & 2	310	74	106	79	23.9	74.5	25.5
Total	UZ1	158	46	82	53	29.1	64.6	33.5
	UZ2*	225	34	37	30	15.11	81.1	13.3
	UZ 1 & 2	378	79	116	80	20.9	69.0	21.2

*inklusive u1, u2, u1_TR11, u1_TR21, u2_TR11

9.2 Längenvergleich

Die Grössenselektion der Fischtreppe ist gut ersichtlich im Längenvergleich: Im Durchschnitt waren jeweils die aufgestiegenen Fische grösser, als diejenigen, welche an der ersten Antenne registriert worden sind und diese wiederum grösser, als der Durchschnitt aller markierten Tiere (Tabelle 15). Im UZ2 waren die Tiere kleiner als im UZ1, dennoch waren die im UZ2 wandernden Tiere wesentlich grösser als die wandernden Tiere aus dem UZ1. Dies deckt sich mit den Ergebnissen, dass im UZ2 vor allem die grossen Tiere gewandert sind (Tabelle 13).

Tabelle 15: Längenvergleich UZ1 & UZ2

		Durchschnitt [mm]	Median [mm]	Anzahl Fische
alle markierten Fische	UZ1	209.4	211.0	580
	UZ2*	201.4	170.0	219
	UZ1 & UZ2	207.2	206.0	799
Fische am Treppeneingang (an A1 detektiert)	UZ1	226.1	218.0	82
	UZ2*	293.0	261.0	31
	UZ1 & UZ2	244.1	220.5	114
aufgestiegene Fische (an A2 detektiert)	UZ1	252.2	235.0	53
	UZ2*	325.5	323.0	24
	UZ1 & UZ2	275.0	241.0	77

*ohne u1, u2, u1_TR11, u1_TR21, u2_TR11

10 Wandergeschwindigkeit

Beim Fischeaufstieg ist ein Trend ersichtlich, dass die grösseren Tiere schneller durch die Fischtreppe wandern als die Kleineren. In Abbildung 18 sind alle erstmaligen Wanderungen dargestellt. Aus der Grafik ist ersichtlich, dass die Tiere die Treppe in der Regel nicht als Lebensraum nutzen. Bis auf zwei Tiere (nicht dargestellt in Abbildung 18) durchwanderten alle Individuen die Treppe innerhalb einer Stunde. Beim Fischabstieg ist kein direkter Zusammenhang der Fischlänge und der Wandergeschwindigkeit ersichtlich.

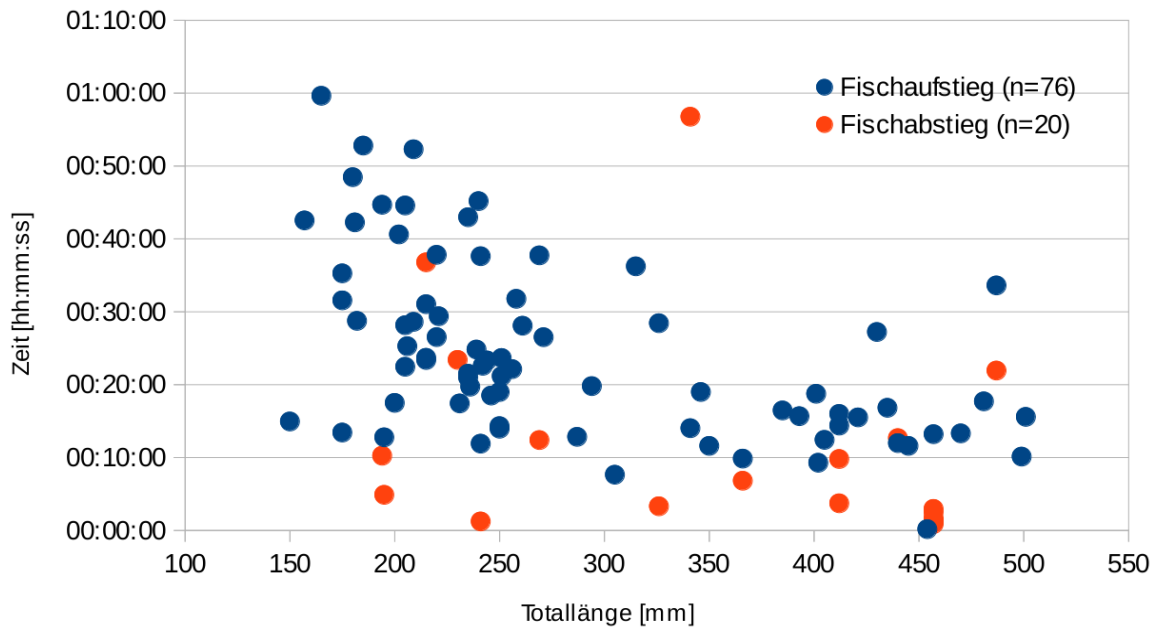


Abbildung 18: Zusammenhang Fischgrösse und Transitgeschwindigkeit

11 Wanderzeiten

11.1 Wanderungen und Tageszeiten

Insgesamt fanden die Fischeaufstiege den ganzen Tag statt. Im UZ1 wanderten die Tiere vermehrt am Nachmittag, im UZ2 am späten Abend (Abbildung 19). Die Fischabstiege hingegen konzentrierten sich auf den Abend respektive die Nacht (Abbildung 20).

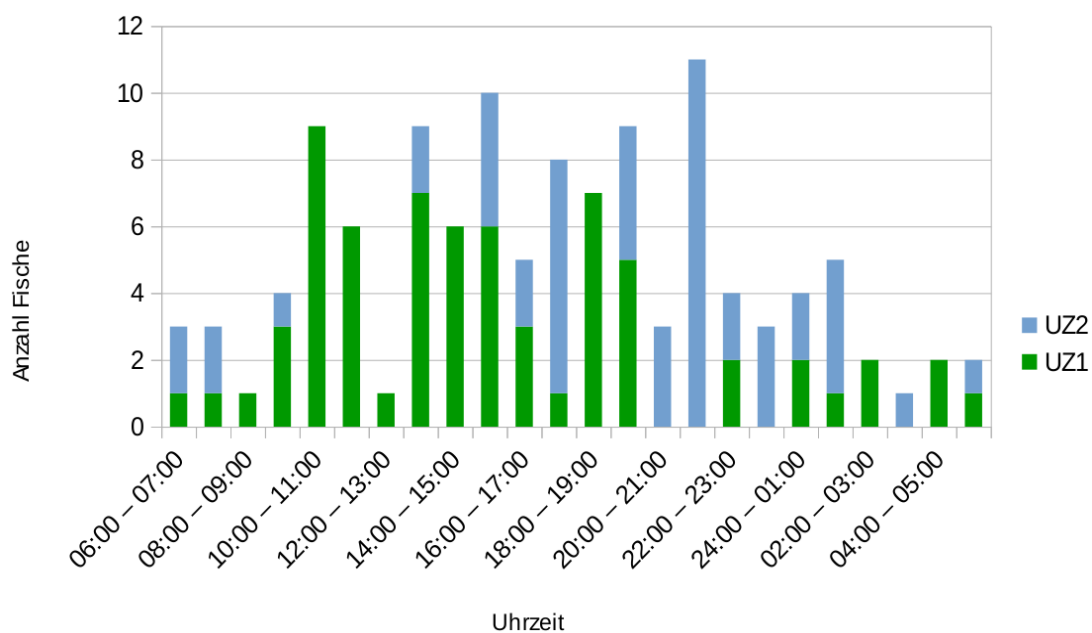


Abbildung 19: Wanderzeiten Fischeaufstieg UZ1 (n=67) und UZ2 (n=51)

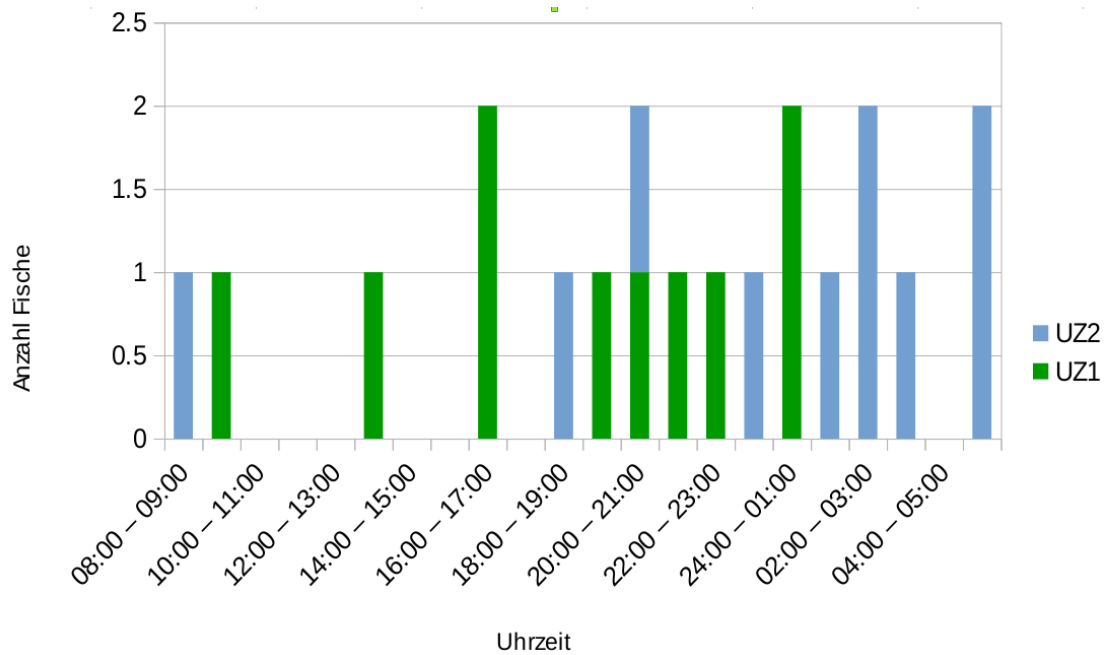


Abbildung 20: Wanderzeiten Fischabstieg UZ1 (n=10) und UZ2 (n=10)

11.2 Wanderungen und Temperatur

In beiden Untersuchungszeiträumen konnte kein direkter Zusammenhang zwischen der Wassertemperatur und den Fischwanderungen festgestellt werden. Die Aufwanderungen fanden zwischen Temperaturen von 6.0 °C - 16.1°C statt (Durchschnitt: 11.9 °C, Median: 12.5 °C). Die Abwanderungen fanden bei geringfügig wärmeren Bedingungen statt: zwischen 7.1 °C - 15.9°C (Durchschnitt: 12.8 °C, Median: 12.7 °C).

11.3 Wanderungen und Abflussbedingungen

Auch über alle Fischwanderungen zusammengekommen kann mit einer qualitative Auswertung ein Zusammenhang der Wanderungen und der Abflussbedingungen festgestellt werden. Die Tiere wanderten vorwiegend bei steigendem oder sinkendem Wasserspiegel flussaufwärts (Abbildung 19). Der durchschnittliche Tagesabfluss betrug dabei 2.29 m³/s (Median 1.05 m³/s, minimal 0.16 m³/s, maximal 11.10 m³/s). Die 20 Abwanderungen fanden vermehrt bei sinkendem Abfluss statt. Der durchschnittliche Tagesabfluss betrug dabei 5.09 m³/s und war somit im Schnitt grösser als bei den Fischaufstiegen (Median 2.91 m³/s, minimal 0.20 m³/s, maximal 22.00 m³/s).

Tabelle 16: Qualitative Bestimmung der Abflussbedingungen während allen Fischwanderungen

Abflussbedingungen	Anzahl Fischaufstiege	Anzahl Fischabstiege
konstant	13	4
sinkend	40	8
steigend	51	3
maximal	8	1
unbestimmt	1	4
Total	113	20

12 Fazit

Es gibt in der Literatur nur wenig Aussagen darüber, ab wann eine Fischtreppe als „erfolgreich“ deklariert werden kann. Die Ergebnisse der Erfolgskontrolle der Steffstep in Kollbrunn bezüglich Passierbarkeit in Bezug auf die Bachforelle sind jedoch vergleichbar mit Daten von herkömmlichen Schlitzpässen. Die Auffindbarkeit ist stets abhängig von den lokalen Bedingungen und es konnten leider keine vergleichbaren Versuche an nichtkraftwerksbedingten Hindernissen in der Literatur gefunden werden mit denen sich die Ergebnisse der Steffstep vergleichen liessen. Grundsätzlich ist es umso besser, je grösser dieser Wert ist und so sollte der Einstieg in die Fischtreppe je nach Standort individuell optimiert werden.

Insgesamt konnten die Ergebnisse zeigen, dass die Steffstep in Bezug auf die Bachforelle eine solide Ergänzung zu den bestehenden Massnahmen zur Wiederherstellung der freien Fischwanderung ist. Weitere Fischarten werden im Folgenden noch untersucht.

Grundsätzlich ist das Ziel einer Fischtreppe, dass alle aufstiegswilligen Fische unabhängig von ihrer Grösse diese nutzen können, auch wenn es aus biologischer Sicht für den genetischen Austausch von Populationen reicht, wenn nur eine gewisse Anzahl der Tiere migriert. Die Steffstep kann einerseits zur Überbrückung eingesetzt werden, bis ein bestehendes Hindernis grundlegend zurück gebaut wird. An diesen Standorten dient sie als Übergangslösung und dort ist es ja nach Standort zu diskutieren, inwieweit es tolerierbar ist, dass nicht alle Altersstufen wandern können. Grundsätzlich ist aber eine Minimierung der Grössenselektion anzustreben – besonders wenn man die Treppe als Dauerlösung, z.B. bei einem Kleinwasserkraftwerk, baut. Dazu ist an der Steffstep eine weitere Reduktion der Fliessgeschwindigkeit innerhalb der Fischtreppe zu empfehlen.

13 Literaturverzeichnis

- AWEL (2016). Messdaten. Abgerufen am 26.09.16,
<http://www.awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/wasser/messdaten.html>
- Baier, E. (2016). Fish pass Steffstep – a solution for disconnected rivers? Potential application and efficiency of a new fish pass type. Master thesis. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.
- Bunt, C. M., Castro-Santos, T. & Haro, A. (2012). Performance of fish passage structures at upstream barriers to migrate. *River Research and Application*, 28, 457-478.
- Castro-Santos T. (2015). The behavioral mechanics of barriers: a movement-theoretic approach. Presentation at the International Conference on Engineering and Ecohydrology for Fish Passage 2015. 21.06.15, Groningen.
- Cooke, S. J. & Hinch, S. G. (2013). Improving the reliability of fishway attraction and passage efficiency estimates to inform fishway engineering, science, and practice. *Ecological Engineering*, 58, 123-132.
- DWA (ed.) (2014). DWA-Regelwerk. Merkblatt, DWA-M 509, Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. Hef. Hennef.
- Küttel, S. Peter, A. & Wüest, A. (2002). Temperaturpräferenzen und -limite von Fischarten Schweizerischer Fliessgewässer. Rhône Revitalisierung. Eawag, Kastanienbaum.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Feldstandort mit Fischklassifizierung im Untersuchungszeitraum 1.....	5
Abbildung 2: Feldstandort mit eingezeichneten Abfischungsstrecken im Untersuchungszeitraum 2.....	5
Abbildung 3: Abfluss über die Zeit.....	6
Abbildung 4: Niederschlagssumme und durchschnittlicher Monatsabfluss der letzten 25 Jahre im Vergleich zu 2016.....	6
Abbildung 5: Wassertemperatur über die Zeit.....	7
Abbildung 6: Häufigkeit der Grössenklassen der markierten Bachforellen nach Klassifizierung.....	8
Abbildung 7: Zusammenhang Grösse und Transitzeit (n = 28).....	11
Abbildung 8: Wanderzeiten Fischaufstieg und Fischabstieg.....	12
Abbildung 9: Wassertemperatur und Abfluss in Zusammenhang mit Fischauf- und -abstiegen.....	13
Abbildung 10: Qualitative Skizze der Fischtreppe, schwarz UZ1, rot Optimierungen seit UZ2.....	15
Abbildung 11: Einstieg alt (Becken 14 & 15).....	15
Abbildung 12: Einstieg neu (Becken 13, 14 und verlängertes Becken 15).....	15
Abbildung 13: Hochwasserschutz vor dem Einlauf der Steffstep.....	16
Abbildung 14: Überlaufschlitz am Einlauf der Steffstep (Becken 1).....	16
Abbildung 15: Hochwasser Mai 2016 mit 53 m ³ /s.....	16
Abbildung 16: Niedrigwasser November 2015 mit 0.1 m ³ /s.....	16
Abbildung 17: Häufigkeit der Grössenklassen aller markierten Fische.....	17
Abbildung 18: Zusammenhang Fischgrösse und Transitgeschwindigkeit.....	21
Abbildung 19: Wanderzeiten Fischaufstieg UZ1 (n=67) und UZ2 (n=51).....	21
Abbildung 20: Wanderzeiten Fischabstieg UZ1 (n=10) und UZ2 (n=10).....	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die verwendeten Abkürzungen.....	4
Tabelle 2: Temperatur Monatsmittel & Maximalwerte der letzten 25 Jahre im Vergleich zu 2016.....	7
Tabelle 3: Fischklassifizierung und Totallänge.....	8
Tabelle 4: Auffindbarkeit der BF nach Klassifizierung.....	9
Tabelle 5: Passierbarkeit der BF nach Klassifizierung.....	10
Tabelle 6: Gesamteffizienz der BF nach Klassifizierung.....	10
Tabelle 7: Effizienzen der BF nach Grössenklassen (Grenze 210 mm).....	10
Tabelle 8: Längenvergleich der markierten und der in der Steffstep registrierten BF.....	11
Tabelle 9: Dauer Fischabstieg nach Totallänge.....	12
Tabelle 10: Qualitative Bestimmung der Abflussbedingungen während den Fischwanderungen.....	14
Tabelle 11: Anzahl markierte Fische nach Klassifizierung.....	17
Tabelle 12: Übersicht Effizienzen UZ1 & UZ2.....	18
Tabelle 13: Übersicht Effizienzen UZ1 & UZ2 nach Grössenklassen (Grenze 210 mm).....	19
Tabelle 14: Übersicht Effizienzen UZ1 & UZ2 nach Grössenklassen (Grenze 150 mm).....	20
Tabelle 15: Längenvergleich UZ1 & UZ2.....	20
Tabelle 16: Qualitative Bestimmung der Abflussbedingungen während allen Fischwanderungen.....	22