



Fischwanderung: Kontrollinstrument Zählbecken

Die unterschätzte Bedeutung der Reusenkehle

Expertenbericht im Auftrag des
Bundesamt für Umwelt BAFU

April 2019

PETER
FISHCONSULTING



Impressum

Auftraggeber	Bundesamt für Umwelt (BAFU) Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK). <i>Kontaktperson</i> Alvaro Baumann y Carmona Tel. 058 466 78 21 alvaro.baumannycarmona@bafu.admin.ch	
Auftragnehmer	Peter FishConsulting Hagmattstr. 7 CH-4600 Olten <i>Kontaktperson</i> Dr. Armin Peter Tel. 079 964 06 44 apeter@fishconsulting.ch	
AutorInnen	Dr. Armin Peter, Peter FishConsulting Lisa Wilmsmeier, Peter FishConsulting Nils Schölzel, Peter FishConsulting	Projektleitung
Auftragserteilung	1. Dezember 2017	
Begleitung BAFU	Lukas Bammatter (bis März 2018) Alvaro Baumann y Carmona (ab April 2018)	
Disclaimer	Dieser Expertenbericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.	
Zitiervorschlag	Wilmsmeier, L., Schölzel, N. & Peter, A. 2018. Fischwanderung: Kontrollinstrument Zählbecken. Die unterschätzte Bedeutung der Reusenkehle. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU: 48 S.	
Titelseite	Zweiteilige Reusenkehle im Zählbecken Schönenwerd, 28.09.2018. © Armin Peter, Peter FishConsulting. Egli im Zählbecken Winznau, 22.08.2018. © Lisa Wilmsmeier, Peter FishConsulting. Nase aus dem Zählbecken bei der biometrischen Untersuchung, 20.08.2018. © Armin Peter, Peter FishConsulting.	
Fotos	Alle © Peter FishConsulting, 2018	

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Einleitung	4
2.1	Hintergrund	4
2.2	Auftrag	5
2.3	Ausgangslage	5
2.3.1	<i>Grundlagen für Entwicklung der verwendeten Reusenkehle.....</i>	<i>6</i>
3	Methoden.....	7
3.1	Untersuchte Zählbecken	7
3.2	Reusenkehle	10
3.3	Fischzählung	12
3.3.1	<i>Grössenselektivität der Netzkehle</i>	<i>13</i>
3.4	Retentionsexperimente.....	14
3.4.1	<i>Markieren mit Visible Implant Elastomer.....</i>	<i>16</i>
3.4.2	<i>Verletzte Fische.....</i>	<i>17</i>
3.5	Videomonitoring.....	17
3.5.1	<i>Ein- und ausschwimmende Fische</i>	<i>18</i>
3.5.2	<i>Scheucheffekt</i>	<i>18</i>
3.5.3	<i>Fischabstieg durch das Zählbecken</i>	<i>20</i>
4	Resultate	21
4.1	Fischzählung	21
4.1.1	<i>Grössenselektivität der Netzkehle</i>	<i>26</i>
4.2	Retentionsexperimente.....	26
4.2.1	<i>Verletzte Fische.....</i>	<i>28</i>
4.3	Videomonitoring.....	29
4.3.1	<i>Ein- und ausschwimmende Fische</i>	<i>29</i>
4.3.2	<i>Scheucheffekt</i>	<i>31</i>
4.3.3	<i>Fischabstieg durch das Zählbecken</i>	<i>32</i>
5	Diskussion	33
5.1	Fischzählung	33
5.1.1	<i>Arten- und Grössenselektivität der Netzkehle</i>	<i>34</i>
5.2	Retentionsexperimente.....	35
5.3	Videomonitoring.....	36
5.3.1	<i>Ein- und Ausschwimmende Fische.....</i>	<i>36</i>
5.3.2	<i>Scheucheffekt</i>	<i>36</i>



5.3.3	<i>Fischabstieg durch das Zählbecken</i>	37
5.4	Abschliessende Beurteilung der entwickelten Reusenkehle.....	37
5.5	Verletzte und tote Fische	38
6	Fazit	40
7	Empfehlungen	40
7.1	Empfehlungen für die Konstruktion von Zählbecken.....	41
7.2	Empfehlungen für die Durchführung von Fischzählungen.....	42
8	Literatur	43
9	Dank	45
10	Anhang	46



1 Zusammenfassung

Fische wandern in grosser Zahl und über weite Distanzen, um zu geeigneten Fortpflanzungs-, Nahrungs- und Überwinterungshabitaten zu gelangen. Neben den bekannten Langstreckenwanderungen von Lachs und Aal, sind auch die Bewegungen «potamodromer» Arten (Wanderungen beschränken sich auf Süsswasser) für den Erhalt der Fischpopulationen von grosser Bedeutung. Die Sicherstellung der Fischgängigkeit nach Art. 9 BGF ist deshalb Teil der Sanierung der Wasserkraft (Art. 83b GSchG). Durch Fischaufstiegsanlagen an Wasserkraftwerken und Wehren kann die Fischgängigkeit zumindest teilweise wiederhergestellt werden. Anhand von biologischen Funktionskontrollen wird untersucht, ob und für welche Fische eine Fischaufstiegsanlage passierbar ist. Neben anderen Methoden kann eine solche Erfolgskontrolle durch eine Zählung aller aufsteigenden Fische in einem Zählbecken erfolgen. Zuverlässige Ergebnisse sind dabei von grosser Bedeutung für die Beurteilung einer Anlage und den Erkenntnisgewinn in Bezug auf zukünftige Fischaufstiegssanierungen.

Die Resultate einer PIT-Tagging-Untersuchung am Kraftwerk Rheinfelden (Peter et al. 2016) und der Grundlagenrecherche der ersten Phase des Projekts „Kontrollinstrument Zählbecken“ (Wilmsmeier & Peter 2018) zeigen, dass aus den Zählbecken ausschwimmende Fische ein Problem bei Fischaufstiegszählungen darstellen. Mit dieser Studie wurde das Problem erstmals mit wissenschaftlichen Methoden untersucht und es wird eine Lösung aufgezeigt. Die Untersuchungen wurden in der Aare durchgeführt, an den Zählbecken bei den Wehren Winznau und Schönenwerd.

Mit Retentionsexperimenten (Einsatz markierter Fische ins Zählbecken) und ausführlichen Videoanalysen wurde nachgewiesen, dass die Fische beim Wehr Winznau in grosser Anzahl aus dem Zählbecken ausschwimmen. Die Wiederfangrate markierter Fische, die ins Zählbecken eingesetzt wurden, betrug nach ca. 24 Stunden nur 5.2 %. Um das Ausschwimmen der Fische zu verhindern, wurde eine spezielle Reusenkehle entwickelt. Diese besteht aus einer trichterförmigen Basis aus Metall und einem beweglichen Netzfortsatz. Das Netz wird im Zählbecken aufgespannt und bildet eine enge, aber flexible, raufenförmige Öffnung. Die Reusenkehle wurde an den Zählbecken Winznau und Schönenwerd getestet. Mit der Netzkehle schwammen signifikant weniger Fische aus dem Zählbecken aus und die Wiederfangquote markierter Fische stieg von 5.2 % auf 93.1 %. Dementsprechend wurden mit der Netzkehle auch signifikant mehr Fische gefangen als ohne Reusenkehle und die Fangzahlen stiegen um ein Vielfaches an (Faktor 10 - 100). An einzelnen Tagen wurden mit der Netzkehle mehr Fische gefangen, als während der gesamten Zählperiode früherer Jahre. Im Gegensatz zur Netzkehle konnte der Rückhalt der Fische durch den Metallteil alleine nicht signifikant gesteigert werden.

Für die Sanierung der Fischgängigkeit nach Art. 9 BGF sind verlässliche Funktionskontrollen von grosser Bedeutung. Diese Studie zeigt jedoch, dass die Resultate bisheriger Fischzählungen, je nach verwendeter Reusenkehle, in Frage gestellt werden müssen. Aufstiegszählungen ohne gut funktionierende Reusenkehle lassen weder eine zuverlässige Beurteilung, noch einen Vergleich zwischen verschiedenen Fischaufstiegsanlagen zu. Um zukünftige Fischzählungen präzise durchzuführen, sollte vorgängig eine Überprüfung des Einschwimmverhaltens und des Rückhaltes der Fische (Fängigkeit) im Zählbecken oder in der Reuse erfolgen. Bei der Durchführung von Aufstiegszählungen ist ausserdem zu berücksichtigen, dass schlecht funktionierende Zählbecken ein Hindernis für wandernde Fische darstellen.

Im vorliegenden Bericht werden Empfehlungen für den Bau und Betrieb von Zählbecken sowie die Durchführung von Fischzählungen formuliert. Es werden Angaben zur Gestaltung der Reusenkehle und des Zählbeckens gemacht. Ausserdem werden Anpassungen am Betrieb des Beckens und der Zählweise vorgeschlagen, die ein möglichst schonendes Handling der Fische und eine gute Qualität der Zählresultate gewährleisten sollen.



2 Einleitung

2.1 Hintergrund

Fische wandern teilweise über weite Strecken, um zu geeigneten Habitaten für die Fortpflanzung oder Nahrungssuche zu gelangen. Aber auch kleinräumige Wanderungen sind wichtig, z. B. zwischen Winter- und Sommerhabitaten. Nicht zuletzt ist die Vernetzung verschiedener Gewässerabschnitte wichtig für deren Wiederbesiedelung nach Katastrophen (Verunreinigungen, extreme Hochwasser) und den genetischen Austausch zwischen Populationen. Der Fischaufstieg an Wasserkraftwerken ist deshalb durch Fischaufstiegshilfen zu ermöglichen. Im Zuge der Sanierung Wasserkraft muss an bestehenden Wasserkraftanlagen ohne oder mit schlecht funktionierenden Fischaufstiegsanlagen gem. Art 83b GSchG und Art. 9 BGF die Fischgängigkeit bis 2030 erreicht werden. Um die Funktion dieser Einrichtungen zu prüfen und zu beurteilen, allenfalls Verbesserung anzubringen und zukünftige Anlagen erfolgreich gestalten zu können, werden an bestehenden Anlagen technische und biologische Wirkungskontrollen durchgeführt.

Für die biologische Wirkungskontrolle gibt es verschiedene Methoden mit spezifischen Vor- und Nachteilen (Travade & Larinier 1994; Zaugg et al. 2016). In der Schweiz wird insbesondere an grösseren Gewässern oft mit Zählbecken gearbeitet (s. Abbildung 1). Durch das natürliche Verhalten der wandernden Fische (positive Rheotaxis) und eine Reusenkehle im Einstiegsbereich, sollen die Fische bis zur Zählung im Zählbecken gehalten werden (Gebler 2010).

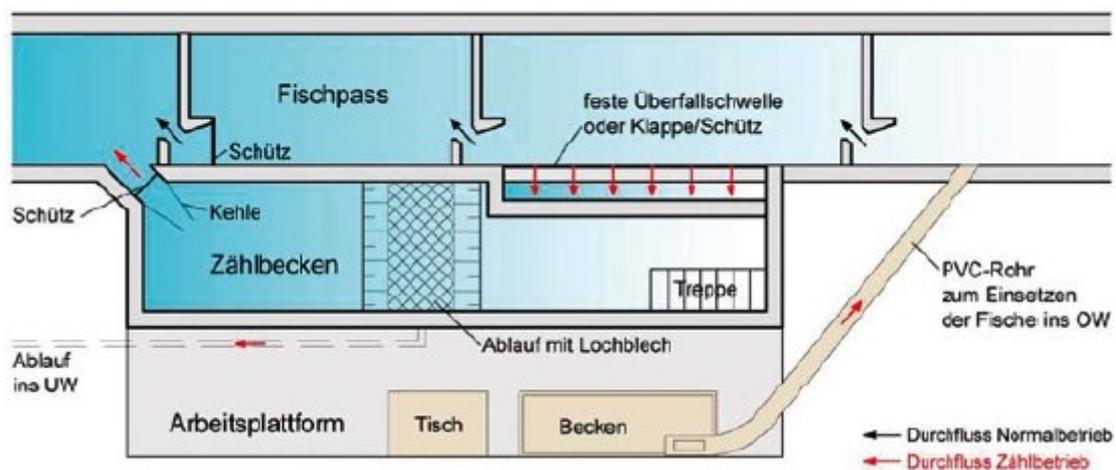


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Zählbeckens (aus Gebler 2010)

Im Rahmen einer PIT-Tagging Studie bei gleichzeitigem Einsatz des Zählbeckens am Kraftwerk Rheinfelden wurde jedoch erkannt, dass ein grosser Teil der Fische nicht bis zur Zählung in den Zählbecken verbleibt, sondern diese über den Einstieg wieder verlässt (Peter et al. 2016). Videoaufnahmen am selben Standort bestätigten diese Erkenntnisse (Pardela 2017). Dies kann einerseits die Beurteilung der Fischwanderung bzw. der Fischaufstiegsanlage beeinflussen (Unterschätzung der Anzahl aufsteigender Fische, allenfalls artspezifisch), andererseits wird der Fischaufstieg für aus dem Becken aussteigende Fische durch die Zählung über lange Zeit blockiert (Peter et al. 2016). Eine Abklärung des Fischverhaltens im Zusammenhang mit dem Betrieb und der Konstruktion von Zählbecken ist deshalb dringend notwendig.



2.2 Auftrag und Stellenwert des Berichtes

Im vorliegenden Projekt werden Erfahrungen mit Zählbecken in der Schweiz und im grenznahen Ausland zusammengetragen und auftretende Probleme eruiert. Es werden Vorschläge und Empfehlungen zur Verbesserung der Arbeitsweise an Zählbecken hergeleitet. Diese sollen für zukünftige Wirkungskontrollen berücksichtigt werden.

Auftretende Probleme an Zählbecken wurden im ersten Bericht zum Projekt (Wilmsmeier & Peter 2018) dokumentiert. In der zweiten und dritten Projektphase (vorliegender Bericht) soll das Entweichen von Fischen aus Zählbecken mit Direktbeobachtungen am Zählbecken erstmals konkret untersucht werden. Dabei wird geprüft, ob es beim Zählbecken Winznau ausschwimmende Fische gibt und welche Arten betroffen sind. Zur Optimierung des Zählbeckens wird eine Problemlösung vorgeschlagen und getestet.

Konkret sind folgende Inhalte Teil der zweiten und dritten Projektphase:

- Gezielte Experimente mit Fischmarkierungen, die Auskünfte darüber geben, wie gross die Wahrscheinlichkeit ist, einen Fisch nach 24 Stunden im Zählbecken erneut zu fangen
- Dokumentation des Ein- und Ausschimmens mit Videoüberwachungen
- Vorschlag und Test einer Problemlösung (Einsetzen einer Reusenkehle) um das Ausschimmen von Fischen aus dem Zählbecken zu minimieren und möglichst zu verhindern
- Vergleich der Fangzahlen ohne und mit Reusenkehle
- Erneute Beurteilung des Ausschimmens nach dem Einbau der Reusenkehle unter Einsatz von Video und Markierexperimenten
- Einsatz der Reusenkehle an einem zweiten Zählbecken an der Aare in Schönenwerd und zusätzliche Markierexperimente
- Vergleich der Resultate aus den beiden Zählbecken
- Dokumentation eines möglichen Scheucheffekts durch die verwendete Reusenkehle

2.3 Ausgangslage

Im Rahmen der ersten Projektphase wurde mit einer Literaturanalyse und Experteninterviews aufgezeigt, dass das Problem ausschimmender Fische sowohl bei Zählbecken als auch bei Reusen verschiedener Bauarten auftaucht (Wilmsmeier & Peter 2018). Obwohl sich die Fachpersonen dessen bewusst sind, wurde das Problem bis zur Studie von Peter et al. (2016) unterschätzt. Ausschwimmende Fische wurden nur zufällig, z. B. im Rahmen anderer Untersuchungen, festgestellt und es gibt keine umfassenden Effizienzstudien oder Qualitätsüberprüfungen von Zählbecken. Auch in der wissenschaftlichen Literatur wird die Effizienz der verwendeten Fangeinrichtungen in Fischaufstiegsstudien fast nie thematisiert (Stuart et al. 2008).

Der Gestaltung der Reusenkehle kommt eine enorme Bedeutung für die Fängigkeit einer Zählbeckenanlage zu (Fladung et al. 2017). Studien aus anderen Bereichen zeigen, welchen grossen Einfluss die genaue Gestaltung einer Reusenkehle auf den Fischrückhalt haben kann. So wurden beim Vergleich zweier Kehlkonfigurationen in Nordamerikanischen Standardreusen («fyke nets»), die in Seen verwendet werden, grosse Unterschiede im Fischrückhalt gefunden. Wurde die Reusenkehle mit vielen Schnüren nach vorne aufgespannt, konnte die Anzahl gefangener Fische verdoppelt und die Ausschwimmrate bestimmter Fischarten deutlich verkleinert werden (Smith et al. 2016). Quantitative Untersuchungen der



Effizienz verschiedener Typen von Reusenkehlen bei Zählbecken wurden jedoch bisher nicht angestellt. So ist unklar, welche dieser Typen für den Rückhalt der Fische in Zählbecken am besten geeignet sind.

Auf Grundlage der Angaben der Interviewpartner der ersten Projektphase (Wilmsmeier & Peter 2018), wurde die nach dem vorliegenden Wissen effizienteste Variante einer Reusenkehle für diese Studie ausgewählt (s.u.).

2.3.1 Grundlagen für Entwicklung der verwendeten Reusenkehle

Die Ergebnisse aus den Interviews und des Literaturstudiums der ersten Projektphase zeigen, dass für die Gestaltung einer Reusenkehle noch keine abschliessende, allgemeingültige Lösung gefunden wurde (Wilmsmeier & Peter 2018). Grundsätzlich muss beim Bau einer Reuse ein Kompromiss zwischen einem guten Rückhalt der Fische (möglichst enge Kehle) und der Vermeidung der Grössenselektivität (möglichst weite Kehle) gefunden werden (Schwevers & Adam 2000). Dazu scheint eine Netzgarnkehle am besten geeignet zu sein; dank des flexiblen Materials kann eine kleine aber dehnbare Öffnung erstellt werden, die auch von grösseren Fischen passiert werden kann. Diese Erfahrungen werden auch beim Einsatz von fischereilichen Fanginstrumenten konsequent angewendet (z. B. Trappnetze). Das Netz wird von Schnüren so aufgespannt, dass die Öffnung flexibel bleibt und von grossen Fischen leicht auseinandergedrückt werden kann. Das Ende der Netzkehle kann rechteckig, kreisförmig, rautenförmig oder als Schlitz (auch «fingerförmig» (Hubert et al. 2012)) ausgebildet sein. Der Nachteil einer Netzkehle ist die leichte Verformung und Verstopfung durch Geschwemmsel. Deshalb wird in der Regel nur der vordere Teil der Kehle aus Netzgarn gefertigt, während die ersten zwei Drittel aus Metall bestehen. Eine solche Reusenkehle wird auch in der neu entwickelten Standardkastenreuse für den Einsatz an Fischaufstiegsanlagen in Bundeswasserstrassen in Deutschland verwendet (Fladung et al. 2017). Durch die Verwendung zweier hintereinander liegender Kehlen soll hier die Fängigkeit der Reuse noch verstärkt werden.

Wie für alle Kehltypen, liegen auch für Netzkehlen bisher keine systematischen Untersuchungen ihrer Effizienz vor. Es ist jedoch der einzige Kehltyp, für welchen aus der ersten Projektphase kein Ausschimmen bekannt ist (Wilmsmeier & Peter 2018). Auch erste Versuche mit der Standardkastenreuse in Koblenz an der Mosel (D) attestieren eine sehr gute Fängigkeit (pers. Mitteilung David Nijssen, BfG).

Für die vorliegende Studie wurde in Anlehnung an Fladung et al. (2017) eine kombinierte Reusenkehle aus Metall und Netzgarn gewählt, da es zu diesem Zeitpunkt eine der besten und vielversprechendsten Varianten ist, die in der Praxis verwendet wird. Während das Netzteil der Kehle nur zeitweise installiert war, blieb der Metallteil über längere Zeit im Zählbecken. Dadurch konnte auch der Fischrückhalt der Metallkehle an sich (ohne Netzfortsatz) bewertet werden. Andere Kehltypen (z.B. sehr lange Metallkehlen, Kehlen aus Drähten oder Borsten etc.) konnten aus Zeitgründen nicht untersucht werden. In einer zukünftigen Erweiterung dieses Projekts wäre es allerdings sinnvoll, diese Typen ebenfalls genauer zu untersuchen.



3 Methoden

Die Wirkung der oben beschriebenen Reusenkehle wurde 2018 an zwei Standorten an der Aare im Kanton Solothurn untersucht. Mit drei unterschiedlichen Methoden (Fischzählung, Retentionsexperimente und Videomonitoring) wurde dabei die Fangeffizienz der Zählbecken vor und nach dem Einbau der Kehle verglichen.

An den beiden untersuchten Zählbecken fand von Mai bis Oktober 2018 unabhängig von den Experimenten eine Fischaufstiegskontrolle im Auftrag des Amtes für Wald, Jagd und Fischerei des Kantons Solothurn (AWJF) statt. Die dabei erhobenen Fangzahlen konnten für den Vergleich der Fangzahlen der Zählbecken mit und ohne Kehle verwendet werden (Kapitel 3.3). Zusätzlich zu den Aufstiegszählungen wurden an beiden Zählbecken Retentionsexperimente mit markierten Fischen durchgeführt. Dabei wurden Fische nach der Zählung markiert und ins Zählbecken zurückversetzt. Bei der Zählung am nächsten Tag wurden alle Fische auf mögliche Markierungen kontrolliert (Kapitel 3.4). In Winznau wurde ausserdem das Verhalten der Fische im und vor dem Zählbecken mit einer Videokamera beobachtet (Kapitel 3.5). Die beiden Zählbecken, die verwendete Reusenkehle und die drei Methoden werden in den folgenden Kapiteln genauer beschrieben.

3.1 Untersuchte Zählbecken

Die untersuchten Zählbecken befinden sich an der Aare im Kanton Solothurn, an den Fischaufstiegsanlagen der Wehren Winznau (KW Gösgen) und Schönenwerd (KW Aarau; Abbildung 2 und Abbildung 3).

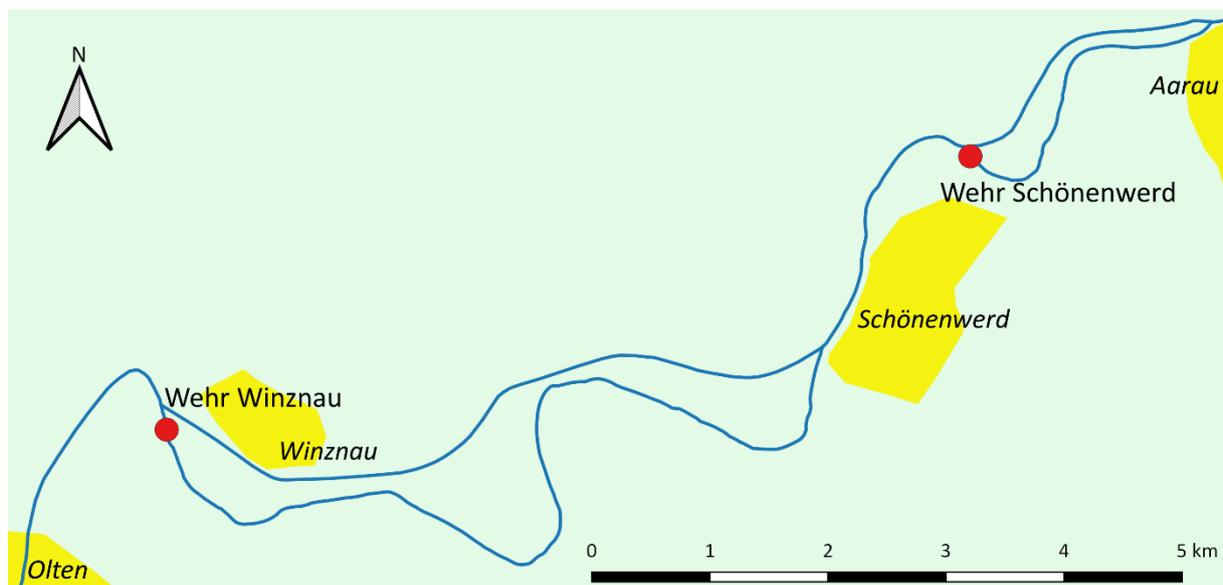


Abbildung 2: Karte der Aare zwischen Olten und Aarau und Standorte der Zählbecken (rote Punkte). Kartengrundlage: Bundesamt für Landestopografie, verändert durch Peter FishConsulting





Abbildung 3: Aare bei Winznau (Restwasserstrecke unterhalb des Wehrs Winznau)



Abbildung 4: Umgehungsgerinne am Wehr Winznau mit Zählbecken (gelber Kreis)

Beide Zählbecken liegen jeweils in der Mitte der Fischaufstiegsanlage (Abbildung 4) und funktionieren grundsätzlich nach dem in Gebler (2010) beschriebenen Prinzip (Abbildung 1): Während des Betriebes wird der Fischpass durch ein Schütz verschlossen und das Wasser oberhalb des Zählbeckens angestaut. Über zwei Überfälle an den Seiten des Gerinnes strömt jeweils ein Teil des Wassers weiter in den Fischpass oder durch das Zählbecken (Abbildung 5). Den Fischen ist somit der Weg durch das Aufstiegsgerinne versperrt. Durch eine Einstiegsöffnung gelangen sie in das Zählbecken, können aber nicht weiter ins Oberwasser aufsteigen (Überfall mit Tauchwand). Für die Fischzählung wird der Einstieg ins Becken



zunächst mit einem Lochblech verschlossen und das mittlere Schütz geöffnet, damit der Wasserspiegel oberhalb des Zählbeckens sinkt. Wenn kein Wasser mehr über den Überfall ins Zählbecken strömt, kann der Einstieg mit einem weiteren Schütz komplett verschlossen und das Wasser im Becken über einen Grundablass abgelassen werden. Die im Zählbecken eingeschlossenen Fische sammeln sich in einer Metallrinne in der Mitte des Beckens und können mit einem Kescher für die Zählung entnommen werden.

Die Abmessungen der Becken sind in Tabelle 1 ersichtlich. Keines der untersuchten Zählbecken verfügt im Originalzustand über eine Reusenkehle am Einstieg, obwohl diese nach Gebler (2010) eigentlich vorgesehen ist (vgl. Abbildung 7 a).

Tabelle 1: Abmessungen der Zählbecken in Winznau und Schönenwerd

	Winznau	Schönenwerd
Länge Becken	5 m	6.2 m
Breite Becken	1.2 m	1.25 m
Höhe Wasserstand	75 cm	97 cm
Breite Einstieg	50 cm	55 cm
Höhe Einstieg	56 cm	58 cm



Abbildung 5: Zählbecken Winznau mit geöffnetem (links) und geschlossenem (rechts) Schütz. Bei geschlossenem Schütz strömt das Wasser über den Überfall links im Bild und durch das Zählbecken auf der rechten Seite.

Am Zählbecken Winznau (Abbildung 5) wurden bereits im Rahmen der koordinierten Fischaufstiegskontrollen an der Aare zwischen Solothurn und der Mündung in den Rhein Aufstiegszählungen durchgeführt (Guthruf 2006). In Schönenwerd (Abbildung 6) fanden neben 2018 schon in den Jahren 2007, 2009, 2010, 2011, 2012 und 2013 Zählungen statt (pers. Mitteilung S. Gerster, AWJF).





Abbildung 6: Zählbecken Schönenwerd (in Betrieb)

3.2 Reusenkehle

Für die genauen Dimensionierung einer Reusenkehle bestehen keine Vorgaben. Die für dieses Projekt erstellte Kehle orientiert sich weitgehend an den Angaben aus Fladung et al. (2017), sowie an bestehenden kommerziellen Fangeinrichtungen der Berufsfischerei. Sie wurde für die untersuchten Becken massgeschneidert entwickelt. Für beide Standorte wurde dieselbe Kehle verwendet.

Die Metallkehle besteht aus rostfreiem Edelstahl und schliesst direkt an den Einstieg ins Zählbecken an. Sie verjüngt sich sowohl vertikal als auch horizontal leicht (Abbildung 7 b). Die Breite der inneren Öffnung entspricht der Schlitzbreite der Fischaufstiegsanlage. Somit waren grundsätzlich alle Fische, die die FAA passieren können, auch in der Lage, den starren Teil der Reusenkehle zu durchschwimmen. Die Öffnung ist dadurch jedoch noch relativ gross. Sie wird durch eine anschliessende Netzkehle aus knotenlosem Netzgarn weiter verkleinert. Dieses wird mit Schnüren so nach vorne gespannt, dass eine flexible, rautenförmige Öffnung entsteht (Abbildung 7 c und Abbildung 8). Während die Metallkehle in der Wand der Zählbeckens fest verschraubt wird, kann die Netzkehle mit einem Holzrahmen schnell an der Metallkehle befestigt und wieder gelöst werden. Die Abmessungen der Reusenkehle sind in Tabelle 2 aufgeführt.



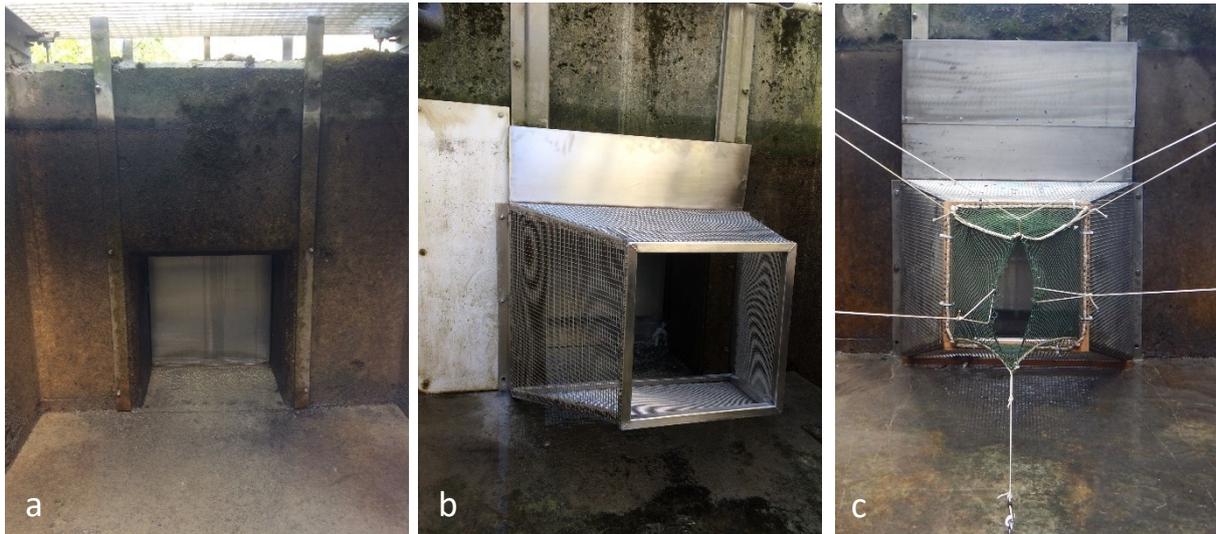


Abbildung 7: Einstieg ins Zählbecken a) im Original, b) mit Metallkehle, c) mit Metall- und Netzkehle

Um Fischverletzungen zu vermeiden, wurde darauf geachtet, dass die Reusenkehle keine scharfen Kanten oder hervorstehende Spitzen aufweist. Jeder Stab des Drahtgeflechts wurde dazu einzeln mit dem Metallrahmen verschweisst. Um zu verhindern, dass kleine Fische in dem spitzen Winkel zwischen Reusenkehle und Boden eingeklemmt werden, wurde dort ein 5 cm breiter Holzkeil eingeklemmt.

Tabelle 2: Masse des Einstiegs ins Zählbecken und der Reusenkehlen-Teile

	Einstieg original	Metallkehle	Netzkehle
Länge	-	56 cm	40 cm
Höhe Öffnung	56 cm	36 cm	25 cm
Breite Öffnung	50 cm	35 cm	11 cm
Abstand der Öffnung zum Boden	-	15 cm	27 cm
Maschenweite	-	10 mm	8 mm

Die Metallkehle wurde am 03.08.2018 im Zählbecken Winznau installiert. Nach 10 Tagen wurde die Netzkehle hinzugefügt. Zwischen den Retentionsexperimenten (Kapitel 3.4) wurde die Netzkehle zeitweise demontiert (Tabelle 3). Am 21.09. wurde die gesamte Kehle entfernt und mit wenigen Anpassungen im Zählbecken Schönenwerd wieder eingebaut. Hier wurde die komplette Reusenkehle bis zum Ende der Experimente am 05.10. belassen. An je einem Tag wurde vor und nach dem Einbau der kompletten Reusenkehle die Fließgeschwindigkeit am Einstieg an 9 vordefinierten Stellen gemessen (Messgerät: Schiltknecht MC 20). Die Resultate sind im Anhang ersichtlich (Abbildung 22).

Um das Verklausen der Kehle mit Schwemmgut zu vermindern, wurde in Winznau oberhalb des Einlaufs ins Zählbecken ein Schwimmbalken eingebaut. In Schönenwerd war dies aufgrund der Lage des Einlaufs (Gleithang) nicht nötig. Die Reusenkehle wurde im Rahmen der Fischzählung täglich von angestautem Geschwemmsel gereinigt.





Abbildung 8: Die Netzkehle wird mit einem Rahmen am Metall befestigt und mit Schnüren nach vorne aufgespannt

3.3 Fischzählung

Die Fischaufstiegszählungen wurden von Freiwilligen der Fischereivereine Olten (Zählbecken Winznau) und Schönenwerd (Zählbecken Schönenwerd) durchgeführt. Die Projektleitung, Schulung des Personals und Datenauswertung lag beim AWJF, welches Peter FishConsulting die erfassten Daten für den vorliegenden Bericht zur Verfügung gestellt hat.

Die Fischzählungen fanden von Mitte Mai bis Mitte (Winznau) bzw. Ende (Schönenwerd) Oktober einmal täglich (meist abends) statt. Dabei wurden die Zählbecken wie in Kapitel 3.1 beschrieben, betrieben. Die Fische wurden ohne Betäubung auf ihre Art bestimmt und gezählt. Anschliessend wurden sie in der Aare, im Staubereich oberhalb der Wehre, ausgesetzt.

Für die Beurteilung der Reusenkehle wurden die Anzahl gefangener Fische an Zähltagen ohne und mit Reusenkehle verglichen. In Winznau konnte zudem der Metallteil der Reusenkehle einzeln (ohne Netzfortsatz) beurteilt werden. Für die Konfiguration ohne Reusenkehle (Originalzustand) wurden jeweils die 10 Tage vor und nach Einbau der Reusenkehle für die Auswertung verwendet. Dadurch wird die Varianz im Fischaufstieg aufgrund verschiedener Umwelteinflüsse (z. B. Jahreszeit, Wassertemperatur) für den durchgeführten Vergleich minimiert.

In Winznau war die Metallkehle (ohne Netzfortsatz) während 35 Tagen montiert, die Netzkehle während 15 Tagen. In Schönenwerd war die Netzkehle während 8 Tagen am Stück montiert (vgl. Tabelle 3). Die Metallkehle wurde hier nicht separat untersucht.



Tabelle 3: Für die Analyse der Fangzahlen verwendeten Zeiträume und Einstiegsvarianten

	Winznau		Schönenwerd	
	Anzahl Tage	Daten	Anzahl Tage	Daten
Ohne Kehle (vorher)	10	24.07. - 02.08.	10	17.09. - 26.09.
Metallkehle	35	03.08. - 13.08. 16.08. - 19.08. 24.08. - 10.09. 18.09. / 19.09.	-	-
Netzkehle	15	14.08. / 15.08. 20.08. - 23.08. 11.09. - 17.09. 20.09. / 21.09.	8	27.09. - 04.10.
Ohne Kehle (nachher)	10	22.09. - 01.10.	10	05.10. - 14.10.

In Schönenwerd wurden an drei Tagen (27.09., 01.10. und 04.10.) unerwartet viele Fische gefangen. Diese konnten aufgrund des fehlenden Zählpersonals und der früh einsetzenden Dunkelheit nicht vollständig gezählt und bestimmt werden. Am 27.09. und 01.10. wurde die Anzahl der Fische, die nicht einzeln gezählt wurden, portionsweise geschätzt. Am 04.10. wurden bei Einbruch der Dunkelheit die Anzahl der noch im Becken verbliebenen Fische von allen Anwesenden geschätzt und der Durchschnitt der Schätzungen protokolliert. Zur Schonung der Fische wurden diese am 04.10. unterhalb des Zählbeckens ausgesetzt.

Die statistischen Vergleiche der Fangzahlen ohne und mit Reusenkehle wurde in R durchgeführt (R Core Team 2018). Da die Daten nicht normalverteilt waren, wurde dazu ein Kruskal-Wallis-Test verwendet. Bestanden grundsätzlich signifikante Unterschiede zwischen den Tagesgruppen (gem. Tabelle 3), wurden diese jeweils paarweise verglichen (Mann-Whitney-U-Test mit Bonferroni-Holm-Korrektur für multiple Vergleiche).

3.3.1 Grössenselektivität der Netzkehle

Im Rahmen der Fischzählungen wurde pro Zähltag die Totallänge des grössten und des kleinsten Fisches jeder Art erhoben. Mit diesen Daten ist keine vollständige Analyse der Grössenklassen der gefangenen Fische möglich. Sie erlauben aber einen einfachen Vergleich der grössten und kleinsten Fische der Fänge ohne und mit Reusenkehle. Für die Beurteilung der Reusenkehle hinsichtlich ihrer Grössenselektivität wurden nur die grössten Fische berücksichtigt, da diese die Netzkehle nicht berührungsfrei passieren und daher allenfalls abgeschreckt werden können. Für die Analyse wurden nur die Arten berücksichtigt, die an beiden Standorten sowohl ohne Kehle als auch mit der Netzkehle gefangen wurden. Kleinfischarten (Schneider, Laube und Gründling) wurden ebenfalls ausgeschlossen. Es wurden nur die Daten der Zähltag verwendet, die auch bei den übrigen Analysen berücksichtigt werden (vgl. Tabelle 3), wobei die Fischgrössen in Schönenwerd mit Netzkehle nur an 4 Tagen erhoben worden waren.



3.4 Retentionsexperimente

Für die Retentionsexperimente wurden die im Zählbecken gefangenen Fische ab einer Länge von 60 mm verwendet. Nach der üblichen Zählung durch die Fischer wurden die Fische vermessen und markiert (Details s. Kapitel 3.4.1). Währenddessen wurde das Zählbecken wieder vollständig gefüllt und der Einstieg geöffnet. Anschliessend wurden die markierten Fische in das Zählbecken zurückgesetzt. Bei der Fischzählung am nächsten Tag wurden alle Fische wie unten beschrieben betäubt und auf vorhandene Markierungen untersucht. Markierte Fische wurden wiederum gemessen und die Art der Markierung notiert.

Um bei den Retentionsexperimenten ohne Kehle eine genügend grosse Stichprobe zu erhalten, wurden 13 Experimente durchgeführt (vgl. Tabelle 4). Nach dem Einbau der Metallkehle wurde der durch sie erzielte Rückhalt ebenfalls mit Retentionsexperimenten überprüft. Da von der Metallkehle alleine im Vorfeld keine grosse Rückhaltewirkung erwartet wurde, wurde die Anzahl Experimente aus Zeitgründen auf drei beschränkt. Die Anzahl der Experimente mit Netzkehle konnte dank höheren Fangzahlen auf 8 beschränkt werden. Davon wurden 5 in Winznau und 3 in Schönenwerd durchgeführt.

Die Länge der Versuchsdauer (vom Einsatz der Fische bis zur nächsten Zählung) ergab sich aus den Tageszeiten der Fischzählungen der Freiwilligen. Bei hohem erwartetem Fischauftreten wurde zudem früher mit der Markierung bzw. Kontrolle der Fische gestartet. Deshalb variieren die Versuchszeiten zwischen 12 und 23.5 Stunden (Tabelle 4). Dies wurde bei der Auswertung der Daten berücksichtigt.

Bei hohem Fischauftreten wurde nur ein Teil der gefangenen Fische markiert, damit die Fischdichte im Zählbecken nicht zu hoch wurde. Die Anzahl markierter Fische hing zudem von der zur Verfügung stehenden Zeit fürs Markieren ab, da später im Herbst bereits frühzeitig die Abenddämmerung eintrat. Es wurde versucht, eine repräsentative Stichprobe der vorkommenden Arten zu markieren.

Aufgrund des extrem hohen Fischauftretens am 04.10. konnten an diesem Tag nicht alle Fische auf vorhandene Markierungen hin untersucht werden. Somit konnten die Resultate dieses Experimentiertages leider nicht für die weitere Analyse verwendet werden. Mit den Ergebnissen der restlichen Experimente wurde eine multiple logistische Regressionsanalyse mit anschliessendem Chi-Quadrat-Test in R durchgeführt (R Core Team 2018).



Methoden

Tabelle 4: Übersicht über die Versuchsdauer und Stichprobengrößen der durchgeführten Retentionsexperimente. Das letzte Experiment (grau) wurde für die Analyse nicht verwendet, da nicht alle Fische kontrolliert werden konnten.

Datum	Einstieg	Ort	Versuchszeit	Markierte Fische
14./15.06	Ohne Kehle	Winznau	23.5 h	3
18./19.06	Ohne Kehle	Winznau	23.5 h	15
19./20.06	Ohne Kehle	Winznau	23 h	47
20./21.06	Ohne Kehle	Winznau	23 h	31
02./03.07	Ohne Kehle	Winznau	23 h	36
03./04.07	Ohne Kehle	Winznau	23 h	28
04./05.07	Ohne Kehle	Winznau	15 h	6
09./10.07	Ohne Kehle	Winznau	23.5 h	9
10./11.07	Ohne Kehle	Winznau	23.5 h	12
18./19.07	Ohne Kehle	Winznau	23.5 h	139
19./20.07	Ohne Kehle	Winznau	23.5 h	69
24./25.07	Ohne Kehle	Winznau	23.5 h	28
25./26.07	Ohne Kehle	Winznau	12 h	36
Total Ohne Kehle				459
06./07.08.	Metallkehle	Winznau	23 h	74
07./08.08.	Metallkehle	Winznau	22 h	46
08./09.08.	Metallkehle	Winznau	23.5 h	29
Total Metallkehle				149
14./15.08.	Netzkehle	Winznau	12 h	121
20./21.08.	Netzkehle	Winznau	19 h	189
22./23.08.	Netzkehle	Winznau	20 h	195
11./12.09.	Netzkehle	Winznau	18.5 h	195
20./21.09.	Netzkehle	Winznau	18 h	209
27./28.09.	Netzkehle	Schönenwerd	17 h	228
01./02.10.	Netzkehle	Schönenwerd	18.5 h	259
03./04.10.	Netzkehle	Schönenwerd	20 h	255
Total Netzkehle (ohne 03./4.10.)				1396



3.4.1 Markieren mit Visible Implant Elastomer

Für die Retentionsexperimente wurden die im Zählbecken gefangenen Fische (ab einer Länge von 60 mm) betäubt (1 ml Nelkenöl (Wirksubstanz Eugenol im Produkt: 80 - 95 %) in 10 ml Ethanol auf 30 l Wasser) und gemessen (Totallänge).

Zum Markieren der Fische wurde Visible Implant Elastomer (VIE) von Northwest Marine Technology (Shaw Island, WA, USA) verwendet. VIE ist eine visköse Flüssigkeit in verschiedenen fluoreszierenden Farben, die aus zwei Komponenten zusammengemischt wird und später aushärtet. Zur Markierung wird der Farbstoff mit einer Spritze in ein transparentes Gewebe des Fisches injiziert. Zurück bleibt ein durch das Gewebe sichtbarer Farbstrich (Abbildung 9). Die Haltbarkeit der Marken beträgt mehrere Monate, bei Bachforellen z. B. mindestens 6 Monate (Summers et al. 2006).

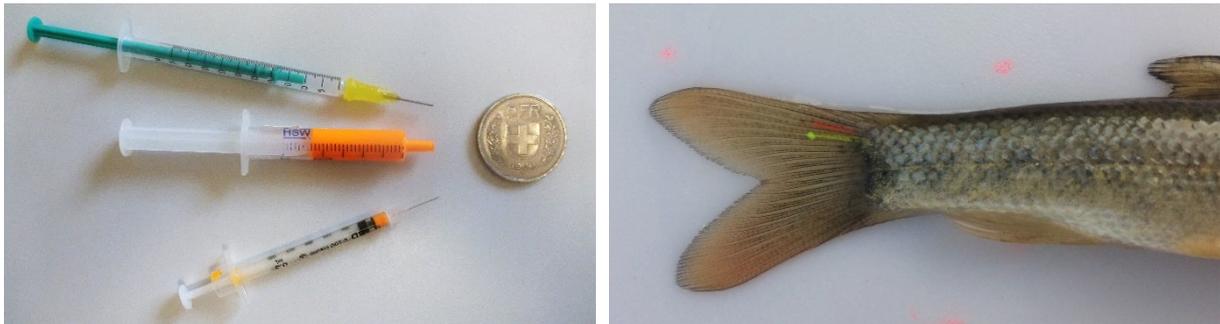


Abbildung 9: Links: Vorbereiten des VIE. Das Härtemittel (oben) wird im Verhältnis 1:10 mit dem farbigen Elastomer (Mitte) gemischt und in eine Insulinspritze (unten) gefüllt. **Rechts:** Schwanzflosse einer Barbe mit zwei Farbmarkierungen.

Das Elastomer wurde jeweils wenige Stunden vor der Markierungskampagne vorbereitet und im Gefrierschrank gelagert. Dadurch wird der Aushärtungsprozess verlangsamt und das VIE kann länger verwendet werden. Für die Feldarbeit wurden die Spritzen mit dem Farbstoff in einer Kühlbox aufbewahrt.

Für das vorliegende Projekt wurden VIE in den Farben Rot, Orange, Gelb, Pink und Blau verwendet. Durch die Verwendung verschiedener Kombinationen von Markierstellen (Abbildung 10) und Farben wurde für jeden der 24 Markiertage eine eindeutig identifizierbare Markierung erstellt.

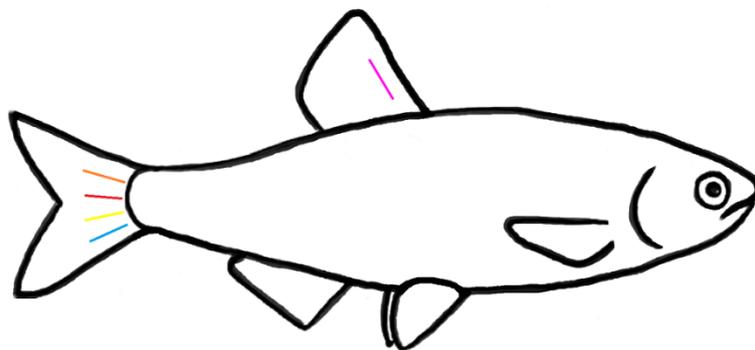


Abbildung 10: Skizze der verwendeten Markierstellen: Rückenflosse vorne – Schwanzflosse oben – Schwanzflosse oberhalb Mitte – Schwanzflosse unterhalb Mitte – Schwanzflosse unten

Die Fische wurden bis zur vollständigen Erholung von der Narkose in belüfteten Becken gehältert und anschliessend im obersten Teil des Zählbeckens ausgesetzt.



3.4.2 Verletzte Fische

Bei der Markierung wurden auch allfällige Verletzungen der einzelnen Fische erhoben. Diese wurden anhand ihres Schweregrads mit einer Skala von 0 (unverletzt) bis 3 (stark verletzt) bewertet.

3.5 Videomonitoring

Um das Verhalten der Fische im und ausserhalb des Zählbeckens zu beobachten, wurden zwei hochauflösende IP-Kameras aus der Überwachungstechnik verwendet. Die Kamera im Zählbecken wurde in einer Plexiglasröhre flexibel aufgehängt, um nach dem Einbau der Reusenkehle eine einfache Neuausrichtung zu ermöglichen (Abbildung 11 links und Abbildung 12). Der Einstieg ins Zählbecken wurde durch den Einbau der Kamera nicht beeinflusst. Zur Erhöhung des Kontrastes wurden an die der Kamera zugewandten Innenwand der Zählkammer weisse Platten angebracht. Für Nachtaufnahmen wurde ein Infrarot-Scheinwerfer verwendet. Eine weitere Kamera wurde für den flexiblen Einsatz ausserhalb der Zählkammer in ein Unterwassergehäuse eingebaut (Abbildung 11 rechts). Diese Kamera wurde sowohl unterhalb des Zählbeckens (Untersuchung Scheucheffekt, Kapitel 3.5.2) als auch an dessen Einlauf (Untersuchung Fischabstieg durch das Zählbecken, Kapitel 3.5.3) eingesetzt.

Mittels «Motion detection»-Software wurden nur Videoabschnitte mit Bewegungen von einem Recorder auf einer Festplatte aufgezeichnet. Die Software ermöglichte die Festlegung bzw. den Ausschluss bestimmter Bildausschnitte für die Bewegungsdetektion. Per App konnte auf das Livebild der Kamera zugegriffen werden. Dies ermöglichte z. B. eine Kontrolle der Reusenkehle (Schwemmgut) oder eine grobe Abschätzung der Anzahl zu erwartender Fische an Experimentiertagen.



Abbildung 11: Links: Kamera im Zählbecken. Rechts: Kamera in Unterwassergehäuse am Eingang zum Zählbecken.



3.5.1 Ein- und ausschwimmende Fische

Da es bei dem Monitoring des Einstiegs vor allem darum ging, die Resultate der Retentionsexperimente (Anteil ausschwimmende Fische) zu bestätigen und bestimmte Bewegungsmuster (wie schwimmen die Fische ein und aus) qualitativ zu erheben, wurde die Videoanalyse auf je einen Tag (von Zählung bis Zählung) ohne Kehle und mit Netzkehle beschränkt. Die beiden Tage für die Videoauswertung wurden zufällig ausgewählt, wobei zuvor ungeeignete Tage ausgeschlossen worden waren. Ein Ausschluss erfolgte aus folgenden Gründen:

- Trübung
- Viel Schwemmgut an der Reusenkehle
- Tage mit markierten Fischen im Becken
- Tage mit grossen Welsen oder Aalen im Becken (mögliche Vermeidung von Prädatoren (Šmejkal et al. 2018))
- Wochenenden (viele Passanten und Badende)

So wurden schliesslich der 21./22.06. (ohne Reusenkehle) und der 21./22.08. (mit Netzkehle) für die Videoauswertung ausgewählt.

Bei der Auswertung der Videos wurde die Anzahl aller ein- und ausschwimmenden Fische pro Stunde erhoben. Wenn möglich wurde dabei auch die Art der Fische berücksichtigt. Wegen schlechter Lichtverhältnisse im Becken und der teils sehr hohen Schwimmgeschwindigkeit (insbesondere beim Ausschwimmen) war dies jedoch oft nicht möglich. Wenn nötig wurde die Abspielgeschwindigkeit für die Zählung der Fische verringert.



Abbildung 12: Kameraansicht des Einstiegs ohne Reusenkehle (links) und mit Netzkehle (rechts).

3.5.2 Scheueffekt

Durch den Einbau der Reusenkehle und die damit verbundenen Veränderungen des Einstiegs könnten Fische allenfalls vor dem Einschwimmen ins Zählbecken scheuchen. Um dies zu dokumentieren, wurde die Kamera im Unterwassergehäuse während einiger Tage unterhalb des Zählbeckens platziert. Für die Auswertung wurden drei aufeinanderfolgende Tage verwendet, wobei jeweils die Zeit zwischen 07:00 und 18:00 berücksichtigt wurde (keine Nachtaufnahmen). Ziel war es, für je einen Tag ohne Kehle und einen Tag mit Netzkehle eine Stichprobe von Videos zu analysieren. Diese sollten an beiden Tagen gleichmässig über die verschiedenen Tageszeiten verteilt sein, um mögliche Effekte durch die Tageszeit zu berücksichtigen. Für den Tag ohne Netzkehle war dies am 22.09. möglich. Die Auswertung des Scheueffekts mit Netzkehle musste hingegen über zwei Tage verteilt werden. Da am 21.09. die Fischzählung bereits um 13:00 startete, und bis 16:30 dauerte, fielen diese Stunden weg. Am 20.09. wurde die Netzkehle erst mittags montiert. Somit konnte auch hier nicht der ganze Tag verwendet werden. Deshalb wurde für die Untersuchung des Scheueffekts mit Netzkehle der Morgen des 21. und der



Nachmittag des 20.09. verwendet. Die Auswertung der Videos fand separat für jede Stunde statt. Bei geringem Videovolumen wurden dabei alle Videos einer Stunde berücksichtigt. Waren viele Videosequenzen gespeichert worden, wurden maximal die ersten fünf Videominuten pro Stunde analysiert (vgl. Tabelle 5). So wurden insgesamt je ca. 30 min Videomaterial ohne und mit Netzkehle ausgewertet.

Tabelle 5: Verwendete Aufnahmen und Dauer der analysierten Videosequenzen für die Untersuchung des Scheucheffekts

Zeit	Ohne Kehle		Mit Kehle	
	Datum	Analysierte Zeitdauer	Datum	Analysierte Zeitdauer
07:00 – 08:00	22.09.	0:14 min	21.09.	0:56 min
08:00 – 09:00	22.09.	3:37 min	21.09.	5:15 min
09:00 – 10:00	22.09.	4:51 min	21.09.	5:18 min
10:00 – 11:00	22.09.	5:02 min	21.09.	5:04 min
11:00 – 12:00	22.09.	2:20 min	21.09.	2:39 min
12:00 – 13:00	22.09.	Keine Videos	21.09.	Becken zu (Fischzählung)
			20.09.	Keine Videos
13:00 – 14:00	22.09.	0:29 min	21.09.	Becken zu (Fischzählung)
			20.09.	Keine Videos
14:00 – 15:00	22.09.	2:20 min	20.09.	2:37 min
15:00 – 16:00	22.09.	1:50 min	20.09.	3:52 min
16:00 – 17:00	22.09.	5:02 min	20.09.	5:11 min
17:00 – 18:00	22.09.	5:00 min	20.09.	2:12 min
Total		30:45 min		33:04 min

Bei der Videoanalyse wurden alle Fische, die bis direkt an das Zählbecken herankamen, gezählt. Dabei wurde unterschieden, ob die Fische (1) nur bis zum Einstieg kamen, (2) im Eingangsbereich umkehrten, (3) im hinteren Bereich des Eingangs umkehrten oder (4) ganz einschwammen (Abbildung 13). Fische, die sich mehr als 20 cm weiter entfernt von dem Eingang aufhielten (0), wurden nicht gezählt, da in diesem Bereich häufig ungerichtetes Umherschwimmen beobachtet wurde.



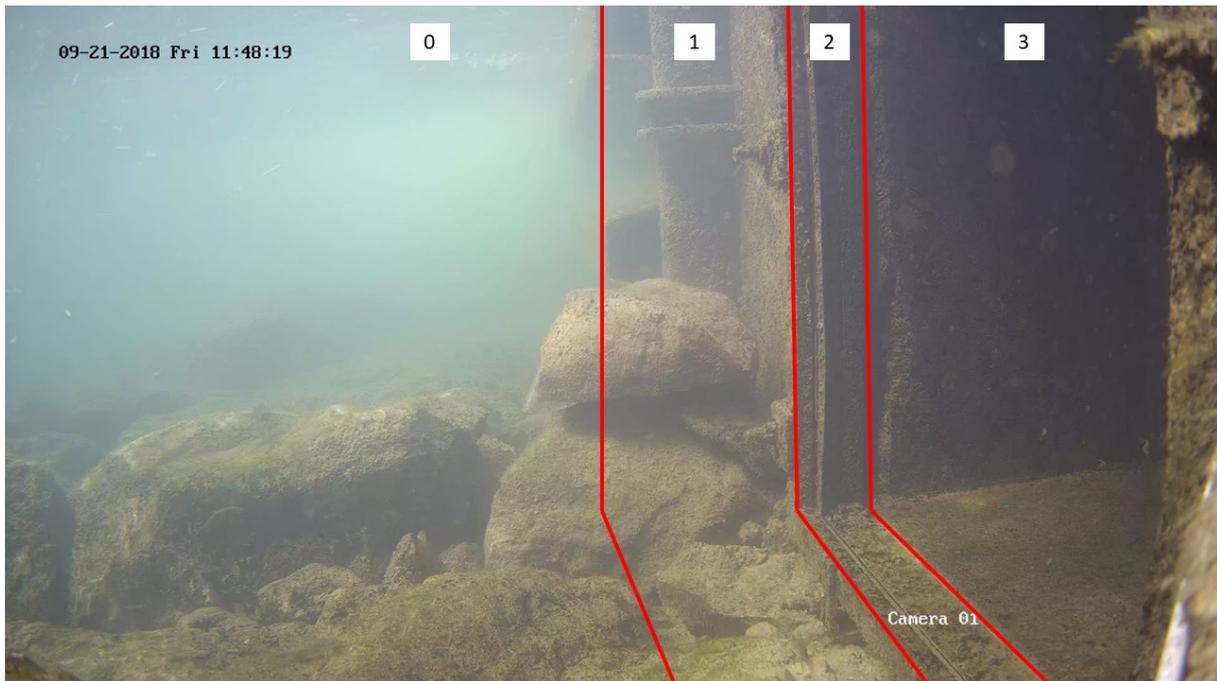


Abbildung 13: Ansicht des Kamerabildes am Einstieg des Zählbeckens. Je nachdem, in welchem Bereich die Fische umkehren, wurden sie in unterschiedliche Gruppen eingeteilt: (1) kein Einschwimmen, (2) Umkehren im Eingangsbereich, (3) Umkehren im hinteren Teil des Einstiegs. Fische die sich nur im weiter entfernten Bereich aufhielten (0) wurden nicht gezählt. Fische, die über die Zone (3) hinausschwammen und nicht mehr sichtbar waren, wurden als «Eingestiegene Fische» gezählt.

3.5.3 Fischabstieg durch das Zählbecken

Vom 03.10. - 08.10.2018 wurde die mobile Kamera am Einlauf des Zählbeckens postiert, um allfällige von oben einschwimmende Fische nachzuweisen. Der Zeitraum wurde so gewählt, dass ein hohes Fischaufkommen zu erwarten war. Auch hier wurde der Bewegungsauslöser verwendet und nur die Stunden von 08:00 - 19:00 erhoben. Zusätzlich wurden einzelne weitere Stunden mit einer GoPro-Kamera gefilmt.

Insgesamt wurden so 63.5 Stunden berücksichtigt. Das anfallende Filmmaterial wurde mit erhöhter Abspielgeschwindigkeit durchgesehen und auf Fische analysiert, die über den Überfall ins Zählbecken gelangen.



4 Resultate

4.1 Fischzählung

Während der untersuchten Periode (vgl. Tabelle 3) wurden 36'404 (Winznau, W) bzw. 39'460 (Schönenwerd, S) Fische gezählt. Die häufigsten Arten waren Rotaugen, Barben, Alet, Egli und Schneider. Aber auch Hasel und Lauben kamen häufig vor. Bemerkenswert ist das Vorkommen der Nasen, von denen in Winznau fast 400, in Schönenwerd fast 700 Stück gezählt werden konnten. Insgesamt wurden in den berücksichtigten Zeiträumen 21 (W) bzw. 17 (S) Arten nachgewiesen werden (s. Tabelle 6).

Tabelle 6: Artenverteilung der gezählten Fische in den berücksichtigten Zeiträumen (vgl. Tabelle 3). Angegeben sind jeweils die absoluten Fangzahlen (oben) sowie der Anteil am Gesamtfang je nach Einstiegsconfiguration (unten, kursiv). Die relativen Zahlen beziehen sich bei den Rotaugen auf den Gesamtfang, bei allen anderen Arten auf den Gesamtfang ohne Rotaugen. Die zehn häufigsten Arten sind fett gedruckt. Die Färbung der Zellen entspricht der Häufigkeitsklasse einer Art (s. kleine Tabelle unten). Unbestimmte Fische (nur in Schönenwerd mit Netzkehle) wurden für die Berechnung der Anteile nicht berücksichtigt.

	Winznau			Schönenwerd	
	Ohne Kehle	Metallkehle	Netzkehle	Ohne Kehle	Netzkehle
Rotauge	638 <i>21.6 %</i>	1'098 <i>19.7 %</i>	18'082 <i>63.2 %</i>	4'841 <i>76.1 %</i>	15'589 <i>72.3 %</i>
Barbe	687 <i>29.7 %</i>	1'636 <i>36.6 %</i>	3'152 <i>29.9 %</i>	524 <i>34.5 %</i>	1'288 <i>22 %</i>
Alet	1'012 <i>43.7 %</i>	1'739 <i>38.9 %</i>	2'199 <i>20.8 %</i>	161 <i>10.6 %</i>	1'722 <i>28.9 %</i>
Egli	37 <i>1.6 %</i>	251 <i>5.6 %</i>	2'938 <i>28 %</i>	225 <i>14.8 %</i>	1'020 <i>17.1 %</i>
Schneider	175 <i>7.6 %</i>	341 <i>7.6 %</i>	783 <i>7.4 %</i>	271 <i>17.9 %</i>	155 <i>2.6 %</i>
Hasel	326 <i>14.1 %</i>	242 <i>5.4 %</i>	480 <i>4.6 %</i>	39 <i>2.6 %</i>	361 <i>6.1 %</i>
Nase	7 <i>0.3 %</i>	15 <i>0.3 %</i>	359 <i>3.4 %</i>	31 <i>2 %</i>	649 <i>11 %</i>
Laube	24 <i>1 %</i>	92 <i>2.1 %</i>	312 <i>3 %</i>	60 <i>4 %</i>	420 <i>7 %</i>
Rotfeder	31 <i>1 %</i>	44 <i>1 %</i>	286 <i>3 %</i>	32 <i>2.1 %</i>	79 <i>1.3 %</i>
Gründling	6 <i>0.3 %</i>	33 <i>0.7 %</i>	9 <i>0.1 %</i>	165 <i>10.9 %</i>	255 <i>4.3 %</i>
Elritze	5 <i>0.2 %</i>	37 <i>0.8 %</i>	1 <i>0.01 %</i>	0	0
Sonnenbarsch	2 <i>0.1 %</i>	20 <i>0.4 %</i>	9 <i>0.1 %</i>	0	0
Brachsen	0	1 <i>0.02 %</i>	4 <i>0.04 %</i>	1 <i>0.07 %</i>	7 <i>0.1 %</i>
Blicke	0	6 <i>0.1 %</i>	4 <i>0.04 %</i>	0	0



Resultate

	Winznau			Schönenwerd	
	Ohne Kehle	Metallkehle	Netzkehle	Ohne Kehle	Netzkehle
Schleie	1 0.04 %	0	2 0.02 %	2 0.1 %	3 0.05 %
Stichling	1 0.04 %	1 0.02 %	4 0.04 %	0	0
Bachforelle	1 0.04 %	0	1 0.01 %	2 0.1 %	1 0.02 %
Wels	0	1 0.02 %	4 0.04 %	0	0
Aal	0	3 0.07 %	0	0	1 0.02 %
Äsche	0	0	0	3 0.2 %	1 0.02 %
Bartgrundel	0	3 0.1 %	1 0.01 %	0	0
Dorngrundel	0	1 0.02 %	0	0	0
Karausche	0	0	0	0	1 0.02 %
Trüsche	0	0	0	1 0.07 %	0
Unbestimmt	0	0	0	0	11'550
Total	2'953	5'564	28'630	6'358	33'102
Anzahl Tage	20	35	15	20	8
Anz. Fische /Tag	148	159	1909	318	4'138

Häufigkeitsklasse	%	Beschreibung
0	0	Keine
1	<1	Einzelne
2	1-5	Wenige
3	5-20	Mittel
4	20-50	Viele
5	>50	Überwiegend



Abbildung 14 zeigt die Unterschiede in den Fangzahlen je nach Zeitraum und Einstiegsconfiguration in einem Boxplot. Dabei wird bei den Fangzahlen ohne Kehle zwischen den Tagen vor und nach dem Einsatz der Kehle unterschieden (vgl. Tabelle 3 und Abbildung 15). In Winznau wurden mit der Netzkehle deutlich mehr Fische gefangen als vor oder nach dem Einsatz der Kehle (Mann-Whitney-U-Test mit Bonferroni-Holm-Korrektur, $p < 0.001$ bzw. $p < 0.01$). Durchschnittlich wurden vor dem Einsatz der Reusenkehle 21 Fische und mit der Netzkehle 1'909 Fische pro Tag gezählt. Auch mit der Metallkehle wurden mehr Fische gefangen als vor dem Einsatz der Kehle (159 Fische pro Tag; $p < 0.001$), aber immer noch deutlich weniger als mit der Netzkehle ($p < 0.001$). Ohne Reusenkehle wurden in der Zeit nach dem Einsatz der Kehle mehr Fische gefangen als in der Zeit davor (285 Fische pro Tag; $p < 0.001$) und auch mehr als mit der Metallkehle ($p = 0.013$). Bei Ausschluss der Rotaugen zeigt sich das gleiche Bild (vgl. Abbildung 14, oben rechts).

Auch in Schönenwerd wurden mit der Netzkehle deutlich mehr Fische gefangen als vor oder nach dem Einsatz der Kehle ($p < 0.001$ bzw. $p < 0.01$). Während vor dem Einsatz der Netzkehle durchschnittlich 30 Fische pro Tag gefangen wurden, waren es mit der Netzkehle 4'138 Fische pro Tag. Auch hier wurden ohne Reusenkehle in der Zeit nach dem Einsatz der Kehle deutlich mehr Fische gefangen als in der Zeit davor ($p < 0.001$), nämlich durchschnittlich 605 Fische pro Tag. Werden die Rotaugen aus der Analyse ausgeschlossen, zeigt sich wiederum das gleiche Bild (vgl. Abbildung 14, unten rechts).

Eine graphische Darstellung der Fangzahlen im zeitlichen Verlauf zeigt, dass die Fangzahlen an den Tagen mit Netzkehle grossen Schwankungen unterliegen (Abbildung 15). Bei beiden Zählbecken sticht unter den Tagen mit Netzkehle einer mit besonders hohen Fangzahlen heraus (W 10'233, S 15'997 Fische). Eine entsprechende Graphik ohne Rotaugen befindet sich im Anhang (Abbildung 22).



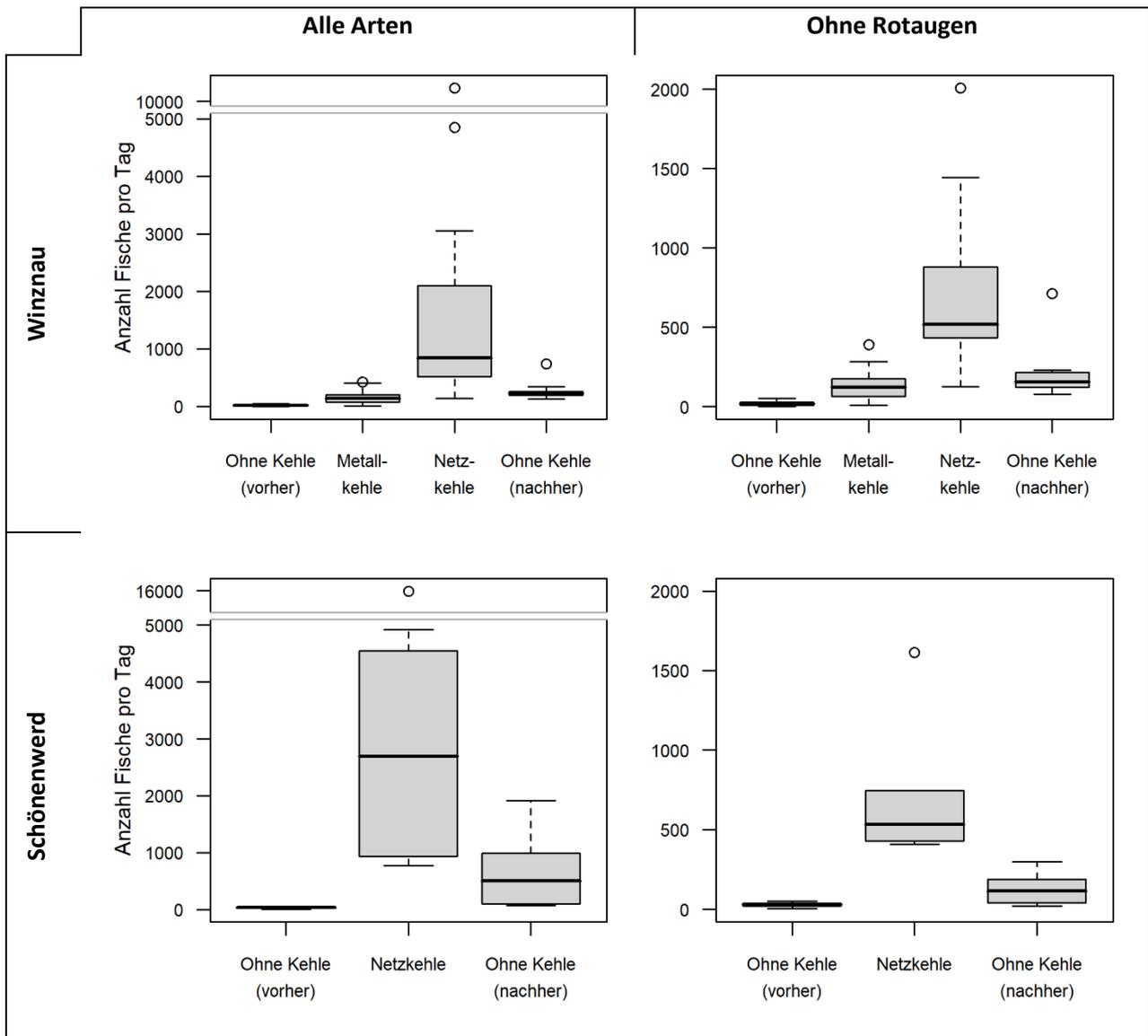
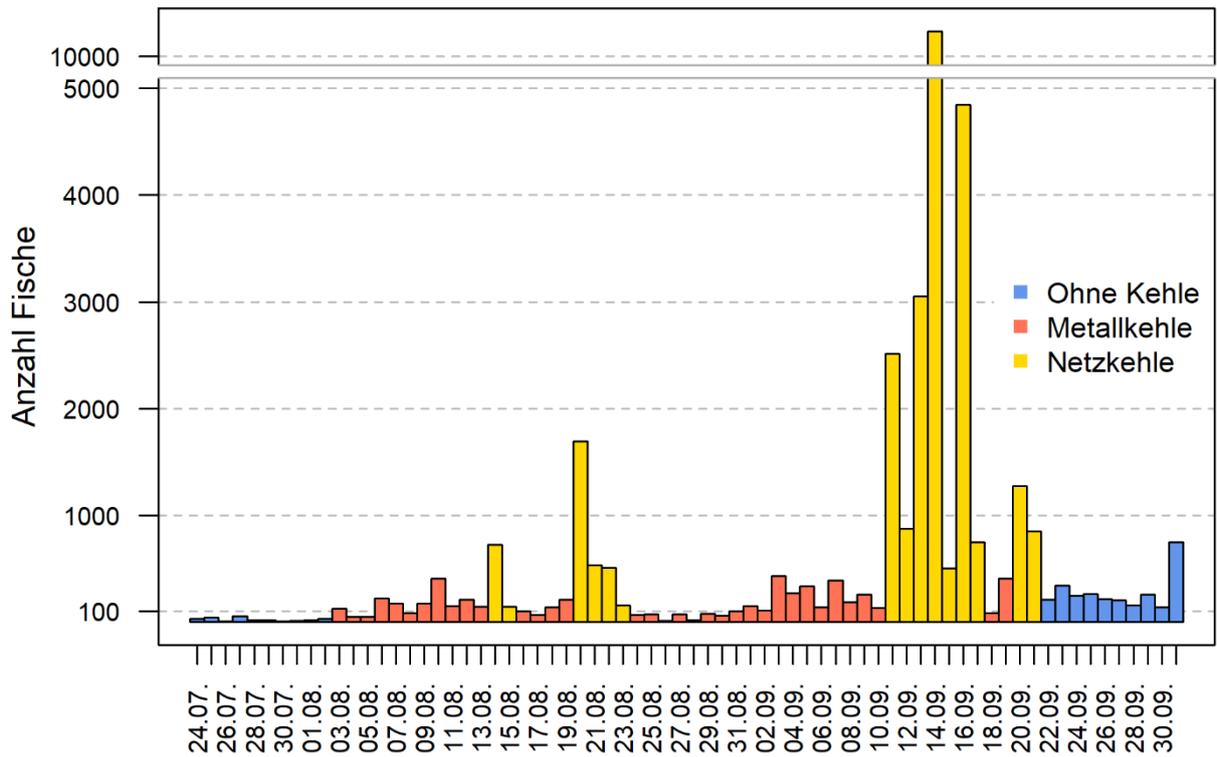


Abbildung 14: Boxplots¹ der Fangzahlen zu verschiedenen Zeiträumen bzw. Zählbecken-Konfigurationen. Die oberen Graphiken zeigen jeweils die Zahlen von Winznau, die unteren diejenigen aus Schönenwerd. In den beiden rechten Graphiken wurden die Rotaugen, die an einzelnen Tagen extrem zahlreich auftraten, nicht berücksichtigt. Die Anzahl berücksichtigter Tage lassen sich aus Tabelle 3 entnehmen. Für Schönenwerd ohne Rotaugen wurden dabei die drei Tage ausgelassen, an denen nicht alle Fische bestimmt werden konnten.

¹ Ein Boxplot zeigt die Verteilung der Daten, wobei die graue Box die Hälfte aller Werte einschliesst und durch das obere und untere Quartil begrenzt wird. Der schwarze Strich innerhalb der Box zeigt den Medianwert. Weitere Daten werden durch die gestrichelten Linien angezeigt, Ausreisser sind als Kreise dargestellt.



Fischzählung Winznau



Fischzählung Schönenwerd

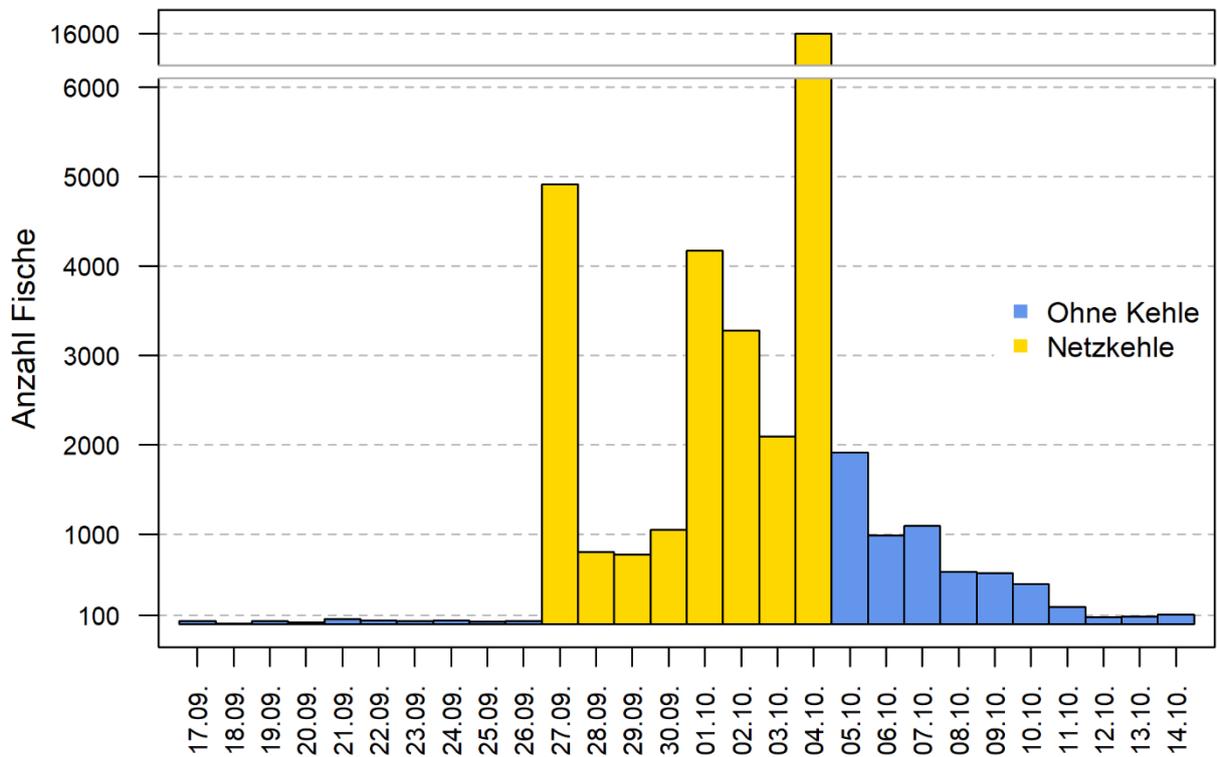


Abbildung 15: Anzahl gefangener Fische (alle Arten) bei den täglichen Zählungen in Winznau (oben) und Schönenwerd (unten). Die y-Achse wurde für eine bessere Übersichtlichkeit unterbrochen.



4.1.1 Grössenselektivität der Netzkehle

An beiden Zählbecken wurden grundsätzlich, egal ob mit oder ohne Reusenkehle, nur wenige grosse Fische gefangen. Ein Vergleich der jeweils grössten Fische pro Art (Tabelle 7) zeigt, dass in Winznau bei allen berücksichtigten Arten (vgl. Kapitel 3.3.1) ausser der Schleien der Grössenrekord mit der Netzkehle gefangen wurde. In Schönenwerd wurden ausser für Alet, Bachforellen und Schleien ebenfalls alle grössten Fische pro Art mit der Netzkehle gefangen. Auch der insgesamt grösste Fisch, der bei den Zählungen nachgewiesen wurde, ein Wels mit einer Körperlänge von 130 cm und einer Kopfbreite von 22 cm, wurde mit der Netzkehle (in Winznau) gefangen.

Tabelle 7: Länge der grössten gefangenen Fische je nach Reusenkonfiguration. Teilweise wurden nur sehr wenige Fische pro Art gefangen (vgl. Tabelle 6). Die grössten Fische pro Art sind jeweils fett markiert.

Ort	Art	Ohne Kehle (vorher)	Metallkehle	Netzkehle	Ohne Kehle (nachher)
Winznau	Alet	15	41	45	22
	Bachforelle	21	-	25	-
	Barbe	55	34	77	28
	Egli	17	28	35	27
	Hasel	16	22	26	17
	Nase	-	19	23	10
	Rotauge	19	24	33	21
	Rotfeder	-	23	32	22
	Schleie	36	-	23	-
Schönenwerd	Alet	33	-	40	41
	Bachforelle	28	-	21	29
	Barbe	41	-	55	41
	Egli	18	-	34	21
	Hasel	-	-	20	13
	Nase	-	-	23	23
	Rotauge	-	-	20	19
	Rotfeder	19	-	21	19
	Schleie	-	-	21	38

4.2 Retentionsexperimente

Insgesamt wurden 2'004 Fische für die Retentionsversuche markiert. Davon wurden 459 Fische bei Versuchen ohne Reusenkehle, 149 bei Versuchen mit Metallkehle und 1'396 bei Versuchen mit der Netzkehle eingesetzt. Ohne Reusenkehle wurden nur 24 markierte Fische am nächsten Tag wieder gefangen. 94.8 % der Fische sind also aus dem Zählbecken ausgeschwommen oder konnten aus anderen Gründen nicht wieder gezählt werden (vgl. Kapitel 5.2). Mit der Metallkehle wurden am jeweils nächsten Tag nur insgesamt 2 markierte Fische wieder gefangen. Die Ausschwimmrate lag mit 98.7 % also noch höher als bei den Experimenten ohne Kehle. Mit der Netzkehle befanden sich am nächsten Tag noch 1300 der markierten Fische im Zählbecken. Die Ausschwimmrate lag hier mit 6.9 % also rund 14 Mal tiefer als ohne Netzkehle (Tabelle 8).



Resultate

Tabelle 8: Übersicht der Resultate aus den Retentionsexperimenten ohne Reusenkehle, mit Metallkehle und mit Netzkehle. Die Resultate vom 03./04.10. wurden nicht berücksichtigt, da am 04.10. nicht alle Fische auf Markierungen kontrolliert werden konnten.

Datum	Einstieg	Ort	Versuchsdauer (h)	Anzahl markierter Fische	Anzahl wiedergefangener Fische	Ausschwimmrate
14./15.06	Ohne Kehle	Winznau	23.5	3	0	100 %
18./19.06	Ohne Kehle	Winznau	23.5	15	0	100 %
19./20.06	Ohne Kehle	Winznau	23	47	1	97.9 %
20./21.06	Ohne Kehle	Winznau	23	31	1	96.8 %
02./03.07	Ohne Kehle	Winznau	23	36	3	91.7 %
03./04.07	Ohne Kehle	Winznau	23	28	5	82.1 %
04./05.07	Ohne Kehle	Winznau	15	6	0	100 %
09./10.07	Ohne Kehle	Winznau	23.5	9	3	66.6 %
10./11.07	Ohne Kehle	Winznau	23.5	12	0	100 %
18./19.07	Ohne Kehle	Winznau	23.5	139	5	96.4 %
19./20.07	Ohne Kehle	Winznau	23.5	69	2	97.1 %
24./25.07	Ohne Kehle	Winznau	23.5	28	4	85.7 %
25./26.07	Ohne Kehle	Winznau	12	36	0	100 %
Total Ohne Kehle				459	24	94.8 %
06./07.08.	Metallkehle	Winznau	23	74	1	98.6 %
07./08.08.	Metallkehle	Winznau	22	46	0	100 %
08./09.08.	Metallkehle	Winznau	23.5	29	1	96.6 %
Total Metallkehle				149	2	98.7 %
14./15.08.	Netzkehle	Winznau	12	121	115	5 %
20./21.08.	Netzkehle	Winznau	19	189	183	3.2 %
22./23.08.	Netzkehle	Winznau	20	195	179	8.2 %
11./12.09.	Netzkehle	Winznau	18.5	195	178	8.7 %
20./21.09.	Netzkehle	Winznau	18	209	183	12.4 %
27./28.09.	Netzkehle	Schönenwerd	17	228	217	4.8 %
01./02.10.	Netzkehle	Schönenwerd	18.5	259	245	5.4 %
03./04.10.	Netzkehle	Schönenwerd	20	255	128	48.2 %
Total Netzkehle (ohne 03./04.10.)				1'396	1'300	6.9 %



Die statistische Auswertung (multiple logistische Regression, Chi-Quadrat-Test) zeigte, dass folgende drei Faktoren einen signifikanten Einfluss auf die Wiederfangrate hatten:

- **Reusenkehle:** Mit der Netzkehle wurden signifikant mehr markierte Fische wiedergefangen als ohne Kehle oder mit der Metallkehle (Chi-Quadrat-Test, $p < 0.001$). Zwischen den Wiederfängen ohne Kehle und mit der Metallkehle besteht hingegen kein bedeutender Unterschied ($p = 0.09$).
- **Fischart:** Bei Versuchen mit Netzkehle variierte die Ausschwimmrate zwischen einzelnen Arten ($p < 0.001$). Während von einigen Arten keine (Nase) oder nur sehr wenige Fische (Schneider, Rotaugen, Egli) ausgeschwommen waren, wurden von anderen Arten (Alet, Laube) weniger Fische am zweiten Tag wieder gefangen (Abbildung 16). Ohne Kehle konnte kein Effekt der Fischart nachgewiesen werden ($p > 0.05$).
- **Fischlänge:** Je länger ein Fisch war, umso höher war die Wahrscheinlichkeit, dass er mit der Netzkehle am nächsten Tag wieder im Becken gefangen wurde ($p < 0.001$). Ohne Kehle konnte kein Effekt der Fischart nachgewiesen werden ($p > 0.05$).

Andere Faktoren, wie die Versuchsdauer (vom Einsatz der Fische bis zur nächsten Zählung), das Zählbecken (Winznau/Schönenwerd) oder die Wassertemperatur hatten hingegen keinen Einfluss auf die Ausschwimmrate (Chi-Quadrat-Test, $p > 0.05$).

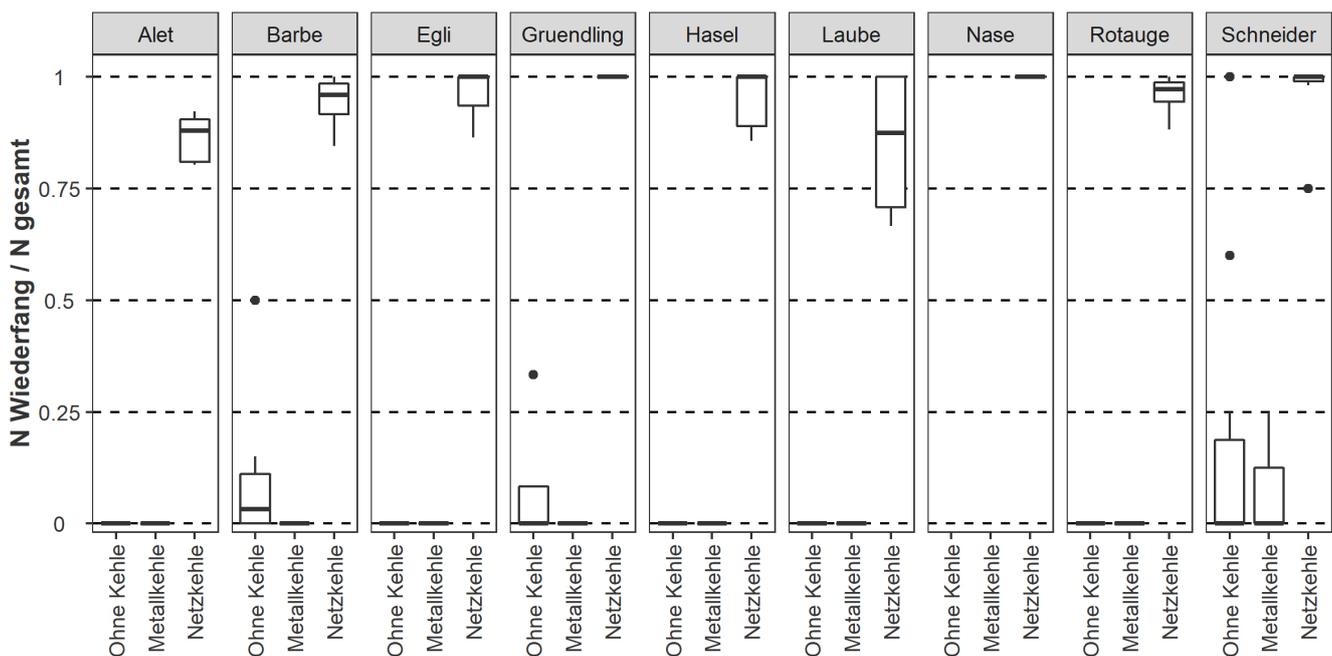


Abbildung 16: Artspezifische Retentionsraten der verschiedenen Einstiegskonfigurationen pro Experiment (0 = Kein Wiederfang markierter Fische; 1 = Alle markierten Fische wiedergefangen). Die Anzahl Experimenttage (N) und die Anzahl markierter Fische pro Art sind in Tabelle 10 im Anhang aufgeführt.

4.2.1 Verletzte Fische

Im Rahmen der Retentionsexperimente wurden bei der Markierung der Fische auch deren Verletzungen erhoben. Während ohne Reusenkehle 15.5 % der Fische eine Verletzung aufwiesen, waren es mit der Netzkehle 22.9 %. Der Anteil schwer verletzter Fische (Schweregrad 3) blieb etwa gleich (0.4 vs. 0.5 %). Von den 1823 bei Experimenten mit Kehle markierten Fischen wurden bei der Kontrolle der Markierungen am nächsten Tag 20 tot im Zählbecken aufgefunden (1.1 %). Diese Fische wurden aus der obigen Analyse komplett ausgeschlossen.



4.3 Videomonitoring

Dank dem eingebauten Schwimmbalken und der angepassten Einstellungen der Kamera bezüglich Sensitivität und Ausrichtung der Bewegungserkennung konnten Leeraufnahmen (Aufnahmen ohne Fische) auf ein Minimum reduziert werden. Durch das hohe Fischauftreten am Einstieg und im Zählbecken umherschwimmende Fische, war das anfallende Videomaterial trotzdem äusserst umfangreich.

4.3.1 Ein- und ausschwimmende Fische

Verhalten der Fische (qualitative Resultate)

Ohne Netzkehle hatten die Fische keine Mühe, aus dem Zählbecken auszuschwimmen. Während sich einige passiv (Schwanz voraus) von der Strömung hinaustreiben liessen, schwammen andere Fische aktiv (Kopf voran) hinaus. Bei allen beobachteten Arten wurden beide Ausschwimmrichtungen beobachtet, wobei Egli sich auffallend häufig vor dem Ausschwimmen drehten und Kopf voran ausschwammen. Das Ausschwimmen wurde über den gesamten Querschnitt des Einstiegs (also z. B. nicht nur in Bodennähe oder den Seitenwände entlang) beobachtet. Oft schwammen grosse Schwärme verschiedener Fischarten gemeinsam und innert kürzester Zeit ein und wieder aus. Einige individuell erkennbarer Fische wurden bei mehrmaligem ein- und ausschwimmen beobachtet. So schwamm z. B. am 18.06. eine grosse Bachforelle während vier Minuten vier Mal in das Zählbecken ein und wieder hinaus.

Mehrmals konnten bei kurzen Blicken auf das Livebild der Kamera Fische beobachtet werden, die anschliessend bei der abendlichen Zählung nicht im Becken gefunden wurden. So konnten mit der Aufnahme mehrerer Äschen, eines Hechts, eines Karpfens und eines grossen Welses auch Arten nachgewiesen werden, die ohne Reusenkehle in Winznau 2018 nie gefangen wurden (Abbildung 17).



Abbildung 17: Mit Videoaufnahmen nachgewiesene Fischarten, die bei den Fischzählungen in Winznau ohne Kehle nie gefangen wurden. Im Uhrzeigersinn von oben links: Äsche, Hecht, Karpfen, Wels (ausschwimmend, Infrarot-Aufnahme).



Nach dem Einbau der Netzkehle konnten nur noch sehr vereinzelt Fische beim Ausschwimmen beobachtet werden. Wenn, so geschah dies immer aktiv (Kopf voran). Grosse wie kleine Fische schwammen häufig um die Netzkehle herum und hielten sich auch im Bereich der Kehlöffnung auf. Trotzdem schienen sie den Ausgang nicht zu finden oder davor zu scheuen, durch die Öffnung hinauszuschwimmen.

Die Reusenkehle wurde beim Einschwimmen unterschiedlich schnell passiert. Während grössere Fische und insbesondere Egli (oft in Schwärmen) die gesamte Reusenkehle meist beim ersten Versuch und ohne zu zögern passierten, brauchten andere Fische zum Teil mehrere Anläufe. Oft schwammen diese bis zur Mitte der Reusenkehle, hielten sich dort eine Weile auf und liessen sich dann wieder nach unten treiben. Es wird davon ausgegangen, dass die meisten grösseren Fische die Reusenkehle schlussendlich passierten. Dabei sicher zu sein, ist jedoch nur bei individuell erkennbaren Fischen möglich. So konnte am 22.08. eine Nase beobachtet werden, die nach drei abgebrochenen Einstiegsversuchen innerhalb acht Minuten die Netzkehle beim vierten Versuch durchschwamm. Jungfische (Barben, Rotaugen und Alet) hielten sich oft für längere Zeit im Strömungsschatten hinter dem inneren Rahmen der Metallkehle auf und liessen sich häufiger wieder nach aussen treiben als grössere Fische.

Vergleich Anzahl Fischbewegungen ohne und mit Kehle

Ohne Netzkehle (Zähltag vom 21./22.06.) wurden insgesamt 17'866 Bewegungen gezählt, wobei je etwa die Hälfte auf ein- bzw. ausschwimmende Fische entfiel (Abbildung 18 oben). Insgesamt kann daher von einer Ausschwimmrate von nahezu 100 % ausgegangen werden. Tatsächlich wurden etwas mehr aus- als einschwimmende Fische gezählt. Mit der Netzkehle (Zähltag vom 21./22.08.) wurden 609 Fische beim Einschwimmen und 16 Fische beim Ausschwimmen gezählt. Dies entspricht einer Ausschwimmrate von 2.6 %. Am häufigsten schwammen relativ kleine Fische aus, aber auch 4 Egli und ein grösseres Rotauge konnten beim Ausschwimmen beobachtet werden. Die Zählung der Fische mittels Videos ergab mehr Fische als abends tatsächlich gezählt wurden (593 vs. 509 Fische).

Die zeitliche Auflösung der Fischbewegungen zeigt, dass ohne Kehle pro Stunde jeweils etwa gleich viele Fische ein- wie ausschwammen. Mit Netzkehle verteilten sich die ausschwimmenden Fische über mehrere Stunden am Nachmittag und Abend. Nachts und morgens wurden keine ausschwimmenden Fische beobachtet (Abbildung 18 unten).



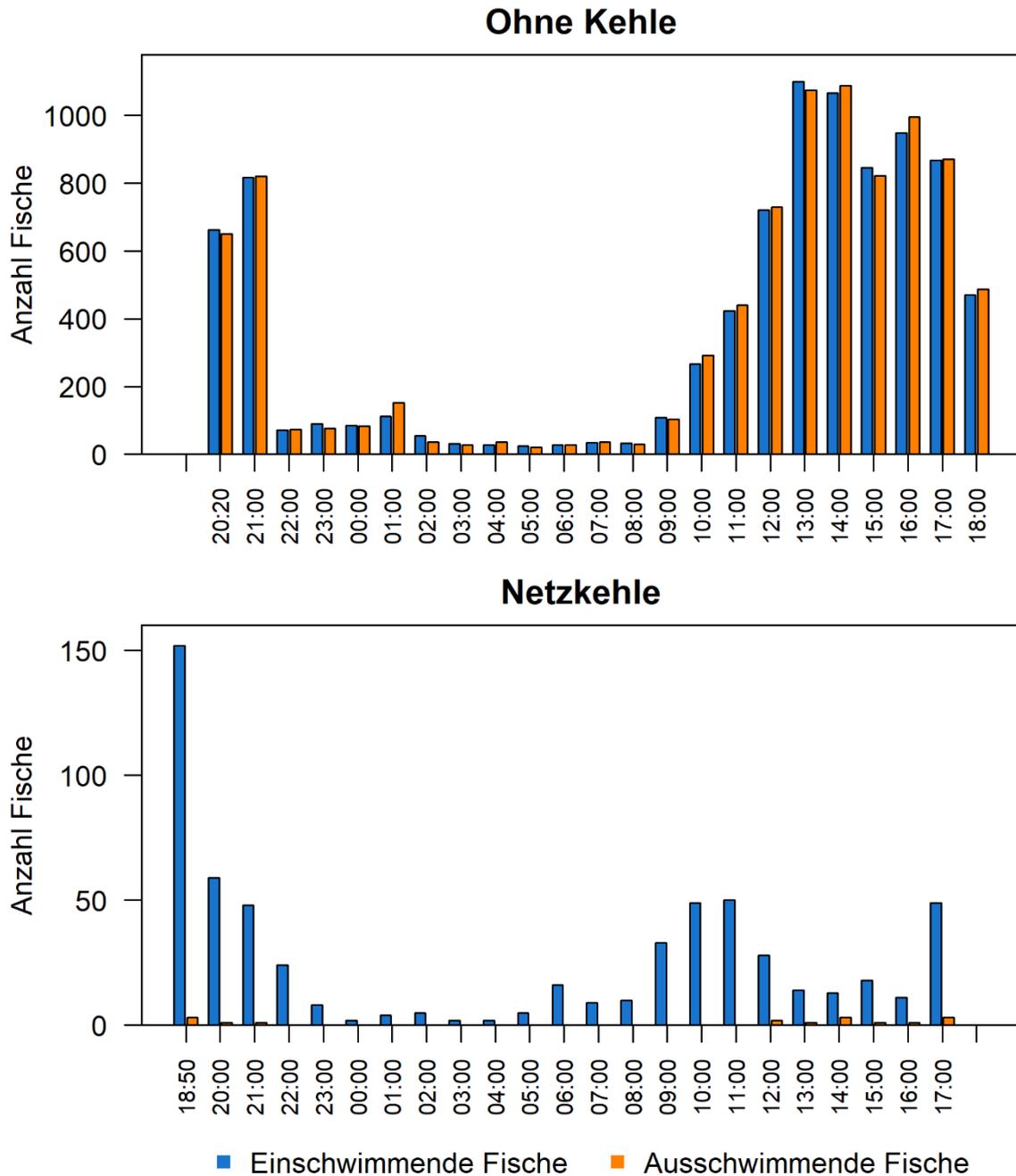


Abbildung 18: Vergleich ein- und ausschwimmender Fische ohne Kehle (21./22.06.; oben) und mit Netzkehle (21./22.08.; unten). Die Analyse erstreckt sich über den Zeitraum von einer Zählung zur nächsten. Die Bewegungen wurden in Intervallen von einer Stunde zusammengefasst. Die Zeitangaben in der Darstellung oben geben jeweils den Beginn eines Zeitabschnitts an.

4.3.2 Scheucheffekt

Im Umgehungsgerinne unterhalb des Zählbeckens sammelten sich ohne Reusenkehle viele Fische, die sehr wahrscheinlich im Laufe der Zeit mehrmals in das Zählbecken ein- und wieder ausschwammen. Kleinfische näherten sich dabei oft in Schwärmen über die strömungsärmeren Seiten an den Einstieg an. Die meisten Fische, die bis zum Eingang des Zählbeckens vorstießen, schwammen auch relativ direkt hinein. Kleinere Barben hielten sich oft länger an der Kante des Einstiegs auf und schwammen dort häufig vor- und zurück, ohne in das Becken einzuschwimmen. Dieses Verhalten wurde auch mit



der Netzkehle sehr häufig beobachtet. Allerdings waren hier insgesamt deutlich weniger andere Fische am Eingang zu beobachten. Während ohne Reusenkehle 75 % der beobachteten Fische in das Becken einschwammen, waren es mit der Netzkehle nur 27 %. Dabei drehen am Tag mit der Netzkehle sowohl ausserhalb des Beckens (54 vs. 17 %) als auch im Eingangsbereich des Beckens (20 vs. 9 %) mehr Fische um als am Tag ohne Kehle (Abbildung 19).

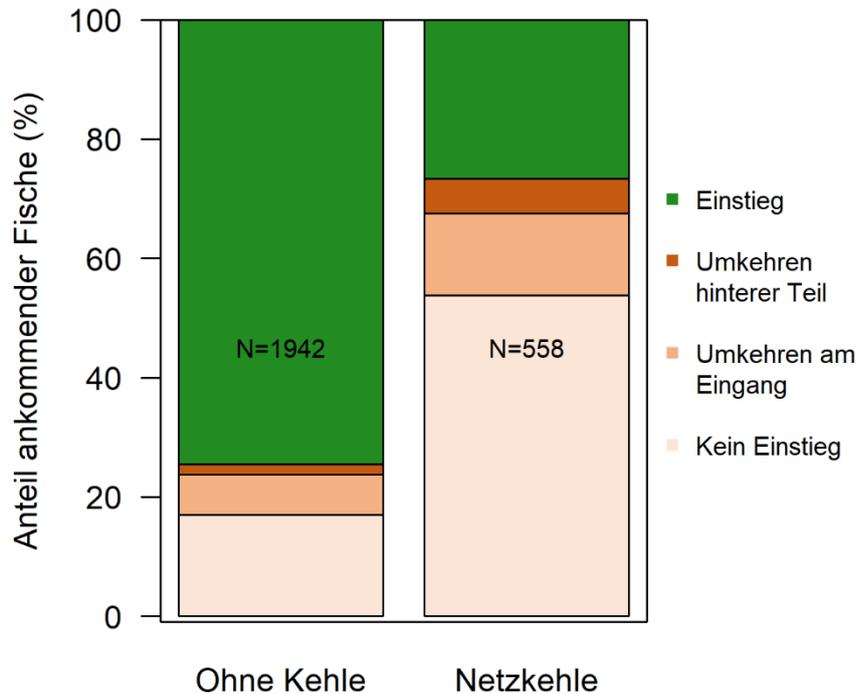


Abbildung 19: Vergleich des Verhaltens ankommender Fische am Zählbecken ohne Kehle und mit Netzkehle

4.3.3 Fischabstieg durch das Zählbecken

Während den 5 Tagen bzw. 63.5 Stunden, in denen die Kamera am Einlauf des Zählbeckens im Einsatz war, wurde kein einziger Fisch beobachtet, der über den Einlauf von oben in das Zählbecken geschwommen wäre.



5 Diskussion

Die drei verwendeten Methoden (Fischzählung, Retentionsexperimente und Videomonitoring) zeigen im Grunde alle dieselben Resultate: Während ohne Reusenkehle nur ein Bruchteil der aufsteigenden Fische im Zählbecken gefangen werden kann, wird das Ausschwimmen mit der Netzkehle effektiv verhindert. Die Untersuchungen ergänzen sich so, dass methodenbedingte Unsicherheiten einzelner Resultate ausgeräumt werden. Zudem liefern sie jeweils zusätzliche Informationen. In den folgenden Kapiteln werden die Resultate der einzelnen Methoden und allfällige Schwierigkeiten diskutiert, bevor die verwendete Reusenkehle abschliessend beurteilt wird. Ein Gesamtfazit folgt in Kapitel 6.

5.1 Fischzählung

Die Unterschiede in den Fangzahlen ohne und mit Netzkehle sind so gross, dass von einer deutlich höheren Fangeffizienz durch die Netzkehle ausgegangen werden kann. So waren die durchschnittlichen Fangzahlen mit Netzkehle in Winznau um das 91-fache, in Schönenwerd gar um das 140-fache höher als vor dem Einbau der Netzkehle. Verglichen mit den höheren Fangzahlen der 10 Tage nach dem Ausbau der Kehle wurden durchschnittlich immer noch 6.7-mal (W), bzw. 6.8-mal (S) mehr Fische mit der Netzkehle gefangen. Der Faktor in Schönenwerd wäre sehr wahrscheinlich noch höher, wenn dort am letzten Tag der Zählung mit Netzkehle nicht mehrere tausend Fische unterhalb des Zählbeckens ausgesetzt worden wären. Dank der wenigen Zähltag mit Netzkehle liegen die Fangzahlen von 2018 bei beiden Becken weit über den Ergebnissen früherer Jahre (Tabelle 9). Zwar war 2018 ein ausserordentlich trockenes Jahr mit sehr wenig Niederschlägen und hohen Temperaturen im Sommer, was die Vermehrung verschiedener Fischarten (Cypriniden) begünstigt haben mag. So wurden im September (W) und Oktober (S) mit der Netzkehle extrem viele kleine Rotaugen gefangen (60 – 70 % des Gesamtfangs; Tabelle 6). Doch selbst wenn die Rotaugen (und die unbestimmten Fische in Schönenwerd) weggelassen werden, bleiben die Unterschiede zwischen den Fängen ohne und mit Netzkehle bestehen (Abbildung 14). Auch die totalen Fangzahlen von 2018 sind ohne Rotaugen noch deutlich höher als alle vorherigen (Tabelle 9, letzte Zeile).

Tabelle 9: Fangzahlen verschiedener Jahre aus Winznau und Schönenwerd. Die Zahlen von Winznau 2005 stammen von Guthruf (2006), die restlichen aus pers. Mitteilung von S. Gerster.

	Winznau	Schönenwerd
2005	5'201	-
2006	-	4'264
2008	-	9'462
2009	-	3'551
2010	-	9'077
2011	-	4'596
2012	-	4'286
2018	42'915	45'614
2018 ohne Rotaugen	22'109	13'056



Seltene Arten können bei schlechter Fangeffizienz eines Zählbeckens unter Umständen nicht oder nur in kleiner Stückzahl nachgewiesen werden. In Winznau und Schönenwerd wurden ohne Reusenkehle nämlich nicht nur weniger Fische, sondern auch weniger Fischarten gefangen als mit der Netzkehle (Tabelle 6). Ausserdem wurden beispielsweise von der vom Aussterben bedrohten Nasen² während der aktuellen Fischzählung an beiden Becken zusammen über 1'000 Fische gezählt. Berücksichtigt man nur die Tage ohne Reusenkehle, wären von dieser Art hingegen nur 52 Individuen gefangen worden.

Der Vergleich der Fangzahlen ohne und mit Reusenkehle alleine stellt noch keinen Beweis dar, dass ausschwimmende Fische ein Problem bei der Fischzählung sind. Eine zufällige Häufung wandernder Fische an den Zähltagen mit Reusenkehle wäre theoretisch denkbar. So führen unterschiedliche Umweltbedingungen (wie z. B. Wassertemperatur, Abfluss, Lichtverhältnisse) zu natürlichen Schwankungen der Wanderaktivitäten und somit der Anzahl gefangener Fische im Zählbecken. Mit dem Einsatz von Mitte August bis Mitte Oktober war die Netzkehle grundsätzlich während einer Zeit mit hoher Wanderaktivität im Einsatz. Auch wurden an beiden Standorten nach dem Ausbau der Netzkehle mehr Fische gefangen als vor ihrem Einbau (Abbildung 14 und Abbildung 15). Dass die Umweltbedingungen alleine die hohen Fangzahlen mit Netzkehle bewirkt haben, ist jedoch unwahrscheinlich. So wurde die Netzkehle zeitlich versetzt in Winznau und Schönenwerd eingesetzt. Der Peak der Fangzahlen liegt jedoch bei beiden Zählbecken genau an den Tagen, an denen die Netzkehle im Einsatz war (Abbildung 15). Schlussendlich wird mit den Resultaten der Retentionsexperimente und des Videomonitorings eindeutig bewiesen, dass die Fische ohne Netzkehle in grosser Zahl aus dem Becken ausschwimmen.

Die grossen Schwankungen der Fangzahlen innerhalb von Zähltagen mit Netzkehle können hingegen durchaus durch unterschiedliche Umweltbedingungen ausgelöst werden. Eine entsprechende Analyse ist aufgrund der geringen Anzahl Zähltag mit Netzkehle nicht sinnvoll. Bei einem dauerhaften Einsatz der Netzkehle wäre dies jedoch in einem zukünftigen Projekt möglich. Bei der aktuellen Studie fiel auf, dass jeweils am ersten Tag eines Netzkehlen-Einsatzes deutlich höhere Fangzahlen erzielt wurden als am folgenden Tag. Es wird angenommen, dass das Zählbecken ohne Reusenkehle ein Wanderhindernis darstellt. Solange die Fische bei der Zählung nicht gefangen und ins Oberwasser transferiert werden, sondern wieder aus dem Zählbecken ausschwimmen, steigt die Fischdichte unterhalb des Zählbeckens. Dadurch erhöht sich am ersten effizienten Fangtag (Netzkehle) die Anzahl ins Becken einsteigender Fische.

5.1.1 Arten- und Grössenselektivität der Netzkehle

Die verwendete Netzkehle stellt für keine der vorkommenden Arten ein unüberwindbares Hindernis dar. So wurden mit einer Ausnahme (einer einzelnen Trüsche in Schönenwerd) alle Fischarten, die ohne Kehle gefangen wurden, auch (und fast immer in höherer Anzahl) mit der Netzkehle gefangen (vgl. Tabelle 6). Insbesondere wurden auch deutlich mehr Nasen mit der Netzkehle gefangen als ohne, obwohl von diesen bekannt ist, dass sie ungerne in Reusen einschwimmen (pers. Mitteilungen C. Par dela). Auch für grosse Fische stellt die enge Netzkehle kein physisches Hindernis dar. So wurden von vielen Arten die jeweils grössten Fische (z.B. Wels 130 cm, Barbe 77 cm, Alet 45 cm) mit der Netzkehle gefangen werden (s. Tabelle 7). Besonders eindrücklich ist, dass der Wels mit einer Kopfbreite von 22 cm ohne Mühe durch die 11 cm breite Öffnung der Netzkehle geschwommen ist. Dies kann nur mit einer weichen und flexiblen Kehle, wie sie hier verwendet wurde, erreicht werden.

Anhand der Fangzahlen kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass ein Teil der Fische vor dem Einschwimmen in die Kehle scheucht. Dies wurde mit den Videoanalysen weiter untersucht.

² Verordnung zum Bundesgesetz über die Fischerei (VBGF), Stand 01. Mai 2018



5.2 Retentionsexperimente

Anders als mit den Fangzahlen wird mit den Retentionsexperimenten eindeutig nachgewiesen, dass die Fische ohne Reusenkehle aus dem Zählbecken ausschwimmen. Dies betraf alle der 11 markierten Arten und eine grosse Mehrheit der Fische. So betrug die Wiederfangrate markierter Fische ohne Kehle am nächsten Zähltag nur 5.2 %. Es kam zudem vor, dass Fische, die am Tag nach dem Einsetzen nicht mehr im Becken waren, zu einem späteren Zeitpunkt wieder gefangen wurden. Auch bei den wenigen markierten Fischen, die am Tag nach ihrem Aussatz wieder im Becken gefangen wurden, ist deshalb möglich, dass sie das Zählbecken zwischenzeitlich verlassen hatten und sich nur zufällig im Moment der Beckenschliessung wieder darin aufhielten.

Der Einsatz der Netzkehle führte zu einer starken Verbesserung des Fischrückhalts. Die Wiederfangrate markierter Fische wurde von 5.2 auf 93.1 % gesteigert, wobei von allen markierten Fischarten nun ein Grossteil der Fische wiedergefangen wurde. Die Wiederfangraten der beiden Experimenttage in Schönenwerd lagen mit 95.2 und 94.6 % über dem Durchschnitt. Die Netzkehle funktioniert also an beiden Standorten. Für einen Vergleich der beiden Zählbecken wäre jedoch eine höhere Anzahl Experimente in Schönenwerd nötig. Der tatsächliche Anteil ausgeschwommener Fische war wahrscheinlich eher tiefer als oben angegeben, da vermutlich nicht alle markierten Fische wieder auffindbar waren. Dies wird auch durch die Resultate des Videomonitorings bestätigt (Kapitel 5.3.1). Folgende Gründe können zu einer Überschätzung der ausschwimmenden Fische bei den Retentionsexperimenten führen:

- Auspringen aus dem Becken
 - ... durch die Gitterabdeckung
 - ... durch den Spalt, der oberhalb der Reusenkehle für den Schieber freigelassen wurde
 - ... über den Überfall ins Oberwasser
- Prädation im Becken
- Verlust oder nicht erkennen der Markierung

Dass Fische durch die Gitterabdeckung des Zählbeckens springen, wurde insbesondere bei Alet häufig beobachtet (s. auch Kapitel 5.5). Dies erklärt, weshalb deren Wiederfangrate bei den Retentionsexperimenten mit der Netzkehle mit 85.2 % deutlich unter dem Durchschnitt von 93.1 % lag (Abbildung 16). Bei den Lauben, die ebenfalls unterdurchschnittlich häufig wiedergefangen wurden, ist hingegen eher von einer erhöhten Prädation im Vergleich zu anderen Arten auszugehen.

Nach dem Einbau der Metallkehle wurden zwar durchschnittlich etwas mehr Fische gefangen als ohne Kehle (159 vs. 148 Fische pro Tag), die Retentionsexperimente zeigen jedoch eindeutig, dass die Metallkehle noch immer einen ungenügenden Fischrückhalt bietet. Obwohl die Öffnung der Metallkehle 15 cm über dem Boden des Zählbeckens lag, sind alle der markierten bodenorientierten Fische (37 Barben und 4 Gründlinge) ausgeschwommen. Insgesamt konnten 98.7 % der markierten Fische trotz der Metallkehle am nächsten Tag nicht mehr im Becken nachgewiesen werden. Die Ausschwimmrate aus dem Zählbecken mit Metallkehle liegt damit höher als bei Experimenten ohne Kehle. Da mit der Metallkehle jedoch leicht höhere Fangzahlen erzielt wurden, wird nicht grundsätzlich von einer schlechteren Fängigkeit ausgegangen. Vielmehr sind die Resultate der Retentionsexperimente mit Metallkehle aufgrund der geringen Stichprobenzahl (3 Experimenttage, 149 markierte Fische) mit Vorsicht zu betrachten.



5.3 Videomonitoring

5.3.1 Ein- und Ausschwimmende Fische

Die Videoaufnahmen bestätigen, dass die Fische ohne Reusenkehle problemlos und oft sehr kurz nach dem Einschwimmen aus dem Zählbecken ausschwimmen. Anhand individuell erkennbarer Tiere wurde auch wiederholtes Ein- und Ausschwimmen innert kurzer Zeit nachgewiesen. Mit der Netzkehle wurden hingegen nur noch vereinzelt Fische beim Ausschwimmen gefilmt. Innert 24 Stunden wurden nur 16 Fische (2.6 %) beim Ausschwimmen durch die Reusenkehle beobachtet.

Die Ausschwimmrate wird anhand der Videoaufnahmen tiefer eingeschätzt als mit den Retentionsexperimenten. Während die Ausschwimmrate mit den Retentionsexperimenten eher zu hoch beurteilt wird (Kapitel 5.2), werden mit der Videoanalyse möglicherweise nicht alle ausschwimmenden Fische erkannt. Auch zwischen den im Video gezählten Fischen und denen, die bei der abendlichen Fischzählung im Becken gefangen wurden, bestehen Diskrepanzen. Verschiedene Gründe führten zu Ungenauigkeiten der Zählung ein- und ausschwimmender Fische:

- Ein- oder Ausschwimmen von grossen Fischschwärmen
- Grosse Fische im Zählbecken (oder Fischen nahe bei der Kamera), die die Sicht verdecken
- Kleine «tote Winkel» im Einstieg des Zählbeckens
- Ungenügende Beleuchtung bei Nacht, besonders für kleine und bodenorientierte Fische (Infrarotlicht wird im Wasser sehr schnell absorbiert)
- Allenfalls durch die Bewegungserkennung nicht detektierte Fische

Die aus dem Videomonitoring resultierenden Aufstiegszahlen sind somit als Abschätzung zu betrachten. Auch eine Artbestimmung war nicht für alle Fische möglich (Cypriniden, Kleinfischarten). Eine genaue Zählung der Fische war jedoch auch nicht Ziel des vorliegenden Monitorings. Vielmehr ging es darum, die Resultate der Markierungsexperimente zu überprüfen und herauszufinden, ob und wie Fische (je nach Gestaltung des Einstiegs) aus dem Becken ausschwimmen.

Während der Nachtstunden wurden deutlich weniger Fischbewegungen registriert als tagsüber. Dies könnte zur Festlegung des optimalen Zeitpunkts für die Beckenleerung zukünftiger Zählungen berücksichtigt werden. Da es sich jedoch nur um die Beobachtung zweier Tage handelt, ist dies als vorläufiges Resultat zu behandeln. Zudem wurden wegen der hohen Absorption des Infrarot-Lichts im Wasser mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht alle Fische erkannt. Entgegen früherer Annahmen ist es auch möglich, dass Fische das verwendete Infrarot-Licht wahrnehmen und dadurch in ihrem Verhalten beeinflusst werden (Matsumoto & Kawamura 2005; Meuthen et al. 2012).

5.3.2 Scheueffekt

Nicht alle Fische, die am Zählbecken ankamen, schwammen auch in dieses ein. Die Videoanalysen vom Einstieg des Zählbeckens zeigen, dass der Anteil der Fische, die nicht einschwammen, bei montierter Netzkehle höher war als ohne Kehle (Abbildung 19). Dies kann mehrere Gründe haben. Einerseits kann durch den Einbau der Reusenkehle tatsächlich ein Scheueffekt erzeugt werden, z. B. durch veränderte Strömungsmuster im Eingangsbereich des Zählbeckens (vgl. Abbildung 23 im Anhang). Andererseits kann auch die relativ hohe Fischdichte im Zählbecken eine abschreckende Wirkung haben. Durch den Geruch von möglichen Prädatoren oder gestressten Artgenossen könnten neu ankommende Fische das Zählbecken vermeiden. Gerade bei Cypriniden werden durch Verletzungen der Haut sogenannte „Schreckstoffe“ ausgeschüttet, die eine Flucht- bzw. Meidreaktion anderer Cypriniden zur Folge haben können (v. Frisch 1938). Rotaugen sind in der Lage chemische Signale von Welsen zu erkennen und können entsprechende Meidreaktionen zeigen (Šmejkal et al. 2018). Ausserdem ist es durchaus möglich, dass es dem natürlichen Verhalten einiger Fischarten entspricht, nicht direkt durch



einen Durchgang zu schwimmen, sondern anfangs davor zu scheuen, eine Engstelle zu passieren. Derartige Beobachtungen wurden beispielsweise für Schleien gemacht (Rauschert 1970). Die Fische in den Videos ohne Reusenkehle sind hingegen vermutlich bereits mehrmals in das Becken ein- und wieder ausgeschwommen und kennen die Umgebung schon gut. Da die Fische nicht individuell erkennbar sind, wurden solche Fische auch mehrmals gezählt. Somit wäre das zögerliche Verhalten, das mit der Netzkehle beobachtet wurde, der natürliche Zustand. Das ohne Reusenkehle häufig beobachtete direkte Einschwimmen würde in dem Fall durch die Erfahrung der Fische mit diesem Durchgang entstehen. Die genaue Fängigkeit der Reusenkehle (als Anteil der aufsteigenden Fische, die in das Zählbecken einschwimmen und darin bis zur Zählung zurückgehalten werden) kann daher nur ermittelt werden, wenn die aufsteigenden Fische individuell erkennbar sind. Dies wäre z. B. mit einer PIT-Tagging-Studie möglich.

Ob die Netzkehle selbst tatsächlich einen Scheueffekt auslöst, kann aus den oben genannten Gründen nicht abschliessend beurteilt werden. Aufgrund der massiv höheren Fangzahlen mit der Reusenkehle, die bei allen häufiger vorkommenden Fischarten beobachtet wurde, wird jedoch davon ausgegangen, dass die bessere Retention der Netzkehle allfällige Scheueffekte bei weitem übertrifft.

5.3.3 Fischabstieg durch das Zählbecken

Bei den Interviews wurden von oben in das Becken einschwimmende Fische als mögliche Ursache für fehlerhafte Fischaufstiegszählungen genannt (Wilmsmeier & Peter 2018). So wurde vermutet, dass es sich bei kleinen Fischen im Zählbecken nicht um aufsteigende, sondern um absteigende Fische handeln könnte. Bei den Videountersuchungen am Zählbecken Winznau wurde allerdings kein einziger Fisch entdeckt, der über den Einlauf ins Zählbecken gelangt wäre. Auch die sehr kleinen Fische (z. B. Barben und Alet ab ca. 5 cm) sind also mit hoher Wahrscheinlichkeit alle durch die Reusenkehle in das Becken eingeschwommen. Auf den Videoaufnahmen vom Einstieg des Zählbeckens wurden diese Fische auch tatsächlich beim Einschwimmen beobachtet.

In Winznau waren von oben in das Zählbecken gelangte Fische demnach kein Problem. Ob absteigende Fische durch die Fischaufstiegshilfe und den Einlauf in das Zählbecken gelangen, hängt jedoch von vielen Faktoren (z. B. Gestaltung des oberen Endes der FAA und des Einlaufs ins Zählbecken) ab. Wenn ein begründeter Verdacht besteht, dass im Zählbecken auch absteigende Fische gezählt werden, sollte dies daher in jedem Fall einzeln untersucht werden.

5.4 Abschliessende Beurteilung der entwickelten Reusenkehle

Auch die verwendete Netzkehle kann das Ausschwimmen von Fischen nicht zu 100 % verhindern. Mit einer Retentionsrate von über 93 % ist sie für das Monitoring von Fischaufstiegsanlagen sowie auch für die Ermittlung des Fischbestandes (wandernde Arten) aber ausreichend effizient. Es wird vermutet, dass eine wesentliche Verminderung der Ausschwimmrate durch die Kehle nur mit vergleichsweise grossem Aufwand möglich wäre. Beispielsweise könnte ein zweihäusiges Zählbecken mit zwei hintereinander liegenden Kehlen nach dem Vorbild der Standard-Kastenreue für Bundeswasserstrassen (Fladung et al. 2017) das Ausschwimmen von Fischen weiter vermindern. Diese können jedoch nur in ausreichend grossen Zählbecken eingesetzt werden. Auch eine weitere Verengung oder eine Verlängerung der Kehle wären denkbar um die Ausschwimmrate weiter zu senken. Beides könnte jedoch auch den Scheueffekt verstärken bzw. die Anzahl einschwimmender Fische verringern. Die hier verwendeten Dimensionen der Reusenkehle scheinen daher einen guten Kompromiss zwischen einfachem Einschwimmen und starkem Rückhalt der Fische darzustellen. Zusammen ergibt sich eine gute Fängigkeit der Reusenkehle.



Für die meisten Experten, die für die Phase 1 des Projekts interviewt wurden, war der wichtigste Anspruch an eine Reusenkehle, dass sie nicht am Boden, sondern in einiger Entfernung davon im Fangbecken endet (Wilmsmeier & Peter 2018). Dadurch sollte der Ausstieg für bodenorientierte Fische erschwert werden. Die Retentionsexperimente mit der Metallkehle zeigen jedoch, dass zumindest der hier gewählte Abstand zum Boden (15 cm) für den Fischrückhalt nicht ausreichend ist. Es muss davon ausgegangen werden, dass dies auch für ähnliche Systeme gilt, die nur aus einer starren Kehle bestehen und relativ weit geöffnet sind. Neben Zählbecken betrifft dies auch für die Zählung verwendete Reusen sowie die Fangkörbe von Fischliftanlagen.

Neben der reinen Metallkehle und der Netzkehle, wie sie hier verwendet wurden, sind in der Schweiz und dem angrenzenden Ausland auch weitere Kehlentypen im Einsatz (Wilmsmeier & Peter 2018). So werden z. B. starre, gerade oder sich verengende Kehlen aus Metallstäben verwendet. Flexible Kehlen werden neben den Netzkehlen auch aus biegbaren Metall- oder Plastikborsten gefertigt. Zudem sind auch die genaue Dimensionierung des Einstiegs (Grösse, Bodenbindung, Richtung), der Kehle (Länge, Öffnungsgrösse, Bodenabstand) und die Bedingungen im Zählbecken (Strömungsrichtung, Fließgeschwindigkeit, Grösse und Gestaltung des Beckens) ausschlaggebend für die Fängigkeit der gesamten Zählanlage. Die Dimensionierung des vorliegenden Projektes liess es nicht zu, weitere Kehlvarianten oder Zählbeckentypen zu untersuchen. Dies ist jedoch im Rahmen eines zukünftigen Projekts geplant. Da bereits kleine Anpassungen der Reusenkehlen zu einer veränderten Fängigkeit führen können (Smith et al. 2016), sollten bei künftigen Fischzählungen jeweils auch die Effizienz der Fangeinrichtung untersucht werden. Zudem sind die Art und die Masse der Reusenkehle stets anzugeben.

5.5 Verletzte und tote Fische

Die häufigsten Verletzungen waren fehlende Schuppen, eingerissene Flossen und Kopfverletzungen, wobei bestehende Verletzungen vor dem Eintritt in das Zählbecken nicht ausgeschlossen werden können. Es gibt verschiedene Verletzungsursachen: Fische können auf dem trockenfallenden Boden liegenbleiben, springen aus der Fangrinne in der Mitte des Beckens wieder hinaus, oder werden beim Keschern, bei der Zählung selbst (Fische werden nicht betäubt) oder beim Transport ins Oberwasser verletzt. Bei grösseren Fangzahlen, wie hier beim Einsatz der Netzkehle, werden diese Probleme verstärkt. In Olten und Schönenwerd erwiesen sich die Zählbecken bei einem effizienten Fischfang als unterdimensioniert und auch die Infrastruktur für die Zählungen als ungenügend. So wurden bei den Fischmarkierungen mit Netzkehle auch mehr verletzte Fische registriert als ohne Kehle (Kapitel 4.2.1). Weitere Verletzungen entstehen dadurch, dass das Ausschwimmen aus dem Becken mit der Netzkehle verhindert wird. Dies führt zu längeren Aufenthaltszeiten und höherer Dichte der Fische im Becken.



Abbildung 20: Typische Verletzungen sind fehlende Schuppen (links) und Kopfverletzungen (rechts)



Beim Versuch, durch Springen aus dem Becken zu entkommen, können sich die Tiere an der Gitterabdeckung, der Tauchwand und den Betonwänden des Zählbeckens verletzen. Die Fischdichte selbst kann zudem das Stresslevel der Fische ansteigen lassen.

Tote Fische im Becken konnten per se nur mit Kehle nachgewiesen werden, da sie andernfalls einfach mit der Strömung hinausgetrieben werden. Von den markierten Fischen wurden 1.1 % am nächsten Tag tot im Zählbecken gefunden. Vermutlich waren diese Fische trotz langer Erholungszeit nach dem Markieren noch von der Betäubung und dem Handling geschwächt. Ansonsten waren vor allem bei sehr hohen Fischdichten kleine Rotaugen betroffen. Die häufigste Todesursache für die Fische war jedoch ein Sprung aus dem Zählbecken hinaus. Diese Fische (v. a. Alet) verendeten auf der Gitterabdeckung oder am Boden neben den Zählbecken und wurden zu leichter Beute für Prädatoren. Dies war vor allem in Schönenwerd der Fall, da hier der Abstand zwischen dem Wasserspiegel und der Gitterabdeckung kleiner war als in Winznau.



Abbildung 21: Links: Aus dem Zählbecken gesprungener, toter Alet mit verletzter Schnauze, fehlenden Schuppen und defekter Schwanzflosse. Rechts: Tote Alet mit Frassspuren, die neben dem Becken gefunden wurden.



6 Fazit

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass Fischaufstiegszählungen mit Zählbecken ohne funktionierende Reusenkehle nicht effizient sind: Die Fische bleiben in der Regel nicht in den Becken, sondern verlassen sie meist schon nach kurzer Zeit wieder durch den Einstieg. Anders als bei früheren Zählungen angenommen, halten die Zählbecken die aufsteigenden Fische also nicht in einem ausreichenden Ausmass zurück. Es besteht dadurch die Gefahr, die tatsächliche Anzahl aufsteigender Fische massiv zu unterschätzen. Eine Fischzählung ohne Reusenkehle kann deshalb bestenfalls eine **Momentaufnahme** aufsteigender Fische kurz vor der Entleerung des Zählbeckens darstellen.

Die Untersuchungen stellen die Beurteilung von Fischaufstiegsanlagen durch Aufstiegszählungen ohne funktionierende Reusenkehle in Frage. Durch die unterschiedliche Fängigkeit verschiedener Zählrichtungen (Einsatz und Art der Kehle, Unterschiede im Schliessmechanismus, usw.) können verschiedene Aufstiegsanlagen nicht ohne weiteres miteinander verglichen werden. Da weder die tägliche Anzahl aufsteigender Fische, noch alle aufsteigenden Arten erfasst werden, kann auch keine genaue Abschätzung des Fischbestandes oder seiner Entwicklung anhand solcher Zählungen vorgenommen werden.

Wenn aufsteigende Fische nicht im Zählbecken gefangen werden, stellt das Zählbecken ein **Wanderhindernis** dar, da die Fische so nicht ins Oberwasser gelangen können. Dies kann die Fischwanderung, je nach Dauer der Zählung, über eine ganze Saison somit stark einschränken.

Die Ergebnisse dieser Studie sind von Bedeutung für bisherige Untersuchungen in Zählbecken und Reusen: Abhängig von Anwesenheit und Typ einer Reusenkehle müssen die Resultate bisheriger Zählungen in Frage gestellt werden. Die Interpretation und der Vergleich dieser Resultate sind aufgrund der vorliegenden Studie mit Unsicherheiten behaftet. Es muss davon ausgegangen werden, dass mit den bisherigen Zählungen in Zählbecken ohne effiziente Reusenkehle nur ein kleiner Teil der aufsteigenden Fische tatsächlich erfasst wurde. Die Schlussfolgerungen bisheriger Untersuchungen sind unter Berücksichtigung dieser neuen Erkenntnisse zu überprüfen.

Bei zukünftigen Fischzählungen sollte immer eine Überprüfung der Fängigkeit eines Zählbeckens (Rückhalt und Scheucheffekt) erfolgen. Fischzählungen bedeuten einen erheblichen zeitlichen und personellen Aufwand und stellen einen Eingriff in die freie Fischwanderung dar. Deshalb muss sichergestellt werden, dass sie auch verlässliche Resultate liefern.

Die Fängigkeit eines Zählbeckens kann mit einer geeigneten Reusenkehle massiv verbessert werden. Bei den beiden untersuchten Zählbecken stiegen die Fangzahlen dabei um das 91- (Winznau) bzw. 138-fache (Schönenwerd)³. Dementsprechend steigt der Aufwand für die Fischzählungen. Um verletzte und tote Fische zu vermeiden, sind Anpassungen sowohl bei den Zählbecken (Grösse des Beckens, Abdeckung gegen Ausspringen etc.), als auch beim Zählregime (mehrmalige Leerungen pro Tag, effizienteres und schonenderes Handling der Fische) nötig.

Während die Metallkehle für einen effizienten Rückhalt der Fische nicht ausreichte, hat sich die Netzkehle als gute Lösung erwiesen. Durch die relativ kleine, rautenförmige Öffnung konnten dank des flexiblen Materials auch grosse Fische einschwimmen. Der Anteil ausschwimmender Fische wurde auf ein Minimum reduziert. Bei eingesetzter Reusenkehle sind Scheucheffekte beim Einschwimmen nicht auszuschliessen. Dies konnte mit den Videountersuchungen am Zählbecken Winznau nicht abschliessend untersucht werden. Die Fängigkeit anderer Typen von Reusenkehlen wurde bisher nicht untersucht. Dies soll in einer Fortsetzung des Projekts ergänzt werden.

³ Vergleich zehn Tage vor dem Einsatz der Kehle vs. Tage mit Netzkehle (durchschnittliche Fangzahlen).



7 Empfehlungen

Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse für zukünftige Fischzählungen noch einmal zusammengefasst. Ein Vergleich zu anderen Monitoring-Methoden (z. B. PIT-Tagging) wird dabei bewusst nicht durchgeführt, da diese bei anderen Fragestellungen eingesetzt werden (Vgl. dafür Zaugg et al. 2016). Ein grundsätzlicher Vergleich zu Fischzählungen mit Reusen ist hingegen sinnvoll: Bei vergleichbarer Funktionsweise und gleichem Arbeitsaufwand (manuelle Leerung und Zählung) der beiden Methoden, kann davon ausgegangen werden, dass das Zählbecken fischschonender betrieben werden kann (Grösse der Fangkammer, kein Heben der Reuse). Dadurch wird das Verletzungsrisiko minimiert.

7.1 Empfehlungen für die Konstruktion von Zählbecken

- Zählbecken sind grundsätzlich immer am oberen Ende der Fischaufstiegsanlagen zu positionieren. Nur so kann eine Funktionskontrolle des gesamten Fischpasses durchgeführt werden. Zudem können die Transportwege ins Oberwasser für gezählte Fische verkürzt und vereinfacht werden (z. B. Einsatz eines bewässerten Rohres für Fischrückgabe).
- Zählbecken müssen mit einer funktionierenden Reusenkehle ausgestattet werden. Geeignet ist eine Kombination aus einer starren Basis aus einem Metallgitter und einem Fortsatz aus Netzgarn, welcher mit Schnüren aufgespannt wird. Die Öffnungsbreite des starren Kehleanteils soll dabei nicht kleiner als die Schlitzbreite im Fischpass sein. Die Öffnung der Netzkehle kann als schmale Raute gestaltet werden, wobei das Netz flexibel genug sein soll, um von grossen Fischen leicht aufgedrückt werden zu können.
- Um Fischverletzungen durch die Reusenkehle zu vermeiden, sollte diese keine vorstehenden Spitzen und eine genügend kleine Maschenweite aufweisen. Zwischen der Kehle und dem Boden oder den Wänden des Zählbeckens dürfen keine spitzen Winkel bestehen.
- Die Grösse des Zählbeckens muss dem Fischaufkommen angepasst sein, wobei z. B. an der Aare mit deutlich über 10'000 Fischen pro Tag gerechnet werden muss. Aufgrund fehlender Erfahrungswerte mit effizienten Zählbecken sind bisher keine verbindlichen Angaben zur erforderlichen Grösse möglich, doch die Zählbecken sollten ca. zwei bis fünf Mal so gross wie bisher geplant werden. Grundlagen für konkretere Empfehlungen werden 2019/2020 an der Aare am Zählbecken beim Wehr Winznau erarbeitet.
- Das Ausspringen von Fischen aus dem Zählbecken ist zu vermeiden. Dazu dienen genügend hohe Wände des Beckens oder eine durchgehende Abdeckung (keine oder nur feinmaschige Gitter). Verletzungen von springenden Fischen können durch eine Polsterung der Abdeckgitter reduziert werden.
- Um ein schonendes Handling der Fische zu gewährleisten, sollte der Wasserstand im Zählbecken kontrolliert und stufenweise abgesenkt werden können. Die Rinne, in der sich die Fische schlussendlich sammeln, muss tief genug sein, damit die Fische nicht zu leicht auf den trockenen Boden daneben gelangen. Denkbar sind eine stufenweise Vertiefung oder ein abgeschrägter Bodenverlauf in Richtung der Rinne.
- Für Zählungen mit hohen Fischdichten, die lange dauern, muss eine Frischwasserzufuhr (z. B. mit einer Pumpe oder einer Leitung aus dem Oberwasser) möglich sein.



- Ein Schwimmbalken vor dem Einlauf ins Zählbecken kann das Geschwemmselaufkommen und das Verstopfen der Reusenkehle verringern. Die Reusenkehle sollte bei den täglichen Zählungen von Schwemmgut befreit werden.

7.2 Empfehlungen für die Durchführung von Fischzählungen

- Die Dauer einer Zählseason sollte flexibel an das Vorkommen aufsteigender Fische angepasst werden. Da über Fischwanderungen im Winter noch wenig bekannt ist, sollten die Wintermonate nicht kategorisch ausgeschlossen werden.
- Ist das Zählbecken in Betrieb, müssen die Fische mindestens einmal täglich, bei hohem Fischaufkommen zweimal täglich, gezählt und freigelassen werden.
- Eine gute Infrastruktur (Tische, Becken, Bestimmungsunterlagen, Licht und Witterungsschutz) verbessert sowohl die Zählbedingungen als auch die Zählresultate.
- Eine ausreichende Ausbildung (Artenkenntnis, Fischhandling, Betrieb des Beckens etc.) der Zählteams ist essentiell für eine zuverlässige Zählung und verwertbare Resultate. Bei der Artenkenntnis sollte die Ausbildung vor allem auf seltene und leicht verwechselbare Fische hinweisen, die im untersuchten Gewässer vorkommen. Freiwillige sollten durch Fachpersonen eng begleitet werden.
- Für die Beurteilung des Fischaufstiegs ist es hilfreich, wenn die Totallänge aller Fische gemessen oder einer Grössenklasse zugewiesen wird.
- Auf Verletzungen von Fischen ist zu achten. Verletzungen sollten an zufällig ausgesuchten Tagen umfassend protokolliert werden. Wenn nötig müssen anschliessend Gegenmassnahmen, wie das Anbringen von Abdeckungen, Polsterungen usw. ergriffen werden.



8 Literatur

Fladung, E., Zahn, S., Naas, C. & Knösche, R. (2017). Entwicklung und Bau von Standard-Kastenreusen für die Kontrolle von Fischaufstiegsanlagen an Bundeswasserstrassen. Bericht zur Grundlagenermittlung / Literaturrecherche. Studie im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG). 40 S.

v. Frisch, K. (1938). Zur Psychologie des Fisch-Schwarmes. *Naturwissenschaften*, 26 (37), 601–606.

Gebler, R. J. (2010). Zählbecken - eine Fisch schonende Methode zur Funktionskontrolle von Fischwegen. *WasserWirtschaft*, 3, 26–29.

Guthruf, J. (2006). Koordinierte Fischaufstiegskontrollen an den Aare-Kraftwerken zwischen Solothurn und der Mündung in den Rhein. Gutachten im Auftrag des Amtes für Umwelt des Kantons Solothurn, des Amtes für Wald, Jagd und Fischerei des Kantons Solothurn, der Sektion Jagd und Fischerei, BVU des Kantons Aargau und der Abt. Landschaft und Gewässer, BVU des Kantons Aargau. 99 S.

Hubert, W. A., Pope, K. L. & Dettmers, J. M. (2012). Passive capture techniques. In A. V. Zale, D.L. Parrish & T.M. Sutton (Hrsg.), *Fisheries Techniques* (3. Auflage, S. 223–265). American Fisheries Society: Bethesda, Maryland.

Matsumoto, T. & Kawamura, G. (2005). The eyes of the common carp and Nile tilapia are sensitive to near-infrared. *Fisheries Science*, 71, 350–355.

Meuthen, D., Rick, I. P., Thünken, T. & Baldauf, S. A. (2012). Visual prey detection by near-infrared cues in a fish. *Naturwissenschaften*, 99, 1063–1066.

Pardela, C. (2017). Video-Monitoring an der Fischaufstiegsanlage Rheinfelden (CH). Abschlussbericht - Projektstudie Video-Monitoring. Im Auftrag von Dr. Werner Dönni (Fischwerk, Luzern). 10 S.

Peter, A., Mettler, R. & Schölzel, N. (2016). Kurzbericht zum Vorprojekt „ PIT-Tagging Untersuchungen am Hochrhein – Kraftwerk Rheinfelden “. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU. 45 S.

R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Rauschert, M. (1970). Beobachtungen zum Verhalten von Fischen an Fanggeräten der Binnenfischerei. Dissertation Humboldt Universität Berlin.

Schwevers, U. & Adam, B. (2000). Kriterien zur Funktionsbewertung von Fischaufstiegsanlagen. *Wasser und Abfall*, 9, 24–29.

Šmejkal, M., Ricard, D., Sajdlová, Z., Čech, M., Vejřík, L., ... Peterka, J. (2018). Can species-specific prey responses to chemical cues explain prey susceptibility to predation? *Ecology and Evolution*, 8, 4544–4551.

Smith, B. J., Blackwell, B. G., Wuellner, M. R., Graeb, B. D. S. & Willis, D. W. (2016). Escapement of Fishes from Modified Fyke Nets with Differing Throat Configurations. *North American Journal of Fisheries Management*, 36 (1), 96–103.

Stuart, I. G., Zampatti, B. P. & Baumgartner, L. J. (2008). Can a low-gradient vertical-slot fishway provide passage for a lowland river fish community? *Marine and Freshwater Research*, 59 (4), 332–346.

Summers, D. W., Roberts, D. E., Giles, N. & Stubbing, D. N. (2006). Retention of visible implant and visible implant elastomer tags in brown trout in an English chalk stream. *Journal of Fish Biology*.

Travade, F. & Larinier, M. (1994). Les techniques de contrôle des passes à poissons. Passes à poissons. Expertise et conception des ouvrages de franchissement. (S. 232–251).

Wilmsmeier, L. & Peter, A. (2018). Fischwanderung : Kontrollinstrument Zählbecken. Zwischenbericht 1. Phase: Problemerkennung. Studie im Auftrag der Bundesamtes für Umwelt BAFU. 25 S.



Zaugg, C., Boller, L., Dönni, W. & Guthruf, J. (2016). Massnahmenumsetzung Sanierung Fischgängigkeit. Umfang und Methodenwahl von Wirkungskontrollen. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU. 30 S.



9 Dank

Wir bedanken uns beim Bundesamt für Umwelt (BAFU), welches diese Studie ermöglichte. Ansprechpartner waren Lukas Bammatter, Alvaro Baumann y Carmona und Martin Huber Gysi.

Ein herzlicher Dank geht an die Freiwilligen der Fischereivereine Olten und Schönenwerd, insbesondere an Michael Haberstich, Fredy Murat und Thomas Baggenstoss, für die Koordination und Durchführung der Fischzählungen. Von der Seite des Amtes für Wald, Jagd und Fischerei des Kantons Solothurn (AWJF) waren Stefan Gerster und Gabriel van der Veer für die Fischzählungen zuständig. Bei Ihnen bedanken wir uns für die gute Zusammenarbeit und die Bereitstellung der Aufstiegszahlen.

Bei den Verantwortlichen der Alpiq (Roland von Arx) und der Eniwa AG (Hansjürg Tschannen) möchten wir uns für die Kooperation und den unkomplizierten Zugang zu den Zählbecken und Lagerräumlichkeiten bedanken.

David Nijssen von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (D) präsentierte uns die Standard-Kastenreue an der Mosel in Koblenz. Herzlichen Dank für diesen wertvollen Erfahrungsaustausch.

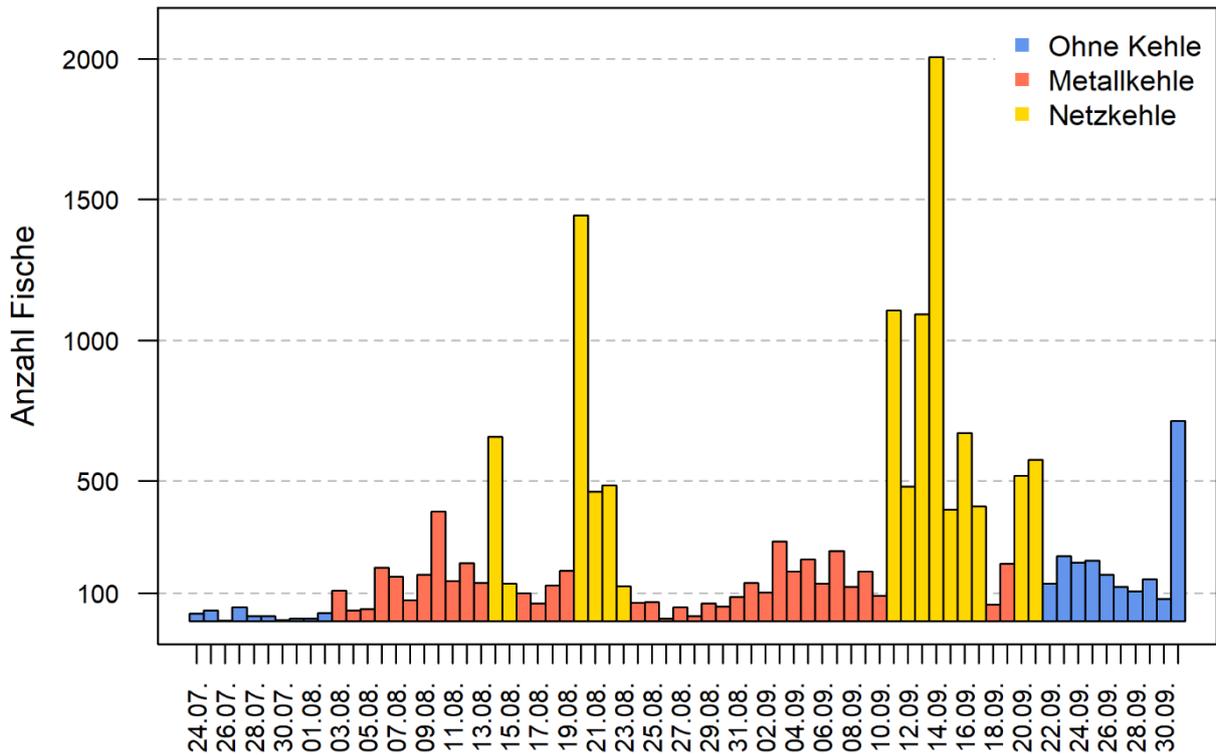
Alexander Betz danken wir für seinen wertvollen Input bei der statistischen Auswertung der Retentionsexperimente.

Die Metallkehle wurde von Mario Cianci mit grosser Sorgfalt und nach Spezialwünschen angefertigt und eingebaut. Danke für den Beitrag am Erfolg des Projekts.



10 Anhang

Fischzählung Winznau (ohne Rotaugen)



Fischzählung Schönenwerd (ohne Rotaugen)

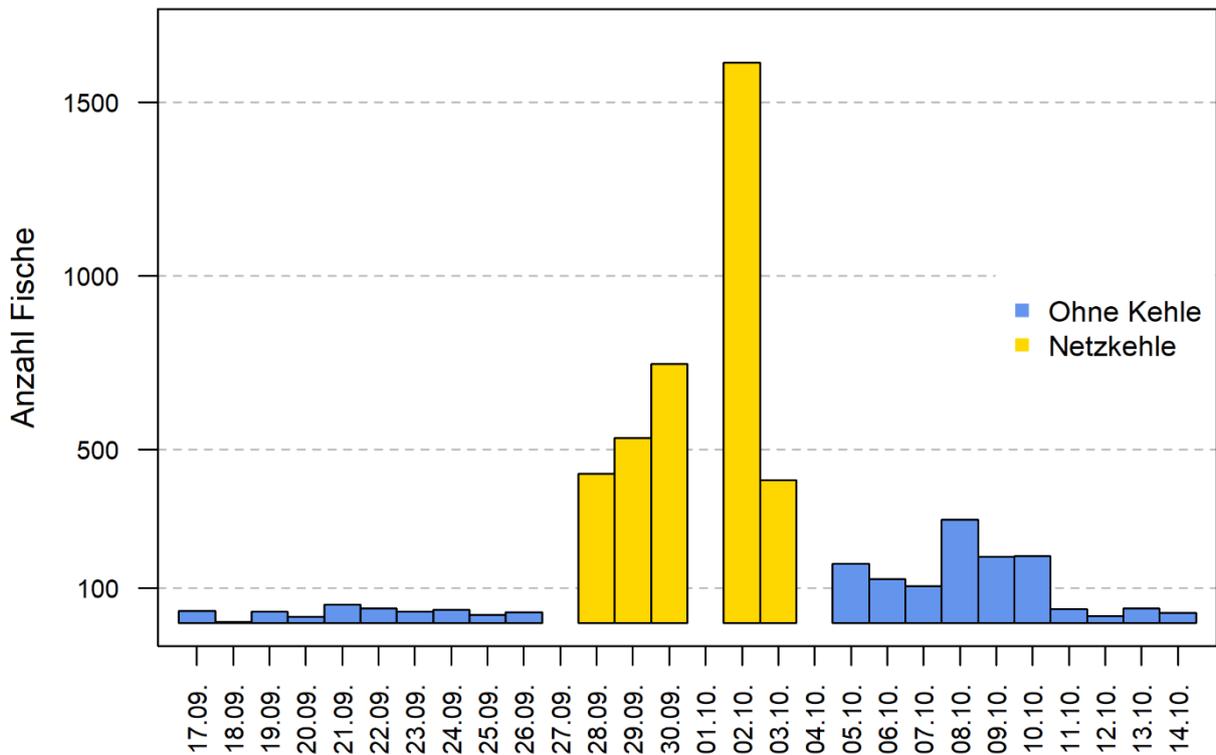


Abbildung 22: Anzahl gefangener Fische ohne Rotaugen bei den täglichen Zählungen in Winznau (oben) und Schönenwerd (unten). Bei den Fangzahlen von Schönenwerd wurden die drei Tage, an denen nicht alle Fische bestimmt werden konnten, ausgeschlossen (Lücken).



Tabelle 10: Anzahl Retentionsexperimente und Anzahl markierter Fische je nach Art und Einstiegsconfiguration

Art	Einstieg	Anzahl Experimente	Anzahl Fische
Alet	Ohne Kehle	8	20
	Metallkehle	3	13
	Netzkehle	7	230
Barbe	Ohne Kehle	12	312
	Metallkehle	3	36
	Netzkehle	7	400
Egli	Ohne Kehle	5	15
	Metallkehle	1	3
	Netzkehle	7	239
Gründling	Ohne Kehle	4	15
	Metallkehle	2	4
	Netzkehle	4	4
Hasel	Ohne Kehle	1	2
	Metallkehle	3	10
	Netzkehle	7	98
Laube	Ohne Kehle	4	9
	Metallkehle	1	5
	Netzkehle	7	35
Nase	Ohne Kehle	-	-
	Metallkehle	-	-
	Netzkehle	4	15
Rotauge	Ohne Kehle	5	17
	Metallkehle	3	38
	Netzkehle	7	258
Schneider	Ohne Kehle	10	39
	Metallkehle	3	22
	Netzkehle	7	105



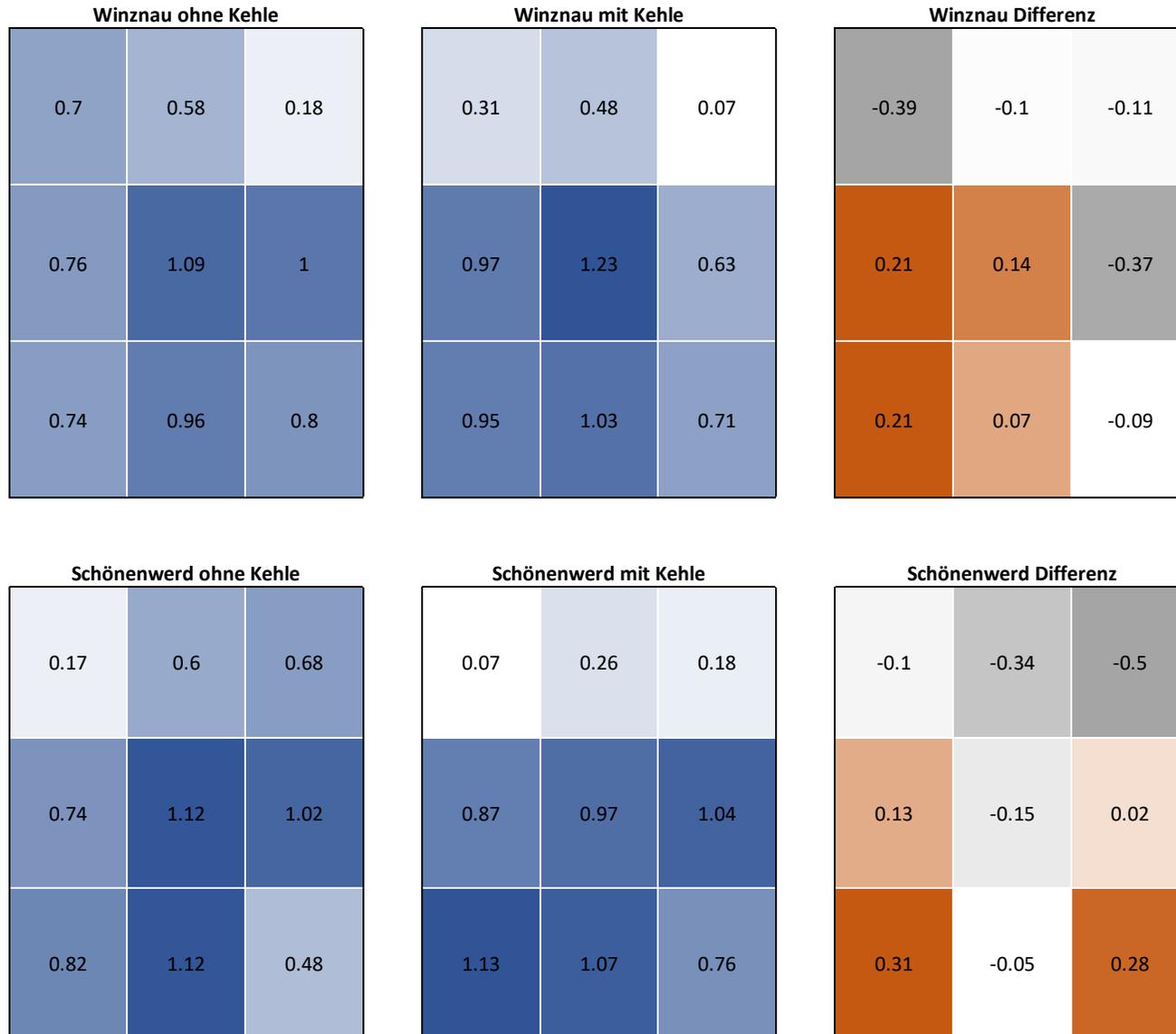


Abbildung 23: Links: Fließgeschwindigkeiten (Durchschnittswert von 10 Sekunden) am Einstieg der Zählbecken Winznau und Schönenwerd. Gemessen wurde jeweils vor und nach dem Ausbau der Netzkehle (Winznau 21.09.2018, Schönenwerd 27.09.2018) an 9 definierten Stellen. **Rechts:** Messung der Fließgeschwindigkeit am Einstieg des Zählbeckens.

