

Institut für angewandte Ökologie GmbH

PIT-Tagging Hochrhein



Kirtorf-Wahlen, 04. April 2020

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Impressum

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wasser, 3003 Bern.

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

Auftragnehmer

Institut für angewandte Ökologie GmbH, Neustädter Weg 25, 36320 Kirtorf-Wahlen, Deutschland

Autoren

Dr. Ulrich Schwevers

Dr. Beate Adam

Sven Mögeltönder-Löwenberg

unter Mitarbeit von

Florian Dersch

Sandra Goepfert

Kontakt: info@ifoe.eu

Begleitung BAFU

Lukas Bammatter

Andreas Knutti

Martin Huber Gysi

Hinweis

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

Titelbilder

Antenneninstallation im Schlitzpass Rheinfelden

PIT-Tags von 12, 23 und 32 mm Länge

Portrait eines Rotauges (*Rutilus rutilus*)

Quelle: Institut für angewandte Ökologie GmbH

INHALT

1	Zusammenfassung	1
2	Veranlassung	9
3	Voraussetzungen für die Projektdurchführung	10
3.1	Markierung von Fischen mit PIT-Tags	10
3.2	Information potentieller Konsumenten	10
3.3	Arbeitssicherheit	11
3.4	Zoll	11
4	Methoden	12
4.1	Funktionsprinzip der PIT-Tag-Technologie	12
4.2	Einsatz der PIT-Tag-Technologie am Hochrhein	16
4.2.1	Staustufe Augst-Wyhlen	21
4.2.2	Staustufe Rheinfelden	28
4.2.3	Kombiniertes Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D)	39
4.2.4	Beckenpass Säckingen (D)	49
4.3	Fang, Markierung und Besatz	52
4.3.1	Fang	52
4.3.2	Markierung	58
4.3.3	Besatz	59
4.3.4	Transpondierte Fische	60

4.4	Datenmanagement	64
4.4.1	Datengrundlage	64
4.4.2	Bereinigung und Verschneidung der Daten	66
4.4.3	Analyse von Bewegungsmustern	66
4.4.4	Identifizierung und Terminierung von Ereignissen	69
4.4.5	Berechnung von Quoten	70
4.4.6	Parametrisierung von Auffinde- und Passagezeit	70
5	Rahmenbedingungen	75
5.1	Abfluss und Wasserstand	75
5.2	Wassertemperatur	78
6	Befunde	79
6.1	Zuverlässigkeit der HDX-Technik	79
6.1.1	Betriebsstörungen und Ausfälle der HDX-Anlagen	80
6.1.2	Lesequote der HDX-Antennen	81
6.2	Redetektionen transpondierter Fische	86
6.3	Aktivitätsmuster	89
6.3.1	Circannuale Rhythmik	89
6.3.2	Circadiane Rhythmik	90
6.4	Bewegungsmuster	93
6.5	Gesamtdurchgängigkeit	107
6.5.1	Anzahl passierter Staustufen	107
6.5.2	Reisedauer	111
6.5.3	Projektübergreifende Wanderungen	114

6.6	Auffindbarkeit	118
6.6.1	Auffindequote	119
6.6.2	Auffindedauer	137
6.7	Passierbarkeit	149
6.7.1	Passagequote	149
6.7.2	Passagedauer	162
6.7.3	Passagegeschwindigkeit	171
6.7.4	Abbruch von Aufstiegsversuchen	177
6.8	Effizienz	180
6.9	Funktionsbewertung der Fischaufstiegshilfen	184
6.10	Funktion und Auswirkungen der Fanggeräte	188
6.10.1	Schädigung von Fischen	188
6.10.2	Nachweis von Aufsteigern	192
6.10.3	Fang abwandernder bzw. verdriftender Fische	194
6.10.4	Einfluss auf das Aufstiegsgeschehen	196
7	Fazit und Ausblick	198
8	Literatur	204
9	Anhang	213

1 ZUSAMMENFASSUNG

Die Funktionstüchtigkeit der am Hochrhein vorhandenen Fischaufstiegshilfen wird seit den 1980er Jahren in zehnjährigem Abstand mit koordinierten Fischzählungen überprüft. Deren Ergebnisse ergaben meist schlechte Bewertungen der einzelnen Anlagen. Die Ursachen dafür blieben jedoch vor allem deshalb unklar, weil es nicht möglich war, zwischen Defiziten bei der Auffindbarkeit und der Passierbarkeit zu unterscheiden. Auch grossräumige Wanderungen über mehrere Staustufen hinweg waren mit dem herkömmlichen Aufstiegsmonitoring nicht darstellbar.

Nach einem erfolgreichen Vorprojekt im Jahr 2016 wurde deshalb die vorliegende Untersuchung in Auftrag gegeben, bei der die HDX-Technik, eine Variante der Radio Frequency Identification (RFID), zum Einsatz kam. Dafür wurden etwa 20.000 Fische mit Tiertranspondern, sogenannten PIT-Tags markiert, um im Zeitraum von April 2017 bis Dezember 2019 ihre individuelle Bewegungsaktivität mit Hilfe von insgesamt 48 HDX-Antennen zu erfassen, die zuvor in den 8 Fischaufstiegshilfen an den Staustufen Augst-Wyhlen, Rheinfelden, Ryburg-Schwörstadt und Säckingen installiert worden waren.

Die HDX-Technik arbeitete sehr zuverlässig. Betriebsstörungen beschränkten sich auf 6,7 % der Betriebszeit der HDX-Anlagen und die Lesequote der HDX-Antennen erreichte im Mittel 94 %; wobei 12 x 2 mm kleine Transponder tendenziell schlechter detektiert wurden, als 23 bzw. 32 x 3,9 mm grosse PIT-Tags.

Die **Redetektionsquote**, d. h. der Anteil jener transpondierten Fische, die mindestens einmal von einer HDX-Antenne registriert wurden, betrug 24,7 %. Überdurchschnittlich hoch war sie bei Brachsme, Hasel, Barbe und Egli, vergleichsweise gering hingegen bei Rotaugen und Gründling. Bemerkenswert ist, dass von mehr als 2.000 im Unterwasser der Staustufe Augst-Wyhlen markierten Kessler- und Schwarzmundgrundeln keine auch nur ein einziges Mal an einer Antenne registriert wurde. Dies bedeutet allerdings nicht, dass nicht zumindest Einzelexemplare dieser Arten Fischaufstiegshilfen gelegentlich nutzen, woraus über die Zeit eine allmähliche, stromauf gerichtete Propagation resultiert.

Die zeitgenaue automatische Protokollierung der Passagen von Fische an HDX-Antennen erlaubt eine detaillierte Aufzeichnung von **Aktivitäts- und Bewegungsmustern**. Es zeigte sich, dass Fischwanderungen im Hochrhein ganzjährig stattfinden, wobei die geringste

Aktivität bei niedrigen, winterlichen Wassertemperaturen herrscht, während Aktivitätsmaxima nicht nur im Frühjahr, sondern auch im Herbst auftraten. Die traditionelle Eingengung der Betrachtung von Fischwanderungen auf die Laichwanderung und die damit verbundene Fokussierung auf das Frühjahr wird somit dem tatsächlichen Wandergeschehen im Hochrhein nicht gerecht. Auch im Tagesverlauf wurden Fischbewegungen rund um die Uhr registriert, wobei artspezifische Muster von ganztägig aktiven sowie von tag-, dämmerungs- und nachtaktiven Arten unterschieden werden können.

Betrachtet man die zeitlich-räumliche Bewegungsaktivität der Fische im Untersuchungsgebiet, dann ergibt sich eine grosse Fülle individuell unterschiedlicher Muster. Dabei wird nur ein geringer Teil der Fische der Vorstellung gerecht, dass es sich bei ihrem Wanderverhalten um eine instinktgesteuerte Reaktion auf einen Strömungsreiz handelt. Vielmehr wird deutlich, dass Fische individuell und situationsbedingt über ihr Verhalten entscheiden. So wurden neben stringenten, geradlinigen Wanderern auch „Trödler“ identifiziert, die zur Überwindung derselben Strecke die vielfache Zeit benötigten oder aber ihre Ortsbewegungen über mehr oder weniger lange Zeit unterbrachen. Häufig wechselten aufwandernde Fische die Uferseiten oder setzten ihre Wanderung nach der erfolgreichen Passage einer Fischaufstiegshilfe im Oberwasser nicht fort, sondern kehrten ins Unterwasser zurück oder bewegten sich stromabwärts, indem sie die Wehre bzw. die Turbinen der Wasserkraftwerke passierten.

Die individuelle Kennzeichnung von Fischen erlaubte eine die Staustufen übergreifende Verfolgung ihrer Ortsveränderungen und damit Aussagen zur **Gesamtdurchgängigkeit** des Hochrhains zwischen Augst-Wyhlen und Säckingen. Hierbei zeigte sich, dass sich der Aktionsradius der markierten potamodromen Fische im Wesentlichen auf eine bis maximal zwei Stauhaltungen beschränkte. Als besonders wanderfreudig erwiesen sich Wels, Brachsme und Barbe. Hingegen wurde die Nase ihrem Ruf als „Wanderfisch“ nicht gerecht, indem sie kaum mehr Staustufen überwand als die Kleinfischarten Laube und Schneider. Lediglich 257, entsprechend 4,8 % der im Unterwasser der Staustufe Augst-Wyhlen besetzten Fische (ohne Grundeln), passierten sämtliche vier Staustufen des Untersuchungsgebietes und erreichten das Oberwasser der Staustufe Säckingen. Von einer Gesamtdurchgängigkeit des Hochrhains kann in diesem Abschnitt zum jetzigen Zeitpunkt somit keine Rede sein. Andererseits belegen externe Detektionen transponierter Fische aus dem vorliegenden Projekt an HDX-Antennenanlagen in der Aare und am

französischen Oberrhein, zumindest für Einzelexemplare weit grössere Wanderdistanzen über mindestens 85 km und 9 Staustufen.

Erstaunlich sind die Geschwindigkeiten, mit denen einige Fische die Distanz zwischen dem Unterwasser Augst-Wyhlen und dem Oberwasser Säckingern passiert haben: Den Rekord hält eine Barbe von 50,5 cm Länge, die hierfür lediglich 30 Stunden benötigte, während etliche Artgenossen ähnlicher Grösse es innerhalb von zwei bis vier Tagen schafften. Nicht weniger verblüffend ist, dass auch einige Rotaugen und Lauben von nur 12,5 bis 16 cm Länge dieselbe Leistung innerhalb weniger als einer Woche erbrachten.

Der Schwerpunkt der Auswertungen für das vorliegende Projekt lag auf der anlagenspezifischen Auswertung der HDX-Daten, um eine nach Auffindbarkeit und Passierbarkeit differenzierte Bewertung der Funktionsfähigkeit der untersuchten Fischaufstiegshilfen vorzunehmen. Hierfür wurden verschiedene Parameter genutzt:

Die **Auffindequote** ist der Anteil der im Unterwasser präsenten Exemplare, die mindestens einmal von den Antennen in einem Fischpass registriert wurden. Im Mittel erreichten die einzelnen Fischaufstiegshilfen bzw. deren Einstiege eine Auffindequote von 37,3 %. Die höchsten Auffindequoten wurden für den Schlitzpass Rheinfelden (CH) mit 26,7 % und den Raugerinne-Beckenpass in Ryburg-Schwörstadt (D) mit 26,2 % ermittelt, gefolgt vom Beckenpass Säckingern (D) mit 20,3 %. Die niedrigsten Quoten von weniger als 5 % ergaben sich für das Umgehungsgewässer, den zugehörigen Ufereinstieg und den Raugerinne-Beckenpass in Rheinfelden (D), sowie für den Fischlift Wyhlen (D). Allerdings ist zu berücksichtigen, dass sich die Auffindequoten der einzelnen Einstiege und Fischaufstiegshilfen einer Staustufe addieren, weshalb das Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D) mit seinen vier Einstiegen den übrigen untersuchten Fischaufstiegshilfen deutlich überlegen ist: Hier summiert sich die Auffindequote der Einstiege auf fast 50 %. Überdurchschnittlich hohe artspezifische Auffindequoten erreichten die Arten Alet, Barbe und Brachsme, während diejenige für Schneider, Rotaugen und Gründling besonders niedrig waren. Die Auffindequote stieg mit zunehmender Grösse eines Fisches und war bei mittleren Wassertemperaturen zwischen ca. 14 bis 20 °C besonders hoch, wie auch bei mittleren Abflüssen des Rheins um 1.100 bis 1.300 m³/s.

Als zweiter Parameter zur Bewertung der Auffindbarkeit lässt sich anhand der HDX-Daten die **Auffindedauer** ermitteln, also die Zeitdifferenz zwischen dem Besatz eines Fisches bzw. seinem Aufstieg über die stromab gelegenen Staustufe bis zu seiner erstmaligen Detektion innerhalb der nächst gelegenen Fischaufstiegshilfe. Die Bewertung dieses Parameters wird durch enorm streuende Werte erschwert, denn die schnellsten Individuen benötigten nicht einmal einen Tag, um eine Fischaufstiegshilfe zu erreichen, während andere Exemplare dort erst nach mehr als einem Jahr erstmalig registriert wurden. Die Auffindedauer ist auch bei vielen Exemplaren verlängert, die offensichtlich im Gewässer umher „trödeln“, weshalb bis zu ihrer erstmaligen Redetektion weit mehr Zeit als notwendig verstreicht.

Bildet man Stunden-Klassen für die ermittelten Zeiten der Auffindedauer und stellt deren Häufigkeitsverteilung graphisch dar, dann ergibt sich eine sogenannte Gammafunktion, deren Maximalwert die mittlere Auffindedauer der motivierten Exemplare angibt. Dieser Wert, der über die Kurvengleichung berechnet werden kann, ist nicht von den Trödlern beeinflusst und ändert sich auch nicht über die Beobachtungszeit. Er repräsentiert vielmehr die Auffindedauer der jeweiligen Fischaufstiegshilfe und ist somit ein geeigneter Parameter für die Bewertung von deren Funktionsbewertung.

Die auf diese Weise ermittelte Auffindedauer der motivierten Exemplare war für die Raugerinne-Beckenpässe Wyhlen (D) und Ryburg-Schwörstadt (D) mit nur 11 bzw. 14 Stunden am geringsten. Etwa einen Tag benötigten die Fische, um den Einstieg der Schlitzpässe in Rheinfelden (CH) und Ryburg-Schwörstadt (D) aufzufinden. Der höchste Wert von 60 Stunden als Beleg für eine besonders schlechte Auffindbarkeit kennzeichnet hingegen das Umgehungsgewässer (D) in Rheinfelden.

Die artspezifische Auffindedauer betrug für die meisten Arten etwa einen Tag. Nur der Schneider benötigte fast die doppelte Zeit. Auch die Fischgrösse, die Wassertemperatur und der Abfluss des Hochrheins zeigten einen deutlichen Einfluss auf die Auffindedauer.

Als Parameter für die Bewertung der Passierbarkeit wurde zunächst die **Passagequote** herangezogen, also der Anteil der in eine Fischaufstiegshilfe hineingeschwommen transponierten Fische, die erfolgreich das Oberwasser erreicht haben. Diese Quote erreichte im Mittel aller betrachteten Fischaufstiegshilfen 71,1 % und war somit wesentlich höher, als die Auffindequote. Dies bedeutet, dass die Funktionsfähigkeit der am Hochrhein untersuchten Fischaufstiegshilfen in weit stärkerem Masse von einer eingeschränkten

Auffindbarkeit limitiert wird, als von Mängeln bezüglich ihrer Passierbarkeit vom Unter- zum Oberwasser.

Es zeigten sich allerdings deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Fischaufstiegs-hilfen. Die besten Passagequoten von 80 bis 90 % erreichten das Umgebungsgewässer Rheinfelden (D), die Schlitzpässe in Rheinfelden (CH) und Augst (CH) sowie der Becken-pass Säckingen (D). Auch bei den anderen Anlagen lag die Passagequote immerhin bei über 50 %. Deutlich aus dem Rahmen fiel der Fischlift Wyhlen (D), denn er wurde lediglich von 2,3 % der Fische passiert, die an seinem Einstieg registriert worden waren.

Unter den verschiedenen Arten erreichten Alet, Barbe und Brachse die höchsten Passagequoten von 70 bis 80 %; besonders schlecht schnitt der Gründling ab, bei dem gerade einmal ein Drittel der eingeschwommenen Exemplare das Oberwasser erreichte.

Die **Passagedauer** ist der zweite Parameter, der für die Bewertung der Passierbarkeit genutzt wurde. Ebenso wie bei der Auffindedauer wurden wiederum Gammafunktionen gebildet, deren Maximalwert als Mass für die Passagedauer der motivierten Exemplare herangezogen wurde. Die geringste Passagedauer von etwa anderthalb Stunden wurde auf diese Weise für den Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) und den Beckenpass Säckingen (D) ermittelt. Nicht verwunderlich ist, dass die Passage des Umgebungsgewässers Rheinfelden (D) und des Umgehungsgerinnes Ryburg-Schwörstadt (D) die doppelte bzw. sogar die vierfache Zeit erforderte, denn dort waren jeweils mehr als 1.000 m gegen- über maximal 300 m an den anderen Standorten zu durchschwimmen.

Als weiterer Parameter wurde die **Passagegeschwindigkeit** ermittelt, d. h. die Geschwin- digkeit über Grund, die die Fische bei der Passage des jeweiligen Fischpasses erreichten. Diese war im Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D) mit mehr als 300 m/h am höchsten, während sie in den meisten anderen Anlagen etwa 100 m/h erreichte. Besonders langsam waren die Fische im Schlitzpass Augst (CH) mit nur 50 m/h. Beeinflusst wurde die Passagedauer- und Geschwindigkeit wiederum durch artspezifische Unterschiede, die Körpergrösse der Fische sowie die Wassertemperatur.

Letztlich entscheidend für die Funktion von Fischaufstiegshilfen ist vor allem deren **Effizienz**, also der Anteil der im Unterwasser präsenten Fische denen es gelingt, das Oberwasser zu erreichen. Dieser Parameter errechnet sich durch Multiplikation der Auffinde- mit der Passagequote. Das Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D) erzielte hierbei mit einer Quote von 30 % den besten Wert, gefolgt vom Schlitzpass Rheinfelden (CH) mit 22 %. Immerhin mehr als 10 % der Fische erreichten und passierten den Beckenpass Säcking (D) und den Schlitzpass Augst (CH). Deutlich weniger als 10 % waren es im Falle des Umgebungsgewässers Rheinfelden (D). Die mit Abstand schlechteste Bewertung entfällt mit einer Effizienz von nur 0,1 % auf den Fischlift Wyhlen, was bedeutet, dass es von 1.000 Fischen im Unterwasser nur einem einzigen Exemplar gelang, über diese Fischaufstiegshilfe das Oberwasser zu erreichen.

Für eine vergleichende **Gesamtbewertung der Funktionsfähigkeit** der beproben Fischaufstiegshilfen wurde für jeden der o. a. Parameter der Bestwert ermittelt, sowie die anlagenspezifische prozentuale Abweichung davon. Durch Mittelwertbildung ergibt sich daraus folgende Rangfolge:

1. Mit grossem Abstand entfällt die beste Bewertung auf das Umgehungsgerinne in Ryburg-Schwörstadt (D). Entscheidend hierfür ist die beste aller Auffindequoten, was auch auf die Effizienz durchschlägt. Den dritten Bestwert erhält diese Fischaufstiegshilfe für die Passagegeschwindigkeit, die mehr als doppelt so hoch ist, wie an den anderen Standorten.
2. Für den Schlitzpass Rheinfelden (CH) zeigt sich ein sehr ausgewogenes Bild: Er erreicht zwar bei keinem einzigen Parameter den Bestwert, allerdings belegt er viermal den zweiten Platz und zeigt bei keinem Parameter deutliche Schwächen.
3. Kaum schlechter zu bewerten ist der Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D). Bei dieser Fischaufstiegshilfe stehen Bestwerten für die Auffinde- und Passagedauer relativ schlechte Werte bezüglich der Auffinde- und Passagequote und folglich auch der Effizienz gegenüber.
4. Der Beckenpass in Säcking (D) erreicht vergleichsweise gute Werte hinsichtlich der Passagequote und -dauer. Bezüglich der Auffindbarkeit weist er jedoch deutliche Schwächen auf, zumal nur ein einziger, weit ins Unterwasser vorgebauter Einstieg vorhanden ist.

5. Unwesentlich schlechter fällt die Bewertung des Schlitzpasses Augst (CH) aus. Dem Bestwert bezüglich der Passagequote steht allerdings eine relativ geringe Auffindequote gegenüber. Hieraus resultiert insgesamt eine mässige Effizienz. Negativ zu Buche schlägt vor allem die geringste aller ermittelten Passagegeschwindigkeiten.
6. Der Raugerinne-Beckenpass Rheinfelden (D) ist ungünstig positioniert und zudem nur mit einem geringen Abfluss dotiert. Entsprechend gering ist seine Auffindequote. Auch die Passagequote ist gering, woraus sich eine minimale Effizienz errechnet.
7. Obwohl für das Umgehungsgewässer Rheinfelden (D) die höchste Passagequote festgestellt wurde, erreicht es doch nur den vorletzten Rang. Dies ist den sehr schlechten Werten für die Auffindbarkeit geschuldet, die aus der Lage der Einstiege fernab der Hauptströmung resultieren.
8. Die mit Abstand schlechteste Bewertung entfällt auf den Fischlift Wyhlen (D). Dessen Auffindequote ist minimal, ebenso wie die Passagequote. Die Effizienz ist folglich so gering, dass sie sich nur in Prozentbruchteilen ausdrücken lässt.

Der parallele Betrieb der HDX-Anlagen und der Fanggeräten der herkömmlichen Aufstiegszählungen während der Fangkampagnen im Frühjahr und Herbst 2017 sowie im Herbst 2018 erlaubte es, die Wirksamkeit der eingesetzten Reusen und Zählbecken sowie deren Einfluss auf das Aufstiegs geschehen in den Fische aufstiegshilfen zu untersuchen. Es bestätigten sich die Erfahrungen aus früheren Untersuchungen, dass es beim Einsatz von Kastenreusen zu beträchtlichen **Schädigungen der darin gefangenen Fische** kommen kann. Im Fall der Reuse im Beckenpass Birsfelden war das Ausmass der Schädigungen so gross, dass dieses Fanggerät ausser Betrieb genommen wurde. Demgegenüber erwies sich der Fang von Fischen in Zählbecken als wesentlich schonender.

Die Eignung konventioneller Fanggeräte zur Überprüfung des Aufstiegs geschehens für die Funktionsbewertung von Fische aufstiegshilfen wird dadurch in Frage gestellt, dass sich die **Fängigkeit** dieser Geräte als sehr gering erwiesen hat: Von denjenigen Fischen, deren Aufstieg mittels HDX-Technik bis in den Fangbereich belegt ist, wurden im Mittel nur 16 % tatsächlich in den Fanggeräten nachgewiesen. Demnach entzogen sich von 6 aufgewanderten Exemplaren 5 einem Nachweis, indem sie ins Unterwasser zurückkehrten oder die Bergung der Reusen während der Kontrollen nutzten, um unentdeckt ins Oberwasser zu entkommen. Während die Fangquote der Reusen im Schlitzpass Augst (CH) und im

Beckenpass Säcking (D) 23 bzw. 15 % erreichte, war sie im Falle der Zählbecken im Umgehungsgewässer (D) und im Schlitzpass (CH) Rheinfeld mit 7 bzw. 8 % um die Hälfte bzw. zwei Drittel geringer. Der vergleichsweise fischschonende Fang in Zählbecken wird somit durch eine nochmals deutlich schlechtere Fangquote erkauft, als die von Reusen.

Insgesamt wird das Ergebnis konventioneller Aufstiegszählungen mit Reusen und Zählbecken folglich in wesentlich stärkerem Masse durch methodische Mängel geprägt, als durch das tatsächliche Aufstiegsgeschehen. Zudem werden insbesondere in Zählbecken auch Fische gefangen, die gar nicht aus dem Unterwasser stammen, sondern aus dem Oberwasser eingeschwommen sind bzw. verdriftet wurden. Solche Befunde bilden somit keine belastbare Basis für eine Funktionsbewertung von Fischaufstiegshilfen. Konventionelle Fanggeräte sind auch dadurch problematisch, dass ihre Exposition die Hydraulik der Fischaufstiegshilfe erheblich beeinträchtigt und eine Zeitverzögerung für aufsteigende Fische im Mittel von 33 Stunden verursacht. Zudem führte ihr Einsatz in zwei Drittel der Fälle zu einem Abbruch der Aufstiegsversuche.

Durch Einsatz der HDX-Technik lassen sich solche methodischen Fehler vermeiden, denn die Bewegungsaktivität der ein Leben lang durch PIT-Tags individuell markierten Fische kann berührungsfrei, rund-um-die-Uhr und bei allen Umweltbedingungen zeitlich und räumlich präzise erfasst werden. Wie die vorliegenden Ergebnisse des Projekts „PIT-Tagging Hochrhein“ belegen, resultiert aus der Anwendung der HDX-Technik eine Fülle belastbarer Daten, die eine wesentlich zuverlässigere und detailliertere Bewertung der Funktionsfähigkeit von Fischaufstiegshilfen erlauben, als ein konventionelles Monitoring unter Einsatz von für Fische gefährlichen Fangtechniken.

2 VERANLASSUNG

In den Jahren 1985, 1995 und 2005 fanden am Hochrhein jeweils über einen Jahresgang koordinierte Fischaufstiegszählungen an zahlreichen Staustufen statt (STAUB & GERSTER 1992, GERSTER 1998, GUTHRUF 2008). Diese Untersuchungen erbrachten für die meisten Fischaufstiegshilfen eine schlechte Bewertung der Funktionsfähigkeit, lieferten aber kaum konkrete Anhaltspunkte für die Ursachen. Unklar blieb vor allem, ob eine mangelnde Auffindbarkeit und/oder eine ungenügende Passierbarkeit verantwortlich waren. Vor allem lässt sich der Faktor der Auffindbarkeit anhand der Ergebnisse aus konventionellen Aufstiegszählungen kaum einschätzen, da dieses Vorgehen keine Informationen u. a. hinsichtlich der Ausbildung der Leitströmung am Auslauf der Anlage gibt. Allenfalls liefert ein Vergleich der konstruktiv/hydraulischen Ausführung einer Fischaufstiegshilfe mit dem Stand der Technik, wie solche Bauwerke zu konstruieren sind (DWA 2014), gewisse Hinweise. Dies war vermutlich ein Grund dafür, weshalb die technischen und biologischen Bewertungen für die einzelnen Fischaufstiegshilfen am Hochrhein zum Teil stark divergierten. Vor diesem Hintergrund bestand ein Bedürfnis, die Wirksamkeit der verschiedenen Anlagen in Hinblick auf Auffindbarkeit und Passierbarkeit differenzierter und belastbarer zu untersuchen und zu beurteilen. Ein weiteres Manko der bisher durchgeführten koordinierten Zählungen besteht darin, dass nur die Überwindung der einzelnen Staustufen erfasst werden konnte, nicht jedoch die stauübergreifenden, grossräumigen Ortsveränderungen von Fischen. Eine geeignete Methode für die Untersuchung solcher Fragestellungen stellt die RFID-Technik (Radio Frequency IDentification) dar, die auf der individuellen Markierung von Fischen mit Tiertranspondern basiert, was auch als PIT-Tagging bezeichnet wird.

Nachdem im Rahmen eines Vorprojekts von PETER et al. (2016) grundsätzliche Fragen zur technischen Einsetzbarkeit der RFID-Technik mittels des HDX-Verfahrens (Half Duplex) geklärt worden waren, beauftragte die Sektion „Lebensraum Gewässer“ des eidgenössischen Bundesamtes für Umwelt (BAFU) das Institut für angewandte Ökologie mit der vorliegenden Freilandstudie, um die Fischwanderungen in einem ca. 26 km langen Abschnitt des Hochrheins mit den Staustufen Augst-Wyhlen, Rheinfelden, Ryburg-Schwörstadt und Säckingen zu untersuchen. Hierfür wurden knapp 20.000 Fische mit HDX-Transpondern individuell markiert, um deren Ortsveränderungen mit Hilfe von insgesamt 48 Antennen in und über die Fischaufstiegshilfen an diesen Staustufen überwachen zu können. Das Projekt lief von Oktober 2016 bis März 2020 über insgesamt 42 Monate, wobei die Datenaufnahme von April 2017 bis Dezember 2019 erfolgte.

3 VORAUSSETZUNGEN FÜR DIE PROJEKTDURCHFÜHRUNG

3.1 MARKIERUNG VON FISCHEN MIT PIT-TAGS

Die Markierung von Wildfischen mit PIT-Tags unter Narkose stellt sowohl nach dem schweizerischen (TSchG 2006), als auch dem deutschen Tierschutzgesetz (TierSchG 2013) ein genehmigungspflichtiges Tierversuchsvorhaben dar. Deshalb wurden zu Projektbeginn im September 2016 entsprechende Anträge zur Markierung von jeweils bis zu 25.000 Fischen mit PIT-Tags bei den zuständigen Veterinärbehörden des Schweizer Kantons Aargau und des deutschen Regierungspräsidiums Freiburg eingereicht. Für die Schweizer Rheinseite wurde die Bewilligung mit dem Aktenzeichen Nr. 75639 und die Genehmigung für die deutsche Rheinseite mit dem Aktenzeichen 35-9185.81/G-16/161 erteilt. Daran gebunden war die Auflage, dass über die jeweiligen Tierversuchsvorhaben den Behörden ein Bericht vorzulegen ist, was nach Abschluss der Markierungskampagnen erfolgte. Die Kennzeichnung der Fische mit PIT-Tags wurde grundsätzlich von entsprechend geschulten und nach den Regeln der FELASA (Federation of European Laboratory Animal Science Associations) zertifizierten wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts für angewandte Ökologie ausgeführt.

3.2 INFORMATION POTENTIELLER KONSUMENTEN

Im Sinne des Verbraucherschutzes besteht eine Verpflichtung, das Vorkommen markierter potentieller Speisefische in offenen Gewässern sowie die Art der Kennzeichnung öffentlich bekannt zu machen. Dies erfolgte sowohl mit einem Informationsschreiben an alle Fischereivereine am Hochrhein sowie mit dem Artikel „Achtung bitte! In Elbe, Wupper, Diemel und Hochrhein schwimmen Fische mit Personalausweis“ im Fachjournal „Fischer & Teichwirt“ (LÖSER & ADAM 2017). Darüber hinaus berichteten im Jahr 2017 u. a. der Südkurier und der Aargauische Fischereiverband über das Markierungsprojekt am Hochrhein. Im Rahmen dieser Artikel wurden die Leser darüber informiert, dass jeder, der einen PIT-Tag z. B. beim Ausnehmen eines Fisches findet und mit Angabe zu Fangort und Fangdatum sowie ggf. zu Länge und Gewicht des Fisches dem Institut für angewandte Ökologie einsendet, eine Prämie von 20 € erhält.

3.3 ARBEITSSICHERHEIT

Das Arbeiten auf Kraftwerksgeländen und an wasserbaulichen Anlagen ist grundsätzlich gefährlich und erfordert ein stets umsichtiges und verantwortungsvolles Verhalten. Alle Mitarbeiter des Instituts für angewandte Ökologie sind unfall- und haftpflichtversichert, und im Arbeiten an potentiell gefährlichen Orten geschult und erfahren. Kraftwerksgelände werden stets nur im Team, bestehend aus mindestens zwei Mitarbeitern und über sichere Zuwegungen betreten. Jedem Mitarbeiter steht eine persönliche Schutzausrüstung zur Verfügung, die aus Arbeitsschuhen, einer automatischen Schwimmweste, Helm und Warnweste besteht. Die Arbeitsteams führen stets ein Mobiltelefon in Bereitschaft und für den Notfall mit sich.

Die Arbeiten zur Installation und Demontage der HDX-Anlagen wurden unter Aufsicht und Weisung der vor Ort zuständigen Kraftwerksführer durchgeführt; verschiedentlich stellten die Kraftwerksbetreiber sogar entsprechende Arbeitsgeräte zur Verfügung (Abb. 1).

Abb. 1:

Der Energiedienst stellte freundlicherweise ein Arbeitsboot für die sichere Installation von HDX-Antennen im Schlitzpass Rheinfelden (CH) zur Verfügung



3.4 ZOLL

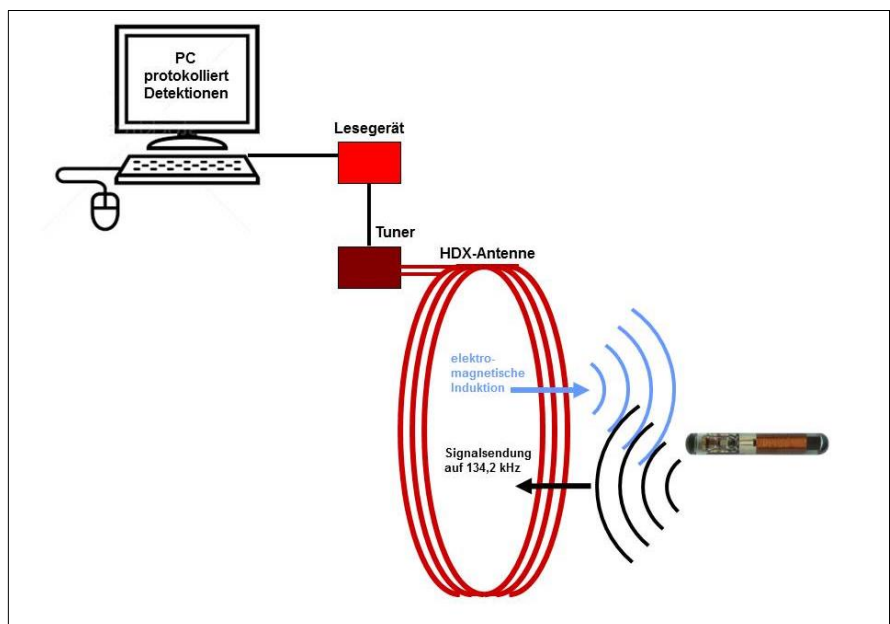
Die für die Durchführung des Projekts auf Schweizer Seite für die Kraftwerke Augst und Rheinfelden benötigten elektrotechnischen Komponenten, Messgeräte sowie Verbrauchsmaterialien wurden gemäss der zollrechtlichen Bestimmungen zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Schweiz über den Zollhof Rheinfelden eingeführt. Mit Beendigung des Projekts wurde beim Zollhof ein ZAVV Freipass zur Löschung der dort dokumentierten elektrotechnischen Komponenten beantragt. Sämtliche eingeführten Materialien wurden im Februar 2020 wieder nach Deutschland ausgeführt.

4 METHODEN

4.1 FUNKTIONSPRINZIP DER PIT-TAG-TECHNOLOGIE

Bei der als PIT-Tag bezeichneten Technologie handelt es sich präzise um das HDX (Half Duplex) Verfahren, eine physikalische Variante der RFID-Technologie (Radio Frequency IDentification) (FINKENZELLER 2015). Das Funktionsprinzip besteht vereinfacht beschrieben in der Interaktion eines HDX-Transponders auf einer Funkfrequenz von 134,2 kHz mit einer zugehörigen HDX-Antenne (Abb. 2): Gelangt ein solcher mit einer Spule für die Energieaufnahme ausgestatteter HDX-Transponder, der im vorliegenden Projekt als PIT-Tag bezeichnet wird, in den Schwingkreis einer HDX-Antenne, wird er durch magnetisch-induktive Kopplung aktiviert. Derart energetisch aufgeladen sendet der PIT-Tag nun einen als Signal verschlüsselten Identifikationscode (kurz: ID-Code), der von der Antenne empfangen und an ein Lesegerät weiter geleitet wird. Das Lesegerät entschlüsselt den ID-Code und übergibt denselben mit zusätzlichen Informationen zum Leseereignis, d. h. Datum, Uhrzeit und Adressnummer der Antenne, an einen PC. Damit eine HDX-Antenne den benötigten Schwingkreis aufbauen kann, wird ein Tuner benötigt, der auch die Datenübertragung über eine Twinaxleitung zum Lesegerät steuert.

Abb. 2:
Funktionsprinzip der HDX-
Technologie



Die in den diversen Fischaufstiegshilfen am Hochrhein installierten HDX-Antennen bestanden jeweils aus einem spulenartig, in eine oder mehrere Windungen gelegten multifilen Kabel, wofür Kupferkabel mit unterschiedlichen Querschnitten verwandt wurden.

Die RFID-Technik funktioniert nur, wenn der Schwingkreis der HDX-Antenne perfekt auf die Funkfrequenz des PIT-Tags abgestimmt, d. h. getunt ist. Es wurden ausschliesslich sogenannte „schwimm-durch“-Antennen eingesetzt, die so angeordnet waren, dass ihre Spule von passierenden Fischen durchschwommen werden musste (Abb. 3). Da es Fischbewegungen nicht nur an kleinen geometrischen Querschnitten, sondern auch in grossen, naturnahen Gerinnen zu überwachen galt, wurden die Antennen in zwei unterschiedlichen Bauweisen realisiert:

- robuste Rahmenantennen, die insbesondere an geometrischen Betonstrukturen innerhalb der Fischaufstiegshilfen installiert werden konnten (Abb. 4) und
- an Stellen, wo die Befestigung einer unflexiblen Rahmenantenne nicht möglich war, Antennen, die lediglich aus einem Kabel bestanden. Dieses wurde an einem Stahlseil abgehängt und am Gewässergrund mit Hilfe von Sandsäcken fixiert (Abb. 5) oder mithilfe eines Polyamidseils um vier Ösen gespannt.

Alle für das Projekt eingesetzten Antennen waren vom Institut für angewandte Ökologie selbst gebaut, getunt, und installiert worden. Die Antennen wurden regelmässig gewartet sowie bei Bedarf repariert oder ersetzt.

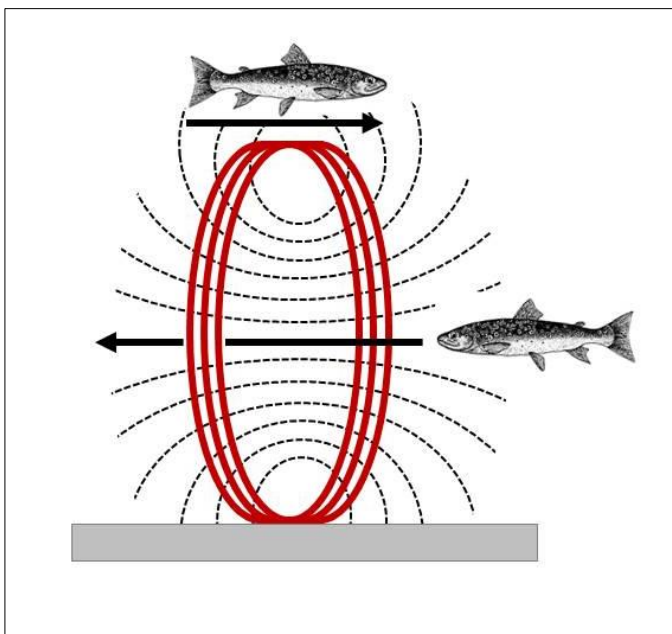


Abb. 3:
Das elektromagnetische Feld einer „Schwimm durch“ Antenne



Abb. 4:
Zwei Rahmenantennen im Schlitzpass Augst (CH)



Abb. 5: Zwei Seilantennen im Raugerinne-Beckenpass in Rheinfelden (D)

Die für den Betrieb der HDX-Antennen benötigten Tuner waren in spritzwasserdichten Gehäusen eingebaut, die vor Ort möglichst hochwassersicher befestigt worden waren (Abb. 6). An einigen Standorten, an denen zu befürchten war, dass die Tunerboxen geflutet werden können, wurden wasserdichte Umhausungen eingesetzt. Die übrigen für den Betrieb der HDX-Anlagen benötigten technischen Komponenten wie ein Netzteil für die Spannungsversorgung, die zu einer jeden Antenne gehörenden Lesegeräte, ein PC für Steuerung und Datenaufnahme sowie diverse Sicherungsautomaten waren in belüfteten resp. beheizbaren Schaltschränken untergebracht (Abb. 7). Für die Steuerung von HDX-Anlagen verfügt das Institut für angewandte Ökologie über eine eigene Software, mit der wesentlich mehr Antennen gleichzeitig betrieben werden können, als dies handelsübliche Treiber erlauben.

Abb. 6:
Montage einer Tunerbox am
Geländer des Raugerinne-
Beckenpass Wyhlen (D)



Abb. 7:
Schaltschrank am Einlaufbau-
werk des Umgehungsgerinnes
Ryburg-Schwörstadt (D)



4.2 EINSATZ DER PIT-TAG-TECHNOLOGIE AM HOCHRHEIN

Beim Hochrhein handelt es sich um den insgesamt 141 km langen Abschnitt des Rheins zwischen dem Bodensee und Basel (Abb. 8). Auf dieser Strecke liegen insgesamt 11 Staustufen, von denen sich die vorliegende Untersuchung auf die 5 untersten zwischen Birsfelden und Säckingern beschränkte. Während in Birsfelden lediglich der Fang von Fischen für die Markierung mit PIT-Tags erfolgte (Kap. 4.3), wurden an den stromauf folgenden vier Staustufen Augst-Wyhlen, Rheinfelden, Ryburg-Schwörstadt und Säckingern sämtliche 8 dort vorhandenen Fischaufstiegshilfen mit HDX-Antennenanlagen ausgestattet, um Passagen transpondierter Fische über eine Distanz von insgesamt ca. 26 Flusskilometern zu erfassen.

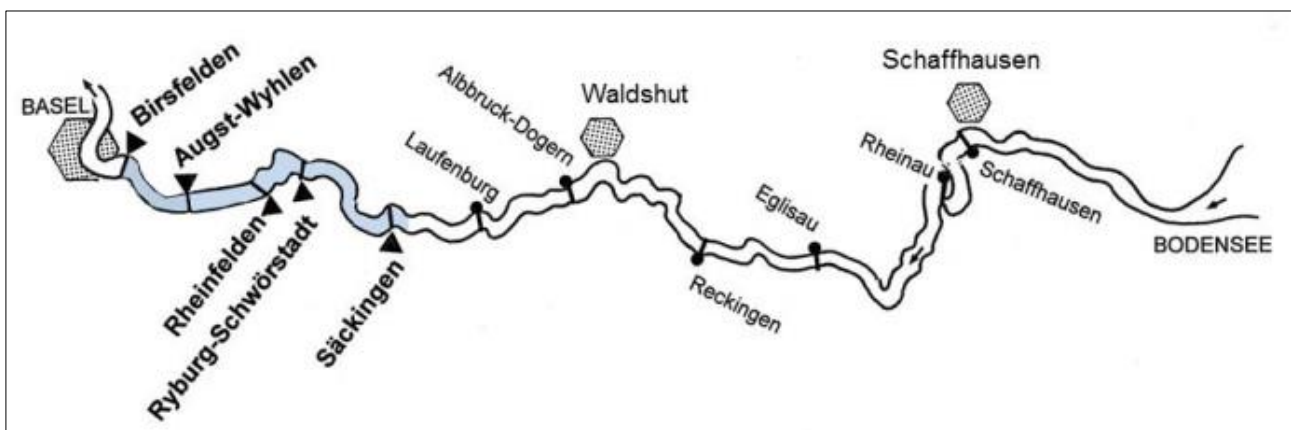


Abb. 8: Das Projektgebiet im Hochrhein (blau unterlegt) zwischen dem Oberwasser der Staustufe Birsfelden und dem Oberwasser der Staustufe Säckingern

RFID-Anlagen zur Detektion von PIT-Tags sind störanfällig gegenüber äusseren elektromagnetischen Feldern, die z. B. durch Starkstromleitungen, Generatoren oder Funk erzeugt werden. Solche als Noise bezeichneten Störeinflüsse können die Funktion der Antennen reduzieren oder sogar vollständig unterbinden. Da sich Noise auf der spezifischen Funkfrequenz von HDX-Antennen nicht einfach mit Messgeräten identifizieren lässt, wurden im Vorfeld der Installation mit einer mobilen HDX-Anlage und einer 1 x 1 m grossen Rahmenantenne sowie einer 5,2 x 0,9 m grossen Seilantenne die Tuningbedingungen vor Ort in den Fischaufstiegshilfen getestet, um die besten Einbaupositionen für die Antennen zu bestimmen.

Dabei wurde nicht nur der Ein- und Ausstieg einer jeden Fischaufstiegshilfe mit einer HDX-Antenne versehen, sondern wo immer möglich, wurde ein Rudel aus zwei aufeinander folgenden Antennen installiert, um nicht nur die Präsenz, sondern auch die Bewegungsrichtung eines transpondierten Fisches erkennen zu können (Abb. 9).

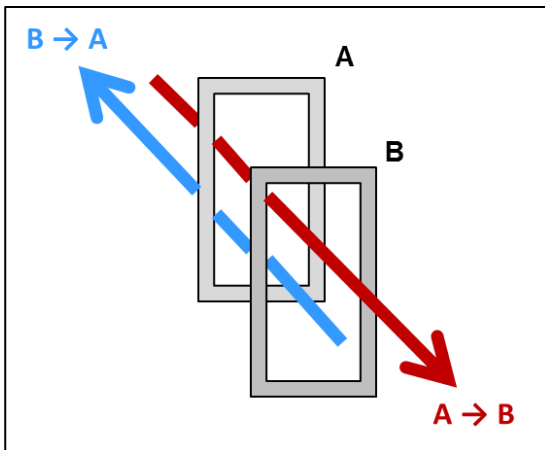


Abb. 9:

Prinzip der Richtungserkennung von Bewegungen mit einem Antennenrudel

Um die Antennen eindeutig zu benennen, wurde jeder Fischaufstiegshilfe zunächst eine zweistellige Nummer zugeteilt: Nr. 10 erhielt der Schlitzpass Augst (CH), Nr. 11 der Fischlift Wyhlen (D), Nr. 12 der Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) usw. Innerhalb der Fischaufstiegshilfen wurden die Antennen sodann aus der Sicht der aufwandernden Fische im Unterwasser mit 1 beginnend, fortlaufend nach stromauf adressiert. Auf diese Weise ergibt sich eine dreistellige Chiffre, die eine Verortung einer jeden Antenne ermöglicht (Tab. 1, Abb. 10). Gemäss der Vortests und -überlegungen wurden im Frühjahr 2017 zunächst 36 HDX-Antennen sehr unterschiedlicher Grösse installiert. Zur differenzierteren Überwachung des Aufstiegsgeschehens wurden im Frühjahr 2019 im Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) sowie in der Fischaufstiegshilfe am Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt (D) weitere 12 Antennen nachgerüstet. Insgesamt kamen neben 12 Seilantennen und 28 aus Eichenholz gefertigten einfachen Rahmenantennen, auch 8 Doppelantennen zum Einsatz. Bei letzteren sind zwei Rahmenantennen mit nur einer Tunerbox und einem Lesegerät zu einer funktionellen Einheit verbunden, so dass registrierte ID-Codes nur einer Antennenadresse zugeordnet werden.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die einzelnen Fischaufstiegshilfen und ihre Ausstattung mit HDX-Antennen beschrieben. Details zur Positionierung und Adressierung der Antennen, ihre Konstruktion und Masse sind Tab. 1 zu entnehmen, eine topographische Übersicht gibt Abb. 10

Tab. 1: Im Projektgebiet installierte HDX-Antennen

Standort	Position	Adresse	Konstruktionstyp	Masse (H x B)
Augst (CH) Beckenpass	Einstieg	101	Rahmenantenne	1,2 x 0,54 m
		102	Rahmenantenne	1,2 x 0,56 m
	Ausstieg	103	Rahmenantenne	1,6 x 0,47 m
		104	Rahmenantenne	1,60 x 0,47 m
Wyhlen (D) Fischlift	Einstieg	111	Rahmenantenne	0,85 x 0,45 m
	Ausstieg	112	Rahmenantenne	0,55 x 0,55 m
Wyhlen (D) Raugerinne- Beckenpass	Einstieg	121	Rahmenantenne	1,80 x 0,45 m
	Einstieg	122	Doppelantenne	l: 1,00 x 0,50 m r: 1,00 x 0,50 m
	Mittelteil	123	Doppelantenne	l: 1,00 x 0,50 m r: 0,95 x 0,60 m
	Mittelteil	124	Doppelantenne	l: 1,05 x 0,60 m r: 1,20 x 0,40 m
	Mittelteil	125	Doppelantenne	l: 1,00 x 0,50 m r: 1,00 x 0,50 m
	Mittelteil	126	Doppelantenne	l: 1,00 x 0,50 m r: 1,00 x 0,50 m
	Ausstieg	127	Doppelantenne	l: 0,95 x 0,60 m r: 1,00 x 0,70 m
	Ausstieg	128	Rahmenantenne	1,10 x 2,20 m
Rheinfelden (CH) Schlitzpass	Einstieg	131	Rahmenantenne	1,70 x 0,60 m
	Einstieg	132	Rahmenantenne	1,70 x 0,60 m
	Ausstieg	133	Rahmenantenne	1,60 x 2,25 m
	Ausstieg	134	Rahmenantenne	1,60 x 2,25 m
Rheinfelden (D) Umgehungs- gewässer	Einstieg	141	Seilantenne	0,80 x 7,00 m
	Einstieg	142	Seilantenne	0,60 x 10,30 m
	Zählbecken, Einstieg	143	Rahmenantenne	1,10 x 1,93 m
	Zählbecken, Einstieg	144	Rahmenantenne	1,50 x 0,32 m
	Fischwehr 01	145	Seilantenne	1,10 x 4,50 m
	Fischwehr 02	146	Seilantenne	0,60 x 8,00 m
	Fischwehr 03	147	Seilantenne	0,60 x 8,00 m
Rheinfelden (D) Raugerinne- Beckenpass	Einstieg	151	Seilantenne	1,00 x 3,60 m
	Einstieg	152	Seilantenne	1,00 x 2,80 m
	Ausstieg	153	Doppelantenne	l: 1,00 x 0,35 m r: 1,00 x 0,35 m
	Ausstieg	154	Doppelantenne	l: 1,00 x 0,30 m r: 1,00 x 0,50 m

Tab. 2: Im Projektgebiet installierte HDX-Antennen (Fortsetzung)

Ryburg-Schwörstadt (D) Umgehungsgerinne	Raugerinne-BP, Einstieg	161	Rahmenantenne	1,80 x 0,80 m
	Raugerinne-BP, Einstieg	162	Rahmenantenne	1,8 x 0,8 m
	Raugerinne-BP, stromab der Schlitzpassanbindung	163	Seilantenne	1,00 x 5,00 m
	Raugerinne-BP, stromab der Schlitzpassanbindung	164	Seilantenne	1,00 x 5,00 m
	Raugerinne-BP, stromauf der Schlitzpassanbindung	165	Seilantenne	1,00 x 5,00 m
	Raugerinne-BP, stromauf der Schlitzpassanbindung	166	Seilantenne	1,00 x 6,30 m
	Schlitzpass, wehrseitiger Einstieg	167	Rahmenantenne	1,60 x 0,80 m
	Schlitzpass, krafthausseitiger Einstieg	168	Rahmenantenne	1,60 x 1,20 m
	Schlitzpass, stromauf des Anschlusses des wehrseitigen Einstiegs, stromab der Zusatzdotations	169	Rahmenantenne	1,60 x 1,20 m
	Schlitzpass, stromauf der Zusatzdotations	170	Rahmenantenne	1,60 x 1,20 m
	Schlitzpass, Ausstieg	171	Rahmenantenne	1,35 x 0,85 m
	Schlitzpass, Ausstieg	172	Rahmenantenne	1,35 x 0,85 m
	Umgehungsgerinne, Ausstieg, Einlauf schmal	173	Rahmenantenne	2,0 x 2,95 m
	Umgehungsgerinne, Ausstieg, Einlauf breit	174	Seilantenne	1,7 x 8,0 m
Säckingen (D) Beckenpass	Tunnel, Einstieg	181	Rahmenantenne	0,95 x 1,3 m
	Tunnel, Einstieg	182	Rahmenantenne	0,95 x 1,3 m
	Ausstieg	183	Rahmenantenne	0,25 x 0,3 m
	Ausstieg	184	Rahmenantenne	0,45 x 0,35 m
	Ausstieg	185	Doppelantenne	l: 0,25 x 0,3 m r: 0,45 x 0,35 m

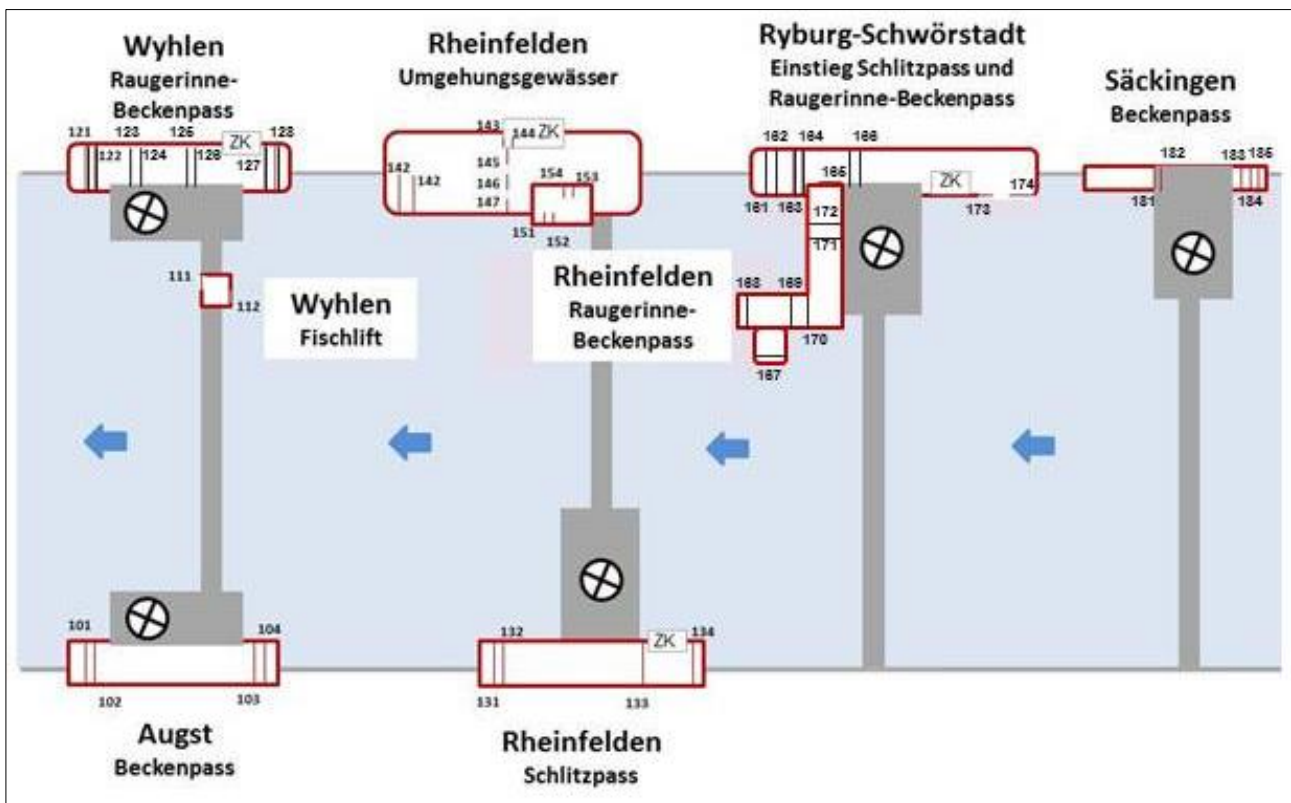


Abb. 10: Position und Adressen der HDX-Antennen in den untersuchten Fischaufstiegshilfen

4.2.1 Staustufe Augst-Wyhlen

Die Staustufe Augst-Wyhlen wurde in den Jahren 1908 bis 1912 erbaut. Das Wehr hat eine Länge von 212 m und besteht aus 10 Schützen. Uferseitig schliesst sich je ein Wasserkraftwerk an, das im 90°-Winkel zur Strömungsrichtung im Fluss angeordnet ist: Am linken, Schweizer Ufer liegt das Kraftwerk Augst und am rechten, deutschen Ufer das Kraftwerk Wyhlen. Linksufrig existiert zudem eine Schiffsschleuse, dessen Unterwasser durch eine Buhne gegen die Turbinenströmung des Kraftwerks Augst abgeschildert ist. An dieser Staustufe befinden sich insgesamt drei Fischaufstiegshilfen:

- der Schlitzpass Augst (CH) (4.2.1.1),
- der Fischlift Wyhlen (D) (Kap. 4.2.1.2) sowie
- der Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) (Kap. 4.2.1.3).

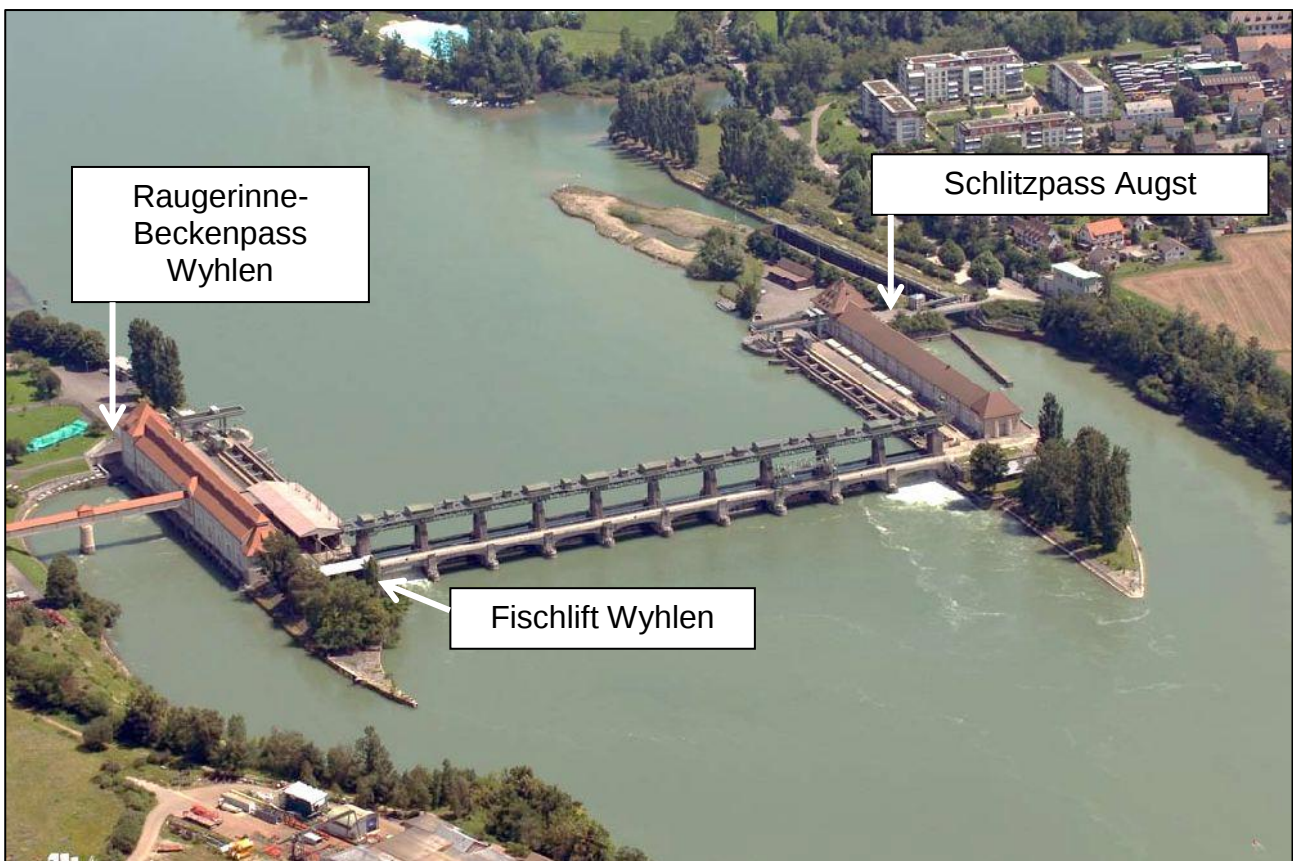


Abb. 11: Die Staustufe Augst-Wyhlen mit dem Wehr, den beiden Wasserkraftwerken, der Schiffsschleuse auf Schweizer Seite sowie den drei Fischaufstiegshilfen

4.2.1.1 Schlitzpass Augst (CH)

Bei der Fischaufstiegshilfe am Kraftwerk Augst handelt es sich um einen im Jahr 2004 errichteten Schlitzpass von ca. 87 m Länge, der mit insgesamt 33 Becken den Gesamthöhenunterschied zwischen Unter- und Oberwasser von 6,75 m überwindet. Die rechnerische Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken beträgt 0,2 m und die Schlitzbreite einheitlich 0,3 m, während die übrigen Dimensionen stark variieren (ZEIER & KRARUP 2007). Der Grund hierfür ist, dass der Fischpass in die bestehende Bausubstanz integriert wurde, um einen in den Jahren 1908 bis 1912 gemeinsam mit dem Kraftwerk errichteten Denil-Pass zu ersetzen, der sich als funktionsunfähig erwiesen hatte (GEBLER 2003, ZEIER & KRARUP 2007). Aus den baulichen Verhältnissen resultiert eine unkonventionelle Bauweise mit gewendelter Trassierung. Die Becken weisen ganz unterschiedliche Breiten von 1,4 bis 3,5 m, Längen von 1,9 bis 4,2 m und Geometrien auf. Die Becken Nr. 20 bis 33 im unteren, gewendelten Abschnitt sind zum Teil aus Stahl gefertigt und weisen grösstenteils einen trapezförmigen Grundriss mit variierender Anordnung der Schlitze auf. Die oberen Becken Nr. 1 bis 19 sind zwar deutlich regelmässiger gestaltet, doch auch hier finden sich unterschiedliche Grundrisse und in Becken Nr. 19 ist das Gerinne um 90° abgewinkelt. Die Wassertiefe in den Becken schwankt zwischen von 1 und 2,4 m. Hieraus resultieren sehr ungleichförmige hydraulische Bedingungen im Verlauf des Schlitzpasses, so dass die Fliessgeschwindigkeiten zum Teil deutlich höher sind, als der aus der mittleren Fallhöhe errechnete Wert von 2,0 m/s. Für die Leistungsdichte bei der Energiedissipation ergeben sich bei einer Dotation von 0,42 m³/s rechnerisch Werte zwischen 49 und 187 W/m³, wobei in einzelnen Becken sehr starke Turbulenzen auftreten, die auf eine deutlich höhere Leistungsdichte hinweisen (Abb. 13). Die Trasse verläuft zumeist getunnelt, der Einstieg mündet unmittelbar neben dem Turbinenauslass (Abb. 12). Hier ist zwar keine Sackgasse zum benachbarten Saugschlauch ausgebildet, doch wird die im rechten Winkel auf die Turbinenströmung prallende Leitströmung sofort zerschlagen, obwohl sie durch eine zusätzliche Bypassleitung um 0,48 m³/s erhöht wird.

Die HDX-Anlage des Schlitzpasses Augst bestand aus insgesamt 4 Antennen. Die Installation des untersten Antennenrudels Nr. 101 und 102 erfolgte am Ein- und Auslaufschlitz von Becken 26, d. h. dem 8. Becken stromauf des Auslaufs. Um den Betrieb der kastenförmigen Fangreuse am Ausstieg zum Oberwasser nicht zu behindern, konnten die HDX-Antennen Nr. 103 und 104 erst an den Schlitzen der Trennwände des abstrom folgenden Beckens angebracht werden (Abb. 14). Alle HDX-Antennen wurden von einem Schaltschrank aus gesteuert, der witterungsgeschützt im Tunnel installiert war.

Abb. 12:
Position der HDX-Antennen im
Schlitzpass Augst (CH)

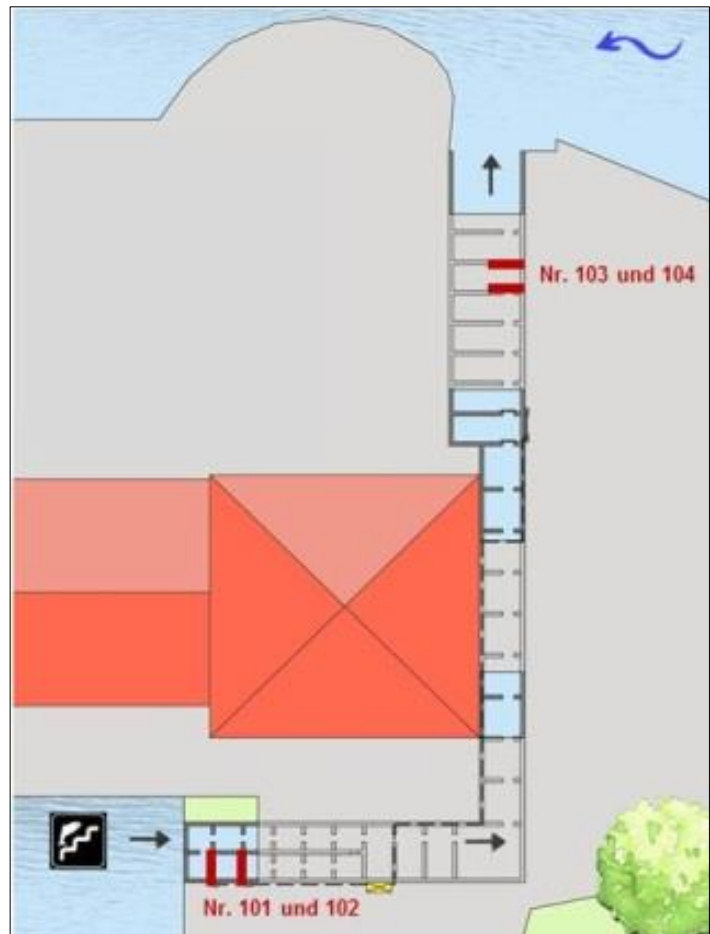


Abb. 13: Antennen Nr. 101 und 102



Abb. 14: Antennen Nr. 103 und 104

4.2.1.2 Fischlift Wyhlen (D)

In Wyhlen wurde im Jahr 2005 im Unterwasser des Wehres ein Fischlift in Form eines 16 m hohen offenen Turms errichtet, der den 1912 gemeinsam mit dem Kraftwerk in Betrieb genommenen Denil-Pass ersetzte. Die ehemalige Fischtreppe war schon ein Jahr nach ihrem Bau von KRAUTINGER (1913) und später von GERSTER (1998) als nicht funktionstüchtig bewertet worden. Die aktuelle, 0,85 m x 0,45 m grosse, mit einem Schütz verschliessbare Einstiegsöffnung in den Fischlift liegt in einer mit einer Metalltafel verschlossenen Nische der Ufermauer (Abb. 15). Damit die Fische den Einstieg in den Fischlift finden, wird die Öffnung über eine akzessorische Dotationswasserleitung mit einem Abfluss von 1,2 m³/s beaufschlagt. Hinter der Einstiegsöffnung schliesst sich der Liftschacht an, wo in ein- bis dreistündigem Turnus eine 2,5 x 2,5 m grosse und 1,5 m hohe Transportwanne verfahren und am Endpunkt in eine 0,6 m breite und tiefe Kunststoffrinne entleert wird, über die die Fische dann selbstständig die letzten Meter bis ins Oberwasser schwimmen sollen.

Am Fischlift wurden sowohl die Einstiegsöffnung (Nr. 111), als auch die Kunststoffrinne zum Oberwasser (Nr. 112) mit jeweils einer Antenne überwacht (Abb. 16 und Abb. 17), die von einem gemeinsamen Schaltschrank aus gesteuert wurden.

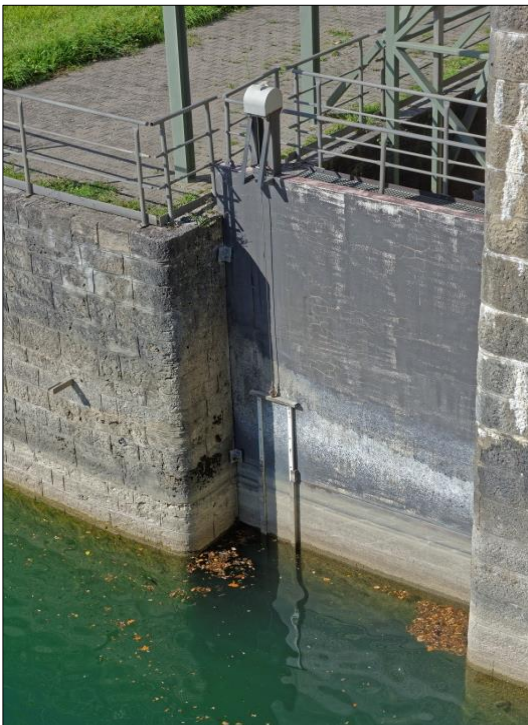


Abb. 15:
Einstiegsöffnung in den Fischlift (D)

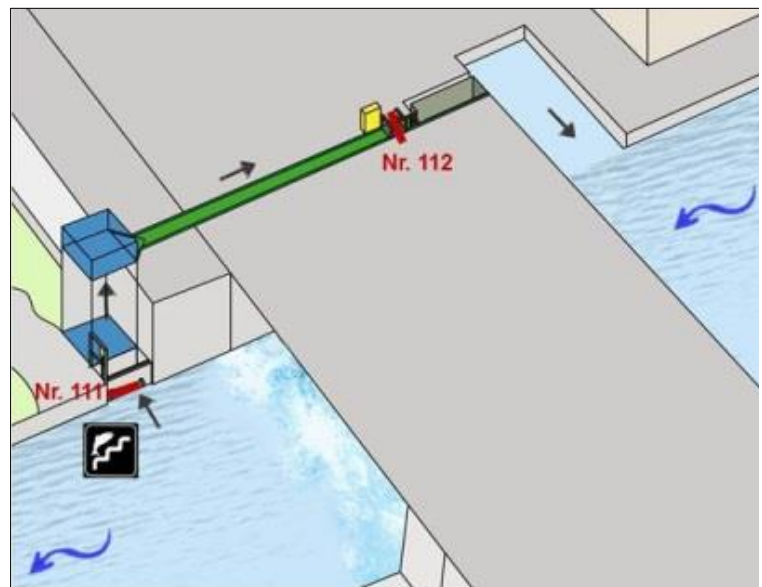


Abb. 16:
Position der Antennen Nr. 111 und 112

Abb. 17:

Antenne Nr. 112 in der Kunststoffrinne zum Oberwasser



Aufgrund von Wartungsarbeiten und während des Einbaus einer neuen Dotierturbine am Kraftwerk Wyhlen, war der Fischlift während der Projektlaufzeit über längere Zeit ausser Betrieb, weshalb die HDX-Antennenanlage vom 16. Juni 2017 bis zum 17. Mai 2018 nicht betrieben werden konnte.

4.2.1.3 Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D)

Der ehemalige Beckenpass am Wasserkraftwerk Wyhlen galt als defizitär, weil er ca. 30 m vom Turbinenauslauf entfernt ins Unterwasser mündete, Höhenunterschiede zwischen den Becken von 0,25 m aufwies und mit einer glatten Betonsohle ausgestattet war. Deshalb wurde er im Jahr 2008 zu einem Raugerinne-Beckenpass umgebaut. Im Ausstiegsbereich wurde diese modifizierte Fischeufstiegshilfe mit einem Zählbecken ausgestattet, um die bisher bei Fischzählungen unter Verwendung von Fangreusen aufgetretenen Verletzungen und Verluste der Aufsteiger bei künftigen Monitoringuntersuchungen zu verhindern (ULRICH 2010).

Im Rahmen des Umbaus wurde das Gerinne von 106 auf 140 m verlängert und die Beckenzahl auf 39 erhöht, um den Gefällesprung auf 0,17 m zu verringern. Zudem wurden die aus Beton bestehenden Trennwände zwischen den Becken durch schräg zum Querschnitt angeordnete Riegel aus Natursteinen ersetzt, die jeweils alternierend einen

ca. 0,3 m und einen ca. 0,2 m breiten Durchlass aufweisen. Die Wasserspiegelbreite des Gerinnes beträgt 3,1 bis 4,5 m und seine Sohle wurde mit rauem Substrat ausgestattet. Die Dotation des Raugerinne-Beckenpasses beträgt 0,55 m³/s. Zur Verbesserung der Auffindbarkeit wurde die Einstiegsöffnung in den unmittelbaren Bereich des Turbinenauslaufs verlegt und eine Bypassleitung installiert, die den Mündungsschlitz mit einem zusätzlichen Abfluss von 1 m³/s beaufschlagt (ULRICH 2010). Im Mai 2018 sind nach einer etwa 10-monatigen Bauzeit zwei neu eingebaute Dotierturbinen in Betrieb gegangen, die die Leitströmung zusätzlich verstärken.

Eine Überwachung der Fischbewegungen über diese Fischaufstiegshilfe erforderte jeweils den Einbau eines HDX-Antennenrudels im Einstiegsbereich sowie eines weiteren Rudels vor dem oberwasserseitigen Ausstieg (Abb. 18). Aufgrund des stark schwankenden Unterwasserspiegels sowie den zu erwartenden Baumassnahmen für den Einbau der Dotierturbinen wurde das untere Rudel mit den Antennen Nr. 123 und 124 zunächst an den Natursteinriegeln Nr. 6 und 7 stromauf des Auslaufs installiert, wofür Doppelantennen zum Einsatz kamen, um beide Durchlässe abzudecken (Abb. 19).

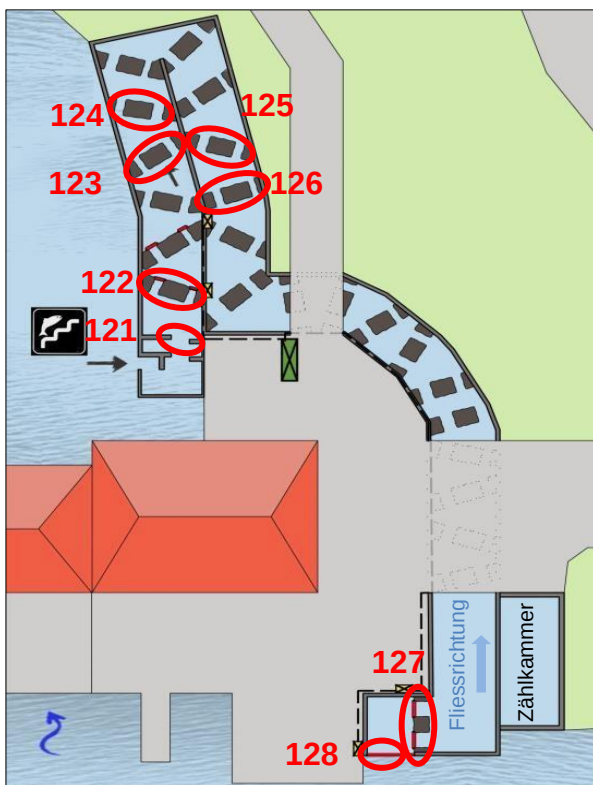


Abb. 18:
Position der Antennen Nr. 121 bis 128 im
Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D)

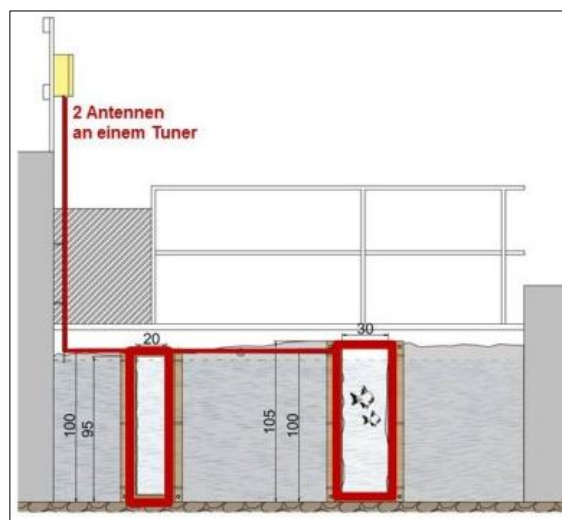


Abb. 19:
Prinzip einer Doppelantenne bestehend
aus zwei Rahmenantennen, die mit einer
gemeinsamen Tunerbox verbunden sind

Nach Abschluss des Einbaus der Dotierturbine wurde 2019 im direkten unterwasserseitigen Einstiegsbereich, also unterhalb von Antenne Nr. 123 und 124 ein weiteres Antennenrudel, Nr. 121 und 122, installiert und Anfang Mai 2019 in Betrieb genommen (Abb. 18 und Abb. 20). Antenne Nr. 121 deckte den zweiten Schlitz stromauf des Fischpassauslaufs ab, während die Doppelantenne Nr. 122 am darauffolgenden, ersten Natursteinriegel installiert war.

Anfang Mai 2019 wurde mit den Doppelantennen Nr. 125 und 126 ein zusätzliches Antennenrudel eingebaut, welches einige Steinriegel stromauf der 180° Kehre des Gerinnes, also oberhalb der Antennen Nr. 123 und 124 positioniert war, um den mittleren Abschnitt des Gerinnes zu überwachen. Antenne Nr. 125 wurde am 15. Steinriegel stromauf des Auslaufs montiert, Antenne Nr. 126 am Steinriegel Nr. 16 (Abb. 18 und Abb. 20).

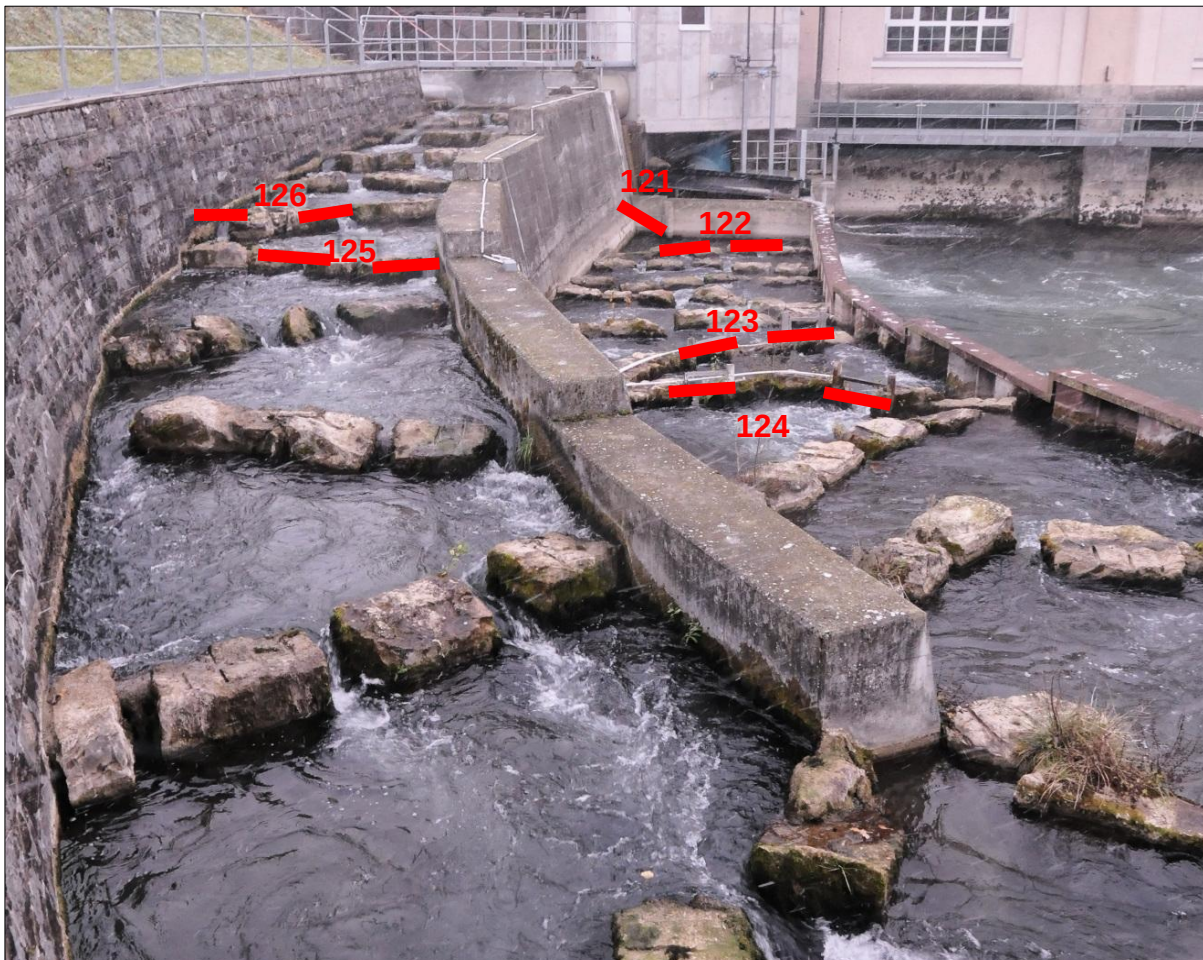


Abb. 20: Übersicht über die Positionen der HDX-Antennen im unteren Abschnitt des Raugerinne-Beckenpasses Wyhlen (D)

Das Antennenrudel am oberwasserseitigen Einlauf bestand aus der Doppelantenne Nr. 127 vor dem letzten Steinriegel stromauf des Zählbeckens und Antenne Nr. 128 direkt am Einlaufschütz (Abb. 21). Der zur Steuerung der HDX-Antennen benötigte Schaltschrank war auf Geländeniveau nahe dem Krafthaus aufgestellt.

Während des Einbaus einer neuen Dotierturbine am Krafthaus waren die HDX-Anlage ausser Betrieb genommen und die Datenkabel der abstromigen Antennen demontiert worden, so dass Redetektionen transpondierter Fische über einen Zeitraum von ca. 10 Monaten vom 31. Juli 2017 bis 24. Mai 2018 nicht möglich waren.

Abb. 21:

Einlauf in den Raugerinne-Beckenpass
Wyhlen (D) mit Antenne Nr. 128 bei
gelenztem Gerinne



4.2.2 Staustufe Rheinfelden

In Rheinfelden wurde in den Jahren 1895 bis 1898 eine der ersten Staustufen im Hochrhein mit einem Wasserkraftwerk am rechten, deutschen Ufer erbaut (FUST & REIF 2013). Nach mehr als hundert Jahren wurden Wehr und Kraftwerk durch Neubauten ersetzt. Dabei wurde das Stauziel um 1,4 m angehoben und die Stauhöhe insgesamt von 6,0 auf 9,1 m erhöht. Der Neubau des Kraftwerks erfolgte am linken Ufer auf Schweizer Seite. Gegenüber der Altanlage wurde der Ausbaudurchfluss von 600 auf 1.500 m³/s mehr als verdoppelt, woraus sich in Kombination mit der grösseren Fallhöhe eine Verdreifachung der Jahresproduktion ergibt (REIF 2013, ULRICH 2017).

Der Oberwasserkanal des alten Wasserkraftwerks wurde mit ca. 230.000 m³ Aushubmaterial verfüllt und zu einem sogenannten Umgehungsgewässer gestaltet (Kap. 4.2.2.1), das nicht nur dem Fischeaufstieg, sondern auch als Ersatzlebensraum und Laichbiotop für anspruchsvolle Kieslaicher dienen soll (GEBLER & LEHMANN 2013). Hierzu waren im

Wasserbaulabor der Universität Karlsruhe umfangreiche physikalische Modelluntersuchungen durchgeführt worden (Abb. 22). Noch in der Planungsphase setzte sich die Erkenntnis durch, dass das Umgehungsgewässer auf der dem Kraftwerk gegenüberliegenden Uferseite den Fischaufstieg nicht im erforderlichen Umfang bzw. allein sicherstellen kann. Deshalb wurden ein Raugerinne-Beckenpass als zusätzliche Fischaufstiegshilfe an der rechten Wehrseite mit Anschluss an das Umgehungsgerinne (Kap. 4.2.2.2) und ein Schlitzpass am neuen Wasserkraftwerk (Kap. 4.2.2.3) auf Schweizer Seite errichtet.



Abb. 22: Physikalisches Modell der Staustufe Rheinfelden mit Umgehungsgewässer und neuem Kraftwerk im Theodor Rehbock-Wasserbaulabor der Universität Karlsruhe im Jahr 1993

4.2.2.1 Umgehungsgewässer Rheinfelden (D)

In den Oberwasserkanal des ehemaligen Krafthauses am rechten, deutschen Ufer wurde als Ausgleichmassnahme ein bis zu 50 m breites und 1.030 m langes, naturnah gestaltetes Umgehungsgewässer mit 0,8 % Gefälle zur Überwindung der Höhendifferenz von 9,1 m hinein modelliert (GEBLER & LEHMANN 2013, CARLE 2014, ULRICH 2013a, 2013b, 2017, Abb. 23). Beaufschlagt wird das als Fischaufstiegshilfe gedachte Umgehungsgewässer im Winter mit 10 m³/s und im Sommer mit 16 m³/s, mit verschiedenen Zwischenstufen im Jahresgang (ULRICH, Energiedienst, mündl. Mitt.).

Zeitweise werden auch höhere Abflüsse bis zu 35 m³/s über das Gerinne abgegeben, um Feinsedimente auszuspülen und damit den Porenraum des Interstitials zu erhalten (CARLE 2014). Das Umgehungsgewässer besteht aus einer Abfolge von flach überströmten, stromschnellenartigen Strukturen, die als Reproduktionshabitat für Kieslaicher gedacht sind, sowie Tiefwasserzonen. Parallel zu den flachen Riffel-Strukturen wurde ein mindestens 0,8 m tiefes Gerinne in Beckenbauweise konstruiert, um die Passierbarkeit auch bei Niedrigwasser sicherzustellen.

Die als Schussrinne gestaltete Mündungsrampe des Umgehungsgewässers ist ca. 95 m lang, 30 bis 40 m breit und besitzt ein Gefälle von 3,3 %. In diesem Abschnitt wird bei Niedrigwasser eine Höhendifferenz von 3,25 m überwunden. Entsprechend hoch sind hier die Fliessgeschwindigkeiten von 2,5 bis 3,2 m/s, bei stark turbulentem Strömungsbild. Der Einstieg in das Umgehungsgerinne ist 800 m weit ins Unterwasser vorgebaut und mündet in einem Winkel von etwa 30°. Für schwimmschwache Aufsteiger wurde entlang des Ufers ein zusätzlicher, noch weiter stromab mündender, 7 bis 10 m breiter Seitenarm mit geringer Strömung und Wassertiefen von bis zu 0,8 m angelegt (Abb. 24). Diese Einstiegsmöglichkeit wird nachfolgend als Ufereinstieg bezeichnet.

Im oberen, einlaufnahen Abschnitt des Umgehungsgewässers wurde im Nebenschluss ein Zählbecken eingebaut. Damit zum Zwecke von Monitoringuntersuchungen Fische in diese Fangeinrichtung hinein finden, wird die Durchgängigkeit des Umgehungsgerinnes zeitweise durch ein unpassierbares Tiroler Wehr unterbrochen. Dieses als Fischwehr bezeichnete Aufwanderhindernis wird mit Hilfe von Baggern an grossen Steinquadern befestigt, schräg in den Querschnitt des Umgehungsgewässers eingebaut. Dem so erzeugten spitzen Winkel an der rechten Uferseite sollen aufsteigende Fische in das Zählbecken hinein folgen.

Stromab des Fischwehres zweigt als weitere Fischaufstiegshilfe ein Raugerinne-Beckenpass vom Umgehungsgewässer ab, der ins Unterwasser der Wehranlage einmündet (Kap. 4.1.6).



Abb. 23: Umgehungsgewässer mit zwei Ausläufen und dem zusätzlichen, wehrnahen Raugerinne-Beckenpass Rheinfelden (D)

Auf eine Ausstattung der Mündungsrampe mit Antennen musste verzichtet werden, denn aufgrund der Dimensionen der Schusssrinne stösst die HDX-Technologie dort an die Grenzen des technisch Machbaren. Zudem hätte dies massiver und damit unverhältnismässig kostspieliger wasserbaulicher Befestigungsmassnahmen bedurft. Hingegen wurde der Ufereinstieg mit zwei Seilantennen Nr. 141 und 142 ausgestattet, und zwar etwa an der gleichen Position, die bereits PETER et al. (2016) im Rahmen des Vorprojekts zur Installation ihrer Antenne genutzt hatten (Abb. 24 und Abb. 25). Da in dem offenen Gerinnearm das Risiko einer Zerstörung der Antennen durch Treibgut vergleichsweise hoch ist, wurde hier eine Webcam installiert, um den Zustand der Antennen per Fernüberwachung kontrollieren zu können (Abb. 26). Die beiden Seilantennen und die Webcam wurden von einem Schaltschrank aus betrieben und gesteuert, der in etwa 50 m Entfernung am Zaun zur Uferstrasse aufgehängt war.



Abb. 24: Ufereinstieg des Umgebungsgewässer mit den Antennen Nr. 141 und 142, sowie die Mündungsrampe

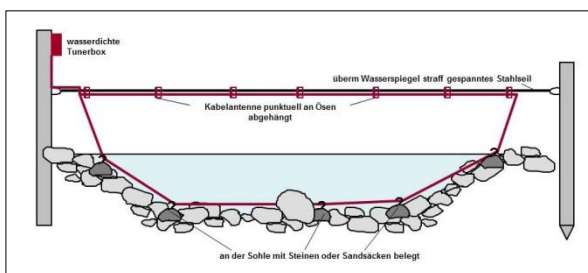


Abb. 25:
Konstruktionsprinzip einer Seilantenne



Abb. 26:
Überwachungsfoto der Webcam von den Antennen Nr. 141 und 142 (im Hintergrund) vom 08. Januar 2018 um 10:05 Uhr

Ein weiteres HDX-Antennenrudel war am Einstieg in das Zählbecken installiert: Antenne Nr. 143 unmittelbar vor der Öffnung und Nr. 144 umfasste die etwa (H x B) 1,5 x 0,3 m grosse Öffnung der Reusenkehle im Innern des Zählbeckens, die ein Entweichen von Fischen aus der Monitoringeinrichtung verhindern soll (Abb. 27 und Abb. 28).

Abb. 27:

Einstieg in das Zählbecken am Fusse des Fischwehres, das während des Monitorings Aufsteigern die Passage ins Oberwasser der Stauhaltung versperrt

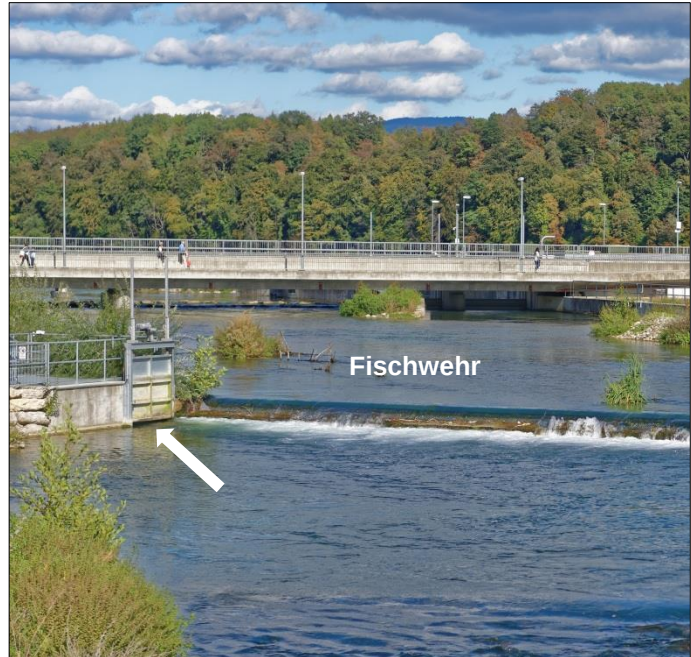


Abb. 28:

Antenne Nr. 144 an der Reusenkehle im Zählbecken



Ausserhalb der koordinierten Fischzählungen wird das Zählbecken nicht betrieben. So wurden auch nach Abschluss des Monitoringzeitraums Ende Juni 2017 die dortigen HDX-Antennen ausser Betrieb genommen und das Fischwehr aus dem Gewässerquerschnitt entfernt, um Aufsteigern den Weg ins Oberwasser freizugeben. Anstelle des Fischwehres wurden zur Überwachung der Fischbewegungen in den etwa 30 m breiten Querschnitt drei HDX-Seilantennen Nr. 145, 146 und 147 zwischen Steinquadern eingebaut (Abb. 29). Dazu wurden auf den Oberseiten der Steinquader Pfostenschuhe für die Aufstellung eines jeweils 2 m langen und 10 x 10 cm starken Holzpfostens montiert (Abb. 30), um daran die Tunerboxen der HDX-Antennen leidlich hochwassersicher zu befestigen. Die Tunerbox der ufernahen Antenne Nr. 145 wurde in der Nähe des Schaltschranks an einem Geländer befestigt, welches das Zählbecken sichert. Die Aussenkanten der Quader wurden mit U-Profilen aus Aluminium versehen, die die HDX-Antennen aufnahmen und vor Treibgutangriff schützten (Abb. 31).



Abb. 29: Position der Seilantennen Nr. 145, 146 und 147 anstelle des Fischwehres

Ein jeweils zwischen zwei Profilen abgespanntes Stahlseil diente der Befestigung des Twinaxkabels und der Verringerung der Zugspannung. Die Seilantennen waren jeweils mit vier Ösen an einem Polyamidseil abgehängt. Trotz dieser Massnahmen erwiesen sich die grossen Seilantennen im Umgebungsgewässer als vergleichsweise anfällig gegenüber

Zerstörung durch in der Strömung mitgeführtes Treibholz und Wasserpflanzen, und damit als wartungs- und reparaturintensiv.

Aufgrund der räumlichen Nähe zum Fischwehr konnten die beiden Antennen, die den Ein- und Ausstieg des Zählbeckens überwachten vom selben Schaltschrank aus angesteuert werden.

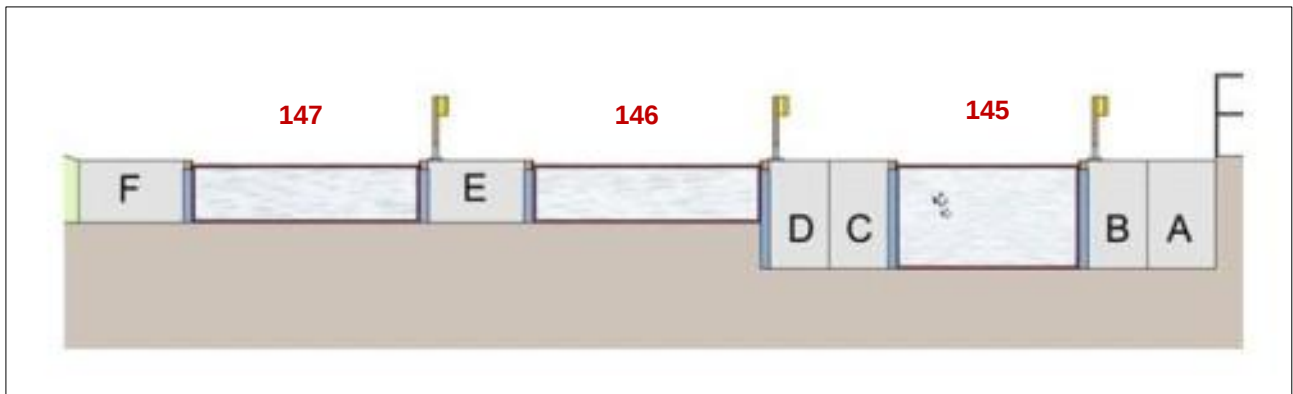


Abb. 30: Montage der Seilantennen Nr. 145, 146 und 147 (in Fließrichtung gesehen)

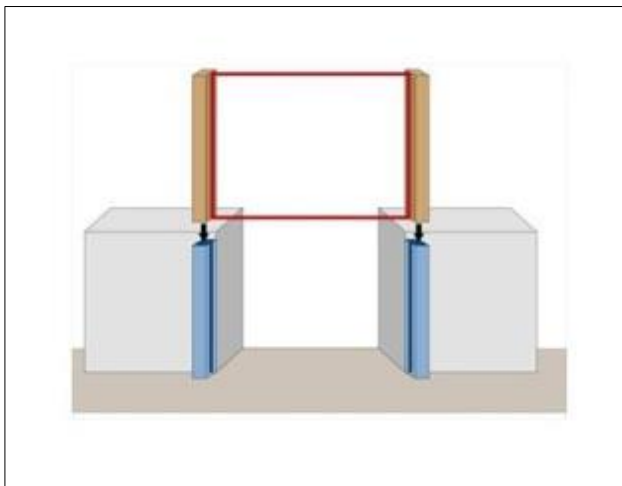


Abb. 31: Profil zur Aufnahme des Kabels einer Seilantenne

4.2.2.2 Raugerinne-Beckenpass Rheinfelden (D)

Im Unterwasser des Wehres Rheinfelden befinden sich ehemalige Stromschnellen des Rheins, das sogenannte „Gwild“. Um mindestens 50 % dieser Struktur als biologisch funktionsfähige Fläche zu erhalten, ein Trockenfallen zu verhindern und die wechselfeuchte Flora auf diesen Kalkfelsen zu erhalten, wird ein permanenter Abfluss von mindestens

30 m³/s über das Wehr abgegeben (ULRICH 2013a). Als provisorische Fischeaufstiegshilfe im Rahmen der mehrjährigen Bauphase, wurde an der rechten Wehrseite ein Raugerinne-Beckenpass errichtet, dessen Ausstieg am Fuss des Fischwehres im Umgehungsgewässer anbindet. Aufgrund guter Resultate im Rahmen der koordinierten Fischzählung an dieser Fischeaufstiegshilfe hatte man sich entschieden, diesen Fischpass dauerhaft zu betreiben (ULRICH 2013b).

Der Raugerinne-Beckenpass am Wehr Rheinfelden besteht aus 44 Becken und drei Ruhebecken. Er weist eine Länge von 242 m auf und ist in seinem Verlauf dreimal gewendet (Abb. 32). Das Gerinne hat ein Gefälle von 1 : 22 bei einer Wasserspiegeldifferenz von Becken zu Becken von 0,15 m. Die mindestens 2 m langen, 3 bis 4,5 m breiten und etwa 1 m tiefen Becken werden durch lückig gesetzte Riegel aus Natursteinen begrenzt. Beaufschlagt wird der Raugerinne-Beckenpass mit 0,6 m³/s aus dem Umgehungsgewässer. Der auf der Wehrseite gelegene Einstieg ist bei Niedrigwasser etwa 70 m stromab des Aufstiegshindernisses positioniert. Bei Hochwasser wird der Auslauf bis zum ersten Umkehrbecken eingestaut.



Abb. 32: Vom Fuss des Wehres zieht ein dreifach gewendelter Raugerinne-Beckenpass zum Umgehungsgewässer

Am ab- und aufstromigen Riegel des 5. Beckens vor der Mündung der Fischeaufstiegshilfe ins Unterwasser war ein Rudel Seilantennen (Nr. 151 und 152) installiert, deren Zustand

von einer Webcam überwacht wurde (Abb. 33). Der Übergang vom Raugerinne-Beckenpass zum Umgehungsgewässer wurde von einem weiteren Rudel bestehend aus jeweils einer Doppelantenne (Nr. 153 und 154) überwacht (Abb. 34). Alle Antennen im Raugerinne-Beckenpass Rheinfelden (D) wurden von einem einzigen Schaltschrank aus betrieben.

Abb. 33:
Überwachungsfoto der Webcam
von den Antennen Nr. 151 und 152
vom 17. September 2017 um 16:15 Uhr



Abb. 34: Position der HDX-Antennen Nr. 151 bis 154 im Raugerinne-Beckenpass Rheinfelden (D)

4.2.2.3 Schlitzpass Rheinfelden (CH)

Im Jahr 2012 ging das neue Wasserkraftwerk Rheinfelden auf der Schweizer Uferseite in Betrieb. Dieser Wasserkraftstandort ist seither mit einem 315 m langen Schlitzpass, bestehend aus 61 Becken ausgestattet. Die Becken haben bei 3,15 m Länge eine Breite von 2,3 m und weisen eine Wassertiefe von 1,22 bis 1,37 m auf, woraus sich im Beckenvolumen eine Leistungsdichte bei der Energiedissipation von rechnerisch 87 W/m^3 ergibt. Der Gefällesprung von Becken zu Becken beträgt 0,15 m, die lichte Weite der Schlitzbecken 0,3 m. Das Gerinne überwindet nahezu den gesamten Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser bereits abstrom vom Krafthaus. Die übrige Trasse quert auf Geländeneiveau als strukturloser Rechteckkanal von 2,3 m Breite und 1,5 m Wassertiefe mit leichtem Gefälle zunächst das Krafthaus, um dann nach etwa 70 m ans Oberwasser anzubinden. An diesen Kanal ist im Nebenschluss ein Zählbecken angebaut. Beaufschlagt wird der Schlitzpass mit $0,65 \text{ m}^3/\text{s}$. Um Unterwasser mündet er sackgassenfrei unmittelbar am Fuss des Krafthauses in einem Winkel von etwa 30° zur Turbinenströmung.

Zum Einbau des abstromigen Antennenrudels Nr. 131 und 132 wurden die Schlitzbecken des 16. Beckens vom Unterwasser her genutzt. Die Antennen Nr. 133 und 134 zur Überwachung des Einlaufkanals waren stromab des Zählbeckens positioniert (Abb. 35, Abb. 36 und Abb. 37). Aufgrund der grossen Distanz der beiden Antennenrudel zueinander wurden an diesem Standort zwei separate Schaltschränke benötigt, die jeweils ober- und unterhalb des Krafthauses aufgestellt waren.

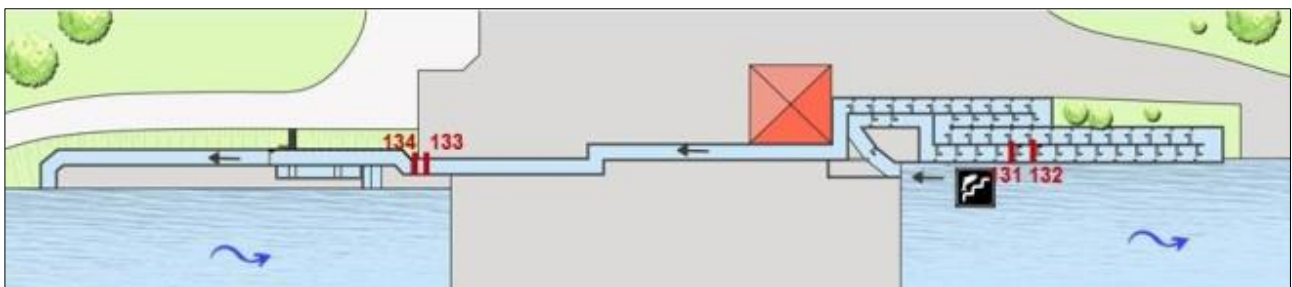


Abb. 35: Position der Antennen Nr. 131 bis 134 im Schlitzpass Rheinfelden (CH)

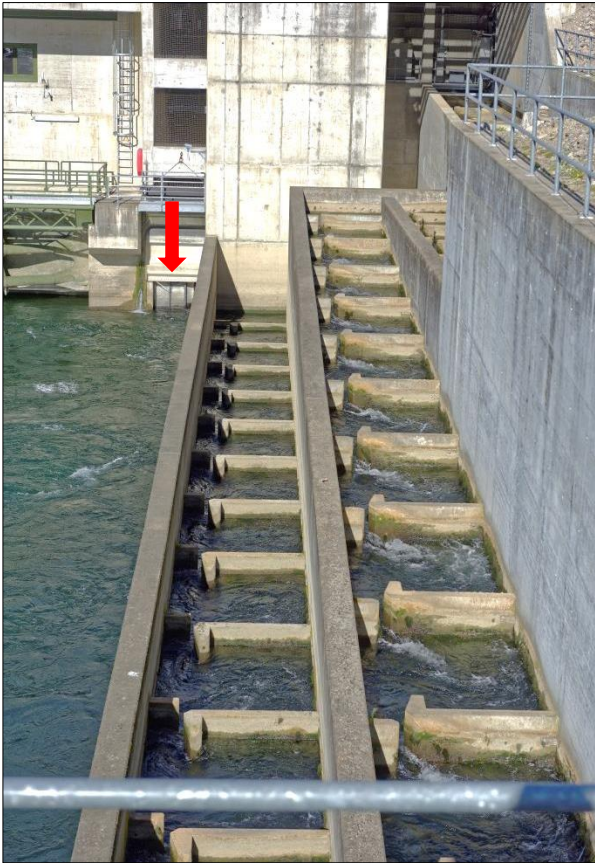


Abb. 36:
 Unterer Trassenabschnitt und Auslauf des Schlitzpasses (Pfeil)



Abb. 37:
 Blick auf den strukturlosen Einlaufkanal mit den Antennen Nr. 133 und 134

4.2.3 Kombiniertes Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D)

Die Stauanlage in Ryburg-Schwörstadt ging 1931 in Betrieb. Sie bewirkt einen Aufstau des Rheins um bis zu 12,1 m und gliedert sich in das linksseitig auf Schweizer Seite gelegene Wehr und das rechtsufrige Kraftwerk auf deutscher Seite (Abb. 38). Die Wehranlage befindet sich im Rückstau des Wehres Rheinfelden. Seit dessen Stauziel im Zuge des Neubaus von Wehr und Kraftwerk im Jahr 2010 um 1,4 m angehoben wurde (Kap. 4.2.2), hat sich folglich auch der Unterwasserstand in Ryburg-Schwörstadt entsprechend erhöht. Die Konsequenz hiervon ist, dass die Saugschlauchdecke um mindestens 1 m, sowie bei Mittelwasser um ca. 1,3 m überstaut ist. Somit breitet sich dort seither bis ca. 20 m stromab des Krafthauses ein strömungsarmer Flachwasserbereich über der Saugschlauchdecke aus (Abb. 38).

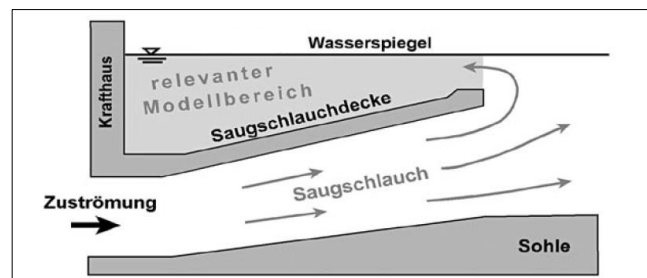
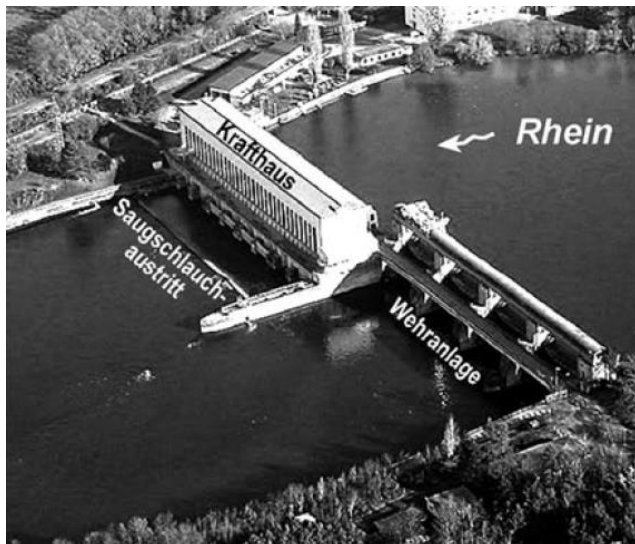


Abb. 38: Staustufe Ryburg-Schwörstadt mit weit ins Unterwasser vorge-lagertem Saugschlauchaustritt; links Luftbild, oben Längsschnitt (MUSALL et al. 2008)

Die ursprüngliche Fischaufstiegshilfe, ein im Mittelpfeiler befindlicher Beckenpass, wurde 2014 durch ein Umgehungsgerinne ersetzt, das aus einer Kombination verschiedener Teilanlagen besteht. Die Massnahmen zur Gewährleistung der Auffindbarkeit dieser Fischaufstiegshilfe basieren auf dreidimensionalen, hydrodynamisch-numerischen Strömungssimulationen von MUSALL et al. (2008).

Das Umgehungsgerinne am Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt hat eine Gesamtlänge von 1.150 m. Es umfließt das Kraftwerksgebäude in weitem Bogen als 5 bis 10 m breites, naturnahes Gerinne in Riegelbauweise mit einem mittleren Gefälle von 0,93 % (Abb. 39 und Abb. 40). Das Gerinne wird über ein zweigeteiltes Einlaufbauwerk mit Abflüssen zwischen 1 und 3 m³/s aus dem Oberwasser gespeist (Abb. 41). Während die linke Einlaufseite mit einem 3 m breiten Schwenktor versehen ist, ist die rechte etwa 9 m breite Einlaufseite offen und mit drei aufeinander folgenden, aus massiven Steinblöcken auf Lücke gesetzten Riegeln bestückt. Zur Durchführung von Aufstiegszählungen ist das Umgehungsgerinne im unteren Bereich mit einem Zählbecken im Nebenschluss ausgestattet.

Die Besonderheit dieser Fischaufstiegshilfe besteht darin, dass sie über zwei separate Einstiegstrassen verfügt. Hierbei handelt es sich um einen uferseitigen Raugerinne-Beckenpass und einen Schlitzpass, der im Trennpfeiler zwischen Wehr und Kraftwerk mündet (Abb. 39). Sowohl der Raugerinne-Beckenpass, als auch der Schlitzpass münden ihrerseits wiederum jeweils über zwei Einstiegsöffnungen ins Unterwasser.



Abb. 39: Lageskizze des Umgehungsgerinnes Ryburg-Schwörstadt (D)

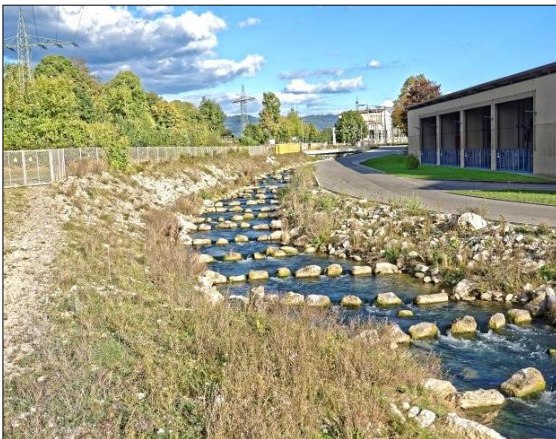


Abb. 40: Umgehungsgerinne



Abb. 41: Zweigeteiltes Einlaufbauwerk in das Umgehungsgerinne

Der Raugerinne-Beckenpass verfügt im Unterwasser über ein Verteilerbecken, das im Winkel zwischen Krafthaus und rechtem Ufer positioniert ist (Abb. 42). Die eine Einstiegsöffnung des Verteilerbeckens mündet orthogonal zur Krafthausachse im Bereich der überstauten Saugschlauchdecke. Die andere verläuft als abgespundeter Kanal entlang der rechten Ufermauer und mündet stromab der Endschwelle der Saugschlauchdecke ins Unterwasser.

Zur Verstärkung der Leitströmung wird der Abfluss einer Dotierturbine in das Verteilerbecken eingespeist, wobei louverartige Lamellen für eine Strömungsberuhigung im Becken sorgen. Seine oberwasserseitige Fortsetzung findet das Verteilerbecken zunächst in Form einiger geometrischer Betonbecken mit 0,6 m breiten Schlitten (Abb. 44), um sich dann als Raugerinne-Beckenpass fortzusetzen (Abb. 48). Dieses Gerinne wendet erst in Richtung Unterwasser, vollzieht dann eine 180°-Kehre und verläuft stromauf, um sich schliesslich mit der zweiten Einstiegstrasse, dem Schlitzpass, zu vereinigen.

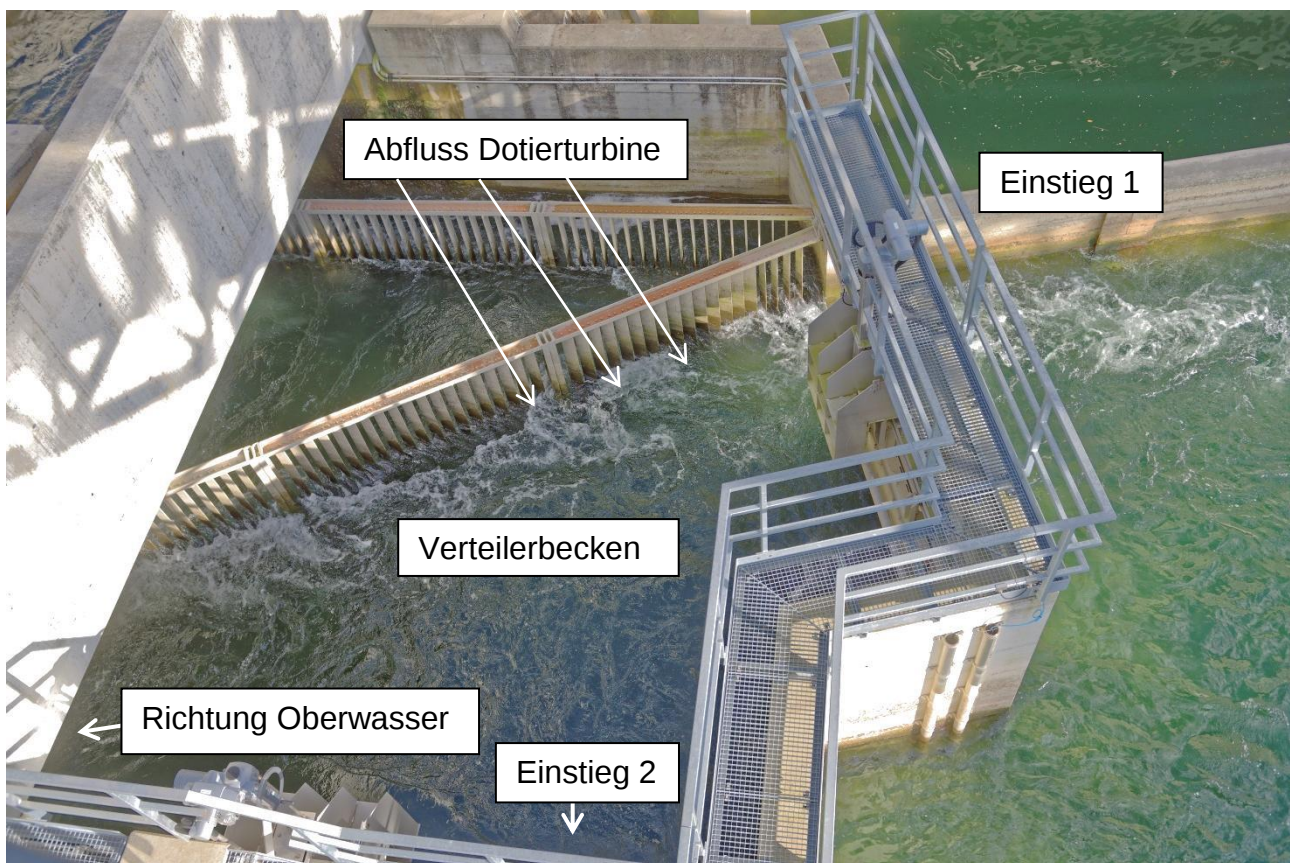


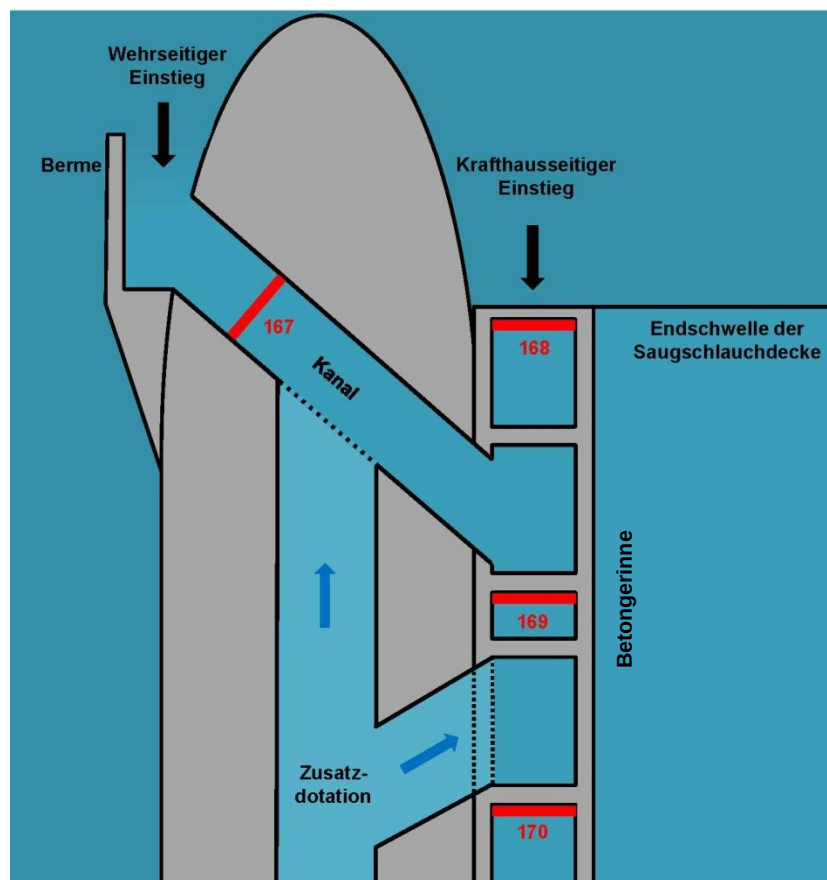
Abb. 42: Verteilerbecken des Raugerinne-Beckenpasses Ryburg-Schwörstadt (D)

Der Schlitzpass beginnt im Trennpfeiler zwischen Wehr und Krafthaus. Er verfügt über zwei Einstiegsöffnungen, von denen die eine zum Krafthaus und die andere zum Wehr hin orientiert ist (Abb. 43). Der krafthausseitige Einstieg mündet parallel zur Turbinenströmung auf Höhe der Endschwelle der Saugschlauchdecke und setzt sich stromauf entlang der Aussenwand des Trennpfeilers als Betongerinne ohne Einbauten fort. Die beispielsweise in Abb. 47 sichtbaren Querwände dienen lediglich der Stabilisation, während sie hydraulisch unwirksam sind, da sich ihre Unterkante oberhalb des Wasserspiegels befindet.

Entlang der Wehrseite des Trennpfeilers steigt eine Berme vom Gewässergrund bis zu dem zweiten, wehrseitigen Einstieg auf (Abb. 43). Dieser durchbricht die Aussenwand des Trennpfeiles und setzt sich in einem Kanal fort, der den Trennpfeiler quert und an das Betongerinne anbindet, ca. 5 m stromauf des krafthausseitigen Einstiegs.

Der Verstärkung der Leitströmung dienen zwei Zusatzdotationen, von denen die eine im Kanal oberhalb des wehrseitigen Einstiegs mündet, die andere im Betongerinne oberhalb von dessen Verzweigung (Abb. 43).

Abb. 43:
Einstiegssituation des Schlitz-
passes Ryburg-Schwörstadt
(D) mit wehr- und krafthaus-
seitigem Einstieg, den beiden
Zusatzdotationen sowie den
Positionen der HDX-Antennen
Nr. 167 bis 170



Stromauf setzt sich das Betongerinne als Schlitzpass fort, der in Trogbauweise den gesamten Turbinenauslauf quasi als Aquädukt quert und auch den unteren Abschnitt des Raugerinne-Beckenpass überbrückt, um schliesslich, gemeinsam mit dem Raugerinne-Beckenpass, an das Umgehungsgerinne anzubinden (Abb. 50). Die Gesamtlänge des Schlitzpasses beträgt etwa 170 m.

Nachfolgend werden die beiden Einstiegstrassen jeweils als Raugerinne-Beckenpass bzw. Schlitzpass bezeichnet; die Gesamtanlage der Fischeaufstiegshilfe hingegen als Umgehungsgerinne.

Aufgrund der grossen Distanz zwischen den beiden Einstiegen des Umgehungsgerinnes sowie dem oberwasserseitigen Ausstieg war es am Standort Ryburg-Schwörstadt notwendig, drei separate HDX-Anlagen mit jeweils einem eigenen Schaltschrank aufzubauen. Der erste Schaltschrank wurde dort errichtet, wo der Schlitzpass den unteren Abschnitt des Raugerinne-Beckenpasses quert und versorgte in den beiden Einstiegstrassen zunächst jeweils ein Antennenrudel. Das eine Antennenrudel mit den Antennen Nr. 161 und 162 wurde an den beiden aufeinander folgenden Schlitzen des Betonbeckens installiert, das den Übergang zwischen dem Verteilerbecken und dem Raugerinne-Beckenpass bildet (Abb. 44). Genau im Bereich des Aquädukts wurde das zweite Antennenrudel mit den Antennen Nr. 171 und 172 im Schlitzpass eingebaut (Abb. 45).

Somit war das Antennenrudel im Raugerinne-Beckenpass wenige Meter stromauf des Einstiegs positioniert, während die Überwachung des Schlitzpasses zunächst nur in mehr als 100 m Entfernung vom Einstieg erfolgte. Um diese Situation zu verbessern, wurde der Schlitzpass im Juni 2019 sowohl am wehr-, wie auch am kraftwerksseitigen Einstieg mit vier weiteren Rahmenantennen nachgerüstet. Antenne Nr. 167 wurde im wehrseitigen Einstieg stromab der Einmündung der Zusatzdotation installiert (Abb. 46). Der kraftwerksseitige Einstieg wurde durch Antenne Nr. 168 abgedeckt, auf welche die beiden Antennen Nr. 169 und 170 folgten (Abb. 47). Antenne Nr. 169 befand sich oberhalb der Verzweigung des Schlitzpasses in der kraftwerksseitigen Einstiegstrasse, Nr. 170 stromauf der dortigen Zusatzdotation. Durch diese Konstellation war es möglich, die Bewegungsmuster markierter Fische im Einstiegsbereich des Schlitzpasses detailliert zu überwachen. Für die Steuerung und Stromversorgung dieser Antennen musste ein neuer Schaltschrank auf dem Trennpfeiler aufgestellt werden, da die Entfernung zum bereits vorhandenen Schaltschrank für eine ungestörte Datenübertragung zu gross war.



Abb. 44:
Position der HDX-Antennen Nr. 161 und 162 vor dem Übergang in den Raugerinne-Beckenpass

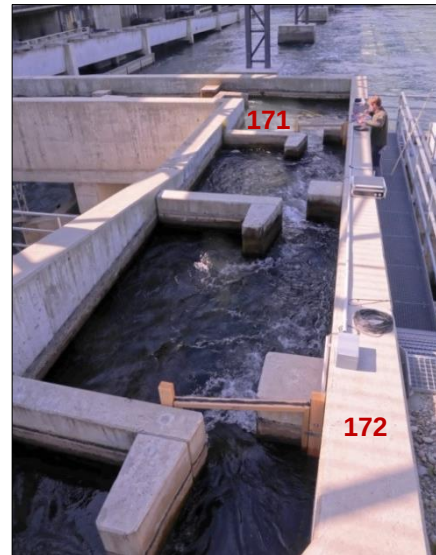


Abb. 45:
Position der HDX-Antennen Nr. 171 und 172 im Schlitzpass

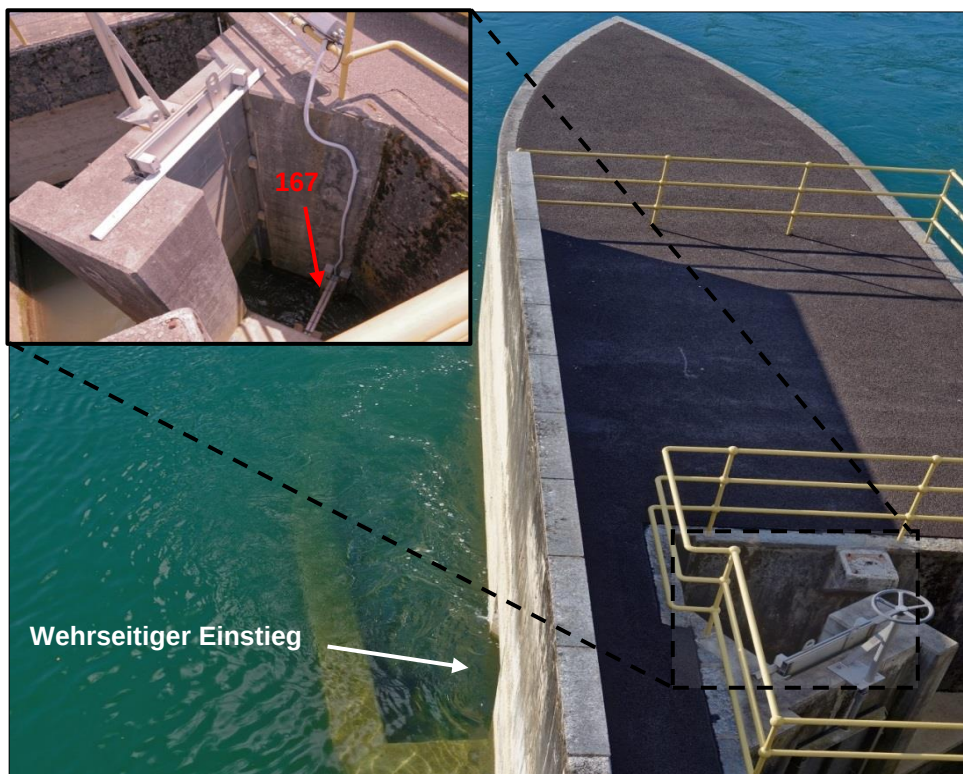


Abb. 46: Schlitzpass Ryburg-Schwörstadt (D): wehrseitiger Einstieg am Trennpfeiler und die dort installierte HDX-Antenne Nr. 167

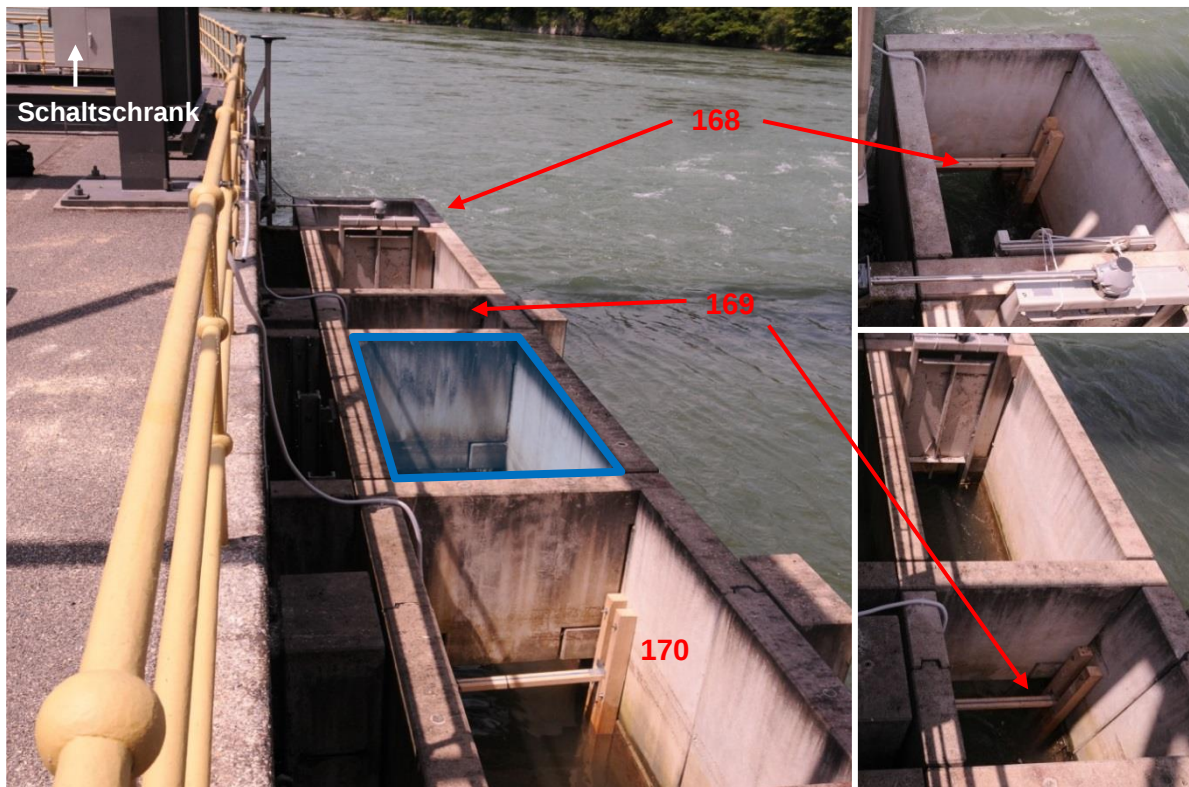


Abb. 47: Schlitzpass Ryburg-Schwörstadt (D), links: krafthausseitiger Einstieg mit den Antennen Nr. 168 bis 170; im blau markierten Bereich zweigt der wehrseitige Einstiegsarm ab; rechts: die Antennen Nr. 168 und 169 in Einzelansicht

Um das Wanderverhalten aufsteigender Fische an der Aufzweigung des Umgehungsgerinnes in Schlitzpass und Raugerinne-Beckenpass detaillierter beobachten zu können, wurden dort 2019 zwei weitere Antennenrudel installiert. Das erste Antennenrudel mit den Antennen Nr. 163 und 164 wurde am 4., respektive 2. Steinriegel des Raugerinne-Beckenpasses stromab der Aufzweigung installiert (Abb. 48). Der Einbau des zweiten Antennenrudels mit den Antennen Nr. 165 und 166 erfolgte stromauf der Aufzweigung, an den Steinriegeln Nr. 3 und 5 (nach stromaufwärts gezählt) des Umgehungsgerinnes (Abb. 49). Diese Antennen wurden jeweils auf der stromaufwärtigen Seite der Steinriegel installiert, deckten als Seilantennenkonstruktion den kompletten Gerinnequerschnitt ab und waren zum Schutz vor Treibgut mit PVC-Rohren ummantelt. Die Steuerung und Stromversorgung der Antennen erfolgte über den schon bestehenden Schaltschrank, welcher bereits die Antennen Nr. 161 und 162, sowie Nr. 171 und 172 versorgte. Eine Übersicht über die Antennenanordnung im Einstiegsbereich der Fischaufstiegshilfe Ryburg-Schwörstadt (D) gibt Abb. 50.



Abb. 48: Raugerinne-Beckenpass Ryburg-Schwörstadt mit den Antennen Nr. 163 und 164 an Steinriegel Nr. 2 und 4 stromab der Aufzweigung



Abb. 49: Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D) mit den Antennen Nr. 165 und 166 an Steinriegel Nr. 3 und 5 stromauf der Aufzweigung



Abb. 50: Übersicht über die Antennenpositionen im unterwasserseitigen Einstiegsbereich des Umgehungsgerinnes Ryburg-Schwörstadt (D); gelb hervorgehoben ist die Schlitzpasstrasse mit den Antennen Nr. 167 bis 172; blau hervorgehoben ist der Raugerinne-Beckenpass mit den Antennen Nr. 161 bis 164. Im Umgehungsgerinne folgen die Antennen Nr. 165 und 166 stromaufwärts der Aufzweigung in die beiden Einstiegstrassen

Das grosse Einlaufbauwerk des Umgehungsgerinnes war mit zwei HDX-Antennen bestückt, wobei Antenne Nr. 173 als robuste Rahmenantenne in den Querschnitt des linken Einlaufs unmittelbar stromauf des Schwenktores eingebaut war (Abb. 51). Im rechten Einlauf, der mit Steinriegeln und einer sehr rauen Sohle versehen ist, wurde zwischen dem vom Oberwasser her gesehenen 1. und 2. Steinriegel eine Seilantenne (Nr. 174) befestigt (Abb. 52).



Abb. 51:
Rahmenantennen Nr. 173 im Einlaufbauwerk vor dem Schwenktor



Abb. 52:
Seilantennen Nr. 174 zwischen zwei Steinriegeln im linken, offenen Kompartiment des Einlaufbauwerks

4.2.4 Beckenpass Säcking (D)

Das Wasserkraftwerk Säcking wurde 1966 in Betrieb genommen. Das Krafthaus befindet sich am rechten Ufer, wo auch die Fischaufstiegshilfe in Form eines Beckenpasses angeordnet ist und etwa 55 m stromab der Turbinenausläufe im Unterwasser mündet. Der grösste Teil der Fallhöhe wird bereits stromab des Krafthauses abgebaut, wo das Gefälle der Fischaufstiegshilfe 8,9 % beträgt (Abb. 53). Daran schliesst sich nach stromauf ein 18,5 m langer, strukturloser und unbeleuchteter Kanal von 1,5 m Breite und etwa 1 m Wassertiefe an, der mit sehr geringem Gefälle das Krafthaus durchzieht (Abb. 54). Zum Oberwasser hin bindet der Fischpass ausserhalb des Gebäudes als eine 65 m lange, wiederum mit Becken ausgestattete Trasse an die Stauhaltung an.

Jedes der 56 Becken ist 2 m lang und 1,8 m breit und hat eine Wassertiefe von 2 m. Die Trennwände sind jeweils mit zwei Durchlässen versehen. Im unteren Abschnitt stromab des Krafthauses handelt es sich hierbei um ein Schlupfloch von (H x B) 0,4 x 0,3 m Grösse und einen 0,3 x 0,3 m grossen Kronenausschnitt. Die aufeinander folgenden Kronenausschnitte sind bei dieser Konstruktionsweise jeweils um etwa eine Breite zueinander versetzt, wodurch sich ein pendelnder Strömungspfad im Gerinne ausbildet. Im oberen Abschnitt stromauf des Krafthauses sind die Trennwände zwar ebenfalls mit zwei Durchlässen mit Abmessungen von (H x B) 0,25 x 0,3 oder 0,45 x 0,35 m versehen, doch handelt es sich hier stets um Schlupflöcher, deren Position über der Sohle variiert,

während ein Kronenausschnitt fehlt (Abb. 55). VISCHER & HUBER (1985) berichten, dass der Gefällesprung von Becken zu Becken 0,16 m betrage. Dotiert wird der Beckenpass Säckingen mit einem Abfluss von 0,18 bis 0,22 m³/s.

Zur Überwachung der Fischwanderung wurde der Beckenpass Säckingen mit zwei Antennenrudeln ausgestattet. Das erste Rudel mit den Antennen Nr. 181 und 182 konnte aufgrund des nicht sicher zugänglichen Auslaufbereichs der Fischaufstiegshilfe und dem stark schwankenden Unterwasserspiegel erst im Kanal im Innern des Krafthauses installiert werden. Das zweite Antennenrudel diente der Überwachung der Fischbewegungen am Ausstieg ins Oberwasser, wobei die Antennen an den stromab des obersten Beckens folgenden Trennwänden installiert waren, um nicht die Exposition der Kastenreue am Einlauf der Fischaufstiegshilfe zu behindern. Um zu untersuchen, ob die Fische bevorzugt den Kronenausschnitt oder das Schlupfloch passieren, wurden die beiden Durchlässe an einer Trennwand mit separaten Antennen (Nr. 183 und Nr. 184) überwacht. Antenne Nr. 185 wurde hingegen als Doppelantenne ausgeführt, so dass diese keine Unterscheidung des für die Passage gewählten Durchlasses ermöglichte. Da der Schaltschrank zum Betrieb der HDX-Antennenanlage im Innern des Krafthauses untergebracht war, musste an diesem Standort zur Gewährleistung der Datenfernübertragung eine separate, externe Mobilfunkantenne installiert werden.

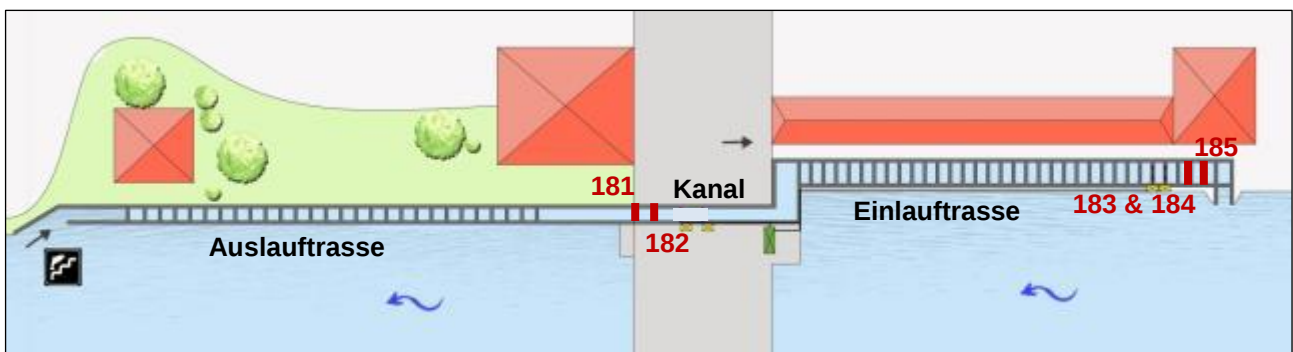


Abb. 53: Position der Antennen Nr. 181 bis Nr. 185 in der Fischaufstiegshilfe Säckingen



Abb. 54:
Kanal der Fischaufstiegshilfe im Innern
des Krafthauses mit den Positionen der
Antennen Nr. 181 und 182



Abb. 55:
Blick in den weitgehend gelenzten
Beckenpass mit den Einzel- bzw.
Doppelantennen Nr. 183 bis 185 vor en
Schlupflöchern

4.3 FANG, MARKIERUNG UND BESATZ

4.3.1 Fang

Die Beschaffung von Fischen für die Markierung mit PIT Tags erfolgte in insgesamt 3 Fangkampagnen:

- Frühjahr 2017: vom 02. April bis zum 20. Juni 2017
- Herbst 2017: vom 04. September bis zum 08. November 2017
- Frühjahr 2018: vom 05. April bis zum 20. Juni 2018

Die Frühjahrskampagnen 2017 und 2018 wurden jeweils zur Schonung der Fische bei Überschreitung einer Wassertemperatur von 21 °C eingestellt. Weitere im Untersuchungsgebiet vorhandene, transpondierte Fische stammten aus dem Vorprojekt von PETER et al. (2016) und waren in der Zeit vom 25. Mai bis zum 18. September 2016 markiert worden.

Für den Fang der individuell mit PIT Tags zu kennzeichnenden Fische wurden die an den Fischaufstiegshilfen der Staustufen Birsfelden, Augst-Wyhlen, Rheinfelden, Ryburg-Schwörstadt und Säckingen vorhandenen Fangeinrichtungen verwendet, die von den örtlichen Fischereivereinen und Kraftwerksbetreibern für die koordinierten Fischzählung eingesetzt werden (STAUB & GERSTER 1992, GERSTER 1998, GUTHRUF 2008, 2020).

Im Rahmen der ersten Markierungskampagne im Frühjahr 2017 wurden die Fanganlagen wie üblich von den ortsansässigen Fischereivereinen betrieben. Diese entnahmen täglich in den frühen Morgenstunden die Fische aus den Fangeinrichtungen und hielten sie an den jeweiligen Standorten in Becken mit Frischwasserdurchfluss. Jeweils von Montag bis Freitag wurden die Fische dort von Mitarbeitern des Instituts für angewandte Ökologie übernommen, unter Narkose mit einem PIT-Tag individuell markiert und an ausgewiesenen Besatzstellen wieder in den Hochrhein entlassen.

Für die nachfolgenden Markierungskampagnen in Herbst 2017 und Frühjahr 2018 wurde der Fang von Fischen durch Mitarbeiter des Instituts für angewandte Ökologie bewerkstelligt. Hierfür wurden die Fanggeräte in der Regel montags gestellt, täglich kontrolliert und freitags das letzte Mal geleert. Auf diese Weise war sicher gestellt, dass die gefangenen Fische binnen 24 Stunden markiert und besetzt wurden, um einer Schädigung der Tiere vorzubeugen. Lediglich die Fangreuse im Schlitzpass Augst (CH) wurde auch sonntags von den örtlichen Kraftwerksmitarbeitern gestellt, damit bereits am Montag Fische für die Markierung zur Verfügung standen.

An den Fischaufstiegshilfen kamen entweder Kastenreusen mit einem Volumen von wenigen Kubikmetern (Kap. 4.3.1.1) oder die wesentlich grösseren Zählbecken (Kap. 4.3.1.2) zum Einsatz. Kessler- und Schwarzmundgrundeln wurden darüber hinaus in der Stauhaltung Birsfelden mit Reusen gefangen (Kap. 4.3.1.3).

4.3.1.1 Kastenreusen

An den Standorten Birsfelden (CH), Augst (CH) und Säkingen (D) waren in den dortigen Fischaufstiegshilfen stationäre Kastenreusen exponiert. In der Fischaufstiegshilfe Birsfelden wird die Reuse in der oberen Hälfte des Beckenpasses deutlich stromab vom Oberwasser entfernt gestellt und mit Hilfe einer elektrischen Seilwinde bedient (Abb. 56). Diese Position der Fangreuse inmitten der Fischaufstiegshilfe ist nicht nur in Hinblick auf die Befunde der koordinierten Aufstiegszählungen ungünstig, sondern bedingt auch, dass die eingeschwommenen Fische für die Dauer ihrer Gefangenschaft der starken und turbulenten Strömung im Fischpass ausgesetzt sind. Insbesondere bei einem längeren Aufenthalt in dem Fanggerät werden viele Tiere verletzt oder sogar getötet. So stellten die Mitarbeiter des Instituts für angewandte Ökologie immer wieder fest, dass tote Fische mit den Kiemendeckeln in den Maschen der Reusenbespannung feststeckten. Deshalb wurde der Fang von Fischen in der Kastenreuse Birsfelden mit Einverständnis des Auftraggebers bereits vier Tage nach Beginn der Fangkampagne am 08. September 2017 eingestellt.



Abb. 56: In der Kastenreuse im Beckenpass Birsfelden verendete Fische

Am Ausstieg des Schlitzpasses Augst befindet sich eine vergleichbare Kastenreuse, die ebenfalls mit einer elektrischen Seilwinde bedient wird. Diese Reuse besitzt jeweils eine trichterförmige Öffnung auf mittlerer Höhe sowie in Nähe des Reusenbodens. Durch Entfernen einer Seitenwand erhält man vollen Zugriff in das Innere und kann darin gefangene Fische direkt heraus keschern, ohne die gesamte Reuse über die Wasseroberfläche hinaus anheben zu müssen. Alternativ besteht auch die Möglichkeit, die Reuse vollständig anzuheben, um 180° zu drehen und die gefangenen Fische über eine Klappe auf der Rückseite in ein bereitstehendes Hälterbecken zu entleeren.

Während der Markierungskampagne im Frühjahr 2017 wurden die gefangenen Fische von den örtlichen Fischern in dieses Becken gesetzt, um für die Markierung zur Verfügung zu stehen. In den folgenden Kampagnen nutzte das Institut für angewandte Ökologie das Hälterbecken nur bei umfangreichen Fängen. In der übrigen Zeit wurden die Fische für die Markierung direkt der Reuse entnommen und in das Narkosebad überführt, um unnötigen Stress infolge einer überflüssigen Handhabung und Hälterung zu vermeiden.

Der dritte Standort mit einer Kastenreuse ist der Beckenpass Säcking. Die Reuse wird dort ca. 15 m vor dem Ausstieg mit einer elektrischen Seilwinde exponiert und geborgen. Da der Boden der Reuse aus Lochblech besteht, fallen die in ihr enthaltenen Fische beim Heben trocken, weshalb der Leerungsvorgang rasch ausgeführt werden muss. Über eine Klappe an der Vorderseite der Reuse werden die Fische in ein Becken gekippt, welches mittels einer Tauchpumpe mit Wasser aus dem Rhein in kontinuierlichem Durchfluss befüllt werden kann. In unmittelbarer Nähe befindet sich zudem ein grosses Hälterbecken und ein Arbeitstisch, auf dem die Transpondierung der Fische vorgenommen wurde.

Auch in den Kastenreusen der Standorte Augst und Säcking bestand grundsätzlich das gleiche Problem einer Schädigung gefangener Fische wie in Birsfelden. Von diesem Risiko waren allerdings nur wenige Exemplare betroffen, weshalb mangels Alternativen für die Fischbeschaffung, beide Reusen für die Fangkampagnen im Herbst 2017 und Frühjahr 2018 weiter betrieben wurden. Hierbei wurde allerdings darauf geachtet, dass die Verweilzeit der gefangenen Fische in den Reusen so kurz wie möglich war. Für künftige Fangkampagnen und/oder die turnusmässigen koordinierten Fischzählungen sollten alle Reusen anstatt mit Maschendraht mit Lochblech eines kleinen Lochdurchmessers, aber geringem Verbauungsgrad verkleidet werden, um die Verletzungsgefahr für Fische zu minimieren.

4.3.1.2 Zählbecken

Das Problem der Schädigung von Fischen in Kastenreusen ist seit langem bekannt. Schon GEBLER (2010) beschrieb es in Hinblick auf die Fischzählungen früherer Jahre am Hochrhein detailliert: *„Um die Kastenreuse heben zu können, hat diese nur ein begrenztes Volumen. Fische steigen oftmals im Schwarm auf, so dass eine Reuse innerhalb kurzer Zeit mit Fischen vollgefüllt sein kann. Bedenkt man, dass die Reusenkontrolle nur ein- oder zweimal pro Tag erfolgt, so wird der hohe Stressfaktor und die erhebliche Verletzungsgefahr für die Fische deutlich. Eine weitere Gefahrenquelle stellt das Reusengitter dar, in dem sich je nach Maschenweite kleinere Fische verfangen und diese dann verenden. So konnte an vielen Reusen beobachtet werden, dass insbesondere Lauben in die Maschen vordringen, mit den Kiemendeckeln stecken bleiben und anschliessend verenden. Insgesamt muss konstatiert werden, dass die üblichen Aufstiegskontrollen mit Kastenreusen für die Fische eine Tortur darstellen und oftmals kaum mit dem Natur- und Tierschutz zu vereinbaren sind.“*

In Konsequenz entwickelte die Fischereiverwaltung des Kantons Bern eine alternative Fangmethode in Form sogenannter Zählbecken (GEBLER 2010). Diese stets im Nebenschluss einer Fischaufstiegshilfe positionierten Zählbecken wurden u. a. am Hochrhein im Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D), im Umgehungsgewässer (D) und im Schlitzpass in Rheinfelden (CH) sowie im Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D) eingebaut.

Mit Ausnahme von Ryburg-Schwörstadt, wo das Zählbecken auf halber Länge der Fischaufstiegshilfe gelegen ist, sind die übrigen drei Zählbecken ausstiegsnah positioniert. Funktionsprinzip und Grundaufbau sind bei allen Zählbecken gleich: Diese Fangeinrichtungen stellen einen Bypass dar, der parallel zur Fischaufstiegshilfe angelegt ist und ausserhalb des Monitorings nicht beaufschlagt wird. Zur Inbetriebnahme wird der Querschnitt der Fischaufstiegshilfe oberstrom des Zählbeckens durch ein Schütz abgesperrt und der Abfluss in das Zählbecken umgeleitet, um am abstromigen Ende der Fangeinrichtung wieder dem Fischpass zugeführt zu werden. Aufsteigende Fische werden so in das Zählbecken umgeleitet. Um ein Entweichen aus dem Becken nach stromauf zu verhindern, erfolgt der Zustrom des Wassers über eine Überfallschwelle. Die Einstiege sind in Ryburg-Schwörstadt (D) und im Umgehungsgewässer Rheinfelden (D) mit einer Reusenkehle versehen (Abb. 28).

Um die in das Zählbecken hinein geschwommenen Aufsteiger zählen zu können, wird das Schütz in der Fischaufstiegshilfe geöffnet und gleichzeitig der Zulauf zum Zählbecken

geschlossen. Sodann wird das Wasser im Zählbecken über einen Grundablass abgelassen. Während dieses Prozesses sammeln sich die Fische in einer Vertiefung in der Mitte des Beckens, aus der sie heraus gekeschert werden.

Im Rahmen der Markierungskampagnen für das vorliegende Projekt wurden die Fische dem Zählbecken entnommen und nach ihrer Markierung mit einem PIT-Tag bis zum Besatz im Rhein in Hälterbecken mit Frischwasserdurchfluss überführt.

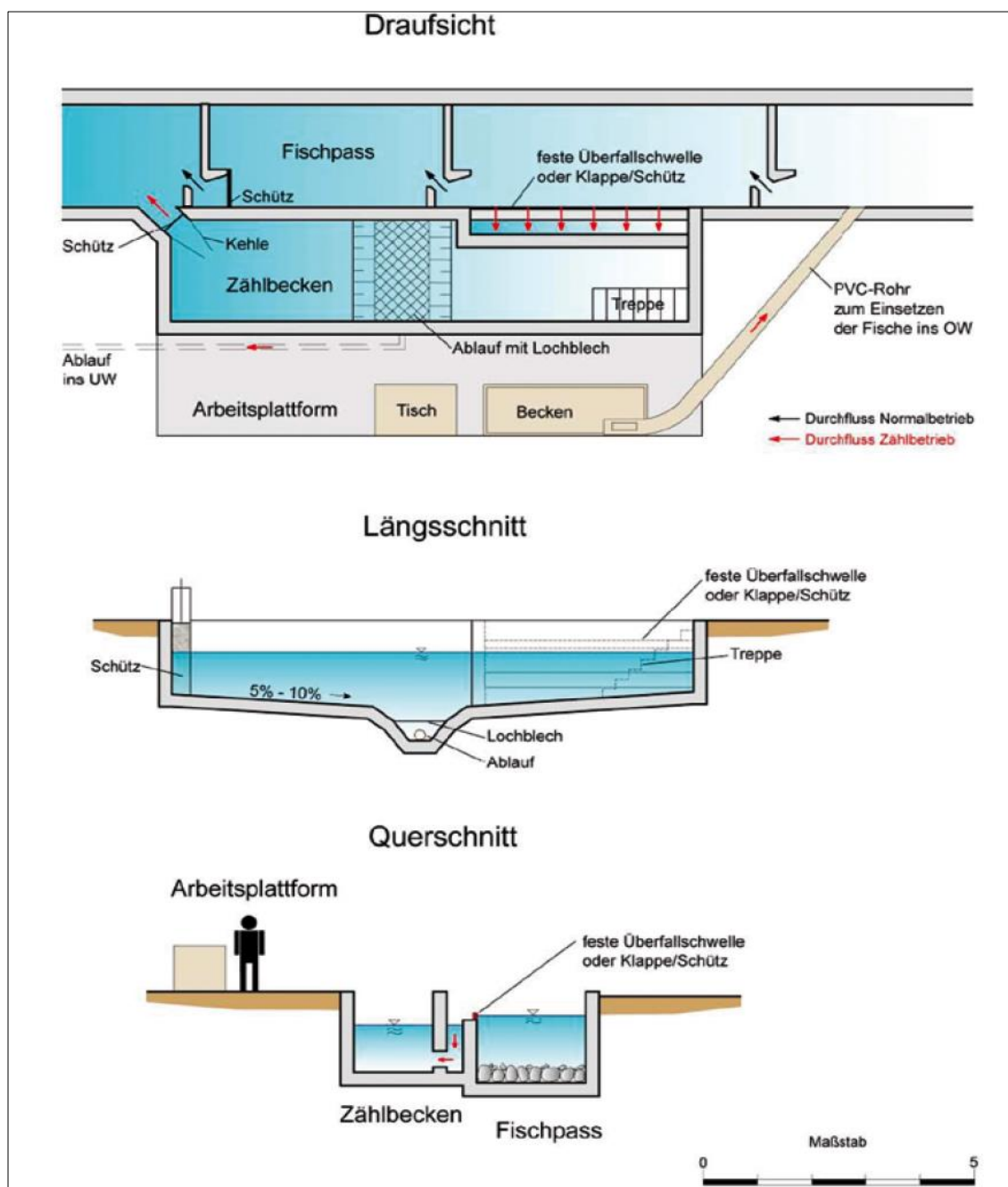


Abb. 57: Schematische Darstellung des Zählbeckens im Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) (GEBLER 2010)



Abb. 58: Zählbecken des Raugerinne-Beckenpasses Wyhlen (D) in geflutetem (links) und abgelassenem Zustand (rechts)

4.3.1.3 Fang von Schwarzmundgrundeln

Zum Fang von Kessler- und Schwarzmundgrundeln wurden im Oberwasser der Staustufe Birsfelden zweiteilige, 0,4 m lange Metallreusen auf der Gewässersohle exponiert, die mit Hundetrockenfutter beködert worden waren. Alle Reusen wurden täglich kontrolliert und die entnommenen Fische transpondiert.



Abb. 59:
Fang von Grundeln mittels kleinen Reusen
in der Stauhaltung Birsfelden

4.3.2 Markierung

Zur individuellen Markierung der Fische im Hochrhein wurden HDX PIT-Tags (Passive Integrated Transponder) verwendet, die eine schonende, lebenslange und individuelle Kennzeichnung ermöglichen. Besonders kleine Fischarten, wie Schneider und Schwarzmundgrundeln wurden mit PIT-Tags der Grösse: 12 x 2,0 mm markiert (Abb. 60). Grössere Exemplare ab ca. 15 cm Länge erhielten einen 23 x 3,9 mm und noch längere Fische einen 32 x 3,9 mm grossen Tiertransponder. Die Markierung erfolgte jeweils unter leichter Sedierung des Fisches, um den PIT-Tag durch einen minimalen Schnitt in der Bauchhöhle ablegen zu können (Abb. 61, ADAM et al. 2013). Im Rahmen der Markierungsprozedur wurden neben dem Datum der Kennzeichnung die Art und Totallänge eines jeden Exemplars sowie sein ID-Code protokolliert. Diese Informationen wurden ergänzt um den Besatzort, an dem ein jeder Fisch in den Hochrhein entlassen wurde, in einer Datenbank gespeichert.

Abb. 60:

Verwendete PIT-Tags
der Grössen 12 x 2 mm,
23 x 3,9 mm und 32 x 3,9 mm



Abb. 61:

Intraabdominale Applikation
eines PIT-Tags



Zum Aufwachen aus der Betäubung wurden die Fische in Transportbecken von 0,58 m³ bzw. 0,28 m³ Volumen auf einem PKW-Anhänger überführt, die bis zur Abfahrt mittels einer Tauchpumpe im Durchfluss mit frischem Flusswasser befüllt wurden.

4.3.3 **Besatz**

Der Besatz der transpondierten Fische erfolgte etwa 1 bis 5 km flussabwärts der jeweiligen Staustufen. Die an der Fischaufstiegshilfe Birsfelden markierten Fische wurden allerdings 3 km oberhalb des Wehres und damit im Unterwasser der Staustufe Augst-Wyhlen entlassen. Damit bemessen sich die Transportstrecken auf ca. 2 km bis 7 km wofür ca. 15 Minuten benötigt wurden. An den Besatzorten wurden die Fische in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten direkt per Kescher aus dem Transportbecken in den Rhein umgesetzt oder in einer Transportwanne zum Rheinufer getragen. Die genaue Lage der Besatzorte ist Tab. 3 und Abb. 62 zu entnehmen.

Tab. 3: Beschreibung der Position, an der transpondierte Fische in den Hochrhein gesetzt wurden (blau unterlegt = Besatzstellen des Vorprojekts, PETER et al. 2016)

Nr.	Besatzort	Lage
HR-1	Birsfelden, Oberwasser bzw. Wyhlen, Unterwasser	(D) auf Höhe Bahnhof
HR-2	Augst, Unterwasser	(CH) Wasserfahrverein MuttENZ am Gasthof Solbad
HR-3	Augst, Oberwasser	(CH) stromauf Kraftwerk
HR-4	Rheinfelden, Unterwasser	(D) Wassersportfreunde Rheinfelden
HR-5	Rheinfelden, Unterwasser	(D) 2.000 m stromab Wehr
HR-6	Rheinfelden, Unterwasser	(CH) 500 m stromab Kraftwerk
HR-7	Rheinfelden, Unterwasser	(D) 500 m stromab Wehr
HR-8	Rheinfelden, Unterwasser	(CH) Flossländeweg
HR-9	Rheinfelden, Oberwasser	(CH) stromauf Kraftwerk
HR-10	Ryburg-Schwörstadt, Unterwasser	(D) Fischerweg, oberhalb Schlosshotel Beuggen
HR-11	Säckingen, Unterwasser	(D) Aufeld, auf Höhe Fridolinsinsel

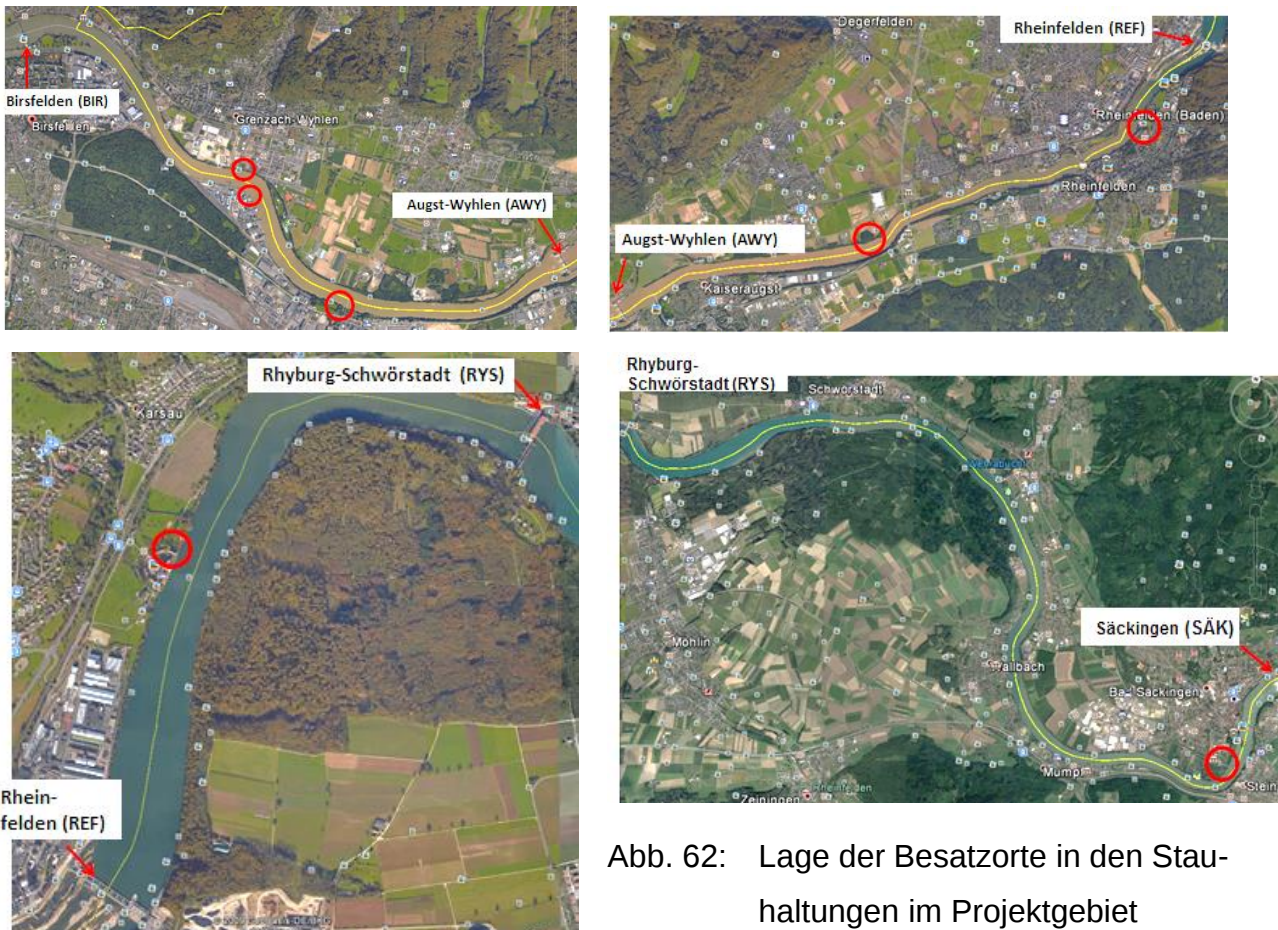


Abb. 62: Lage der Besatzorte in den Stauhaltungen im Projektgebiet

4.3.4 Transpondierte Fische

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden vom Institut für angewandte Ökologie insgesamt 17.135 Fische mit einem HDX PIT-Tag intraabdominal markiert (Tab. 4). Zuzüglich der 2.022 Exemplare aus dem Vorprojekt von PETER et al. (2016) waren damit 19.157 transpondierte Fische im Untersuchungsgebiet präsent.

Entsprechend ihrer Häufigkeit im Hochrhein bzw. des Fangerfolges wurden unterschiedlich viele Individuen aus verschiedenen Arten gekennzeichnet. Insgesamt wurden 28 Arten markiert, wobei jeweils gut ein Viertel der Fische auf die Arten Barbe und Rotaugen entfiel. Bei knapp 15 % der markierten Fische handelte es sich um Lauben und bei 10,5 % um Schwarzmundgrundeln. Jeweils ca. 6 % der Markierungen entfielen auf Alet und Egli, 3 % auf Hasel. Die Arten Schneider, Nase, Gründling und Brachsme trugen jeweils zu etwa 1 % zum Bestand der transpondierten Exemplare im Untersuchungsgebiet bei. Auf weitere 17 Arten entfielen insgesamt 0,7 % der markierten Exemplare. Diese Arten werden in den Auswertungen unter der Rubrik „Sonstige“ zusammengefasst. Mehr als drei Viertel der

Markierungen wurden im Jahr 2017 durchgeführt und jeweils gut 10 % im Rahmen des Vorprojekts im Jahr 2016 von PETER et al. sowie im Jahr 2018 (Tab. 4).

Tab. 4: Übersicht über die markierten Arten

Art / Synonym	wissenschaftlicher Name	Anzahl
Aal	<i>Anguilla anguilla</i>	6
Alet / Döbel	<i>Squalius cephalus</i>	1.198
Äsche	<i>Thymallus thymallus</i>	5
Bachforelle	<i>Salmo trutta f. fario</i>	25
Barbe	<i>Barbus barbus</i>	5.113
Brachsme / Blei	<i>Abramis brama</i>	131
Egli / Barsch	<i>Perca fluviatilis</i>	1.113
Elritze	<i>Phoxinus phoxinus</i>	3
Giebel	<i>Carassius gibelio</i>	1
Groppe	<i>Cottus gobio</i>	4
Gründling	<i>Gobio gobio</i>	140
Güster	<i>Blicca bjoerkna</i>	3
Hasel	<i>Leuciscus leuciscus</i>	637
Hecht	<i>Esox lucius</i>	3
Karpfen	<i>Cyprinus carpio</i>	7
Kesslergrundel	<i>Neogobius kessleri</i>	20
Laube / Ukelei	<i>Alburnus alburnus</i>	2.817
Nase	<i>Chondrostoma nasus</i>	183
Rapfen	<i>Aspius aspius</i>	2
Regenbogenforelle	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	3
Rotaugen / Plötze	<i>Rutilus rutilus</i>	5.387
Rotfeder	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	11
Schleie	<i>Tinca tinca</i>	9
Schneider	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	301
Schwarzmundgrundel	<i>Neogobius melanostomus</i>	2.005
Sonnenbarsch	<i>Lepomis gibbosus</i>	16
Strömer	<i>Telestes souffia</i>	3
Wels	<i>Silurus glanis</i>	11
Summe		19.157

Die Anzahl der in den einzelnen Stauhaltungen besetzten markierten Exemplare nahm nach stromaufwärts ab. Hierdurch war gewährleistet, dass trotz Zuwanderung aus den unterhalb gelegenen Stauhaltungen jeweils immer annähernd die gleiche Anzahl markierter Fische in den einzelnen Stauhaltungen präsent war. Die besonders grosse Anzahl markierter Fische in den Stauhaltungen Birsfelden (= Unterwasser der Staustufe Augst-Wyhlen) und Augst-Wyhlen (= Unterwasser der Staustufe Rheinfelden) ergab sich daraus, dass im Vorprojekt von PETER et al (2016) sämtliche transpondierten Exemplare in der Stauhaltung Augst-Wyhlen entlassen worden waren. Zudem beschränkten sich Fang und Besatz von mehr als 2.000 Kessler- und Schwarzmundgrundeln auf die Stauhaltung Birsfelden. Eine Übersicht über die artspezifische Anzahl der markierten Exemplare, ihre Verteilung auf die Besatzjahre und die Stauhaltungen gibt Tab. 4.

Während auf die Markierung besonders kleiner Exemplare von deutlich unter 10 cm Länge verzichtet wurde, um die Regeln für eine gut verträgliche Relation zwischen der Biometrie des Fisches zum Implantat einzuhalten (ADAM et al. 2013), erhielten die meisten gefangenen Exemplare einen PIT-Tag. Insofern entsprach das Grössenspektrum der transpondierten Fische im Wesentlichen demjenigen der Aufwanderer in den Fischaufstiegshilfen und reichte von einer 7 cm langen Schwarzmundgrundel bis zu einem 117 cm langen Wels.

Kleinfische wie Grundeln, Schneider und Gründlinge stellten naturgemäss den grössten Anteil der Exemplare bis ca. 12 cm Länge. Die Grössengruppe um ca. 15 cm wurde von der Laube dominiert, diejenige um 20 cm vom Rotauge. Der Egli wurde in Grössen von ca. 10 bis 30 cm markiert, Alet und Brachsme im Wesentlichen im Längenbereich von 10 bis 45 cm. Die Barben schliesslich waren mit Exemplaren von weniger als 10 cm bis mehr als 70 cm Länge mit zwei deutlichen Maxima bei ca. 15 und 60 cm Länge vertreten. Graphisch dargestellt ist die Längenfrequenz der markierten Fische in Abb. 63.

Tab. 5: Artspezifische Anzahl markierter Fische, Besatzjahr und -ort

Art	Jahr			Besatz im Unterwasser der Staustufen				Summe
	2016 (Vorprojekt)	2017	2018	Augst-Wyhlen	Rheinfelden	Ryburg-Schwörstadt	Säckingen	
Aal	5	0	1	1	5	0	0	6
Alet	329	699	170	283	447	346	122	1.198
Äsche	0	5	0	0	1	3	1	5
Bachforelle	11	7	7	7	14	4	0	25
Barbe	1.010	3.268	835	1.349	2.280	484	1.000	5.113
Brachsme	9	109	13	102	12	7	10	131
Egli	98	1011	4	74	420	604	15	1.113
Elritze	0	0	3	0	0	3	0	3
Giebel	1	0	0	0	1	0	0	1
Groppe	1	2	1	0	3	1	0	4
Gründling	10	21	109	1	13	126	0	140
Güster	0	1	2	3	0	0	0	3
Hasel	46	326	265	90	81	400	66	637
Hecht	1	2	0	1	2	0	0	3
Karpfen	3	2	2	1	3	3	0	7
Kesslergrundel	0	16	4	20	0	0	0	20
Laube	263	2.329	225	598	960	1.189	70	2.817
Nase	26	103	54	54	48	40	41	183
Rapfen	0	1	1	2	0	0	0	2
Regenbogenforelle	3	0	0	0	3	0	0	3
Rotaugen	140	5.094	153	2.748	356	638	1.645	5.387
Rotfeder	0	8	3	3	0	6	2	11
Schleie	5	3	1	1	6	1	1	9
Schneider	57	160	84	25	137	133	6	301
Schwarzmundgrundel	0	1.798	207	2005	0	0	0	2.005
Sonnenbarsch	0	3	13	0	0	16	0	16
Strömer	0	3	0	3	0	0	0	3
Wels	4	6	1	6	5	0	0	11
Summe	2.022	14.977	2.158	7.377	4.797	4.004	2.979	19.157
Unterwasser Augst-Wyhlen = Stauhaltung Birsfelden								
Unterwasser Rheinfelden = Stauhaltung Augst-Wyhlen								
Unterwasser Ryburg-Schwörstadt = Stauhaltung Rheinfelden								
Unterwasser Säckingen = Stauhaltung Ryburg-Schwörstadt								

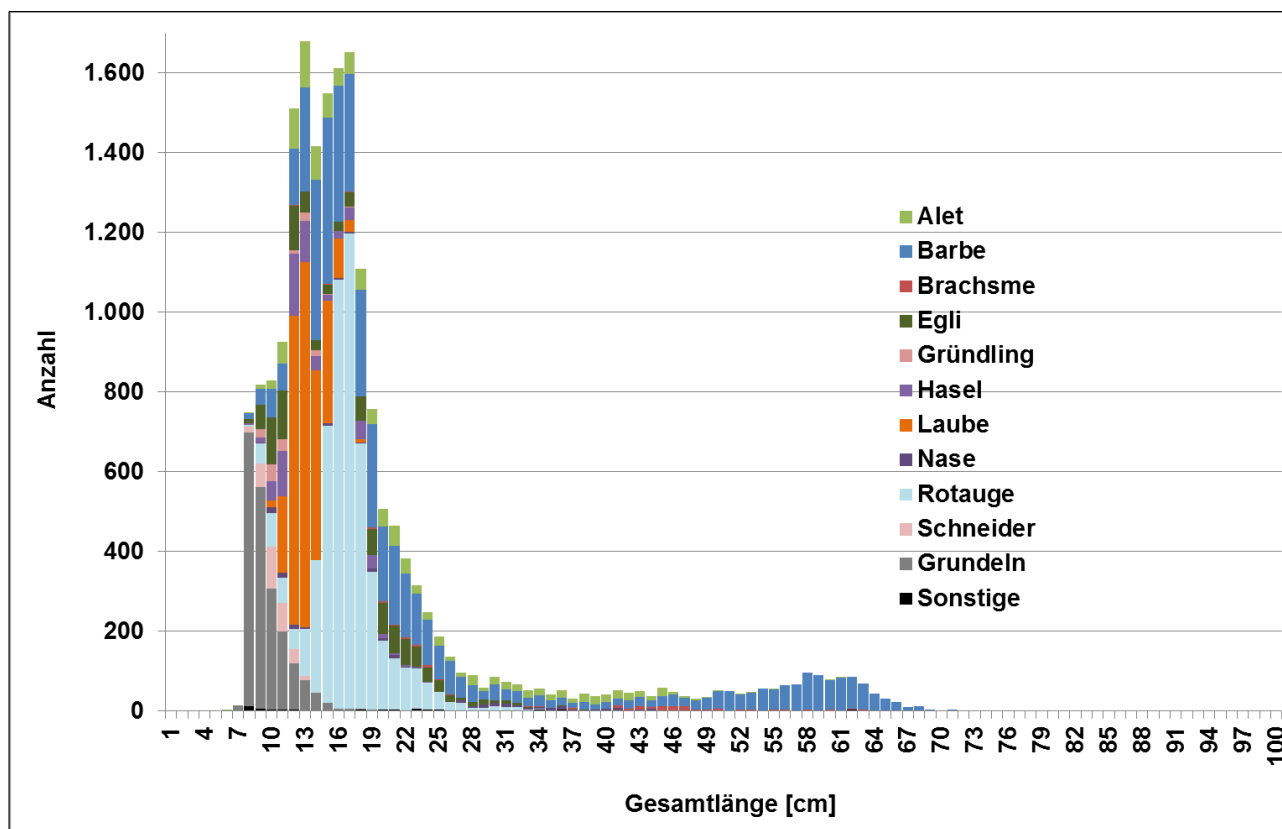


Abb. 63: Längenfrequenz der mit PIT-Tags markierten Fische (n = 19.157; 15 Exemplare > 100 cm sind nicht dargestellt)

4.4 DATENMANAGEMENT

4.4.1 Datengrundlage

Im Rahmen der Markierungsprozedur und des anschließenden Besatzes wurden für jedes Individuum folgende **Stammdaten** erfasst und in eine Datenbank eingespeist:

Stammdaten	
Datum	Tag des Fanges resp. der Markierung und des Besatzes
Uhrzeit	Zeitpunkt des Besatzes
Code	ID-Code des implantierten Transponders
Art	Art des markierten Fisches
Totallänge	Länge des markierten Fisches von der Schnauzenspitze bis zum Schwanzende
Besatzort	Position, an der der Fisch in den Hochrhein entlassen wurde (siehe Tab. 2)

Von der FishConsulting GmbH wurden entsprechende Informationen von denjenigen Fischen zur Verfügung gestellt, die 2016 im Rahmen des Vorprojekts mit einem HDX PIT-Tag markiert und besetzt worden waren (PETER et al. 2016).

Die 48 im Untersuchungsgebiet exponierten HDX-Antennen waren permanent in Betrieb und registrierten die Signale sämtlicher Transponder, die in ihren Schwingkreis gerieten. Jedes empfangene Transpondersignal wurde in den zugehörigen ID-Code umgewandelt, mit einem Zeitstempel (Uhrzeit: hh:mm:ss.ms.ms und Datum: dd.mm.aaaa) sowie der Nummer der Antenne (Adresse) versehen und von einem PC in einer Protokolldatei (pro-Datei) gespeichert (Abb. 64).

Abb. 64:

Beispiel einer pro-Datei:

Spalte B enthält die Adresse der Antenne,
Spalte C den ID-Code des detektierten
Fisches, Spalte D die Uhrzeit und
Spalte E das Datum

	A	B	C	D	E
1	begonnen	0	0:00:00.02 1	2014	
2	ID-Code	11	180316249	00:49:28.01	13.04.2014
3	ID-Code	11	180316117	03:13:19.67	13.04.2014
4	ID-Code	12	180316117	03:13:19.96	13.04.2014
5	ID-Code	11	180316117	03:21:38.65	13.04.2014
6	ID-Code	11	180316117	03:59:32.41	13.04.2014
7	ID-Code	12	180316117	03:59:33.51	13.04.2014
8	ID-Code	11	180316117	04:12:42.44	13.04.2014
9	ID-Code	12	180316117	04:13:25.35	13.04.2014
10	ID-Code	11	180316117	04:14:44.04	13.04.2014
11	ID-Code	11	180316117	04:16:43.85	13.04.2014
12	ID-Code	12	180316249	04:18:26.17	13.04.2014
13	ID-Code	13	180316249	04:18:56.45	13.04.2014
14	ID-Code	11	180316249	05:13:53.86	13.04.2014
15	ID-Code	12	180316249	05:13:56.16	13.04.2014
16	ID-Code	12	180316392	05:58:58.72	13.04.2014
17	ID-Code	13	180316392	05:58:59.85	13.04.2014
18	ID-Code	11	180316392	06:01:52.44	13.04.2014
19	ID-Code	12	183590437	13:00:51.13	13.04.2014
20	ID-Code	11	180655083	21:19:20.83	13.04.2014
21	ID-Code	12	180655083	21:19:21.12	13.04.2014
22	ID-Code	13	183596470	22:22:04.02	13.04.2014
23	ID-Code	12	180316249	22:43:55.14	13.04.2014
24	ID-Code	11	180316249	22:43:57.83	13.04.2014
25	ID-Code	12	183596426	23:10:29.32	13.04.2014
26	ID-Code	13	183596290	23:51:31.27	13.04.2014
27	ID-Code	12	183596290	23:51:33.52	13.04.2014
28	beendet	0	0:00:00.06 1	2014	
29					

Jede von den PCs angelegte pro-Datei begann täglich um 0 Uhr und endete um 23:59:59:99 Uhr. Ein vollständiges Bild der Ortsbewegungen eines jeden transpondierten Fisches im Untersuchungsgebiet ergab sich durch das Zusammenführen der pro-Dateien aller PCs und die nachfolgende Sortierung aller Detektionen eines ID-Codes, d. h. Individuums in chronologischer Reihenfolge. Folgende **Treckingdaten** standen damit für eine Auswertung zur Verfügung:

Treckingdaten	
Ort	Nummer der Antenne: Sämtliche Antennen waren unverwechselbar adressiert (Tab. 1), so dass sich ein registrierter ID-Code anhand der Antennennummer eindeutig verorten lässt
ID-Code	Der individuelle Code des detektierten Fisches.
Datum	Tag der Detektion
Uhrzeit	Uhrzeit der Detektion auf eine 100stel-Sekunde genau.

4.4.2 Bereinigung und Verschneidung der Daten

Die Treckingdaten sämtlicher Fische wurden in die institutseigene, speziell für die Analyse von HDX-Daten konfigurierte Datenbank „HENDRIX“ eingespeist. In diesem Arbeitsschritt wurde das Datenvolumen reduziert, das sich aufgrund der hohen Lesegeschwindigkeit der Antennen von etwa 50 ms ergibt: Aus den zum Teil zahlreichen redundanten Detektionen eines Transponders an einer Antenne wurde nur eine Lesung von denjenigen behalten, die innerhalb einer Sekunde registriert wurden.

Über den ID-Code wurden die Treckingdaten in einem weiteren Arbeitsschritt mit den Stammdaten des jeweiligen Fisches verschnitten, so dass jedem Leseereignis die individuellen Daten über Art und Länge des Exemplars, sowie Ort und Zeit seines Besatzes zugeordnet werden konnten.

Anhand des Datums wurden sodann jedem Datensatz die beim BAFU abgerufenen Tagesmittelwerte von Wassertemperatur und Abfluss zugeordnet, um das Verhalten der Fische mit den jeweiligen Umweltbedingungen korrelieren zu können (Kap. 5.1 und 5.2).

4.4.3 Analyse von Bewegungsmustern

Die in HENDRIX archivierten Daten wurden als Excel-Arbeitsblatt ausgegeben, in dem jede Tabellenzeile ein Leseereignis eines Individuums an einer Antenne dokumentiert. Als weitere Zeilen wurden hinzugefügt:

- Die Besatzdaten eines jeden Individuums (ID-Code, Besatzort, Datum und Uhrzeit).
- Wiederfänge markierter Individuen in den Reusen und Zählbecken der Fischeaufstiegs-hilfen (ID-Code, Fangort, Datum und Uhrzeit).

- Externe Detektionen transponierter Individuen, die von der Association Saumon Rhin an der Oberrhein-Staustufe Kembs sowie von der AXPO Power AG an den Aare-Staustufen Rapperswil-Auenstein und Aarau-Rüchlig aufgezeichnet worden waren (ID-Code, Detektionsort, Datum und Uhrzeit).

Nach ID-Code, Datum und Uhrzeit sortiert, ergab sich schliesslich eine „Muttertabelle“, in der sämtliche Informationen über jedes markierte Individuum in chronologischer Reihenfolge verzeichnet waren. Nochmals manuell um redundante Informationen bereinigt, umfasste diese Muttertabelle am Ende der Projektlaufzeit insgesamt 92.018 Datensätze. Ein Ausschnitt daraus ist in Abb. 65 abgebildet. Sämtliche nachfolgenden Auswertungen basieren auf dieser Muttertabelle.

Anhand der Abfolge der Datensätze sind bereits in der Muttertabelle die räumliche und zeitliche Abfolge der Ortsbewegungen eines jeden Fisches unmittelbar nachvollziehbar. Erkennbar ist also, welche der Fischaufstiegshilfen an einer Staustufe aufgefunden wurde, ob der Fisch sie bis zum Oberwasser erfolgreich durchschwommen hat und ob er in der jeweilig exponierten Fangeinrichtung gefangen wurde. Ebenso ist ersichtlich, wenn ein Fisch den Aufstieg unter- oder abgebrochen hat, ins Unterwasser zurückgekehrt ist und den Aufstieg später, ggf. an einer anderen Fischaufstiegshilfe derselben Staustufe, erneut versucht hat. Darüber hinaus wurden Datum und Uhrzeit dazu genutzt, den zeitlichen Verlauf der Bewegungsmuster zu analysieren und die Zeitdauer zu bestimmen, die ein Fisch benötigte, um von einer Position zur nächsten zu wechseln. Schliesslich wurden sämtliche Bewegungsdaten separat für jede Fischaufstiegshilfe und Staustufe, sowie in Abhängigkeit von der Fischart und Körperlänge, Wassertemperatur und Abfluss analysiert.

Position	Ort	ID-Code	Datum	Uhrzeit	Art	Länge [cm]	Temp. [°C]	Abfluss [m³/s]
HR-3	OW Augst (Peter)	164993609	28.06.2016	11:00	Barbe	55,7		
111	Wyhlen Fischlift Einstieg	164993609	23.06.2018	9:07	Barbe	55,7	20,4	1002
111	Wyhlen Fischlift Einstieg	164993609	23.06.2018	9:40	Barbe	55,7	20,4	1002
101	Augst Einstieg	164993609	28.09.2018	22:08	Barbe	55,7	17,9	516
102	Augst Einstieg	164993609	28.09.2018	22:09	Barbe	55,7	17,9	516
103	Augst Ausstieg	164993609	28.09.2018	22:42	Barbe	55,7	17,9	516
104	Augst Ausstieg	164993609	28.09.2018	22:45	Barbe	55,7	17,9	516
131	Rheinfelden CH Einstieg	164993609	07.10.2018	6:47	Barbe	55,7	17,1	530
132	Rheinfelden CH Einstieg	164993609	11.10.2018	0:13	Barbe	55,7	17,2	454
133	Rheinfelden CH Ausstieg	164993609	11.10.2018	1:05	Barbe	55,7	17,2	454
134	Rheinfelden CH Ausstieg	164993609	11.10.2018	1:06	Barbe	55,7	17,2	454
161	Schwörstadt UG Einstieg	164993609	18.10.2018	19:02	Barbe	55,7	16,5	406
161	Schwörstadt UG Einstieg	164993609	18.10.2018	19:12	Barbe	55,7	16,5	406
162	Schwörstadt UG Einstieg	164993609	18.10.2018	19:14	Barbe	55,7	16,5	406
161	Schwörstadt UG Einstieg	164993609	19.10.2018	0:56	Barbe	55,7	16,4	402
162	Schwörstadt UG Einstieg	164993609	19.10.2018	0:57	Barbe	55,7	16,4	402
174	Schwörstadt Ausstieg	164993609	19.10.2018	3:59	Barbe	55,7	16,4	402
HR-1	UW Wyhlen	900226000210142	06.09.2017	20:00	Rotaug	15		
101	Augst Einstieg	900226000210142	07.09.2017	14:32	Rotaug	15	19,9	1133
102	Augst Einstieg	900226000210142	07.09.2017	14:42	Rotaug	15	19,9	1133
103	Augst Ausstieg	900226000210142	07.09.2017	15:55	Rotaug	15	19,9	1133
104	Augst Ausstieg	900226000210142	07.09.2017	16:02	Rotaug	15	19,9	1133
105	Reuse Augst	900226000210142	08.09.2017	15:15	Rotaug	15,5	19,1	1077
HR-1	UW Wyhlen	900226000210143	06.09.2017	20:00	Rotaug	14,5		
121	Wyhlen FAA Einstieg	900226000210143	04.10.2018	14:47	Rotaug	14,5	16,3	578
122	Wyhlen FAA Einstieg	900226000210143	04.10.2018	14:48	Rotaug	14,5	16,3	578
127	Wyhlen FAA Ausstieg	900226000210143	04.10.2018	15:45	Rotaug	14,5	16,3	578
128	Wyhlen FAA Ausstieg	900226000210143	04.10.2018	15:47	Rotaug	14,5	16,3	578
HR-6	UW Rheinfelden CH	900226000210228	06.06.2017	16:00	Barbe	15		
131	Rheinfelden CH Einstieg	900226000210228	21.07.2018	1:15	Barbe	15	23,5	709
132	Rheinfelden CH Einstieg	900226000210228	21.07.2018	1:24	Barbe	15	23,5	709
133	Rheinfelden CH Ausstieg	900226000210228	21.07.2018	3:49	Barbe	15	23,5	709
134	Rheinfelden CH Ausstieg	900226000210228	21.07.2018	3:50	Barbe	15	23,5	709
HR-6	UW Rheinfelden CH	900226000210252	06.06.2017	14:00	Barbe	15		
131	Rheinfelden CH Einstieg	900226000210252	31.08.2017	00:43	Barbe	15	22,3	882
132	Rheinfelden CH Einstieg	900226000210252	31.08.2017	00:48	Barbe	15	22,3	882
134	Rheinfelden CH Ausstieg	900226000210252	31.08.2017	02:14	Barbe	15	22,3	882
161	Schwörstadt UG Einstieg	900226000210252	31.08.2017	23:32	Barbe	15	22,3	882
162	Schwörstadt UG Einstieg	900226000210252	31.08.2017	23:38	Barbe	15	22,3	882
173	Schwörstadt Ausstieg	900226000210252	01.09.2017	03:29	Barbe	15	21,5	1198
181	Säckingen Einstieg	900226000210252	10.09.2017	06:31	Barbe	15	18,7	1050
182	Säckingen Einstieg	900226000210252	10.09.2017	06:34	Barbe	15	18,7	1050
183	Säckingen Parallelantenne	900226000210252	10.09.2017	07:05	Barbe	15	18,7	1050
185	Säckingen Ausstieg	900226000210252	10.09.2017	7:06	Barbe	15	18,7	1050

Abb. 65: Ausschnitt aus der Muttertabelle; der Besatz ist jeweils grün markiert, Wiederfänge in Reusen bzw. Zählbecken gelb; die Antennennummern sind zur besseren optischen Differenzierbarkeit jeweils mit unterschiedlichen Farben hinterlegt

4.4.4 Identifizierung und Terminierung von Ereignissen

Der Fokus des vorliegenden Projekts lag auf der kontinuierlichen Erfassung von Einschwimm- und Passageereignissen transpondierter Fische in den beprobten Fischaufstiegshilfen mittels HDX-Technologie.

Als **Einschwimmereignis** wurde gewertet, wenn ein vom Unterwasser kommendes Exemplar an einer der Antennen in der jeweiligen Fischaufstiegshilfe registriert wurde. In der Regel war dies die stromabwärtigste Antenne, gelegentlich aber auch eine nachfolgende, denn zuweilen passierten Fische eine Antenne auch, ohne detektiert zu werden. Entsprechend erreichten nur wenige Antennen eine 100%ige Lesequote (Kap. 6.1.2). Um die Detektionssicherheit zu erhöhen waren deshalb die Einstiegsbereiche sämtlicher Fischaufstiegshilfen grundsätzlich mit zwei, in kurzem Abstand aufeinander folgenden Antennen ausgestattet worden.

Als **Auffindezeitpunkt** wurde derjenige Zeitpunkt (Datum und Uhrzeit) definiert, an dem ein Fisch erstmals in einer Fischaufstiegshilfe registriert wurde. Entsprechend errechnet sich die **Auffindedauer** als Differenz zwischen dem Auffindezeitpunkt und dem Zeitpunkt, an dem der Fisch besetzt worden war (Datum und Uhrzeit). Hatte ein Fisch nach dem Besatz bereits eine stromab gelegene Fischaufstiegshilfe passiert, dann wurde seine letzte Registrierung dort der Berechnung der Auffindedauer zugrunde gelegt.

Als **Passage** wurde gewertet, wenn ein Fisch in eine Fischaufstiegshilfe eingeschwommen war und danach im Ausstiegsbereich registriert wurde. Dies musste nicht zwangsläufig an der stromaufwärtigsten Antenne erfolgt sein, denn während der Fangkampagnen war der Ausstieg durch die Fanggeräte blockiert, so dass Fische die oberste Antenne in den meisten Fischaufstiegshilfen gar nicht erreichen konnten. Zudem können Leseereignisse an der obersten Antenne fehlen, wenn deren Lesequote geringer als 100 % war. Entsprechend waren auch die Ausstiegsbereiche sämtlicher Fischaufstiegshilfen grundsätzlich mit zwei, in kurzem Abstand aufeinander folgenden Antennen ausgestattet worden.

Als Passage wurde auch gewertet, wenn Fische in den Reusen und Zählbecken gefangen worden waren. Lediglich in Ryburg-Schwörstadt (D) wurde von dieser Regel abgewichen, denn das dortige Zählbecken befindet sich nicht am Ausstieg, sondern etwa in der Mitte der Fischaufstiegshilfe. Deshalb erlaubt der Nachweis eines transpondierten Fische an diesem Bereich keine Rückschlüsse auf die Passierbarkeit der Gesamtanlage.

Die **Passagezeiten** wurden anhand der Zeitdifferenz zwischen der letztmaligen Detektion im Einstiegsbereich und der erstmaligen Detektion im Ausstiegsbereich berechnet.

4.4.5 Berechnung von Quoten

Wesentliche Parameter zur Bewertung der Funktionsfähigkeit von Fischaufstiegshilfen anhand von HDX-Daten sind die Auffinde- und die Passagequote.

Als **Auffindequote** wurde derjenige Prozentsatz der im Unterwasser präsenten Fische definiert, die mindestens einmal in einer Fischaufstiegshilfe detektiert wurden. Das Aufstiegspotenzial im Unterwasser setzte sich dabei jeweils aus den dort besetzten Exemplaren zusammen sowie denjenigen Fischen, die durch Passage der stromab gelegenen Staustufe dorthin eingewandert waren.

Als **Passagequote** wurde derjenige Prozentsatz der Einschwimmereignisse gewertet, die durch eine erfolgreiche Passage der Fischaufstiegshilfe abgeschlossen wurden. Dies war, insbesondere in den Expositionszeiten der Fanggeräte, nicht zwangsläufig mit einem Übertritt aus der Fischaufstiegshilfe in das Oberwasser verbunden. Als Passagen wurden deshalb auch solche Bewegungsmuster gewertet, bei denen ein Fisch nach Erreichen des Ausstiegsbereichs umkehrte und zurück ins Unterwasser schwamm. Jedes erneute Einschwimmen in dieselbe oder eine andere Fischaufstiegshilfe wurde als erneuter Passageversuch gewertet und ging somit ebenfalls in die Berechnung der Passagequoten ein.

4.4.6 Parametrisierung von Auffinde- und Passagezeit

Aufgrund der individuellen, orts- und zeitgenauen Detektion wandernder Fische erlaubt es die HDX-Technik nicht nur, Ereignisse zu zählen und Quoten zu berechnen, sondern es können auch die zeitlich-räumlichen Bewegungsmuster jedes einzelnen Fisches dokumentiert werden. Auf dieser Basis ist es möglich, die individuellen Zeiten zu ermitteln, die ein Fisch benötigt hat, um den Einstieg der jeweiligen Fischaufstiegshilfe zu finden und wie lange es gedauert hat, die Anlage zu passieren, um das Oberwasser zu erreichen. Auf diese Weise stehen mit der Auffinde- und Passagezeit zwei zusätzliche Parameter zur Verfügung, um die Wirksamkeit von Fischaufstiegshilfen differenziert bewerten zu können.

Die Auswertung dieser Daten zeigte allerdings, dass die Werte für die Auffinde- und Passagedauer enorm streuen (Abb. 66). So benötigten zwar die meisten Fische für das Auffinden eine relativ kurze Zeit, wobei die schnellsten Exemplare bereits eine Stunde nach ihrem Besitz den Einstieg der stromauf gelegenen Fischaufstiegshilfe erreichten, andere Individuen hingegen erst viele Monate später. So wurde eine von PETER et al. (2016) im Frühjahr 2016 im Rahmen des Vorprojekts markierte Barbe erst 20.937 Stunden, also 872 Tage bzw. 2,5 Jahre später im Herbst 2018 erstmalig detektiert. Ähnlich

verhält es sich hinsichtlich der Passage der Fischaufstiegshilfen: Die schnellsten Exemplare benötigten hierfür weit weniger als eine Stunde, während andere erst Wochen oder gar Monate nach dem Einschwimmen den Ausstieg erreichten.

Bei solch langen Zeiträumen ist offensichtlich, dass sie nicht als Ausdruck einer mangelhaften Funktionsfähigkeit interpretiert werden können, denn der Fisch wird sicherlich nicht zweieinhalb Jahre lang permanent, aber vergeblich nach einem Einstieg gesucht haben. Vielmehr hat ganz offensichtlich die Motivation der Fische einen erheblichen Einfluss. Da sich dieser individuelle Faktor allerdings nicht ohne weiteres bestimmen lässt, ist es schwierig zu differenzieren, bis zu welcher Auffindedauer Fische tatsächlich nach einem Aufwanderkorridor gesucht haben, oder aber im Unterwasser „trödelnd“ umher geschwommen sind, so dass mehr Zeit bis zum Einschwimmen vergangen ist, als nötig gewesen wäre. Sinngemäss gilt das Gleiche auch für die Passagedauer.

Um die Auffinde- und Passagedauer dennoch als aussagekräftigen Parameter für die Funktionsbewertung von Fischaufstiegshilfen nutzen zu können, ist es notwendig, die enorm streuenden Einzelwerte sinnvoll zusammenzufassen. Die Betrachtung des Mittelwertes ist dafür ungeeignet, denn die mittlere Auffindedauer beträgt für sämtliche Fischaufstiegshilfen 1.989 Stunden, d. h. knapp drei Monate (Abb. 66). Da in dieser Zeitspanne jedoch bereits drei Viertel aller Auffindeereignisse stattgefunden hatten, wird der Mittelwert offensichtlich in starkem Masse von Trödlern beeinflusst. Ein weiteres Problem des Mittelwertes besteht darin, dass er aufgrund der Trödler steigt, je länger der Untersuchungszeitraum dauert. So lag der Mittelwert der Auffindedauer Ende 2018 noch bei 1.821 Stunden, während er sich durch die einjährige Verlängerung des Projekts bis Ende 2019 um 168 Stunden erhöhte.

Als Mass für die Auffinde- bzw. die Passagezeit geben deshalb beispielsweise PITSCH & MOCKENHAUPT (2015), OVIDIO et al. (2017) und BENIETZ et al. (2018) den Median an. Dieser beträgt für die Auffindedauer aller beprobten Fischaufstiegshilfen am Hochrhein 327 Stunden, also etwa zwei Wochen (Abb. 66). Auch dieser Wert liegt weit jenseits der Zeiten, die die schnellsten Exemplare benötigt haben (Abb. 66). Der Meridian drückt somit ebenfalls nur zum Teil die Qualität der Fischaufstiegshilfe aus, denn auch er unterliegt dem Einfluss von Trödlern. Insofern ist auch der Median nur von begrenztem Nutzen für die objektive Bewertung der Auffinde- und Passagezeit der jeweiligen Fischaufstiegshilfe, sowie für einen Vergleich mit anderen Anlagen.

Es existiert allerdings ein anderer Wert, der geeignet ist, um die Auffinde- und Passagezeit einer Fischeufstiegshilfe zu charakterisieren. Dieser Wert ergibt sich, wenn man die Häufigkeiten der kürzesten nachgewiesenen Auffinde- und Passagezeiten in Form von Kurvendiagrammen darstellt (Abb. 67). In beiden Fällen steigt die Kurve zunächst steil an, bildet ein Maximum und fällt dann wieder ab, wobei die Abnahme deutlich flacher ist, als der vorangegangene Anstieg.

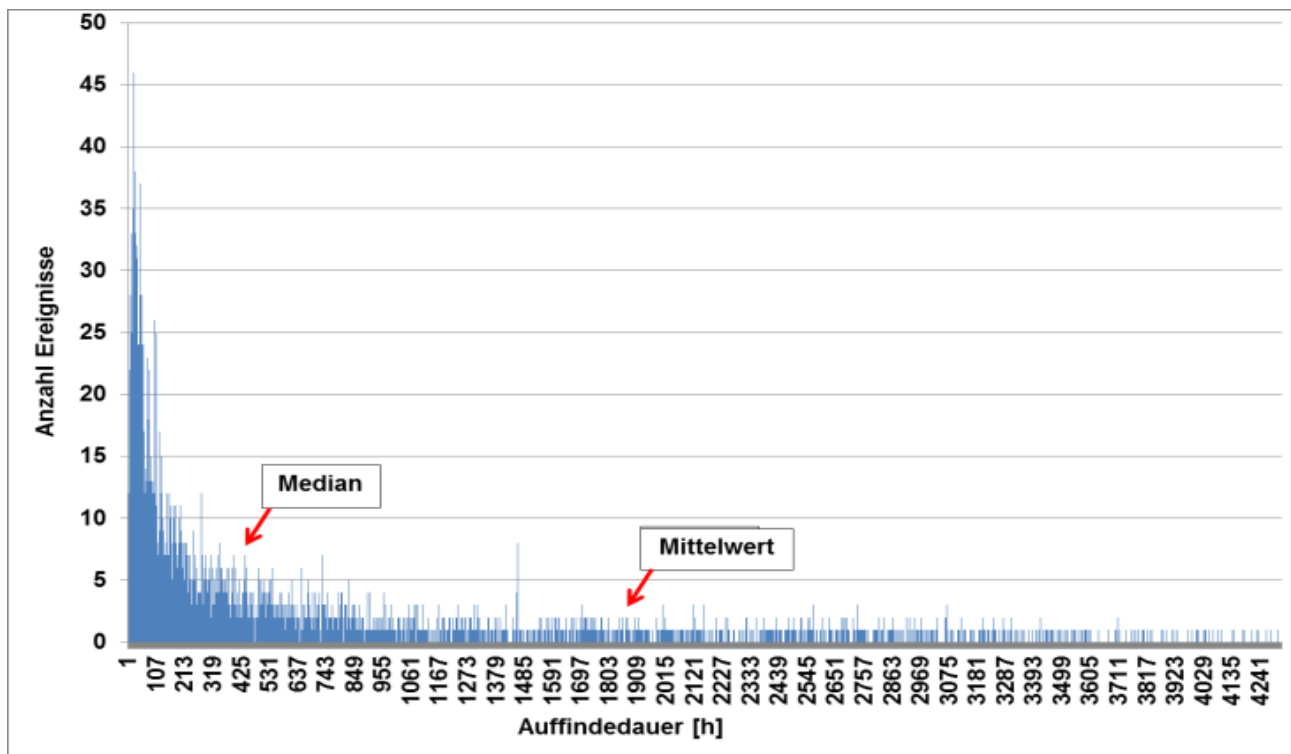


Abb. 66: Häufigkeit der individuellen Auffindedauer der Fischeufstiegshilfen (n = 7.546)

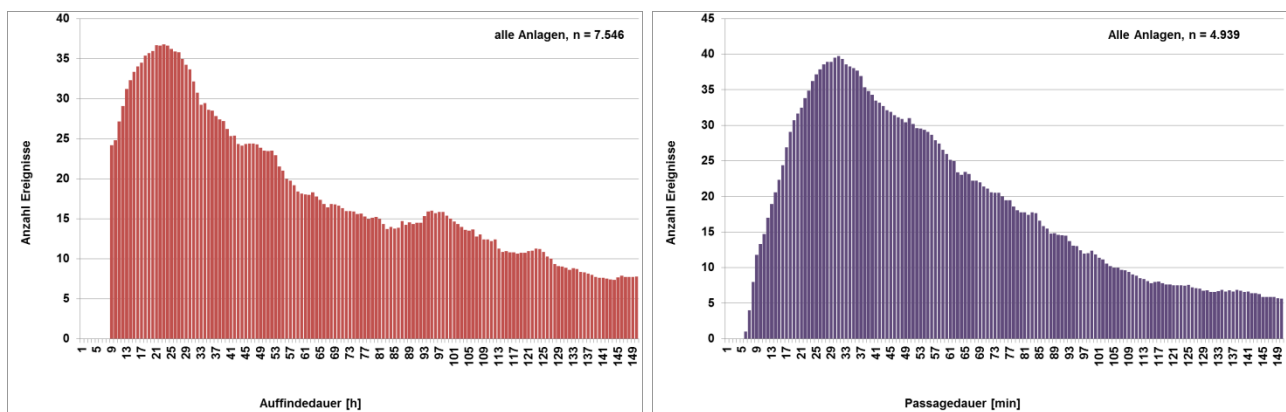


Abb. 67: Auffinde- und Passagedauer sämtlicher beprobter Fischeufstiegshilfen, Kurven nach 150 Werten abgeschnitten und durch den gleitenden Mittelwert geglättet

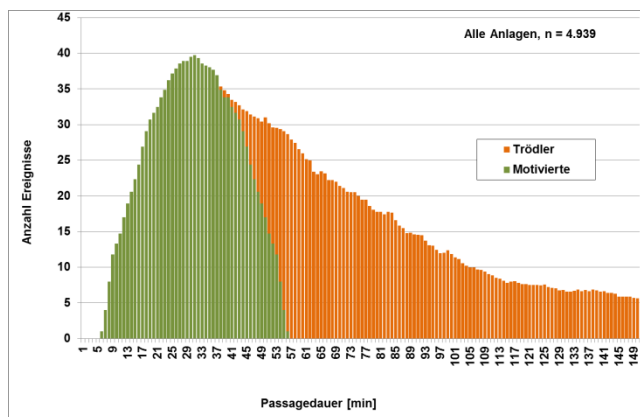
Die Kurve beginnt somit bis zum Maximalwert vergleichbar einer Normalverteilung, wobei allerdings der abfallende Schenkel asymmetrisch ausgezogen ist. Derartige Verteilungen werden als „Gamma-Verteilung“ bezeichnet und mathematisch mit folgender Formel beschrieben:

$$f(x) = \frac{b^p}{\Gamma(p)} x^{p-1} e^{-bx}$$

Das Erklärungsmodell für einen solchen Kurvenverlauf besagt, dass die Auffinde- und Passagezeiten der motivierten und damit der schnellsten Individuen tatsächlich einer Normalverteilung entsprechen (Abb. 68). Der abfallende Schenkel der Kurve ist deshalb nicht symmetrisch zum Anstieg, weil ein Teil der Fische trödelt, so dass deren Auffinde- und Passagezeiten mangels Motivation länger sind, als es erforderlich wäre. Der Maximalwert der Kurve gibt somit die mittlere Auffinde- bzw. Passagedauer der motivierten Exemplare an. Dieser Wert wird damit nicht durch Trödler beeinflusst, er ändert sich nicht in Abhängigkeit von der Untersuchungsdauer und repräsentiert deshalb tatsächlich die Zeit, die die Fische benötigen, um die jeweilige Fischaufstiegshilfe aufzufinden und zu passieren. Auffinde- und Passagequote können damit als objektive, quantifizierbare Parameter zur Funktionsbewertung von Fischaufstiegshilfen herangezogen werden.

Abb. 68:

Passagedauer sämtlicher beprobter Fischaufstiegshilfen, Kurven nach 150 Werten abgeschnitten, durch gleitenden Mittelwert geglättet und farblich differenziert in mutmasslich motivierte (grüne Säulen) und trödelnde Fische (orange Säulen)



Die Maximalwerte, die die Auffinde- und Passagedauer einer Fischaufstiegshilfe repräsentieren, können grundsätzlich direkt aus solchen Kurvendarstellungen abgelesen werden. Um einen subjektiven Einfluss des Bearbeiters auszuschliessen und den Maximalwert ggf. auch bei weniger eindeutigen Kurvenverläufen ermitteln und statistisch absichern zu können, wurde von STEINECK et al. (2020) ein Verfahren entwickelt, mit dem Kurvengleichungen für die Gamma-Funktion erstellt werden, anhand derer sich der Maximalwert

berechnen lässt (Abb. 69). Die Verfahrensbeschreibung von STEINECK et al. (2020) ist im Anhang enthalten. Auf diesem Verfahren basieren sämtliche in Kap. 6.6.2 und 6.7.2 angegebenen Auffinde- und Passagezeiten.

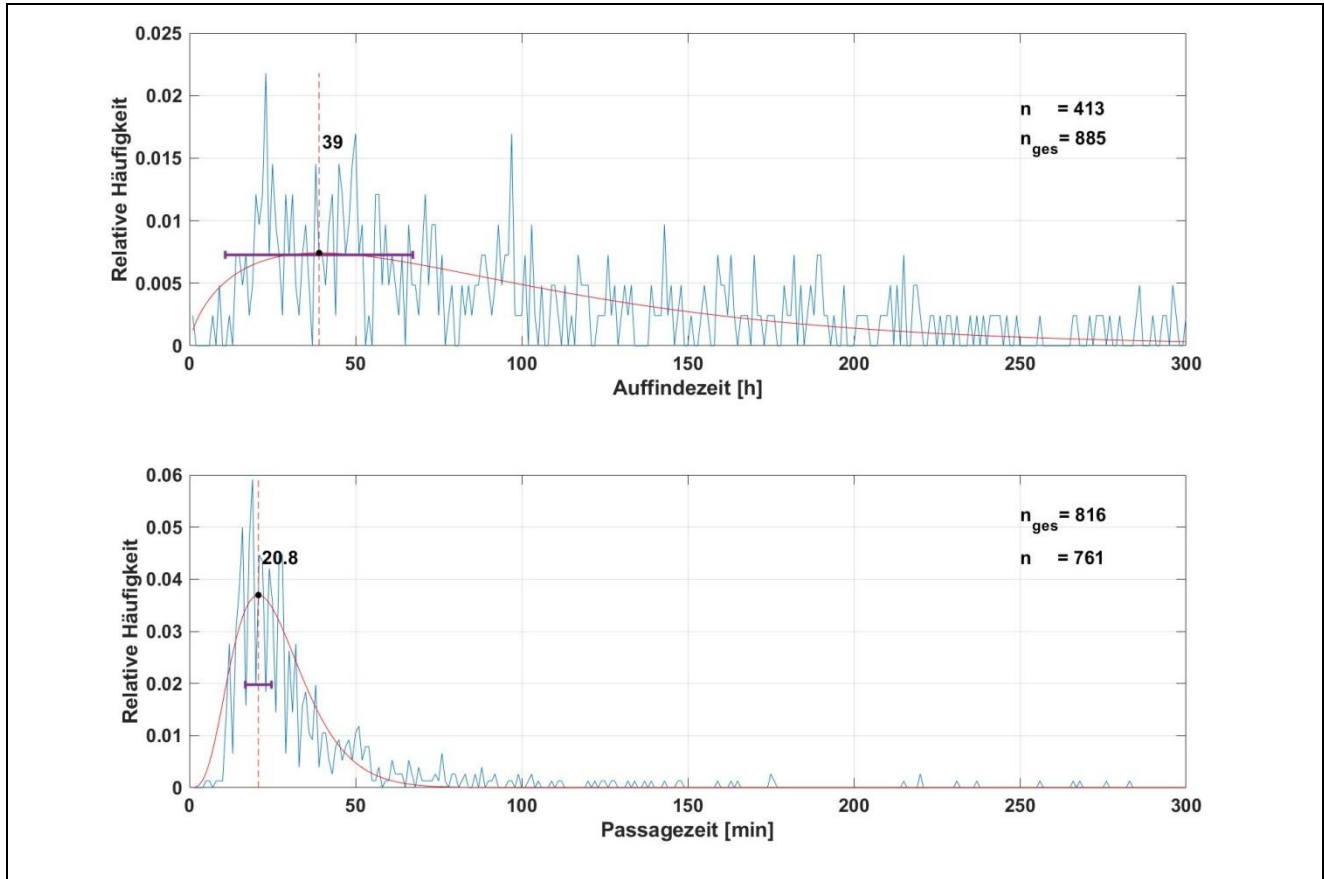


Abb. 69: Berechnungsbeispiel für die Auffinde- und Passagedauer des Beckenpasses Säckingen (D): Einzelwerte der Auffinde- und Passagezeiten (blau) mit den daraus generierten Gamma-Funktionen (magenta) sowie den relevanten Maximalwerten für die Auffinde- und Passagedauer einschliesslich Konfidenzintervall (violett)

5 RAHMENBEDINGUNGEN

5.1 ABFLUSS UND WASSERSTAND

Die hydrologischen Hauptwerte des Hochrheins am Pegel Rheinfelden (Einzugsgebiet: 34.550 km²) sind in Tab. 5 aufgeführt. Sie sind in Abb. 70 neben der Ganglinie des Abflusses im Untersuchungszeitraum als Linien eingetragen.

Tab. 6: Hydrologische Hauptkennzahlen des Hochrheins am Pegel Rheinfelden für die Jahre 1931 bis 2009 (LUBW 2010)

Abfluss	Wert
NQ (02. Dezember 1962)	315 m ³ /s
MNQ	476 m ³ /s
Q30	5,34 m ³ /s
MQ	1.040 m ³ /s
Q330	26,9 m ³ /s
MHQ	2.780 m ³ /s
HQ (12. Mai 1999)	4.550 m ³ /s

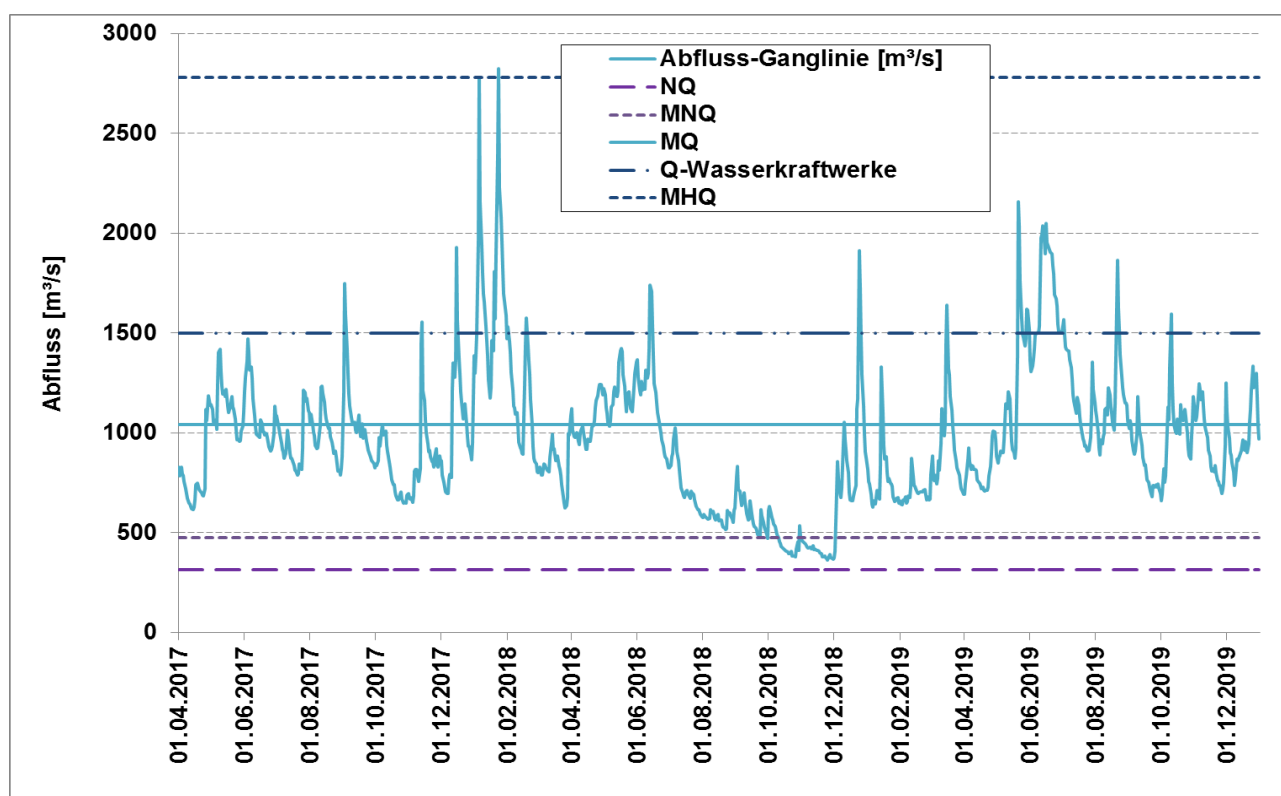


Abb. 70: Abfluss-Ganglinie des Hochrheins im Untersuchungszeitraum (nach Angaben des BAFU) im Vergleich mit den hydrologischen Hauptwerten und dem Ausbaudurchfluss der Wasserkraftwerke

Der niedrigste Abfluss des Hochrheins am Pegel Rheinfelden von 365 m³/s herrschte am 25. November 2018, der höchste Abfluss von 2.826 m³/s wurde am 23. Januar 2018 erreicht. Durchschnittlich betrug der Abfluss im Untersuchungszeitraum 967 m³/s und unterschritt den langjährigen Mittelwasserabfluss damit um fast 100 m³/s: An 651 Tagen lag der Abfluss unterhalb dieses Wertes.

Der Zeitraum der vorliegenden Untersuchung ist damit durch geringe Abflüsse gekennzeichnet, wobei diese im Jahr 2018 mit einer als „Jahrhundertsommer“ bezeichneten Trockenperiode am niedrigsten waren. Überstiegen die Abflüsse im Jahr 2017 sowie in der ersten Hälfte des Jahres 2018 noch wiederholt den mittleren Abfluss, lagen sie im Zeitraum vom Juli bis Dezember 2018 deutlich darunter, wobei an 52 Tagen zwischen Oktober und Dezember sogar der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) unterschritten wurde. Im Jahr 2019 stieg der Abfluss insgesamt wieder und lag dann ab Mai überwiegend oberhalb des Mittelwasserabflusses. Der Frühsommer 2019 erreichte vergleichsweise höhere Abflüsse als die Vorjahre. Der mittlere Hochwasserabfluss (MHQ) wurde im gesamten Untersuchungszeitraum nur während zwei Spitzenabflüssen im Januar 2018 an zwei Tagen erreicht bzw. überschritten.

Der Ausbaudurchfluss der Wasserkraftwerke im Untersuchungsgebiet liegt bei ca. 1.500 m³/s. Dieser Wert wurde lediglich an 68 Tagen während des Untersuchungszeitraums überschritten. Wurden die Kraftwerke an den übrigen 937 Tagen im vollen Betrieb gefahren, erfolgte somit kein Abfluss über die Wehre. Allerdings wurden insbesondere zu Wartungszwecken gelegentlich Turbinen still gelegt, z. B. am Wasserkraftwerk Säckinggen nach Auskunft des Betreibers in den Jahren 2017 und 2018:

- vom 01. Januar 2017 bis 09. März 2017 (Maschine 1)
- vom 20. Juni 2017 bis 31. Dezember 2017 (Maschine 1)
- vom 01. Januar 2017 bis 02. März 2017 (Maschine 2)
- vom 29. März 2017 bis 17. Mai 2017 (Maschine 2)
- vom 01. Januar 2018 bis 25. Oktober 2018 (Maschine 1)
- vom 18. September 2018 bis 30. September 2018 (Maschine 4)
- vom 27. Oktober 2018 bis 31. Oktober 2018 (Maschine 2)
- vom 11. Oktober 2018 bis 29. Oktober 2018 (Maschine 3)
- vom 06. November 2018 bis 02. Dezember 2018 (Maschine 3)

Weil die Wasserkraftwerke etwa auf das 1,5-fache des Mittelwassers des Rheins ausgebaut sind, haben auch derartige Betriebszustände in der Regel noch keine Überströmung der Wehre zur Folge.

Die Schwankungen des Abflusses wirken sich am Hochrhein insbesondere auf den Unterwasserstand der Staustufen aus. An der Staustufe Augst-Wyhlen beispielsweise lag er in den Jahren 2017 und 2018 während der niedrigsten Abflüsse bei 254,32 müM, während der höchsten hingegen bei 256,59 müM (Abb. 71), wobei eine eindeutige Abhängigkeit zum Abfluss bestand. Hieraus ergibt sich ein Schwankungsbereich von insgesamt 2,27 m. Der Oberwasserstand hingegen wird durch die Kraftwerke und Wehre unabhängig vom Abfluss weitgehend konstant gehalten und schwankte an der Staustufe Augst-Wyhlen im o. a. Zeitraum lediglich um 0,03 m um das Stauziel von 260,00 müM. Dies bedeutet, dass auch die Dotation der Fischaufstiegshilfen konstant bleibt, sofern nicht durch entsprechende Steuerung der Einlaufbauwerke Einfluss darauf genommen wird. Die in Abb. 71 für die Staustufe Augst-Wyhlen dargestellten Verhältnisse lassen sich sinn- gemäß auch auf die anderen Staustufen des Untersuchungsgebietes übertragen.

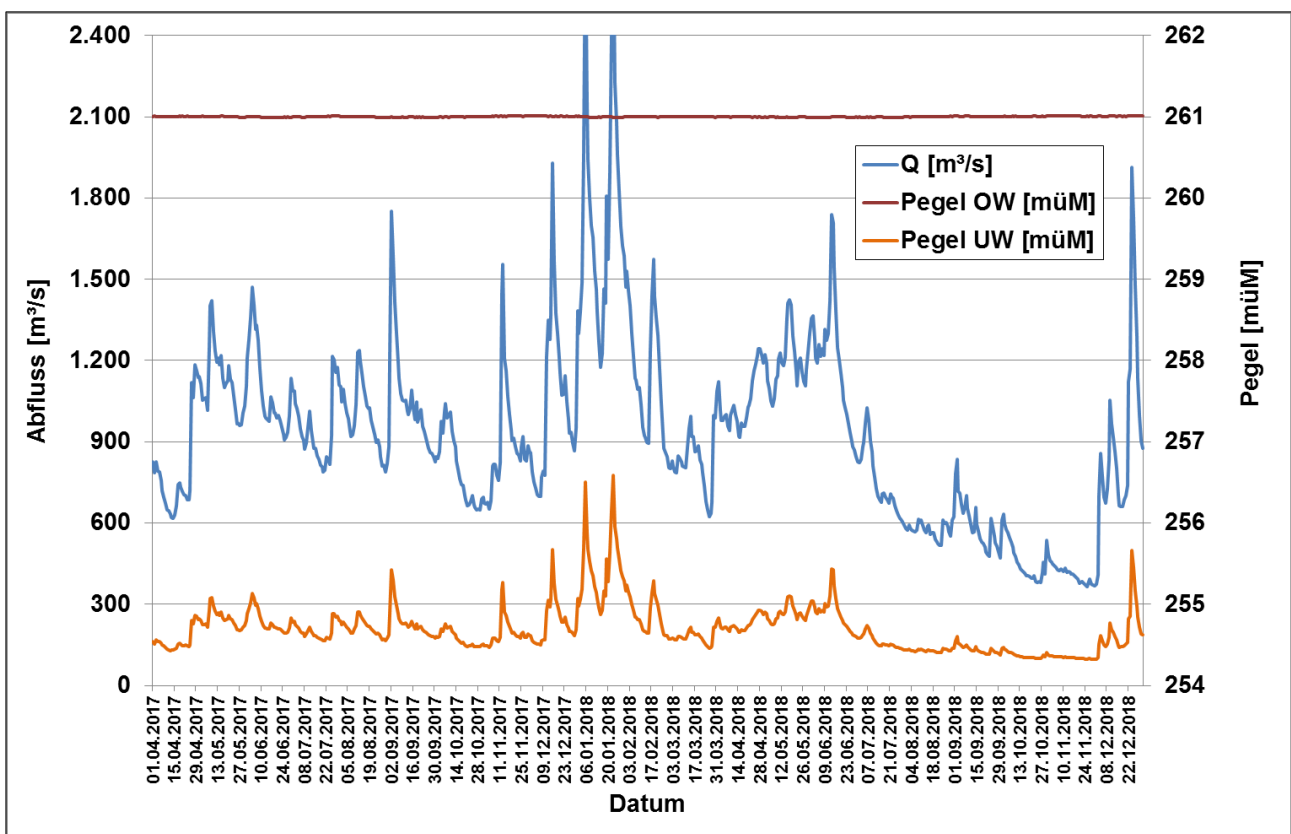


Abb. 71: Ober- und Unterwasserstand an der Staustufe Augst-Wyhlen (nach Daten der KWA AG) im Vergleich mit dem Abfluss des Hochrheins in den Jahren 2017 und 2018 (nach Angaben des BAFU)

5.2 WASSERTEMPERATUR

Die Wassertemperatur wird ebenfalls vom BAFU an der Messstation Rheinfelden aufgezeichnet. Sie zeigte im Untersuchungszeitraum den typischen Jahresgang mittel-europäischer Flüsse mit sommerlichen Höchsttemperaturen von mehr als 20° und winterlichen Minimaltemperaturen knapp über dem Gefrierpunkt (Abb. 72).

Zu Beginn des Untersuchungszeitraums im April 2017 pendelte die Temperatur zunächst zwischen 10 und 12 °C, um im Mai und Juni kontinuierlich auf mehr als 20 °C anzusteigen. Während des Sommers 2017 schwankte sie dann zwischen 10 und 23 °C, bevor Anfang September der herbstliche Temperaturrückgang einsetzte und Ende Februar/Anfang März 2018 schliesslich die Minimaltemperatur des Untersuchungszeitraums von 3 °C erreicht wurde. Der weitere Jahresgang war dann durch einen weitgehend stetigen Temperaturanstieg gekennzeichnet, der in der Zeit vom 02. bis zum 09. August 2018 in Maximalwerten von mehr als 25 °C gipfelte. Allerdings war die Periode sommerlich hoher Wassertemperaturen erheblich kürzer als im Vorjahr, denn bereits Mitte August setzte ein deutlicher Temperaturrückgang ein, der sich über den Herbst fortsetzte, so dass im Winter 2018/19 Temperaturen von ca. 5 °C erreicht wurden. Im folgenden Frühjahr stiegen die Wassertemperaturen etwas langsamer an und erreichten im Hochsommer Maximalwerte zwischen 20 und 25 °C. Der Abfall im Herbst war vergleichbar mit den Vorjahren.

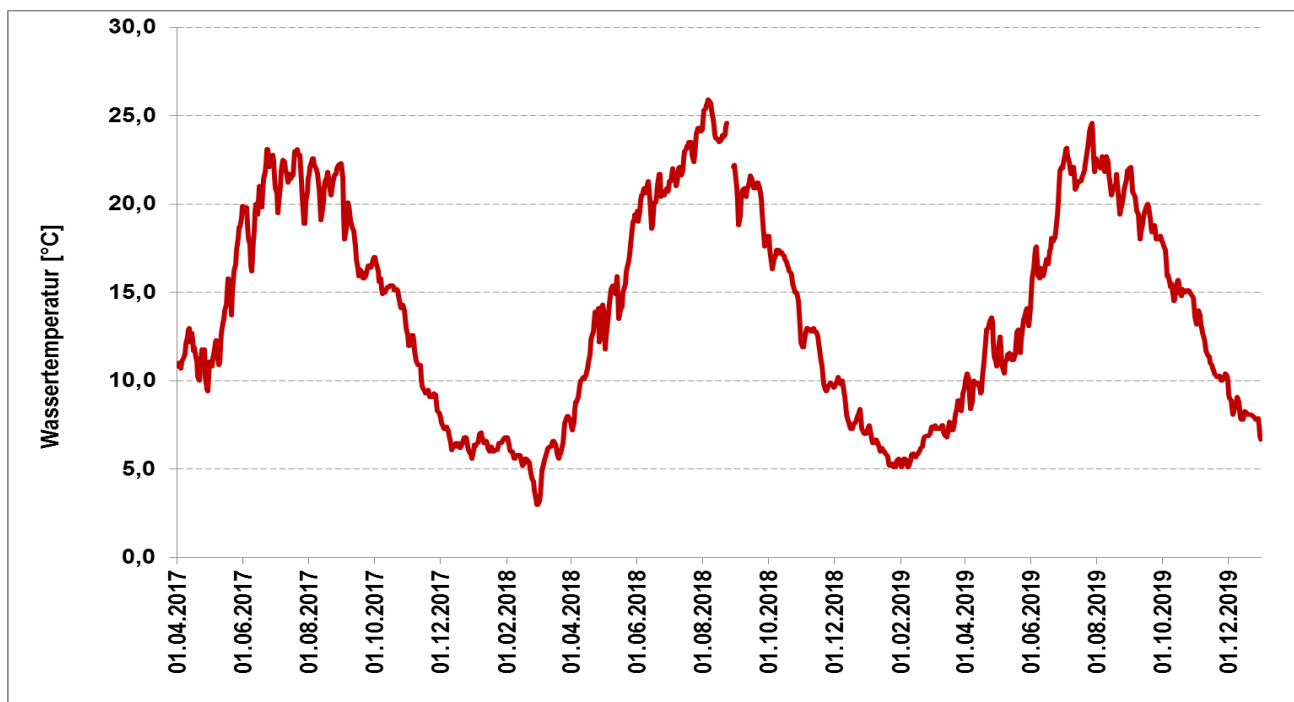


Abb. 72: Ganglinie der Wassertemperatur im Hochrhein im Verlauf des Untersuchungszeitraums (nach Daten des BAFU)

6 BEFUNDE

6.1 ZUVERLÄSSIGKEIT DER HDX-TECHNIK

Die meisten der 48 installierten HDX-Antennen waren von April 2017 bis zum Ende des Aufzeichnungszeitraums am 31. Dezember 2019, also über ca. 600 bis 630 Tage unterbrechungsfrei in Betrieb. Ausnahmen von dieser Regel bildeten:

- 12 zusätzliche HDX-Antennen, die im Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) und im Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D) im Frühjahr 2019 nachgerüstet worden waren. Deren Betriebsdauer war mit ca. 210 bis 240 Tagen entsprechend kürzer.
- Die Antennen Nr. 111 und 112 im Fischlift Wyhlen (D) waren in der Zeit vom 16. Juni 2017 bis zum 17. Mai 2018 abgeschaltet, weil die Fischaufstiegshilfe aufgrund von Bauarbeiten ausser Betrieb genommen worden war.
- Ebenfalls wegen Bauarbeiten war der Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) längere Zeit gelenzt, so dass auch die dortige HDX-Anlage mit den Antennen Nr. 121 bis 128 in der Zeit vom 31. Juli 2017 bis 24. Mai 2018 nicht im Einsatz war.
- Im Umgebungsgewässer Rheinfelden (D) erfolgte der Betrieb eines Teils der HDX-Antennen in Abhängigkeit vom Betrieb des Zählbeckens:
 - Im Rahmen der 1. Zähl- und Fangkampagne im Frühjahr 2017 wurden die aufwandernden Fische durch das Fischwehr dem Zählbecken zugeleitet. In der Zeit vom 12. April 2017 bis 04. Juli 2017 waren am dortigen Einstiegsbereich die Antennen Nr. 143 und 144 aktiviert, um die Passage von Fischen in das Zählbecken hinein und ggf. aus diesem wieder heraus zu überwachen.
 - In der übrigen Zeit wurden die Antennen Nr. 145 bis 147 betrieben, die anstelle des dann entfernten Fischwehres installiert worden waren, um aufwandernde Fische im Umgebungsgewässer zu detektieren.
 - Im Zeitraum vom 06. bis 10. November 2017 wurden die Antennen Nr. 141 und 142 sowie Nr. 145 bis 147 kurzzeitig abgeschaltet, da eine Spülung des Umgebungsgewässers zur Mobilisierung abgelagerter Sedimente durchgeführt wurde, mit der ein stark erhöhter Abfluss und entsprechend hohe Fliessgeschwindigkeiten einher gingen, so dass eine Zerstörung der Antennen zu befürchten war.

Insgesamt summierten sich die Einsatzzeiten sämtlicher HDX-Antennen damit auf 34.238 Betriebstage.

6.1.1 Betriebsstörungen und Ausfälle der HDX-Anlagen

Grundsätzlich arbeiteten die HDX-Antennen sehr zuverlässig, wenngleich an insgesamt 2.268 Betriebstagen, entsprechend 6,7 % der Einsatzzeit technische Probleme die Dokumentation von Fischpassagen verhinderten. Viele dieser Störungen traten nach Hochwässern bzw. Abflussspitzen auf, und betrafen mehrfach vor allem die grossen Seilantennen Nr. 145 bis 147 im Umgehungsgewässer Rheinfelden (D). Aber auch die grosse Rahmenantenne Nr. 165 am oberwasserseitigen Ausstieg des Umgehungsgerinnes Ryburg-Schwörstadt (D) wurde einige Male durch Treibgut beschädigt bzw. zerstört. Zudem verursachten immer wieder Stromabschaltungen der Wasserkraftwerke im Rahmen von Wartungs- und Umbauarbeiten sowie unvorhersehbare Stromausfälle Datenverluste.

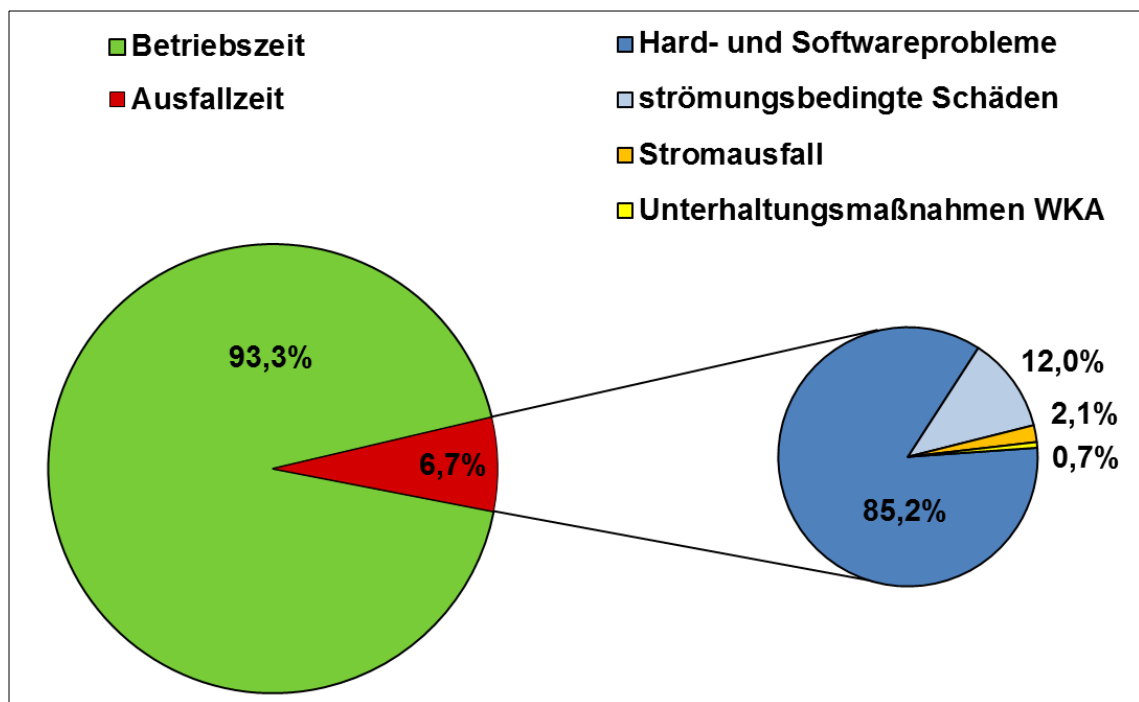


Abb. 73: Ausfallzeiten und Ursachen für die Ausfälle der HDX-Antennen

Darüber hinaus kam es vor allem in den ersten Monaten des Projekts zu Defekten an technischen Bauteilen sowie zu Software- und Computerabstürzen. Solche Störungen waren für einen Grossteil der Ausfälle der HDX-Anlagen verantwortlich und traten insbesondere am Standort Ryburg-Schwörstadt auf. Weil sich die dortigen Antennenanlagen technisch nicht von denjenigen an den andern Staustufen unterschieden, wurden als Ursache hierfür die spezifischen Standortbedingungen ausgemacht, also vor allem Auswirkungen der nahe gelegenen Umspannwerke und Starkstromtrassen mit den von

ihnen verursachten elektromagnetischen Feldern. Durch Hard- und Softwareanpassungen konnten diese Probleme sukzessive gelöst werden, doch blieb die HDX-Technik am Standort Ryburg-Schwörstadt bis Projektende wesentlich störanfälliger, als an den anderen Standorten.

Einen insgesamt 7 Tage andauernden Ausfall der Antenne Nr. 153 am Ausstieg des Raugerinne-Beckenpasses Rheinfelden (D) hatte allem Anschein nach ein Biber verursacht, der so ausgiebig Holzrahmen und Antennenkabel benagt hatte, dass diese Komponenten komplett ausgetauscht werden mussten.

6.1.2 Lesequote der HDX-Antennen

Grundsätzlich zeichnet sich die HDX-Technik durch eine grosse Zuverlässigkeit aus. Trotzdem werden aus verschiedenen Gründen nicht immer alle Fische, resp. ihre PIT-Tags detektiert, die sich im Schwingkreis einer Antenne befinden. Technisch bedingt können die Lesegeräte nämlich zur gleichen Zeit nicht mehr als einen Code registrieren. Passieren also zwei Fische zeitgleich eine Antenne, wird nur einer von ihnen erfasst; im ungünstigsten Fall wird keiner der beiden Transponder gelesen. Weitere Datenverluste können folgenden Ursachen geschuldet sein:

- Eine optimale Kommunikation zwischen Transponder und Antenne findet dann statt, wenn die Achse des Transponders exakt orthogonal im elektromagnetischen Feld der Antenne ausgerichtet ist. Je stärker der Winkel davon abweicht, umso höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Transponder nicht gelesen wird.
- Je grösser ein Transponder, umso besser ist seine Sendeleistung. Deshalb werden 23 x 3,9 mm und 32 x 3,9 mm grosse PIT-Tags zuverlässiger detektiert, als die 12 x 2 mm kleinen Transponder.
- Die Häufigkeit unerkannter Passagen steigt mit zunehmender Grösse der Antennen.
- Optimale Eigenschaften weisen nur Antennen auf, deren Kabel straff gespannt und deren Spule exakt in einer Ebene gewickelt ist. Insbesondere, wenn Antennen durch den Strömungsangriff oder durch Treibgut deformiert werden, leidet die Empfangsleistung. Deshalb erreichen Seilantennen in der Regel geringere Lesequoten als stabilere Rahmenantennen mit fest fixierten Kabeln.

Die o.a. Probleme verstärken sich durch sogenannten Noise, also elektromagnetische Störquellen ähnlicher Frequenz, die den Empfang der ID-Codes stören oder sogar zum

vollständigen Versagen der RFID-Technik führen können. Um Fehlinterpretationen von RFID-Daten vorzubeugen ist es deshalb notwendig, sowohl bereits vor einer definitiven Installation, als während des Betriebes im Rahmen einer Untersuchung turnusmässig die Zuverlässigkeit der HDX-Technik am jeweiligen Standort zu kontrollieren und die Antennen ggf. nachzutunen. Dies dient dazu, dass die Passagen transpondierter Fische mit möglichst hoher Wahrscheinlichkeit registriert werden. Diese als Lesequote ausgedrückte Detektionswahrscheinlichkeit wurde für das vorliegende Projekt ermittelt, indem die Detektionen von Passagen markierter Fische durch mindestens zwei aufeinander folgende Antennen im selben Wanderweg miteinander verglichen wurden: Alle Fische, die die stromauf gelegene Antenne erreichten, mussten zuvor die stromab gelegene Antenne passiert haben. Der Anteil der an der oberen Antenne registrierten Fische, die zuvor auch durch die untere erfasst wurden, bildet somit die Lesequote der unteren Antenne:

$$\text{Lesequote}_{\text{Antenne stromab}} = \frac{\text{Detektionen}_{\text{Antenne stromab}}}{\text{Detektionen}_{\text{Antenne stromauf}}}$$

Auf diese Weise wurden jeweils für den Zeitraum 2017/18 die Lesequoten der zwei Antennen im Schlitzpass und im Raugerinne-Beckenpass Ryburg-Schwörstadt (D) (Antennen Nr. 161 bis 164) ermittelt, sowie für die drei stromabwärtigsten Antennen im Verlauf der Schlitzpässe Augst (CH) (Antennen Nr. 101 bis 103) und Rheinfelden (CH) (Antennen Nr. 131 bis 133), in den Raugerinne-Beckenpässen Wyhlen (D) (Antennen Nr. 121 bis 123) und Rheinfelden (D) (Antennen Nr. 151 bis 153) sowie im Beckenpass Säcking (D) (Antennen Nr. 171 bis 174). Erfolgte die letzte Detektion an der zweitobersten Antenne, wurde dies jeweils als Lesefehler der obersten Antenne gewertet (Antennen Nr. 104, 124, 134, 154 und 175), denn dies ist wesentlich wahrscheinlicher, als dass ein Fisch bei der Rückkehr ins Unterwasser von keiner einzigen der dortigen Antennen registriert wurde.

Zur Quantifizierung der Lesequote der beiden parallel angeordneten Antennen Nr. 165 und 166 im oberwasserseitigen Ausstieg des Umgehungsgerinnes Ryburg-Schwörstadt (D) wurden diejenigen Detektionen herangezogen, die nachfolgend im Beckenpass Säcking (D), also an der stromauf folgenden Staustufe, registriert worden waren. Analog dazu wurden zur Ermittlung der Lesequote der Antennen im Umgebungsgewässer Rheinfelden (D) mit den Antennen Nr. 145 bis 147, die detektierten Lesungen an der Staustufe Ryburg-Schwörstadt (D) ausgewertet. Aufgrund der geringen Nachweiszahlen war dies im Falle der stromaufwärtigsten Antenne am Fischlift Wyhlen (D) nicht möglich, so dass dort

nur die Lesequote der Antenne Nr. 111 am Einstieg berechnet werden konnte. Ganz auf eine Quantifizierung der Lesequote musste schliesslich im Falle der Antennen Nr. 141 bis 144 im Umgebungsgewässer Rheinfeld (D) verzichtet werden, weil sich dort die Bewegungsrichtung der Fische aufgrund der Aufzweigungen des Fischpasses nicht zuverlässig identifizieren lässt.

Insgesamt wurden zur Quantifizierung der Lesequoten 21.989 Antennenpassagen ausgewertet. Davon wurden 20.716 erfolgreich von den Antennen detektiert, woraus sich eine mittlere Lesequote von 94 % ergibt (Tab. 6). Der Anteil nicht detekrierter Transponder unterschiedlicher Grösse an den einzelnen Antennen ist in Abb. 74 dargestellt.

Tab. 7: Lesequote der HDX-Antennen im Untersuchungsgebiet, differenziert nach der Grösse der PIT-Tags

Antenne Nr.	Lesequote			Gesamt
	12 x 2 mm	23 x 3,9 mm	32 x 3,9 mm	
101	97 %	95 %	98 %	97 %
102	97 %	95 %	99 %	97 %
103	100 %	97 %	97 %	97 %
104	100 %	100 %	99 %	100 %
111	100 %	100 %	100 %	100 %
121	68 %	97 %	95 %	94 %
122	81 %	99 %	99 %	97 %
123	61 %	97 %	98 %	91 %
124	93 %	99 %	97 %	98 %
131	97 %	97 %	98 %	98 %
132	98 %	96 %	94 %	96 %
133	74 %	91 %	78 %	83 %
134	85 %	97 %	99 %	96 %
145 bis 147	69 %	85 %	96 %	78 %
151	76 %	92 %	91 %	86 %
152	84 %	92 %	96 %	89 %
153	96 %	94 %	100 %	96 %
154	73 %	86 %	97 %	83 %
161	94 %	97 %	97 %	96 %
162	98 %	99 %	96 %	98 %
163	95 %	96 %	93 %	95 %
164	92 %	99 %	95 %	95 %
165 und 166	60 %	77 %	84 %	76 %
171	95 %	93 %	97 %	95 %
172	93 %	97 %	99 %	97 %
173 und 174	98 %	99 %	100 %	99 %
175	1 %	99 %	98 %	78 %
Gesamt	89 %	96 %	96 %	94 %

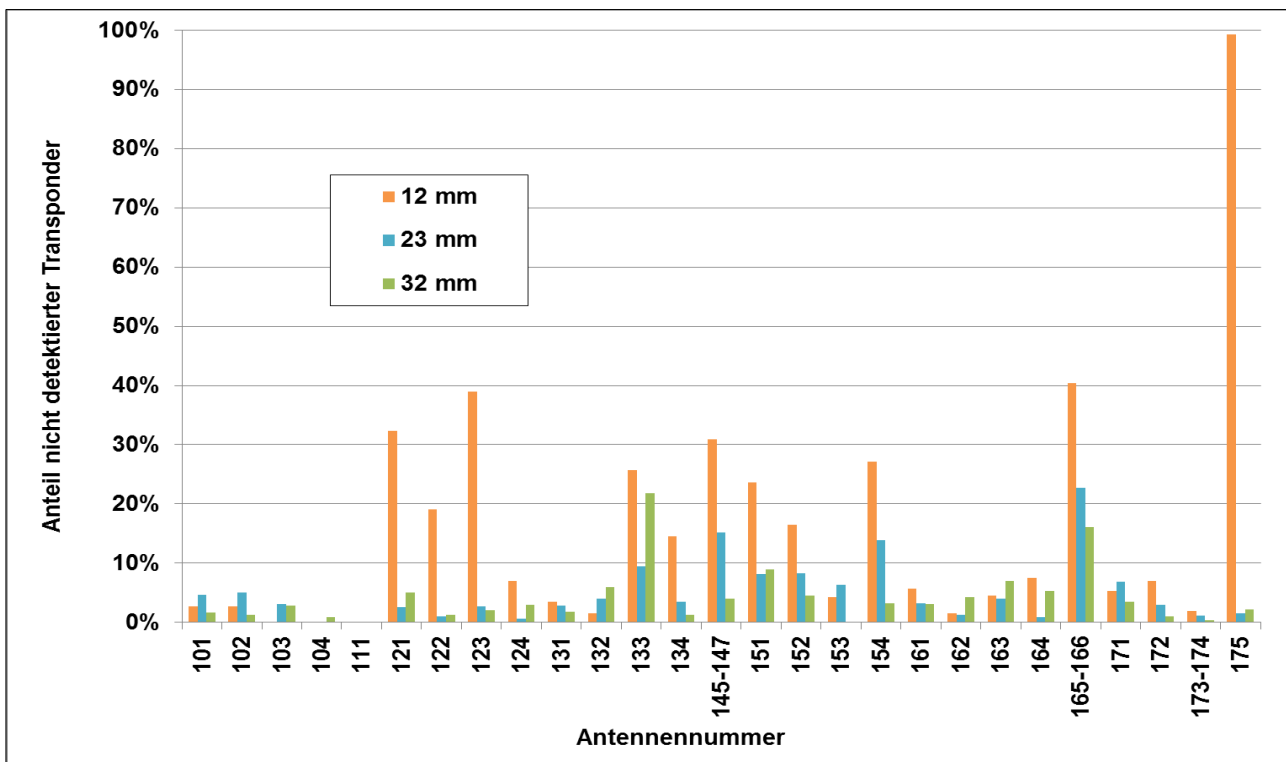


Abb. 74: Anteil der an den einzelnen Antennen nicht gelesenen Transponder der verschiedenen Grössen

Die Lesequote der 23 mm und 32 mm langen PIT-Tags war mit jeweils 96 % fast identisch, während nur durchschnittlich 89 % der Passagen der kleinen 12 mm-Transponder registriert wurden. Darüber hinaus waren auch mehr oder weniger deutliche Unterschiede zwischen den Lesequoten der einzelnen HDX-Antennen festzustellen:

- Bei den meisten Antennen lag die Lesequote von PIT-Tags aller Grössen zwischen 95 und 100 %.
- Deutlich geringere Lesequoten traten vor allem bei den 12 mm-Transpondern auf. Dies betraf einige Antennen in den Raugerinne-Beckenpässen Wyhlen (D) und Rheinfelden (D), sowie im Schlitzpass Rheinfelden (CH). Völlig aus dem Rahmen fiel die oberste HDX-Antenne im Beckenpass Säkingen (D), wo 12 mm-Transponder fast gar nicht detektiert wurden, ohne dass dafür eine Ursache ermittelt werden konnte, zumal die grösseren Transponder dort eine Lesequote von annähernd 100 % erreichten.

- Ansonsten fielen vor allem die grossen Seil- und Rahmenantennen im Ausstiegsbereich des Umgebungsgewässers Rheinfelden (D) (Nr. 145 bis 147) und des Umgehungsgerinnes Ryburg-Schwörstadt (D) (Nr. 165 und 166) durch reduzierte Lesequoten auf. Dies ist zweifellos auf die 5 bis 13 m² grossen Querschnitte zurückzuführen, die es dort zu überwachen galt, sowie auf Deformationen der Antennen durch Treibgut. Doch selbst diese HDX-Antennen detektierten jeweils mehr als drei Viertel aller Passagen.

Insgesamt blieb kaum eine Passage einer Fischaufstiegshilfe am Hochrhein durch transpondierte Fische unentdeckt, zumal sowohl im Ein-, wie auch der Ausstiegsbereich der Fischpässe mit jeweils einem Rudel von zwei aufeinander folgenden HDX-Antennen überwacht wurde, deren Lesequoten sich kumuliert haben. Dass die HDX-Antennen im Ausstiegsbereich des Umgebungsgewässers Rheinfelden (D) und des Umgehungsgerinnes Ryburg-Schwörstadt (D) nicht aufeinander folgend, sondern nebeneinander angeordnet waren und zudem vergleichsweise geringe Lesequoten erreichten, hat tendenziell eine Unterschätzung der Passagequote zur Folge und damit der Effizienz dieser beiden Fischaufstiegshilfen.

Eine Bewertung der ermittelten Lesequoten in Hinblick auf die Effizienz des methodischen Vorgehens ist schwerlich möglich, da bisher nur wenige Untersuchungen mit der HDX-Technologie durchgeführt wurden und die Autoren solcher Projekte und Publikationen in der Regel keine Angaben zur Methodenkritik machen (u. a. FOULDS & LUCAS 2013, TETARD et al. 2013, PITSCH & MOCKENHAUPT 2017, DODD et al. 2017, PETER et al. 2016). So lässt sich lediglich feststellen, dass sich die Lesequoten der am Hochrhein installierten HDX-Antennen im selben Bereich bewegen, wie dies bei früheren Untersuchungen des Instituts für angewandte Ökologie der Fall war. So ermittelten ADAM et al. (2018) an der Wupper für bis zu 18 m² m grosse Rahmenantennen Lesequoten zwischen 91 und 100 % und für Seilantennen die einen Querschnitt von etwa 6 m² in naturnah gestalteten Fischaufstiegshilfen überwachten, mit durchschnittlich 80 %. Die Lesequote von Seilantennen bei Untersuchungen zur Sackgassenwirkung des etwa 16 m² grossen Querschnitts im Unterwasserkanal eines Ausleitungskraftwerks an der Diemel betrug 93 bis 96 % (SCHWEVERS & ADAM 2018).

6.2 REDETEKTIONEN TRANSPONDIERTER FISCHE

Bis Ende Dezember 2019 wurden von den 19.157 markierten Fischen unterschiedlicher Arten 4.732 Individuen mindestens einmal an einer der im Untersuchungsgebiet installierten HDX-Antennen detektiert. Die durchschnittliche Redetektionsquote für die transponierten Fische betrug somit 24,7 % (Tab. 7). Bemerkenswert ist, dass es nicht die rheophilen Arten oder die sogenannten „Mitteldistanzwanderer“ waren, die die höchsten Quoten von 54 bis 100 % erreichten, sondern die limnophilen bzw. limnoparen Arten Karpfen, Hecht und Rotfeder. Auch bei den gegenüber der Strömung indifferenten Arten Brachsme und Wels betrug die Redetektionsquote annähernd 50 %, wie dies unter den rheophilen Arten nur der Rapfen erreichte. Für diese ökologische Gilde mit den Arten Barbe, Strömer, Elritze, Alet, Hasel und Nase waren nämlich nur mittlere Quoten zwischen 30 und 40 % typisch. Bemerkenswert ist ferner, dass auch die Kleinfischarten Laube und Schneider Redetektionsquoten von mehr als 20 % erzielten.

Völlig aus diesem Rahmen fallen Kessler- und Schwarzmundgrundel, denn von mehr als 2.000 in der Stauhaltung Birsfelden markierten und besetzten Grundeln wurde kein Exemplar auch nur ein einziges Mal von einer HDX-Antenne registriert. Weil die Schwimmleistung adulter Exemplare von Kessler- und Schwarzmundgrundel kaum geringer sein dürfte, als beispielsweise von Gründling und Elritze, ist dies vermutlich auf den fehlenden unterwasserseitigen Sohlenanschluss der drei Fischeaufstiegshilfen an der Staustufe Augst-Wyhlen zurückzuführen.

Mangels Nachweisen bleiben die beiden Grundelarten bei den nachfolgenden Auswertungen unberücksichtigt. Die Redetektionsquote der übrigen Arten betrug durchschnittlich 27,6 % und bewegte sich damit etwa in demselben Rahmen, wie bei vergleichbaren Projekten. So markierten ADAM et al. (2018) in der Wupper, einem rechten Zufluss des Niederrheins bei Köln, insgesamt 3.088 Exemplare potamodromer Arten sowie einige adulte Lachse, Meerforellen und Flussneunaugen. Durch HDX-Antennenanlagen an insgesamt 5 Wasserkraftstandorten im Verlauf von ca. 70 Gewässerkilometern wurden von diesen markierten Exemplaren 602 redetektiert, was einer Quote von 19,5 % entspricht. Von BENITZ et al. (2018) wurden in die belgische Maas insgesamt 532 markierte Individuen aus 11 potamodromen Arten entlassen, von denen zwischen von 2012 bis 2016 an drei HDX-Antennenstationen in einem 32 km langen Flussabschnitt einschliesslich dem Zufluss Ourthe 32,9 % der Individuen redetektiert wurden. Bei einer Untersuchung von CALLES & GREENBERG (2007) an einem schwedischen Gewässer waren es 28 %, am untersten Fischpass der Mosel in Koblenz erreichten PITSCH & MOCKENHAUPT (2015)

eine Quote von 16 %. Mit 65,8 % war die Redetektionsquote der von TETARD et al. (2015) im Unterwasser der Staustufe Gamsheim am Rhein besetzten transpondierten Fische deutlich höher, was nicht zuletzt darauf zurückzuführen sein dürfte, dass die Fische unmittelbar im Unterwasser vor den Einstiegen der Fischaufstiegshilfe entlassen worden waren.

Tab. 8: Gesamtzahl der besetzten transpondierten Fische und ihre Redetektionen, sowie die daraus errechnete Redetektionsquote

Art	Besatz	Redetektion	Redetektionsquote
Aal	6	1	16,7%
Alet	1.198	380	31,7%
Äsche	5	0	0,0%
Bachforelle	25	3	12,0%
Barbe	5.113	1.957	38,3%
Brachsme	131	63	48,1%
Egli	1.113	336	30,2%
Elritze	3	1	33,3%
Giebel	1	0	0,0%
Groppe	4	0	0,0%
Gründling	140	22	15,7%
Güster	3	1	33,3%
Hasel	637	200	31,4%
Hecht	3	2	66,7%
Karpfen	7	7	100,0%
Kesslergrundel	20	0	0,0%
Laube	2.817	714	25,3%
Nase	183	57	31,1%
Rapfen	2	1	50,0%
Regenbogenforelle	3	0	0,0%
Rotaugen	5.387	906	16,8%
Rotfeder	11	6	54,5%
Schleie	9	2	22,2%
Schneider	301	65	21,6%
Schwarzmundgrundel	2.005	0	0,0%
Sonnenbarsch	16	2	12,5%
Strömer	3	1	33,3%
Wels	11	5	45,5%
Summe	19.157	4.732	24,7%
Summe ohne Grundeln	17.132	4.732	27,6%

Abb. 75 stellt den Anstieg der Redetektionen am Hochrhein im Laufe der Untersuchung dar. Demnach wurden bereits in den ersten 4 Monaten bis Juli 2017 gut 1.500 Exemplare registriert, bis Ende 2017 verdoppelte sich ihre Anzahl, stagnierte dann während des Winters und Frühljahrs, um in der zweiten Jahreshälfte 2018 auf mehr als 4.500 anzusteigen. Weitere 170 Exemplare wurden erstmals im Jahr 2019 registriert. Hierbei handelte es sich fast ausschliesslich um Cypriniden, wobei allein zwei Drittel der Detektionen auf Barben entfielen. Darüber hinaus wurden nur Alet, Nase, Rotaugen und Brachse in nennenswerter Anzahl neu registriert. Die vergleichsweise geringe Zahl von Erstdetektionen im Jahr 2019 lässt darauf schließen, dass ein erheblicher Teil der markierten Fische inzwischen aus dem Untersuchungsbereich abgewandert, bzw. der Prädation und anderen Mortalitätsursachen zum Opfer gefallen ist. Letztes dürfte aufgrund einer geringen Lebenserwartung vor allem auf Kleinfischarten zutreffen, von denen im Jahr 2019 nur noch wenige Einzelexemplare registriert worden sind.

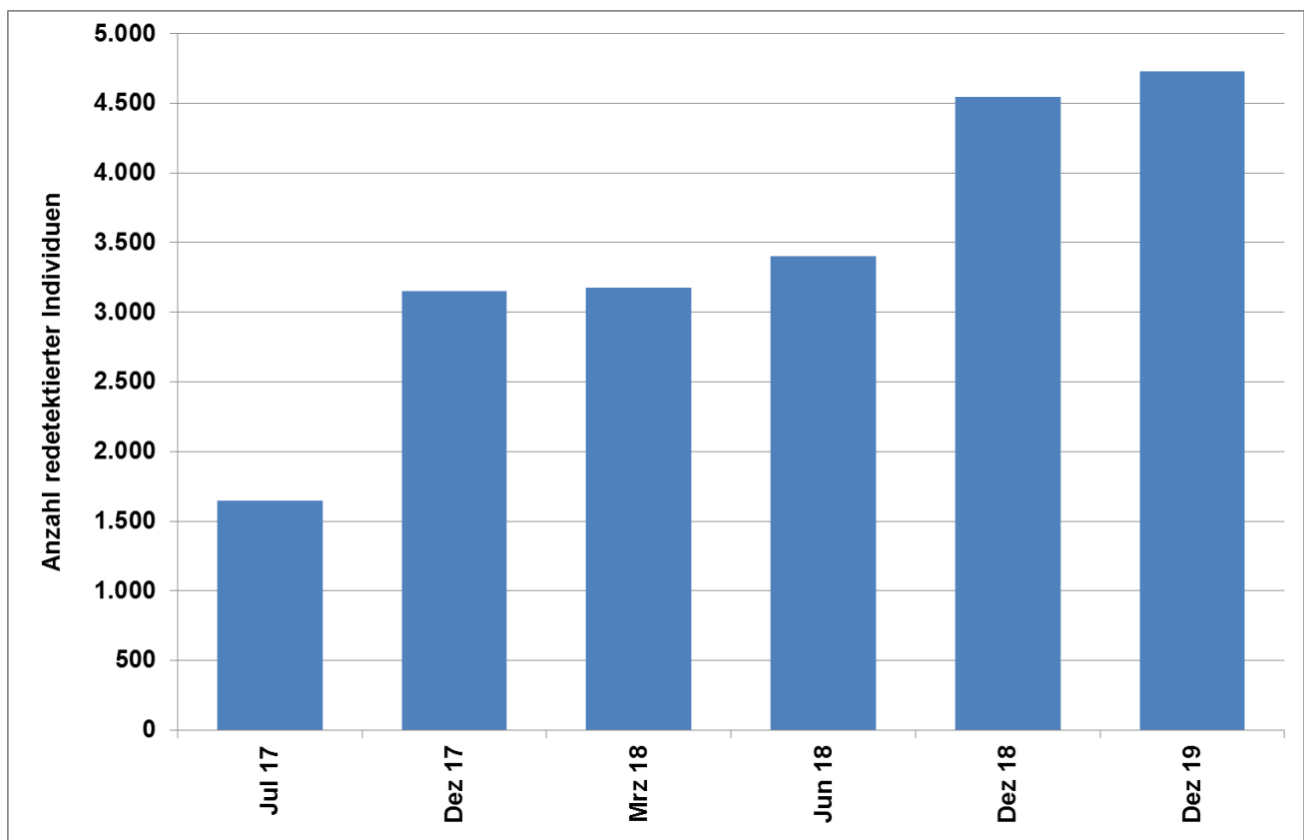


Abb. 75: Anstieg der Anzahl redetektierte Exemplare im Projektverlauf

6.3 AKTIVITÄTSMUSTER

Biologische Rhythmen, die mit bestimmten Bedingungen oder Ereignissen in der Umwelt der Fische korrelieren, spielen in der Natur eine wichtige Rolle. Sie bestehen grundsätzlich aus zwei verschiedenen Systemen:

- Die "innere Uhr" des Organismus bestimmt die ungefähre Dauer des Rhythmus,
- während externe Zeitgeber den Rhythmus des Organismus mit seiner Umwelt synchronisieren.

Die wichtigsten biologischen Rhythmen sind der 24 Stunden umfassende circadiane (= diurnale) Rhythmus und der circannuale Rhythmus, der die Zeitspanne von etwa einem Kalenderjahr umfasst (MÜLLER-HÄCKEL & MÜLLER 1970, PESCHKE 2011).

6.3.1 Circannuale Rhythmik

Weil Fische poikilotherme, d. h. wechselwarme Organismen sind, ist ihre Aktivität temperaturabhängig und unterliegt in hiesigen Breitengraden deshalb einer ausgeprägten Jahresrhythmik. In Abb. 76 ist die Anzahl der pro Tag an den HDX-Antennen registrierten Individuen dargestellt. Hieraus ist ersichtlich, dass die höchste Aktivität in den drei Untersuchungsjahren jeweils im Frühjahr bis Frühsommer verzeichnet wurde. Allerdings traten hohe Aktivitäten in den Jahren 2017 und 2018 über das gesamte Sommerhalbjahr von April bis Oktober auf, solange die Wassertemperatur ca. 10 °C überschritt. Doch selbst im Winter kam die Aktivität der Fische nicht vollständig zum Erliegen, sondern selbst wenn die Wassertemperatur nahe dem Gefrierpunkt war, wurden immer wieder transpondierte Fische an den Antennen detektiert.

Die Einengung des Phänomens des Fischeaufstiegs auf die Laichwanderung und auf das Frühjahr, wie sie gemäss dem sogenannten „fischereibiologischen Allgemeinwissen“ u. a. von SCHINDLER (1975), JENS et al. (1997) oder EBEL et al. (2006) postuliert wurde, erweist sich anhand der Aktivitätsaufzeichnungen somit einmal mehr als falsch. Diese Vorstellung lässt sich gemäss den Befunden von BALLON et al. (2017) und BENIETZ et al. (2018) sowie anderen selbst dann nicht aufrechterhalten, wenn der Fokus ausschliesslich auf potamodromen Arten oder Cypriniden liegt.

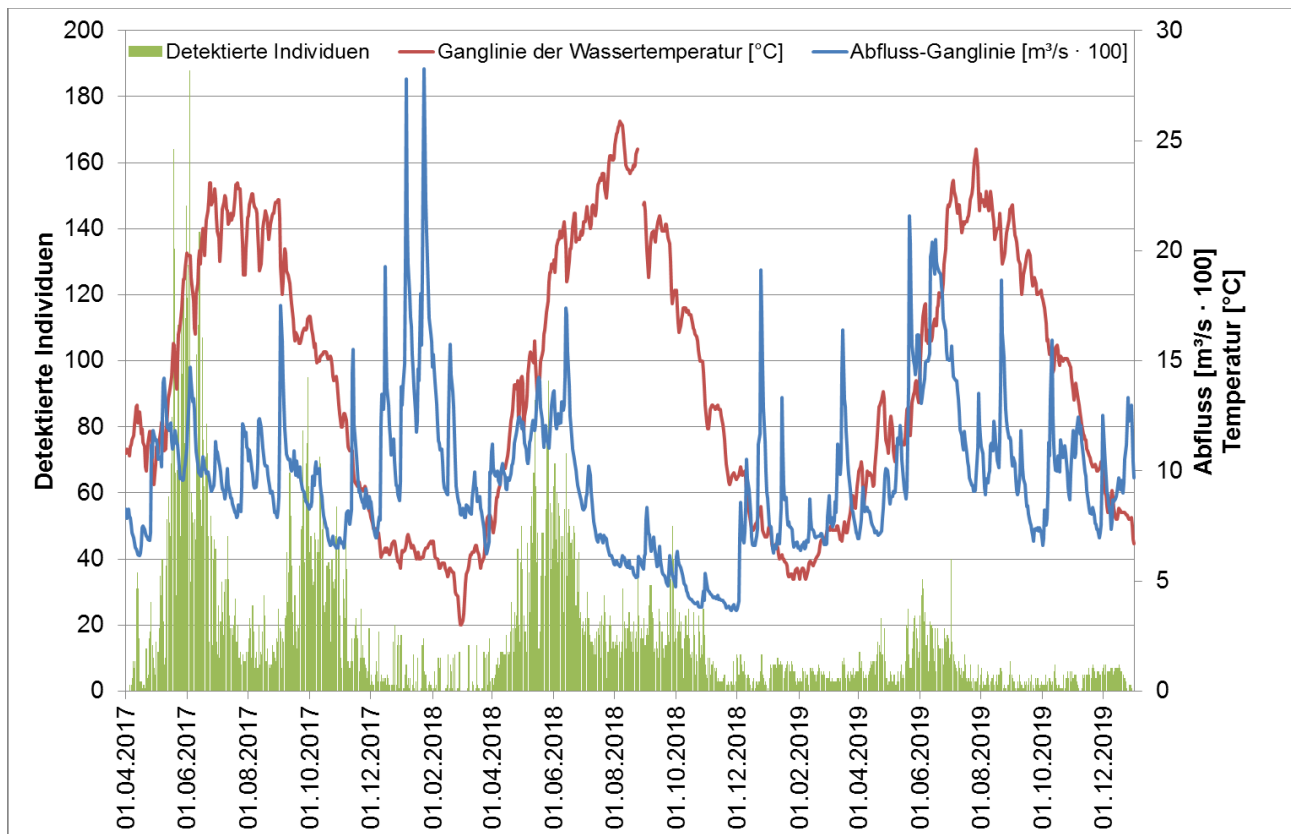


Abb. 76: Anzahl pro Tag detektierter Individuen im Verlauf des Untersuchungszeitraums im Vergleich mit den Ganglinien von Abfluss und Wassertemperatur

6.3.2 Circadiane Rhythmik

Die HDX-Technik bietet anhand der zeitgenauen Aufzeichnung von Detektionen die Möglichkeit, die Aktivität der Fische im Tagesverlauf zu quantifizieren. Bei einer entsprechenden Auswertung der von den HDX-Antennen am Hochrhein aufgezeichneten Daten zeigte sich, dass sich Ortsbewegungen von Fischen annähernd gleichmässig auf die 24 Stunden des Tages verteilen, wobei die einzelnen Arten unterschiedliche Aktivitätsmuster zeigten:

- Geringe tageszeitliche Unterschiede zeigt die Aktivität von Alet und Rotaugen (Abb. 77). Bei beiden Arten lässt sich zwar ein erstes Maximum am Morgen und ein zweites in den späten Abendstunden erkennen, doch auch während des Minimums in der Mittagszeit ist ihre Aktivität noch etwa halb so gross.
- Minimale Aktivitäten während der Nacht, aber Maxima während des Tages zeigen Laube, Hasel und Schneider (Abb. 78). Diese Arten können entsprechend als tagaktiv bezeichnet werden.

- Allerdings bestehen fließende Übergänge zu den eher dämmerungsaktiven Arten Egli, Nase und Brachsme (Abb. 79), die jeweils einen deutlichen Aktivitätspeak morgens und einen am Abend zeigen, während die Aktivität tagsüber sowie vor allem in der Nacht deutlich einbricht.
- Beim Wels schliesslich handelt es sich um eine rein nachtaktive Art, deren Aktivität kurz nach Mitternacht am höchsten ist, danach einbricht und im Laufe des Vormittags vollständig zum Erliegen kommt. Erst gegen Abend erfolgten wieder erste Redetektionen. Nicht so deutlich ausgeprägt ist der nachtaktive Aktivitätszyklus bei der Barbe, die auch gelegentlich tagsüber registriert wurde (Abb. 80).

Abb. 77:

Circadiane Rhythmik der durchgehend aktiven Arten Alet und Rotaugen

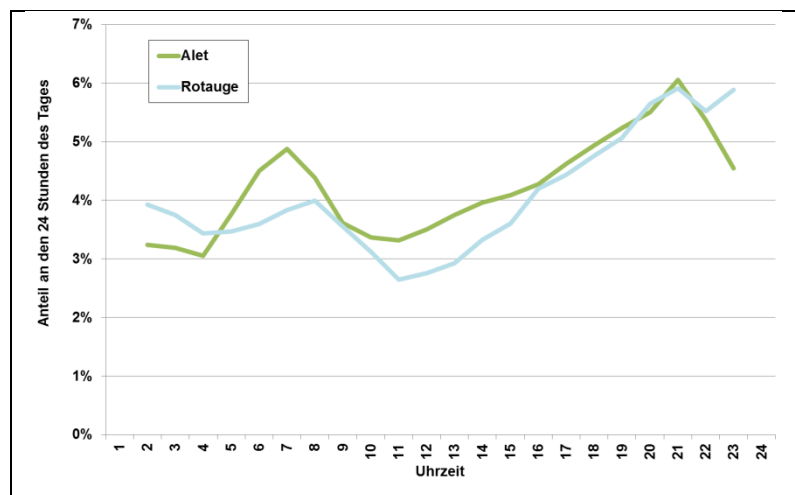


Abb. 78:

Circadiane Rhythmik der tagaktiven Arten Laube, Hasel und Schneider



Abb. 79:

Circadiane Rhythmik der dämmerungsaktiven Arten Egli, Nase und Brachsme

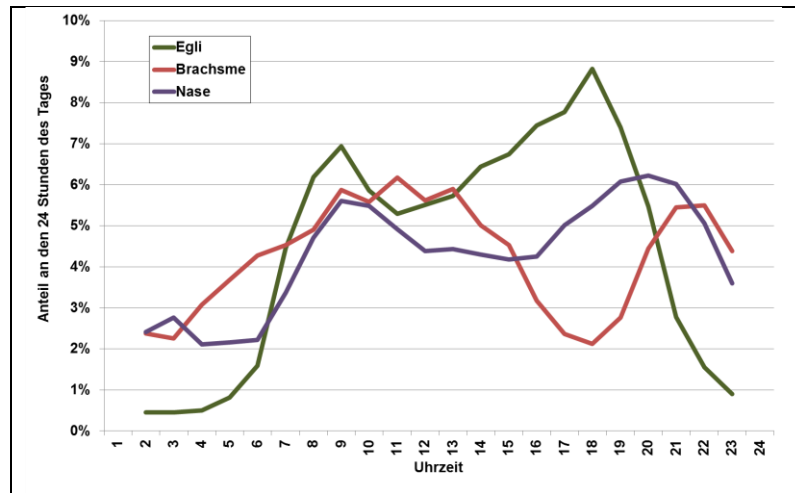
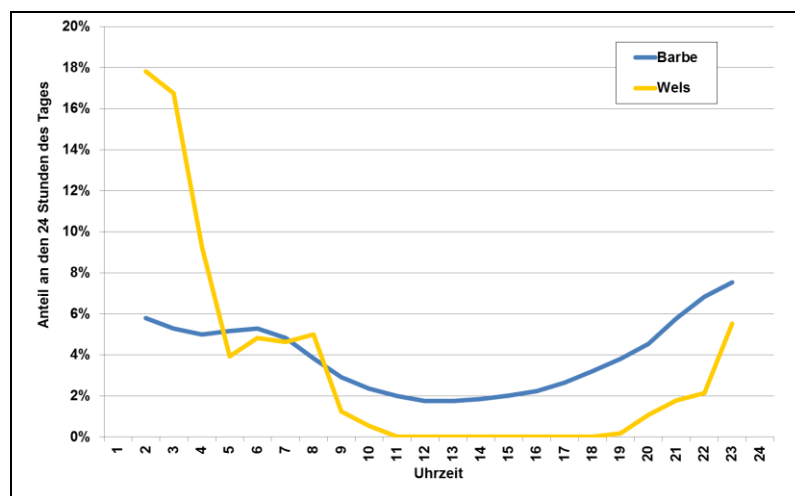


Abb. 80:

Circadiane Rhythmik der nachtaktiven Arten Barbe und Wels



Vergleichsdaten zur Aktivität der verschiedenen Fischarten über den Tagesverlauf liegen bis heute nur spärlich vor, denn bei herkömmlichen Aufstiegsuntersuchungen mittels Reusen oder Zählbecken kann, wie beispielsweise von GUTHRUF (2006) am Wasserkraftwerk Flumenthal an der Schweizer Aale praktiziert, bestenfalls durch eine zweimalige Kontrolle pro Tag zwischen Tag- und Nachtaufsteigern differenziert werden. Für detailliertere Informationen über die circadiane Rhythmik von Fischarten ist hingegen eine kontinuierliche Erfassung des Aufstiegsgeschehens notwendig, wie dies neben der HDX-Technik allenfalls die Auswertung kontinuierlicher Videoaufzeichnungen ermöglicht. Bei einem Vergleich mit fischökologischen Untersuchungen in anderen Gewässern und mit anderen Methoden zeigen sich zum Teil gute Übereinstimmungen, allerdings auch deutliche Unterschiede zu den am Hochrhein dokumentierten Aktivitätsmustern. So ergab die Auswertung von Videoaufzeichnungen des Aufstiegsgeschehens im Schlitzpass Iffezheim am Oberrhein (NÖTHLICH et al. 2001) sowie in den Schlitzpässen Bergerac und Tuilières an der Dordogne in Südwestfrankreich (TRAVADE et al. 1998), dass die Barbe

dort offenbar strenger nachtaktiv ist, als am Hochrhein. Zu demselben Ergebnis kamen BENITEZ et al. (2018) bei der HDX-Untersuchung eines Schlitzpasses in einem belgischen Zufluss der Maas. Das Rotaugen hingegen zeigte sowohl in Iffezheim am Oberrhein (NÖTHLICH et al. 2001), als auch an der Dordogne (TRAVADE et al. 1998) keine gleichmässig über den Tag verteilte Aktivität, sondern erwies sich dort als deutlich tagaktiv, während der Alet gemäss den Befunden von SCHÖLZEL (2013) überwiegend nachtaktiv ist. Diese Diskrepanzen bezüglich der artspezifischen circadianen Rhythmik zeigen, dass sich die Befunde vom Hochrhein nicht ungeprüft auf andere Gewässer übertragen lassen, wie auch umgekehrt andere Befunde nicht auf den Hochrhein. Bei der circadianen Rhythmik handelt es sich somit nicht um eine artspezifische Konstante, sondern sie wird auch von den Umweltbedingungen im jeweiligen Gewässer beziehungsweise in der beprobten Fischaufstiegshilfe beeinflusst.

6.4 BEWEGUNGSMUSTER

Fische entziehen sich in ihrem angestammten Lebensraum weitgehend einer direkten Beobachtung. Deshalb ist über ihren Aktionsradius sowie ihre Bewegungsmuster vergleichsweise wenig bekannt. Durch Fang-Markierungs-Wiederfangexperimente, wie sie schon in den 1950er Jahren am Hochrhein durchgeführt wurden (LAMPERT & LINK 1971), können zwar wertvolle Informationen über Wanderdistanzen und Reisedauer gewonnen werden. Weil aber mit dem Fang bzw. Wiederfang der Tiere nur die Anfang- und Endposition eines Fisches erkannt werden, bleiben komplexe Bewegungsmuster, die die Tiere zwischen diesen Orten ausgeführt haben, im Dunkeln. Mangels differenzierter Einblicke in das tatsächliche Geschehen werden die Vorstellungen zum Wanderverhalten der Fische deshalb bis heute von dem Bild geprägt, das JENS bereits 1982 sehr anschaulich formuliert hat: *„Der Fisch befindet sich in einem Bündel von Strömungsfäden; sie hüllen ihn ein, und er folgt ihnen wie Theseus dem Faden der Ariadne“*.

Um gross- oder selbst kleinräumige Ortsbewegungen untersuchen zu können bedarf es des Einsatzes aufwändiger Methoden wie der Telemetrie, die in Mitteleuropa jedoch nur selten und, abgesehen von wenigen Ausnahmen (u. a. SCHMUTZ & UNFER 1996, FREDRICH & ARZBACH 1996, PETER 1998, OVIDIO et al. 2012, MAST et al. 2016) fast immer zur Verfolgung diadromer Arten genutzt wird. Erst seit kurzen liegen Informationen über grossräumige Bewegungsmuster von Fischen vor, die mittels HDX-Technik erhoben

wurden (ADAM et al. 2018, ADAM 2020, ENGLER & ADAM 2014, 2018 u. a.). Die Befunde der vorliegenden Untersuchung, die ebenfalls mit HDX-Technik durchgeführt wurde zeigen, dass das Wanderverhalten der Fische im Hochrhein hoch komplex ist und sich viele verschiedene Muster unterscheiden lassen:

- Nur bei wenigen Fischen trifft das von JENS (1982) entworfene Bild zu, in dem die Tiere ein zielgerichtetes, stromaufwärts gerichtetes Bewegungsmuster zeigen. Solche stringent wandernden Exemplare passierten die Fischaufstiegshilfen innerhalb weniger als einer Stunde (Kap. 6.7.2) und sogar mehrere Staustufen innerhalb weniger Tage (Kap. 6.5.1).
- Andere Fische „trödelten“ ganz offensichtlich umher, denn es vergingen Wochen oder gar Monate, bevor sie in einer der Fischaufstiegshilfen registriert wurden (Kap. 6.6.2). Auch nahmen sich solche Tiere für die Passage eines Fischpasses um zwei bis drei Zehnerpotenzen mehr Zeit, als gleich grosse und damit gleich leistungsfähige Artgenossen (Kap. 6.7.2).
- Die Mehrzahl der markierten Fische liess ein eher geringes Wanderbedürfnis erkennen, denn sie wurden kein einziges Mal an irgendeiner der HDX-Antennen registriert (Kap. 6.2), oder traten nur ein bis wenige Male im Einstiegsbereich einer der Fischaufstiegshilfen in Erscheinung, ohne diese jedoch zu passieren.
- Dem stehen zum Teil extrem komplexe Bewegungsmuster gegenüber, indem Fische beispielsweise, ggf. auch in Kombination:
 - den Aufstieg für Wochen oder gar Monate unterbrachen,
 - mehrfach und häufig über lange Zeiträume verteilt immer wieder in Fischaufstiegshilfen hinein schwammen, ohne sie zu passieren,
 - hierbei zum Teil und des öfteren die Einstiegs- oder Uferseite wechselten,
 - nach erfolgreicher Passage nicht weiter stromaufwärts schwammen, sondern ins Unterwasser zurückkehrten,
 - nach der Überwindung einer oder mehrerer Staustufen wieder stromab wanderten, wofür sie zum Teil die Fischaufstiegshilfen als Wanderkorridore nutzten. Andere Exemplare passierten offensichtlich die Turbinen der Wasserkraftwerke bzw. überwandten bei erhöhten Abflüssen die überströmten Wehre.

Zum Teil sind solche Abweichungen von einem zielgerichteten, stringenten Aufstiegsverhalten sicherlich einer mangelnden Auffindbarkeit oder Passierbarkeit der Fischaufstiegshilfen geschuldet, insbesondere für leistungsschwache Exemplare und bei niedrigen Wassertemperaturen. Dass Fische trotz einer erfolgreichen stromaufwärts gerichteten Passage wieder ins Unterwasser zurückkehrten, liess sich im Rahmen der vorliegenden Untersuchung häufig auch mit einer Blockade der Ausstiege der Fischaufstiegshilfen durch exponierten Reusen bzw. den Betrieb der Zählbecken begründen.

Vielfach aber bleibt der Sinn der oftmals für den Fisch beschwerlichen und gefährlichen Ortswechsel nach stromauf- und stromabwärts unverstanden. Insofern kann aktuell lediglich konstatiert werden, dass das Wanderverhalten der Fische durch weit mehr Faktoren bestimmt wird, als durch ein instinktgesteuertes Verhalten gegenüber der Strömung, die Fische zu einer rheoaktiven Reaktion veranlasst, stromaufwärts zu wandern. Vielmehr basieren die registrierten Bewegungsmuster zum grossen Teil ganz offensichtlich auch auf individuellen Entscheidungen der Fische, sich zu einem gegebenen Zeitpunkt in einer bestimmten Weise zu verhalten, um sich eine Weile danach u. U. in die entgegen gesetzte Richtung zu orientieren.

Um einen Eindruck von der Vielfältigkeit der Bewegungsmuster zu vermitteln sind nachfolgend in den Tab. 8 bis 21 exemplarisch die „Reisetagebücher“ von 14 transpondierten Individuen dargestellt. Zur besseren Lesbarkeit sind die einzelnen Staustufen bzw. Fischaufstiegshilfen farblich hinterlegt; Ober- und Unterwasser einer Staustufe sind mit OW und UW abgekürzt.

Tab. 9: Reisetagebuch eines 36 cm langen Alet (ID-Code: 900228000298392)

Datum	Uhr-zeit	Ereignis	Ort
12.04.2017	11:45	Markierung und Besatz	UW Augst-Wyhlen (D)
14.04.2017	4:40	Einschwimmen Schlitzpass	Augst
14.04.2017	6:57	Passage innerhalb von 2,3 Stunden	
16.04.2017	23:00	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
21.04.2017	12:01	Passage innerhalb von 4,5 Tagen	Ryburg-Schwörstadt (D)
25.04.2017	10:14	Einschwimmen Raugerinne-BP	
		Passage Umgehungsgerinne	Säckingen (D)
19.05.2017	19:54	Einschwimmen Beckenpass	
19.05.2017	20:20	Aufschwimmen zum Ausstieg	
20.05.2017	17:39	Zurückschwimmen zum Einstieg	
20.05.2017	21:18	Verlassen der FAH ins UW	
21.05.2017	10:52	Einschwimmen Beckenpass	
22.05.2017	20:05	Aufschwimmen zum Ausstieg	
23.05.2017	9:25	Zurückschwimmen zum Einstieg	
23.05.2017	13:05	Verlassen der FAH ins UW	
24.05.2017	20:58	Einschwimmen Beckenpass	
24.05.2017	21:24	Aufschwimmen zum Ausstieg	
25.05.2017	8:05	Einschwimmen Beckenpass	
25.05.2017	11:25	Verlassen der FAH ins UW	
31.05.2017	11:14	Einschwimmen Beckenpass	
31.05.2017	17:04	Verlassen der FAH ins UW	
19.07.2017	18:12	Einschwimmen Beckenpass und Verlassen der FAH ins UW	
24.07.2017	18:11	Einschwimmen Beckenpass	
24.07.2017	18:29	Passage innerhalb von 20 Minuten	

Tab. 10: Reisetagebuch einer 60 cm langen Barbe (ID-Code: 900230000105682)

Datum	Uhr-zeit	Ereignis	Ort
15.05.2017	13:30	Markierung und Besatz	UW Augst-Wyhlen (D)
18.05.2017	14:58	Einschwimmen Schlitzpass	Augst (CH)
18.05.2017	15:45	Aufschwimmen zum Ausstieg	
19.05.2017	0:08	Zurückschwimmen zum Einstieg	
19.05.2017	0:16	Aufschwimmen zum Ausstieg	
19.05.2017	0:56	Passage innerhalb von 40 Minuten	Rheinfelden (CH)
20.05.2017	16:22	Einschwimmen Schlitzpass	
20.05.2017	21:37	Aufschwimmen zum Ausstieg	
20.05.2017	22:19	Zurückschwimmen zum Einstieg	
20.05.2017	23:11	Verlassen der FAH ins UW	
26.05.2017	9:51	Einschwimmen Schlitzpass	
26.05.2017	10:06	Verlassen der FAH ins UW	

28.05.2017	21:47	Einschwimmen Schlitzpass	
29.05.2017	6:27	Aufschwimmen zum Ausstieg	
31.05.2017	0:17	Zurückschwimmen zum Einstieg	
31.05.2017	6:31	Passage innerhalb von 6 Stunden	
		Rückkehr ins UW Rheinfelden	
02.06.2017	1:12	Einschwimmen Raugerinne-BP	Rheinfelden (D)
02.06.2017	2:22	Passage innerhalb von 70 Minuten	
03.06.2017	2:09	Fang im Zählbecken, Entlassen ins OW	Rheinfelden (D)
05.06.2017	22:55	Einschwimmen Raugerinne-BP und Verlassen der FAH ins UW	Ryburg-Schwörstadt (D)
07.06.2017	11:44	Einschwimmen Raugerinne-BP	
07.06.2017	23:22	Verlassen der FAH ins UW	
10.06.2017	23:58	Einschwimmen Raugerinne-BP und Verlassen der FAH ins UW	
13.06.2017	21:24	Einschwimmen Raugerinne-BP	
13.06.2017	21:32	Verlassen der FAH ins UW	
16.06.2017	21:33	Einschwimmen Raugerinne-BP	
21.06.2017	2:49	Verlassen der FAH ins UW	
24.06.2017	4:11	Einschwimmen Raugerinne-BP	
24.06.2017	4:17	Verlassen der FAH ins UW	
25.06.2017	6:48	Einschwimmen Raugerinne-BP	
25.06.2017	6:52	Verlassen der FAH ins UW	
27.06.2017	0:32	Einschwimmen Raugerinne-BP	
08.07.2017	7:33	Verlassen der FAH ins UW	
09.07.2017	21:42	Einschwimmen Raugerinne BP	
09.07.2017	22:00	Verlassen der FAH ins UW	
18.07.2017	22:06	Einschwimmen Raugerinne-BP	
19.07.2017	1:39	Passage innerhalb von 3,5 Stunden	
30.08.2017	9:12	Einschwimmen Beckenpass	Säckingen (D)
30.08.2017	10:20	Aufschwimmen zum Ausstieg	
30.08.2017	10:40	Zurückschwimmen zum Einstieg	
30.08.2017	20:33	Verlassen der FAH ins UW	
10.09.2017	6:46	Einschwimmen Beckenpass	
10.09.2017	9:24	Aufschwimmen zum Ausstieg	
10.09.2017	9:43	Zurückschwimmen zum Einstieg	
10.09.2017	9:53	Verlassen der FAH ins UW	
14.09.2017	3:56	Einschwimmen Beckenpass	
14.09.2017	4:22	Verlassen der FAH ins UW	
14.09.2017	20:10	Einschwimmen Beckenpass	
14.09.2017	21:05	Passage innerhalb von 1 Stunde	

Tab. 11: Reisetagebuch einer 63,5 cm langen Barbe (ID-Code: 900230000105730)

Datum	Uhrzeit	Ereignis	Ort
15.05.2017	15:30	Markierung und Besatz	UW Augst-Wyhlen (CH)
17.05.2017	22:56	Einschwimmen Raugerinne-BP	Wyhlen (D)
18.05.2017	2:31	Verlassen der FAH ins UW	
		Uferwechsel zum Schlitzpass Augst	
28.05.2017	1:35	Einschwimmen Schlitzpass	Augst (CH)
28.05.2017	1:58	Aufschwimmen zum Ausstieg	
28.05.2017	3:17	Zurückschwimmen zum Einstieg	
28.05.2017	3:35	Passage innerhalb von 20 Minuten	
02.06.2017	6:40	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
02.06.2017	7:12	Aufschwimmen zum Ausstieg	
02.06.2017	8:15	Zurückschwimmen zum Einstieg	
02.06.2017	8:26	Verlassen der FAH ins UW	
03.06.2017	1:45	Einschwimmen Schlitzpass	
03.06.2017	4:19	Verlassen der FAH ins UW	
13.06.2017	3:43	Uferwechsel und Einschwimmen Raugerinne-Beckenpass	Rheinfelden (D)
13.06.2017	5:10	Passage innerhalb von 1,5 Stunden	
13.06.2017	5:21	Fang im Fischzählbecken, Entlassen ins OW	Rheinfelden (D)
		10 Monate keine registrierte Aktivität	
		Rückkehr ins UW Augst-Wyhlen	
23.04.2018	2:05	Einschwimmen Schlitzpass	Augst (CH)
23.04.2018	2:53	Aufschwimmen zum Ausstieg und zurückschwimmen zum Einstieg	
23.04.2018	3:37	Verlassen der FAH ins UW	
		Passage Schlitzpass	
12.06.2018	0:36	Einschwimmen Raugerinne-BP	Rheinfelden (D)
12.06.2018	4:41	Verlassen der FAH ins UW	
21.07.2018	22:44	Uferwechsel und Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
21.07.2018	23:22	Passage innerhalb von 40 Minuten	
22.07.2018	9:56	Einschwimmen Raugerinne-BP und Verlassen der FAA ins UW	Ryburg-Schwörstadt (D)
25.08.2018	15:37	Einschwimmen Raugerinne-BP	
25.08.2018	19:40	Passage Umgehungsgerinne innerhalb von 4 Stunden	
28.08.2018	17:58	Einschwimmen Beckenpass	Säckingen (D)
28.08.2018	18:47	Passage innerhalb von 20 Minuten	

Tab. 12: Reisetagebuch eines 21 cm langen Rotauges (ID-Code 900228000298164)

Datum	Uhr-zeit	Ereignis	Ort
07.04.2017	18:30	Markierung und Besatz	UW Augst-Wyhlen (D)
08.04.2017	0:30	Einschwimmen Schlitzpass	Augst (CH)
27.04.2017	22:31	Einschwimmen Schlitzpass	
30.07.2017	21:34	Einschwimmen Schlitzpass	
30.07.2017	23:16	Passage innerhalb von 1,5 Stunden	
		Passage Umgehungsgewässer	Rheinfelden (D)
22.08.2017	22:03	Einschwimmen Raugerinne-BP	Ryburg-Schwörstadt (D)
23.08.2017	1:05	Passage Umgehungsgewässer innerhalb von 3 Stunden	
06.09.2017	6:39	Einschwimmen Beckenpass	Säckingen (D)
06.09.2017	6:52	Passage innerhalb von 13 Minuten	
06.09.2017	10:50	Fang in Reuse, Entlassen ins OW	

Tab. 13: Reisetagebuch einer 60,5 cm langen Barbe (ID-Code: 900230000006094)

Datum	Uhr-zeit	Ereignis	Ort
31.05.2017	14:30	Markierung und Besatz	UW Augst-Wyhlen (CH)
30.09.2017	2:23	Einschwimmen Schlitzpass	Augst (CH)
30.09.2017	3:03	Aufschwimmen zum Ausstieg	
30.09.2017	4:17	Zurückschwimmen zum Einstieg	
30.09.2017	4:17	Verlassen der FAH ins UW	
07.10.2017	22:38	Einschwimmen Schlitzpass	
07.10.2017	23:09	Aufschwimmen zum Ausstieg	
08.10.2017	0:57	Zurückschwimmen zum Einstieg	
08.10.2017	00:58	Verlassen der FAH ins UW	
		1 Jahr keine registrierte Aktivität	
03.10.2018	1:08	Einschwimmen Schlitzpass	Augst (CH)
03.10.2018	1:42	Aufschwimmen zum Ausstieg	
03.10.2018	3:14	Passage innerhalb von 2 Stunden	
28.10.2018	17:56	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
28.10.2018	19:02	Aufschwimmen zum Ausstieg	
28.10.2018	19:40	Passage innerhalb von 1,75 Stunden	
		7 Monate keine registrierte Aktivität	
04.06.2019	23:34	Registrierung Umgehungsgewässer am Ausstieg	Ryburg-Schwörstadt (D)
05.06.2019	22:47	Einschwimmen Beckenpass	Säckingen (D)
05.06.2019	23:07	Passage innerhalb von 20 Minuten	
		2,5 Monate keine registrierte Aktivität	
		Rückkehr ins OW Augst	
20.08.2019	18:10	Schlitzpass Ausstieg	Augst (CH)
20.08.2019	18:27	Verlassen der FAH ins UW	

Tab. 14: Reisetagebuch einer 49,5 cm langen Barbe (ID-Code: 900230000105563)

Datum	Uhr-zeit	Ereignis	Ort
24.04.2017	13:30	Markierung und Besatz	UW Augst-Wyhlen (D)
05.05.2017	16:37	Einschwimmen Schlitzpass	Augst (CH)
05.05.2017	17:09	Passage innerhalb von 32 Minuten	
08.05.2017	11:30	Fang im Zählbecken, Entlassen ins OW	
10.05.2017	14:19	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
12.05.2019	20:19	Einschwimmen Schlitzpass	
12.05.2019	21:23	Passage innerhalb von 1 Stunde	
16.05.2017	15:00	Fang im Zählbecken, Entlassen ins OW	Ryburg-Schwörstadt (D)
16.05.2017	21:36	Einschwimmen Raugerinne-BP	
17.05.2017	0:13	Passage Umgehungsgerinne innerhalb von 2,5 Stunden	Säckingen (D)
18.05.2017	22:20	Einschwimmen Beckenpass	
18.05.2017	22:33	Aufschwimmen zum Ausstieg	
18.05.2017	23:56	Zurückschwimmen zum Einstieg	
19.05.2017	0:24	Aufschwimmen zum Ausstieg	
19.05.2017	0:58	Zurückschwimmen zum Einstieg	
19.05.2017	1:36	Aufschwimmen zum Ausstieg	
19.05.2017	2:11	Zurückschwimmen zum Einstieg	
19.05.2017	2:53	Aufschwimmen zum Ausstieg	
19.05.2017	3:18	Zurückschwimmen zum Einstieg	
19.05.2017	3:31	Aufschwimmen zum Ausstieg	
19.05.2017	3:57	Zurückschwimmen zum Einstieg	
19.05.2017	4:00	Verlassen der FAH ins UW	
20.05.2017	14:11	Einschwimmen Beckenpass	
20.05.2017	14:15	Verlassen der FAH ins UW	
23.05.2017	5:35	Einschwimmen Beckenpass	
23.05.2017	5:47	Aufschwimmen zum Ausstieg	
23.05.2017	9:50	Zurückschwimmen zum Einstieg	
23.05.2017	9:51	Verlassen der FAH ins UW	
26.05.2017	23:42	Einschwimmen Beckenpass	
26.05.2017	23:54	Aufschwimmen zum Ausstieg	
27.05.2017	6:36	Zurückschwimmen zum Einstieg	
27.05.2017	6:37	Verlassen der FAH ins UW	
30.05.2017	21:25	Einschwimmen Beckenpass	
30.05.2017	21:36	Aufschwimmen zum Ausstieg	
30.05.2017	21:52	Zurückschwimmen zum Einstieg	
30.05.2017	21:54	Verlassen der FAH ins UW	
		11 Monate keine registrierte Aktivität	
		Rückkehr ins UW von Augst-Wyhlen, Weg unbekannt	

30.04.2018	23:58	Einschwimmen Schlitzpass	Augst (CH)
01.05.2018	0:22	Passage innerhalb von 24 Minuten	
01.05.2018	22:09	Registrierung Ausstieg Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
01.05.2018	22:23	Verlassen der FAH ins Oberwasser	
02.05.2018	17:12	Einschwimmen Raugerinne-BP	Ryburg-Schwörstadt (D)
03.05.2018	13:46	Passage Umgehungsgerinne innerhalb von 20,5 Stunden	
		12 Monate keine registrierte Aktivität	
		Rückkehr ins Unterwasser von Rheinfelden, Weg unbekannt	
22.04.2019	11:41	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
22.04.2019	18:26	Passage innerhalb von 6,75 Stunden	
23.04.2019	0:13	Registrierung Ausstieg Umgehungsgerinne	Ryburg-Schwörstadt (D)
23.04.2019	16:15	Einschwimmen Raugerinne-BP	
25.04.2019	20:13	Einschwimmen Beckenpass	Säckingen (D)
14.05.2019	3:34	Passage innerhalb von 18,5 Tagen	

Tab. 15: Reisetagebuch einer 52 cm langen Blei (ID-Code: 900230000105580)

Datum	Uhrzeit	Ereignis	Ort
27.04.2017	12:00	Markierung und Besatz	UW Augst-Wyhlen (D)
12.06.2017	07:09	Einschwimmen Raugerinne-BP	Wyhlen (D)
12.06.2017	3:03	Verlassen der FAH ins UW	
		23 Monate keine registrierte Aktivität	
17.05.2019	5:20	Einschwimmen Raugerinne-BP	Wyhlen (D)
17.05.2019	5:24	Aufschwimmen zum Ausstieg	
17.05.2019	5:26	Zurückschwimmen zum Mittelteil	
17.05.2019	11:17	Zurückschwimmen zum Einstieg	
17.05.2019	11:29	Passage der FAH	
23.05.2019	18:20	Einschwimmen in Raugerinne-BP und Verlassen ins UW	Rheinfelden (D)
29.05.2019	7:57	Uferwechsel und Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
29.05.2019	9:28	Passage innerhalb von 1,5 Stunden	
29.05.2019	20:59	Registrierung am Ausstieg und Verlassen des Umgehungsgerinnes ins OW	Ryburg-Schwörstadt (D)
03.06.2019	11:20	Einschwimmen in Beckenpass	Säckingen (D)
03.06.2019	12:22	Passage innerhalb von 1 Stunde	

Tab. 16: Reisetagebuch einer 18 cm langen Barbe (ID-Code: 900228000095716)

Datum	Uhr-zeit	Ereignis	Ort
13.06.2018	13:45	Markierung und Besatz	UW Rheinfelden (CH)
17.06.2018	4:11	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
17.06.2018	5:11	1. Passage innerhalb von 1 Stunde	
		Rückkehr ins UW, möglicherweise über Turbine	
		1 Monat keine registrierte Aktivität	
10.07.2018	2:52	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
10.07.2018	4:16	2. Passage innerhalb von 1,5 Stunden	
		Rückkehr ins UW, möglicherweise über Turbine	
		8,5 Monate keine registrierte Aktivität	
24.03.2019	2:00	Registrierung am Einstieg und Verlassen der FAH ins UW	Rheinfelden (CH)
08.04.2019	22:54	Einschwimmen Schlitzpass	
08.04.2019	1:05	3. Passage innerhalb von 2 Stunden	
		Rückkehr ins UW, möglicherweise über Turbine	
04.06.2019	1:00	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
04.06.2019	3:30	4. Passage innerhalb von 2,5 Stunden	
		Rückkehr ins UW, möglicherweise über Turbine	
11.06.2019	1:24	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
11.06.2019	3:33	5. Passage innerhalb von 2 Stunden	
		Rückkehr ins UW, möglicherweise über Turbine	
12.06.2019	15:21	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
12.06.2019	16:45	6. Passage innerhalb von 1,3 Stunden	
		Rückkehr ins UW, möglicherweise über Turbine	
17.06.2019	22:59	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
18.06.2019	0:49	7. Passage innerhalb von 2 Stunden	
		Rückkehr ins UW, möglicherweise über Turbine	
16.07.2019	5:27	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
16.07.2019	6:11	8. Passage innerhalb von 44 Minuten	
		Rückkehr ins UW, möglicherweise über Turbine	
20.08.2019	20:38	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
21.08.2019	6:10	9. Passage innerhalb von 6,5 Stunden	
		Rückkehr ins UW, möglicherweise über Turbine	
19.11.2019	23:21	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
20.11.2019	19:48	10. Passage innerhalb von 20,5 Stunden und verlassen der FAH ins OW	

Tab. 17: Reisetagebuch einer 22 cm langen Barbe (ID-Code: 900228000097992)

Datum	Uhr-zeit	Ereignis	Ort
06.10.2017	12:45	Markierung und Besatz	UW Säckingen (D)
		1 Jahr keine registrierte Aktivität	
10.10.2018	22:53	Einschwimmen Beckenpass	Säckingen (D)
10.10.2018	23:29	Passage innerhalb von 36 Minuten	
		1 Jahr keine registrierte Aktivität	
		Rückkehr ins UW, möglicherweise über Turbine	
24.10.2019	21:51	Einschwimmen Beckenpass	Säckingen (D)
24.10.2019	23:34	Passage innerhalb von 1,5 Stunden	
		Rückkehr ins UW, möglicherweise über Turbine	
30.11.2019	20:52	Einschwimmen Beckenpass	Säckingen (D)
30.11.2019	22:46	Aufschwimmen zum Ausstieg	
01.12.2019	7:45	Zurückschwimmen zum Einstieg	
16.12.2019	3:32	Aufschwimmen zum Ausstieg	
16.12.2019	16:58	Zurückschwimmen zum Einstieg	
16.12.2019	20:30	Aufschwimmen zum Ausstieg	
17.12.2019	7:07	Zurückschwimmen zum Einstieg	
18.12.2019	00:44	Aufschwimmen zum Ausstieg	
20.12.2019	22:22	Zurückschwimmen zum Einstieg	

Tab. 18: Reisetagebuch einer 41,5 cm langen Barbe (ID-Code: 900230000005948)

Datum	Uhr-zeit	Ereignis	Ort
08.05.2018	15:00	Markierung und Besatz	UW Augst-Wyhlen (D)
01.06.2018	12:34	Einschwimmen Schlitzpass	Augst (CH)
01.06.2018	14:15	Passage innerhalb von 1,75 Stunden	
02.06.2018	20:17	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
02.06.2018	21:03	Passage innerhalb von 46 Minuten	
		4 Monate keine registrierte Aktivität	
06.06.2018	4:30	Durchschwimmen des Schlitzpasses	Ryburg-Schwörstadt (D)
07.06.2018	18:42	Einschwimmen Raugerinne-BP	
07.06.2018	18:45	Verlassen der FAH ins UW	
		1 Jahr keine registrierte Aktivität	
		Rückkehr ins UW Augst/Wyhlen	
20.05.2019	21:21	Registrierung Einstieg Schlitzpass	Augst (CH)
26.05.2019	13:46	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
26.05.2019	17:36	Passage innerhalb von 4 Stunden	
28.05.2019	21:43	Registrierung am Ausstieg und Verlassen der FAH ins OW	Ryburg-Schwörstadt (D)
29.05.2019	20:43	Einschwimmen Beckenpass	Säckingen (D)
29.05.2019	21:44	Passage innerhalb von 1 Stunde	

Tab. 19: Reisetagebuch einer 41,5 cm langen Barbe (ID-Code: 900230000005948)

Datum	Uhr-zeit	Ereignis	Ort
08.05.2018	15:00	Markierung und Besatz	UW Augst-Wyhlen (D)
01.06.2018	12:34	Einschwimmen Schlitzpass	Augst (CH)
01.06.2018	14:15	Passage innerhalb von 1,75 Stunden	
02.06.2018	20:17	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
02.06.2018	21:03	Passage innerhalb von 46 Minuten	
		4 Monate keine registrierte Aktivität	
06.06.2018	4:30	Durchschwimmen des Schlitzpasses	Ryburg-Schwörstadt (D)
07.06.2018	18:42	Einschwimmen Raugerinne-BP	
07.06.2018	18:45	Verlassen der FAH ins UW	
		1 Jahr keine registrierte Aktivität	
		Rückkehr ins UW Augst/Wyhlen	
20.05.2019	21:21	Registrierung Einstieg Schlitzpass	Augst (CH)
26.05.2019	13:46	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
26.05.2019	17:36	Passage innerhalb von 4 Stunden	
28.05.2019	21:43	Registrierung am Ausstieg und Verlassen der FAH ins OW	Ryburg-Schwörstadt (D)
29.05.2019	20:43	Einschwimmen Beckenpass	Säckingen (D)
29.05.2019	21:44	Passage innerhalb von 1 Stunde	

Tab. 20: Reisetagebuch einer 13,5 cm langen Laube (ID-Code: 900226000212000)

Datum	Uhr-zeit	Ereignis	Ort
14.06.2017	18:00	Markierung und Besatz	UW Augst-Wyhlen (D)
19.07.2017	17:25	Einschwimmen Schlitzpass	Augst (CH)
19.07.2017	18:54	Passage innerhalb von 1,5 Stunden	
22.07.2017	2:27	Einschwimmen Raugerinne-BP	Rheinfelden (D)
		Passage Umgehungsgewässer	Rheinfelden (D)
		Passage Umgehungsgerinne	Ryburg-Schwörstadt (D)
09.08.2017	14:17	Einschwimmen Beckenpass	Säckingen (D)
09.08.2017	15:39	Passage innerhalb von 1,5 Stunden	

Tab. 21: Reisetagebuch einer 61,5 cm langen Barbe (ID-Code: 900230000005993)

Datum	Uhr-zeit	Ereignis	Ort
29.05.2017	17:30	Markierung und Besatz	UW Augst-Wyhlen (D)
30.05.2017	21:02	Einschwimmen Raugerinne-BP	Wyhlen (D)
01.06.2017	10:30	Fang im Zählbecken, Entlassen im OW	
02.06.2017	06:23	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
02.06.2017	7:09	Aufschwimmen zum Ausstieg	
02.06.2017	08:59	Zurückschwimmen zum Einstieg	
02.06.2017	09:17	Verlassen der FAH ins UW	
03.06.2017	01:54	Einschwimmen Schlitzpass	
03.06.2017	04:06	Verlassen der FAH ins UW	
10.06.2017	01:55	Einschwimmen Schlitzpass	
10.06.2017	03:47	Verlassen der FAH ins UW	
15.06.2017	02:19	Einschwimmen Schlitzpass	
15.06.2017	04:40	Verlassen der FAH ins UW	
		4,5 Monate keine registrierte Aktivität	
		Rückkehr ins UW Augst-Wyhlen	
03.11.2017	22:57	Einschwimmen Schlitzpass	Augst (CH)
03.11.2017	23:44	Passage innerhalb von 47 Minuten	
05.11.2017	17:57	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
05.11.2017	18:28	Verlassen der FAH ins UW	
06.11.2017	17:52	Einschwimmen Schlitzpass	
06.11.2017	21:26	Verlassen der FAH ins UW	
		7 Monate keine registrierte Aktivität	
		Aufstieg ins OW über unbekannte Route	
13.05.2018	14:16	Einschwimmen Raugerinne-BP und Verlassen der FAH ins UW	Ryburg-Schwörstadt (D)
26.07.2018	23:37	Passage Umgehungsgewässer	Rheinfelden (D)
		11 Monate keine registrierte Aktivität	
		Rückkehr ins UW Augst-Wyhlen über unbekannte Route	
16.06.2019	09:49	Einschwimmen Schlitzpass	Augst (CH)
16.06.2019	9:58	Passage innerhalb von 9 Minuten	
17.06.2019	1:00	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
17.06.2019	1:47	Passage innerhalb von 47 Minuten	
17.06.2019	20:22	Registrierung am Ausstieg und Verlassen der FAH ins OW	Ryburg-Schwörstadt (D)
18.06.2019	19:06	Einschwimmen Schlitzpass	Säckingen (D)
18.06.2019	19:11	Passage innerhalb von 5 Minuten	
20.08.2019	7:03	Registrierung Ausstieg Umgehungsgerinne	Ryburg-Schwörstadt (D)

Tab. 22: Reisetagebuch einer 61,5 cm langen Barbe (ID-Code: 900230000005993)

Datum	Uhr-zeit	Ereignis	Ort
23.05.2018	16:35	Markierung und Besatz	UW Augst-Wyhlen (CH)
25.05.2018	22:11	Einschwimmen Fischlift	Wyhlen (D)
26.05.2018	18:43	Einschwimmen Fischlift	
27.05.2018	9:08	Einschwimmen Fischlift	
27.05.2018	9:15	Einschwimmen Fischlift	
30.05.2018	8:52	Einschwimmen Fischlift	
30.05.2018	17:34	Einschwimmen Fischlift	
04.06.2018	19:27	Einschwimmen Fischlift	
30.08.2018	13:46	Einschwimmen Fischlift	
22.09.2018	20:59	Einschwimmen Fischlift	
22.09.2018	21:06	Einschwimmen Fischlift und Rückkehr ins UW	
23.09.2018	1:54	Uferwechsel und Einschwimmen Schlitzpass	Augst (CH)
23.09.2018	2:37	Verlassen der FAH ins UW	
13.10.2018	3:59	Uferwechsel und Einschwimmen Raugerinne-BP	Wyhlen (D)
13.10.2018	4:36	Passage innerhalb von 37 Minuten	
28.10.2018	18:03	Einschwimmen Schlitzpass	Rheinfelden (CH)
28.10.2018	19:40	Passage innerhalb von 1,6 Stunden	Ryburg-Schwörstadt (D)
08.11.2018	22:39	Registrierung am Ausstieg	
08.11.2018	22:42	Verlassen der FAH ins OW	
01.12.2018	00:33	Einschwimmen Beckenpass	Säckingen (D)
01.12.2018	20:45	Verlassen der FAH ins UW	
		5 Monate keine registrierte Aktivität	
10.05.2019	21:45	Einschwimmen Beckenpass und Verlassen der FAH ins UW	Säckingen (D)
18.06.2019	02:10	Einschwimmen Beckenpass	Säckingen (D)
18.06.2019	02:24	Passage innerhalb von 14 Minuten	

6.5 GESAMTDURCHGÄNGIGKEIT

Durch den Bau von Fischaufstiegshilfen soll die Gesamtdurchgängigkeit der Fließgewässersysteme wiederhergestellt werden. Dies wird auch für den Hochrhein angestrebt, wobei das langfristige Ziel darin besteht, dass selbst anadrome Arten, insbesondere der Lachs die Schweizer Zuflüsse des Rheins künftig wieder als Laichgebiete nutzen können. Dazu muss die Aufwanderung, ebenso wie die Abwanderung, nicht nur innerhalb des Hoch-, sondern auch über sämtliche Staustufen des Oberrheins möglich sein.

Aufgrund der Grenzen des Untersuchungsgebietes beschränken sich die nachfolgenden Aussagen zur Gesamtdurchgängigkeit einerseits auf potamodrome Arten und andererseits auf den Hochrhein zwischen Augst-Wyhlen und Säckingen mit den Staustufen Augst-Wyhlen, Rheinfelden, Ryburg-Schwörstadt und Säckingen. Als Kriterien für die Gesamtdurchgängigkeit werden die Anzahl der überwundenen Staustufen betrachtet (Kap. 6.5.1) und die individuelle Reisedauer, die die Fische für die vollständige Passage des Untersuchungsgebietes vom Unterwasser der Staustufe Augst-Wyhlen bis ins Oberwasser der Staustufe Säckingen benötigt haben (Kap. 6.5.2). Darüber hinaus steuern einige Individuen, für die durch Redetektionen an den HDX-Antennen anderer Bearbeiter projektübergreifende Wanderungen dokumentiert werden konnten, interessante Befunde zur Gesamtdurchgängigkeit bei (Kap. 6.5.3).

6.5.1 Anzahl passierter Staustufen

In Tab. 23 ist für die markierten Individuen der einzelnen Arten aufgelistet, ob und ggf. wie viele Staustufen sie im Verlauf des Untersuchungszeitraumes passiert haben. Demnach haben 3.075 Exemplare (18 %) mindestens eine Staustufe passiert. Bei der Mehrzahl dieser Fische beschränkte sich der Aktionsradius auch auf diese Distanz ($n = 1.847 = 10,8 \%$). Daneben überwandern 653 Individuen (3,8 %) zwei, 318 Individuen (1,9 %) drei und 257 (= 1,5 %) sogar alle vier Staustufen von Augst-Wyhlen bis Säckingen.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass natürlich nur die im Unterwasser der Staustufe Augst-Wyhlen besetzten Exemplare die Gelegenheit hatten, alle vier Staustufen zu passieren. Dies waren ohne Grundeln 5.352 Exemplare, von denen 257 und damit 4,8 % das Oberwasser der Staustufe Säckingen erreichten und so das gesamte Untersuchungsgebiet durchwandert haben. Von einer Gesamtdurchgängigkeit des Hochrheins zwischen Augst-Wyhlen und Säckingen für aufwandernde Fische kann somit zum jetzigen Zeitpunkt keine Rede sein. Eine Bewertung der o. a. Quote wird allerdings dadurch erschwert, dass kaum

Vergleichsdaten aus anderen Gewässern vorliegen. Eine Parallele ist insbesondere zu den Untersuchungen von ADAM et al. (2018) an dem wesentlich kleineren Flüsschen Wupper in Nordrhein-Westfalen zu ziehen. Dort wurde eine fast identische Reduzierung der Anzahl aufwandernder Exemplare im Gewässerverlauf über die dort vorhandenen Staustufen festgestellt: Mit nur 1,6 % war die Quote der Aufwanderer über 4 Staustufen hinweg sogar noch geringer als am Hochrhein. Nicht verwunderlich ist es insofern, dass in der Wupper keines der nahe der Mündung besetzten Exemplare von den HDX-Antennen in der Fischaufstiegshilfe des 9. Standortes registriert wurde.

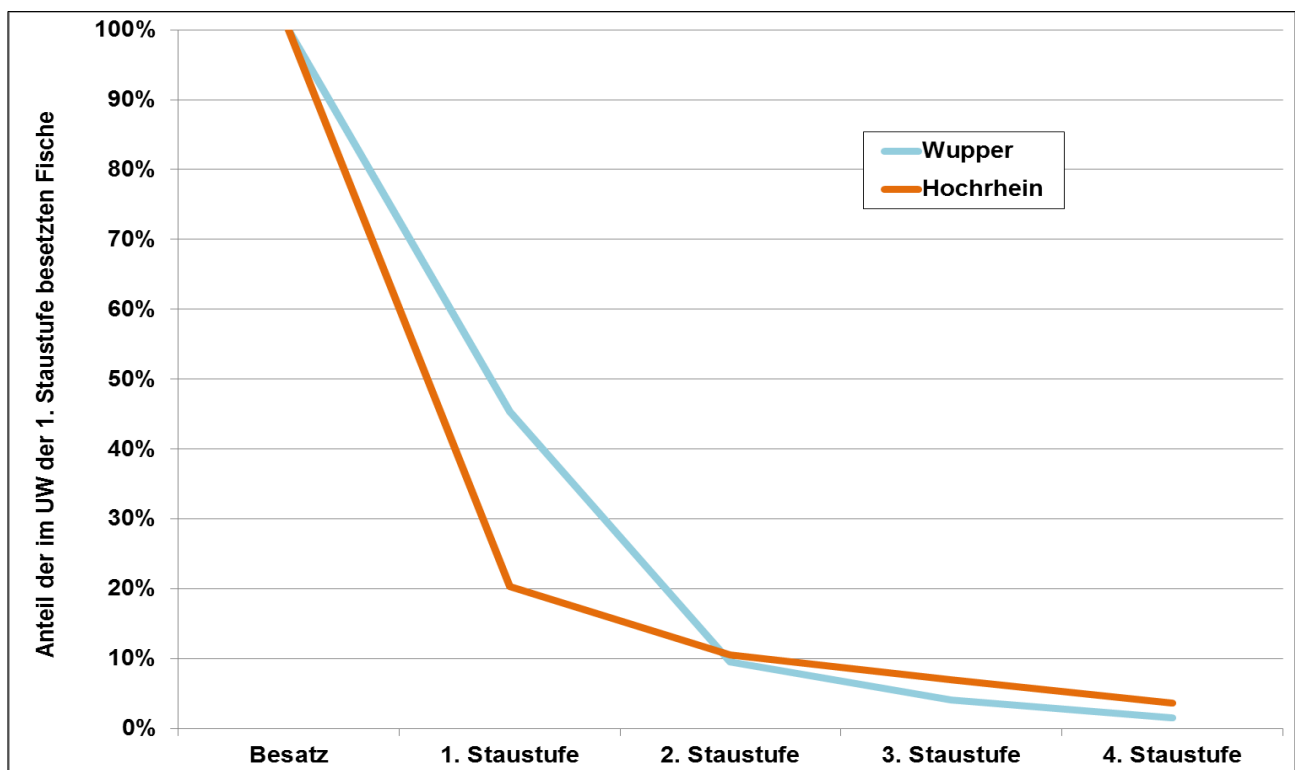


Abb. 81: Vergleich der Anteile erfolgreicher Passagen über die Stauketten in Hochrhein und Wupper (ADAM et al. 2018) durch transpondierte Fische

Im Rahmen des Projekts PIT-Tagging Hochrhein wurde die Anzahl der erfolgreichen Passagen der Staustufen auch artspezifisch ausgewertet (Tab. 23), wobei deutliche Unterschiede zwischen den Arten ersichtlich werden (Abb. 82). Überraschend ist vor allem, dass Brachsme und Wels nicht nur den höchsten Anteil von Redetektionen erreichten, sondern sich auch als besonders wanderfreudig erwiesen: 46 % der markierten Welse überwandern mindestens eine Staustufe, 18 % sogar alle vier Querbauwerke im Untersuchungsgebiet. Beim Brachsme waren es 37 % bzw. 11 %. Zu einem geringeren Anteil

gelang dies auch den Arten Barbe, Hasel, Alet und Rotaugen; ja sogar 11 Lauben waren unter denjenigen Fischen, die aus dem Unterwasser Augst-Wyhlen erfolgreich bis ins Oberwasser Säckingen aufgewandert sind.

Hinter den Erwartungen zurück blieb hingegen die als besonders wanderfreudig geltende Nase, die maximal 3 Staustufen überwand. Diese Leistung erbrachten selbst zwei der markierten Egli. Bemerkenswert ist schliesslich, dass auch einzelne Schneider und Gründlinge im Verlauf des Untersuchungszeitraums zumindest zwei Staustufen passierten. Die u. a. von DUSSLING et al. (2004) vorgenommene Differenzierung der heimischen Arten in die Migrationsgilden der „Mittel-,“ und „Kurzstanzwanderer“ wird durch diese Befunde einmal mehr in Frage gestellt: Die grösste Wanderaktivität und die weitesten Wanderdistanzen erreichten nämlich mit Wels und Brachsme zwei angebliche „Kurzstanzwanderer“, die Barbe und vor allem Nase als „Mitteldistanzwanderer“ deutlich hinter sich lassen (Tab. 22). Auch die „Kurzstanzwanderer“ Laube, Schneider, Hasel, Egli und Alet zeigen vergleichbare Aktivitäten und sogar noch grössere Wanderdistanzen als die Nase.

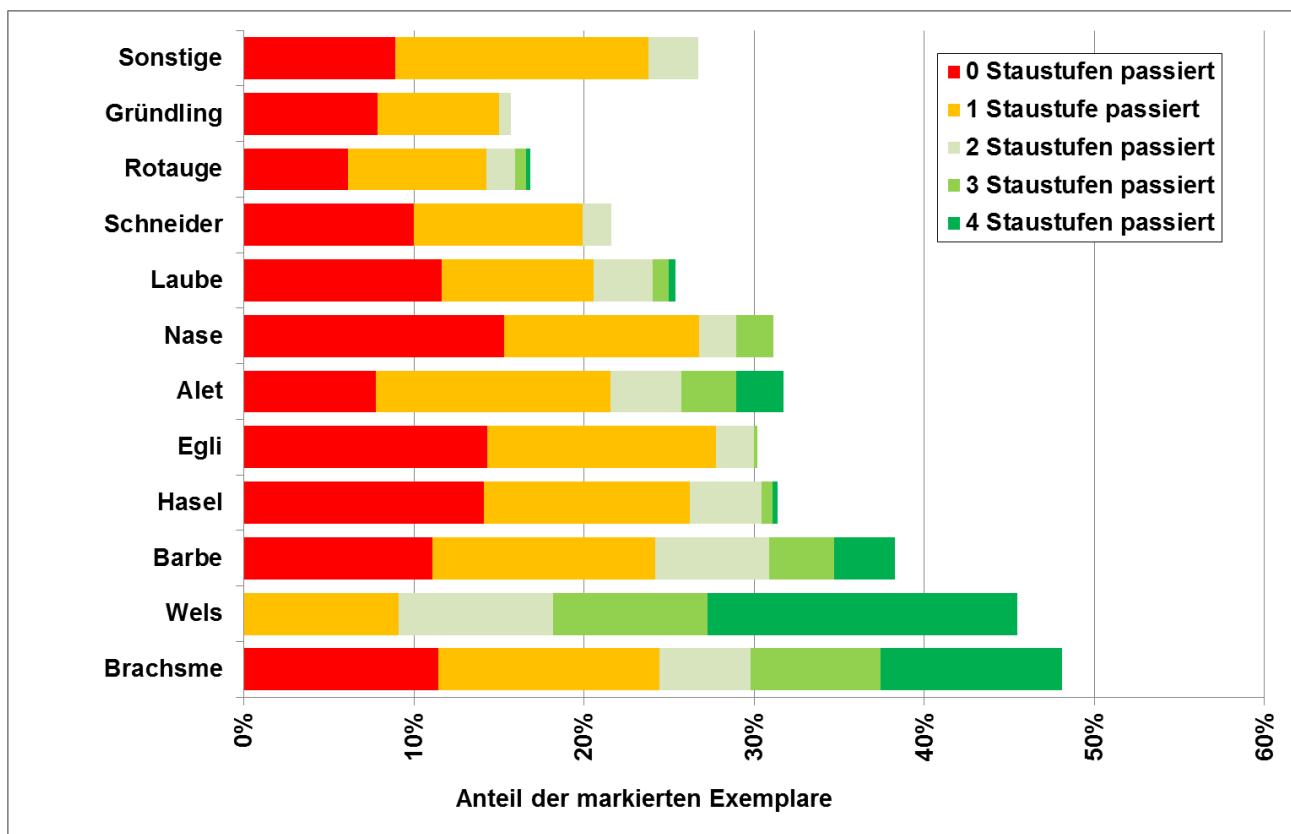


Abb. 82: Anteil der transpondierten Individuen der einzelnen Arten, die im Verlauf des Untersuchungszeitraums registriert wurden und keine, oder eine bis vier Staustufen am Hochrhein passiert haben

Tab. 23: Artspezifische Anzahl der besetzten und redetektierten Individuen sowie die Anzahl passierter Staustufen am Hochrhein mit den jeweiligen prozentualen Anteilen

Arten	besetzt	redetektiert		Anzahl passierter Staustufen				
		nein	ja	0	1	2	3	4
	Anzahl							
Alet	1.198	818	380	93	165	50	39	33
Barbe	5.113	3.156	1.957	566	671	341	197	182
Brachsme	131	68	63	15	17	7	10	14
Egli	1.113	777	336	159	150	25	2	0
Gründling	140	118	22	11	10	1	0	0
Hasel	637	437	200	90	77	27	4	2
Laube	2.817	2.103	714	327	252	98	26	11
Nase	183	126	57	28	21	4	4	0
Rotaugen	5.387	4.481	906	329	438	91	35	13
Schneider	301	236	65	30	30	5	0	0
Wels	11	6	5	0	1	1	1	2
Sonstige	101	74	27	9	15	3	0	0
Summe	17.132	12.400	4.732	1.657	1.847	653	318	257
	Anteil							
Alet		68,3 %	31,7 %	7,8 %	13,8 %	4,2 %	3,3 %	2,8 %
Barbe		61,7 %	38,3 %	11,1 %	13,1 %	6,7 %	3,9 %	3,6 %
Brachsme		51,9 %	48,1 %	11,5 %	13,0 %	5,3 %	7,6 %	10,7 %
Egli		69,8 %	30,2 %	14,3 %	13,5 %	2,2 %	0,2 %	0,0 %
Gründling		84,3 %	15,7 %	7,9 %	7,1 %	0,7 %	0,0 %	0,0 %
Hasel		68,6 %	31,4 %	14,1 %	12,1 %	4,2 %	0,6 %	0,3 %
Laube		74,7 %	25,3 %	11,6 %	8,9 %	3,5 %	0,9 %	0,4 %
Nase		68,9 %	31,1 %	15,3 %	11,5 %	2,2 %	2,2 %	0,0 %
Rotaugen		83,2 %	16,8 %	6,1 %	8,1 %	1,7 %	0,6 %	0,2 %
Schneider		78,4 %	21,6 %	10,0 %	10,0 %	1,7 %	0,0 %	0,0 %
Wels		45,5 %	54,5 %	0,0 %	9,1 %	9,1 %	9,1 %	18,2 %
Sonstige		71,4 %	28,6 %	8,0 %	14,3 %	3,6 %	0,9 %	1,8 %
Gesamt		72,4 %	27,6 %	9,7 %	10,8 %	3,8 %	1,9 %	1,5 %

Neben dem Besatz nimmt die Aufwanderung über eine Fischaufstiegshilfe Einfluss auf die Anzahl der jeweils in den Stauhaltungen und damit im Unterwasser der einzelnen Wehre präsenten markierten Exemplare. In Abb. 83 ist jeweils der Umfang der Besatzmassnahmen dargestellt sowie die Anzahl der Individuen, die am Einstieg der Fischaufstiegshilfen registriert wurden und diese erfolgreich bis ins Oberwasser passiert haben. Hieraus

ergeben sich die Bestände markierter Individuen im Unterwasser der nächsten Staustufe sowie die Gesamtzahl erfolgreicher Passagen. Demnach umfasste das Aufstiegs Potenzial ohne Grundeln im Unterwasser der Staustufen Augst-Wyhlen, Rheinfelden und Ryburg-Schwörstadt jeweils zwischen 5.000 und 6.000 Exemplare; im Unterwasser Säckingens waren es mit ca. 4.500 etwas weniger transpondierte Individuen.

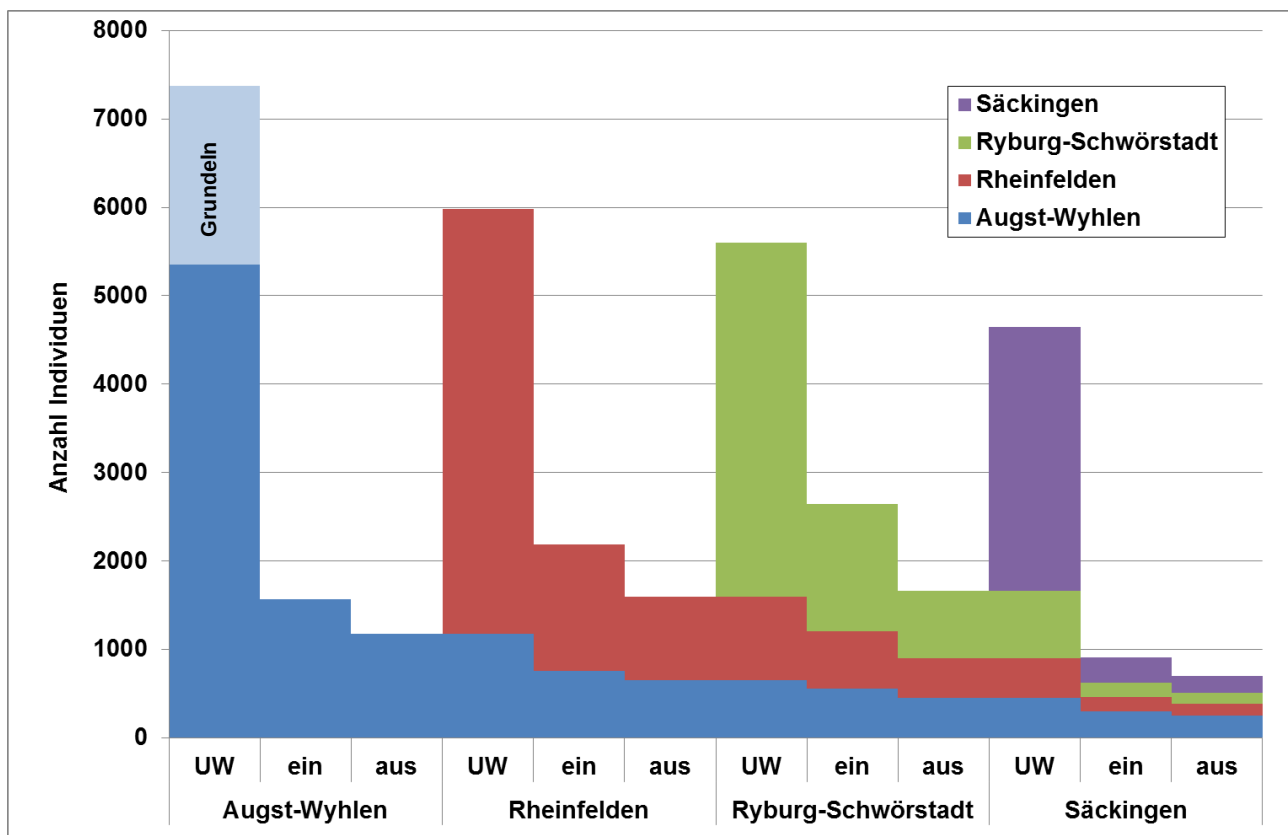


Abb. 83: Summarischer Überblick über Besatz, Wanderung und Bestand markierter Individuen im Unterwasser (UW) und Oberwasser (OW) der Staustufen im Untersuchungsgebiet

6.5.2 Reisedauer

Neben dem Anteil der markierten Fische, die sämtliche vier Staustufen bewältigt haben (Kap. 6.5.1), gibt auch die Zeit, die sie dafür benötigten, Auskunft über die Gesamtpassierbarkeit des Untersuchungsgebietes. Aus der graphischen Darstellung der Reisedauer in Abb. 84 ist ersichtlich, dass hierbei beträchtliche individuelle Unterschiede bestehen. Während einige Exemplare nur wenige Tage benötigten, dauerte die Gesamtpassage bei 13 % der Exemplare mindestens ein Jahr, bei 2 % sogar zwei Jahre. Zwei Drittel der

Aufsteiger passierten alle vier Staustufen innerhalb von vier Monaten und knapp die Hälfte innerhalb eines Monats.

Besonders aufschlussreich in Hinblick auf das grundsätzliche Leistungsvermögen der Fische sind die Exemplare mit der kürzesten Reisezeit. Diese ist in Abb. 85 für die schnellsten 50 Exemplare dargestellt. Verblüffend ist, dass das schnellste Exemplar, eine Barbe von 50,5 cm Länge, nur einen Tag und 6 Stunden benötigte, während einige Artgenossen ähnlicher Grösse zwei bis vier Tage brauchten. Die schnellsten Exemplare haben somit trotz der vier Staustufen, die es zu überwinden galt und der Strömung, gegen die sie anschwimmen mussten, eine mittlere Geschwindigkeit von 0,3 bis 0,9 km/h erreicht, wobei unklar ist, ob und welche „Umwege“ sie in dieser Zeit innerhalb der Stauhaltungen zurück gelegt haben. Nicht weniger erstaunlich ist, dass auch Plötzen und Lauben von nur 12,5 bis 16 cm Länge binnen weniger als einer Woche das Oberwasser der Staustufe Säckingen erreichten; was einer mittleren Reisegeschwindigkeit von ca. 0,2 bis 0,3 km/h entspricht.

Vorläufig unbeantwortet muss allerdings die Frage bleiben, warum der weitaus grösste Teil der markierten Fische keine derartigen Leistungen vollbrachte und 82 % von ihnen nicht einmal eine einzige Staustufe überwandten. Weil die grosse Mehrzahl der markierten Fische deutlich grösser war, als die o. a. Rotaugen und Lauben, liegt diesem Befund wohl kaum eine mangelnde Leistungsfähigkeit der Fische zu Grunde. Als mögliche Ursache sind insbesondere Mängel bezüglich der Auffindbarkeit der Fischaufstiegshilfen sowie auch eine mangelnde Motivation der Fische anzunehmen. Letztere lässt sich allerdings bislang weder nachweisen, noch quantifizieren und damit beurteilen. Nicht beziffern lässt sich auch die Abnahme des Bestandes markierter Exemplare im Untersuchungsgebiet infolge von Prädation, Fang durch Fischer und Angler (nur von 17 Fischen ist ihr Fang anhand eingesandter PIT-Tags belegt) sowie anderer Mortalitätsursachen.

Eine abschliessende Beurteilung der Gesamtdurchgängigkeit des Untersuchungsgebietes anhand der Reisedauer ist derzeit noch nicht möglich, weil keine Vergleichsdaten aus anderen Flusssystemen zur Verfügung stehen.

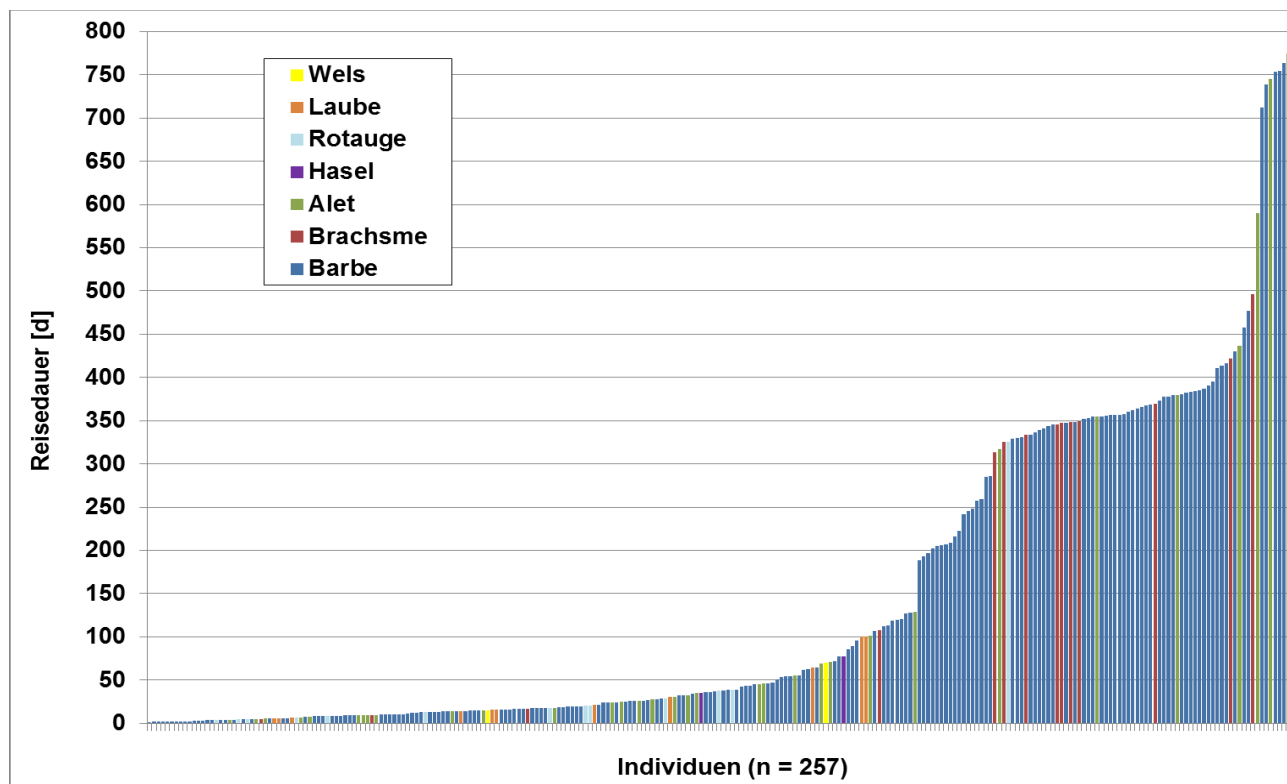


Abb. 84: Individuelle Reisedauer derjenigen Exemplare, die sämtliche vier Staustufen im Hochrhein passiert haben

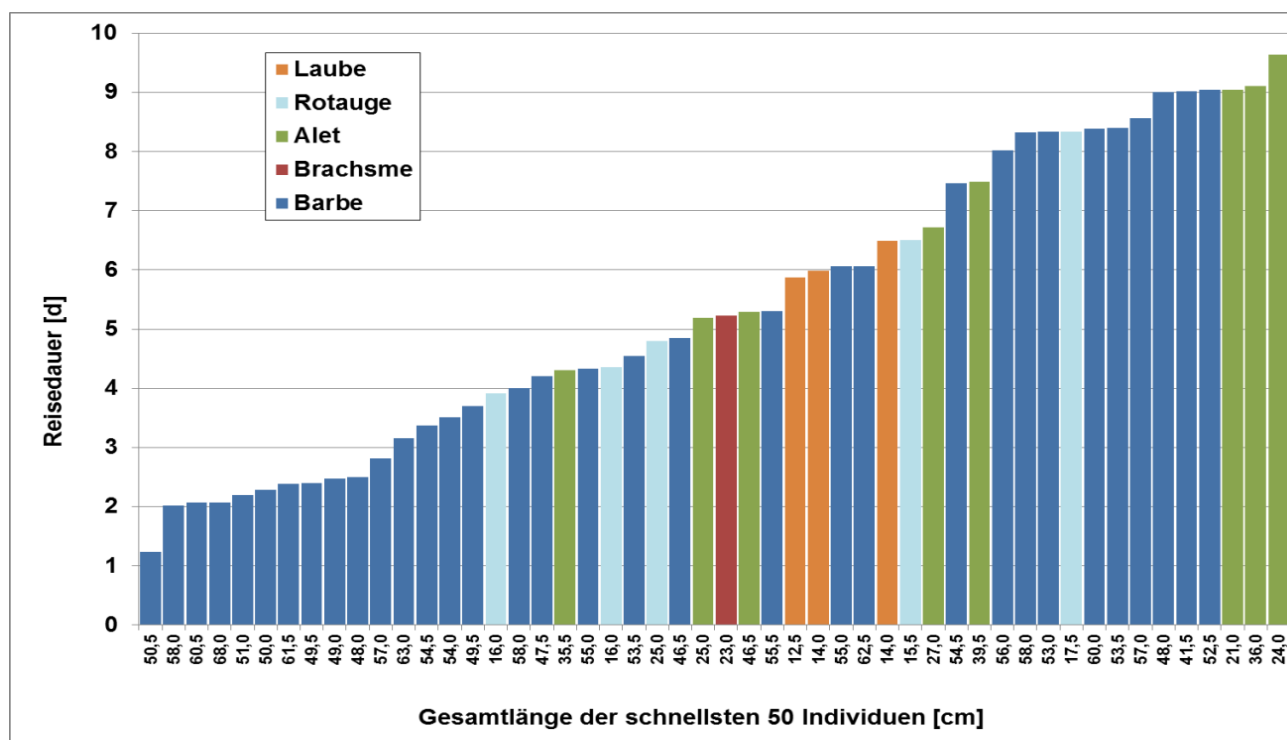


Abb. 85: Individuelle Reisedauer der 50 schnellsten Exemplare im Hochrhein mit Angaben ihrer Gesamtlänge

6.5.3 Projektübergreifende Wanderungen

Die HDX-Technik kommt in der Fischökologie zunehmend zum Einsatz. So ist das vorliegende Projekt „PIT-Tagging Hochrhein“ neben dem Vorprojekt von PETER et al. (2016) nicht das einzige im Einzugsgebiet des Hochrheins, bei dem Fische transpondiert und HDX-Antennen im Gewässer installiert wurden. Dies führte dazu, dass vom Institut für angewandte Ökologie im Rahmen des Projekts „PIT-Tagging Hochrhein“ neben selber vergebenen, d. h. „eigenen“ ID-Codes auch solche von insgesamt 332 „fremden“ Fischen detektiert wurden.

Ein Abgleich mit den von SCHÖLZEL (2014) vergebenen 560 ID-Codes von Fischen, die von ihm im Fluss Pfaffnern, einem Zufluss der Aare besetzt worden waren, ergab allerdings ebenso wenig Übereinstimmungen, wie eine Rückfrage bei WALTER (mündl. Mitt.), der 500 transpondierte Fische in die Vorderen Frenke, einem Zufluss der Ergolz, entlassen hatte. Ebenso wenig sind die ID-Codes bei der AXPO Power AG bekannt, in deren Auftrag in den letzten Jahren PIT-Tagging-Projekte im Einzugsgebiet der Aare durchgeführt worden sind (RICKENBACHER, mündl. Mitt.).

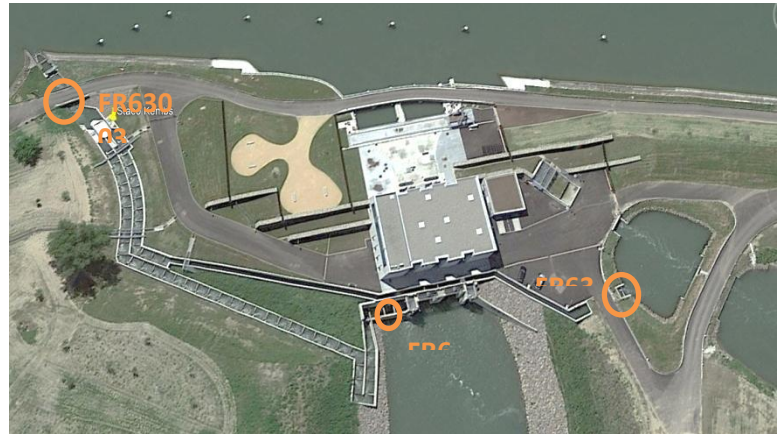
Lediglich zwei ID-Codes, die 2018 im Schlitzpass Augst (CH) registriert wurden, konnten einem anderen Projekt zugeordnet werden. Umso interessanter ist allerdings das Ergebnis: Es handelte sich um zwei Barben, die im Jahr 2017 im Unterwasser der Staustufe Gamsheim im Oberrhein von den Fischereibiologen der Association Saumon Rhin besetzt worden waren. Innerhalb eines Jahres hatten die beiden Fische eine Distanz von mehr als 150 km zurückgelegt. Unabhängig davon, ob sie zwischen den Staustufen Vogelgrun und Kembs den Restrhein oder den Grand Canal d'Alsace als Wanderroute gewählt haben, mussten sie dafür mindestens 10 Staustufen überwinden, die grösstenteils nicht oder nur mit mangelhaft funktionsfähigen Fischaufstiegshilfen ausgestattet sind.

Die übrigen 330 fremden ID-Codes wurden im Rahmen des vorliegenden Projekts fast ausschliesslich im Beckenpass Säcking (D) registriert. Wenngleich trotz intensiver Recherche die Herkunft dieser Fische bis zum heutigen Tag nicht ermittelt werden konnte, liegt es nahe, dass sie aus einem HDX-Projekt in der stromauf in den Hochrhein einmündenden Aare stammten.

Vice versa wurden auch vom Institut für angewandte Ökologie markierte Fische ausserhalb des Untersuchungsgebietes an HDX-Antennen registriert, die von der Association Saumon-Rhin an der Staustufe Kembs betrieben werden (Abb. 86). Hierbei handelte es sich um insgesamt 21 Exemplare (Tab. 24).

Abb. 86:

Dotierkraftwerk des Restrheins im Bereich der Staustufe Kembs mit Fischeufstiegshilfe und Position von der Association Saumon Rhin betriebenen HDX-Antennen (Foto: Association Saumon Rhin)



Tab. 24: Im Rahmen des vorliegenden Projektes markierte Fische, deren ID-Code von der Association Saumon Rhin an der Staustufe Kembs redetektiert wurde

Art	Länge [cm]	ID-Code
Alet	14,0	900226000210123
Barbe	61,0	900230000006059
Barbe	61,5	900230000105629
Brachsme	24,0	900228000299903
Laube	12,0	900226000253445
Laube	12,5	900226000212286
Laube	12,5	900226000213271
Laube	13,0	900226000211493
Laube	13,0	900226000211728
Laube	14,0	900226000253448
Laube	14,0	900226000253650
Laube	14,0	900226000253731
Laube	15,5	900226000253677
Laube	16,0	900226000212262
Nase	9,5	900226000984825
Rotaug	14,0	900226000210169
Rotaug	14,5	900226000212555
Rotaug	14,5	900226000212598
Rotaug	14,5	900226000213397
Rotaug	16,0	900228000096522
Wels	95,0	900230000005859

Die meisten von diesen Exemplaren wurden nur in Kembs registriert, aber kein einziges Mal in den Fischaufstiegshilfen der Staustufen Augst-Wyhlen, Rheinfelden, Ryburg-Schwörstadt oder Säckingen. Sie hatten das Untersuchungsgebiet somit stromabwärts verlassen. Für fünf dieser Fische hingegen belegen die externen Lesungen in Kembs erstaunliche Wanderwege und -leistungen:

- Eine im Mai 2017 markierte und im Unterwasser Augst-Wyhlen besetzte Barbe von 61,5 cm Länge (ID-Code: 900230000105629) orientierte sich zunächst stromaufwärts und wanderte innerhalb von 4 Wochen über die Schlitzpässe Augst (CH) und Rheinfelden (CH) bis ins Oberwasser der Staustufe Rheinfelden. Dort hielt sie sich jedoch nur kurz auf, kehrte über den Schlitzpass Rheinfelden (CH) zurück ins Unterwasser, passierte auch die Staustufen Augst-Wyhlen und Birsfelden stromab, um mehr als ein Jahr später in Kembs registriert zu werden.
- Vier Fische orientierten sich nach dem Besatz im Unterwasser der Staustufe Augst-Wyhlen zunächst stromabwärts, passierten die Staustufe Birsfelden und wurden 7 bis 18 Monate später an den Antennen in der Fischaufstiegshilfe am Dotierkraftwerk Kembs registriert. Von dort orientierten sie sich wieder stromaufwärts und legten dabei folgende Strecken zurück:
 - Ein Wels von 95 cm Länge (ID 900230000005859) stieg am 24. Mai 2018 aus dem „Petit Rhin“ über die Fischaufstiegshilfe ins Oberwasser Kembs auf, passierte auch die 5 folgenden Staustufen innerhalb von 4 Monaten und erreichte das Oberwasser Säckingen am 14. September 2018.
 - Einem Rotaugen von 14,5 cm Länge (ID 900226000213397) gelang es im Verlauf eines halben Jahres von Kembs bis nach Rheinfelden aufzuwandern. Das dortige Umgehungsgewässer (D) passierte es in den Morgenstunden des 13. September 2019, um noch am Abend den Einstieg in den Raugerinne-Beckenpass Ryburg-Schwörstadt (D) zu erreichen, diese Fischaufstiegshilfe auf gesamte Länge zu überwinden und kurz vor Mitternacht desselben Tages das Oberwasser zu erreichen.
 - Eine 14 cm lange Laube (ID-Code: 900226000253650) schaffte es innerhalb von 5 Monaten von Kembs aus, zumindest den Einstieg des Raugerinne-Beckenpasses Ryburg-Schwörstadt (D) zu erreichen, ohne dort jedoch aufzusteigen. Danach verliert sich seine Spur.

- Die grösste dokumentierte Wanderleistung aber hat zweifelsohne eine weitere, ebenfalls 14 cm lange Laube vollbracht (ID-Code: 900226000253448). Bekannt war bereits, dass dieses Exemplar nur 6,5 Tage benötigt hatte, um vom Unterwasser Augst-Wyhlen aus sämtliche 4 Staustufen des Untersuchungsgebietes zu passieren und das Oberwasser Säckingen zu erreichen. Allerdings dokumentieren nunmehr die Redetektionen der französischen Kollegen, dass dieses Exemplar seine Reise nur 6 Tage vorher im „Petit Rhin“ begonnen hatte. Innerhalb von insgesamt 12,5 Tagen hat diese Laube folglich nicht weniger als 6 Staustufen passiert und dabei eine Gesamtstrecke von 36 km zurückgelegt.

Weitere 5 im Rahmen des vorliegenden Projektes markierten Exemplare hatten das Untersuchungsgebiet stromaufwärts verlassen, waren in die Aare eingeschwommen und wurden dort an Antennen registriert, die von der AXPO Power AG an den Staustufen Rupperswil-Auenstein und Aarau-Rüchlig betrieben werden (Tab. 24).

Tab. 25: Im Rahmen des vorliegenden Projektes markierte Fische, deren ID-Code von der AXPO Power AG in der Aare redetektiert wurde

Art	Länge [cm]	ID-Code
Alet	21,5	900228000094274
Alet	33,5	900228000298752
Barbe	61,0	900230000006107
Laube	14,5	900226000988181
Rotaugen	17,0	900228000057329
Rotaugen	21,5	900228000056982

Leider sind weder die genauen Antennenpositionen, noch der Zeitpunkt der Redetektionen bekannt, so dass für diese Fische keine exakte Reisedauer und -distanz angegeben werden kann. Sicher ist jedoch, dass ein Alet und ein Rotaugen nach dem Besatz im Unterwasser Säckingen den dortigen Beckenpass (D) überwunden haben, danach im Hochrhein die Staustufen Laufenburg und Albruck-Dogern sowie in der Aare Klingnau, Beznau und Wildegg-Brugg. Sie haben somit mindestens 6 Staustufen passiert, um das Unterwasser Rupperswil-Auenstein erreichen. Sollten sie von der AXPO Power AG auch im Oberwasser Aarau-Rüchlig detektiert worden sein, würde sich die Anzahl auf 8 erhöhen.

Drei weitere in der Aare redetektierte Fische, und zwar ein Aitel, eine Laube und ein Rotaugen, waren im Unterwasser Ryburg-Schwörstadt besetzt worden, haben also mindestens 7 Staustufen in Hochrhein und Aare passiert. Eine Barbe schliesslich hatte nachweislich der Redetektion durch die AXPO Power AG in der Aare nach dem Besatz im Unterwasser Augst-Wyhlen mindestens 85 km zurückgelegt und dabei 9, möglicherweise sogar 11 Staustufen passiert.

Insgesamt erbringen die Fremddetektionen in Oberrhein und Aare somit wichtige zusätzliche Erkenntnisse, denn sie dokumentieren erstaunliche Wanderleistungen zumindest einzelner Individuen weit über die Grenzen des Untersuchungsgebietes der vorliegenden Untersuchung hinaus.

6.6 AUFFINDBARKEIT

Bei herkömmlichen Beprobungen von Fischaufstiegshilfen mit Reusen oder Zählbecken (STAUB & GERSTER 1992, GERSTER 1998, GUTHRUF 2008, 2020 u.v.a.), werden nur die erfolgreichen Aufsteiger erfasst. Nicht anders ist dies bei Videobeobachtungen und automatischen Zählsystemen (TRAVADE & LARINIER 1992, APRAHAMIAN et al. 1996, MOCKENHAUPT & KLÜBER 2015 u. a.). Unbekannt bleibt beim Einsatz solcher Methoden hingegen, wie viele Fische bei ihrem Versuch gescheitert sind, einen Fischpass zu erreichen bzw. zu überwinden. Es fehlt somit ein Bewertungsmassstab für die ermittelten Aufstiegszahlen und es ist nicht möglich, zwischen den Auswirkungen ggf. bestehender Defizite bezüglich Auffindbarkeit und Passierbarkeit zu differenzieren.

Demgegenüber bietet die HDX-Technik den Vorteil, dass die Gesamtheit einer transponierten Stichprobe von Fischen im Unterwasser als Ausgangsbestand bekannt ist und durch individuelle und berührungslose Detektion der markierten Exemplare an Antennen im Ein- und im Ausstiegsbereich einer Fischaufstiegshilfe quantifizierbare Daten zur Auffindbarkeit und Passierbarkeit erhoben werden können. Auf diese Weise ist es möglich, diese beiden, die Funktion eines Fischpasses bestimmenden Aspekte differenziert und unabhängig voneinander zu bewerten.

Zur Untersuchung des Funktionskriteriums der Auffindbarkeit stehen zwei quantifizierbare Parameter für die Bewertung zur Verfügung, und zwar die Auffindequote (Kap. 6.6.1) und die Auffindedauer (Kap. 6.6.2).

6.6.1 Auffindequote

Bei der Grundgesamtheit der in Hinblick auf die Auffindequote betrachteten Exemplare handelte es sich zunächst um 17.132 markierte Fische, ohne die inaktiven Grundeln. Hinzu kamen insgesamt 4.429 über die Staustufen Augst-Wyhlen, Rheinfelden und Ryburg-Schwörstadt aufgewanderte Exemplare, die an der stromauf folgenden Staustufe das Aufstiegspotenzials verstärkten. Insgesamt setzte sich der relevante Unterwasserbestand an allen Staustufen und Fischaufstiegshilfen damit aus 21.561 Exemplaren zusammen. Dem standen 8.048 Einschwimmereignisse gegenüber; die mittlere Auffindequote aller Fischaufstiegshilfen erreichte somit 37,3 % (Tab. 25).

6.6.1.1 Standortspezifische Auffindequote

Beträchtliche Unterschiede ergaben sich für die Auffindequoten der einzelnen Fischaufstiegshilfen bzw. deren Einstiege (Tab. 26, Abb. 87). Eindeutig die besten Resultate erzielten der Schlitzpass Rheinfelden (CH) und der Raugerinne-Beckenpass Ryburg-Schwörstadt (D) mit jeweils mehr als 26 %. Genau dies sind diejenigen Anlagen, bei denen die Positionierung des Einstiegs am besten den Anforderungen gemäss des einschlägigen Regelwerks entspricht (DWA 2014). Aber auch der Beckenpass Säckinggen (D) erreichte mit gut 20 % eine vergleichsweise hohe Quote. Dessen Einstieg ist zwar weit ins Unterwasser vorgebaut, doch befindet er sich zumindest im Bereich der Turbinenströmung und damit nahe der Hauptströmung. Es folgen der Schlitzpass Augst (CH) und der Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) mit jeweils ca. 16 % sowie, mit deutlichem Abstand, der Schlitzpasseinstieg in Ryburg-Schwörstadt (D) mit ca. 11 %. Die übrigen Einstiege wurden jeweils nur von weniger als 5 % der im Unterwasser präsenten, markierten Fische aufgefunden. Diese Anlagen liegen fernab der Hauptströmung im Fluss und entsprechen damit am wenigsten dem Stand der Technik.

Die Auffindequoten der einzelnen Fischaufstiegshilfen summieren sich jeweils für die Staustufen. Zuzüglich derjenigen Fische, deren exakter Aufwanderkorridor nicht ermittelt werden konnte, ergab sich für die Staustufe Ryburg-Schwörstadt mit mehr als 48 % die höchste Auffindequote, gefolgt von Rheinfelden mit gut 40 % und Augst-Wyhlen mit ca. 37 %. Deutlich schlechter waren die Werte für die Staustufe Säckinggen mit nur einer Fischaufstiegshilfe und einem einzigen Einstieg (Tab. 25). Der hieraus ersichtliche additive Effekt unterstützt die Forderung, an Wanderhindernissen in grossen Flüssen mehrere Fischaufstiegshilfen zu errichten. Das Beispiel Ryburg-Schwörstadt, wo fast 50 % des

markierten Unterwasserbestandes einen der vier Einstiege aufgefunden hat demonstriert, dass die gemeinsame Wirksamkeit umso höher ist, je mehr Einstiege zur Verfügung stehen und je besser die einzelnen Einstiege positioniert sind.

In Ryburg-Schwörstadt war es ab Mai 2019 durch die Installation zusätzlicher Antennen möglich, die Nutzung der einzelnen Einstiege zuverlässiger und detaillierter zu dokumentieren. Von den 71 Einschwimmereignissen erfolgten 40 über den Raugerinne-Beckenpass und 31 über den wehrseitigen Schlitzpasseinstieg. Daran zeigt sich, dass ein ufernaher Einstieg offensichtlich von aufwanderwilligen Fischen bevorzugt wird. Von den beiden Einstiegen in den Schlitzpass wurde der wehrseitige doppelt so häufig genutzt, wie der krafthausseitige. Über die Gründe hierfür kann nur spekuliert werden. Nicht auszuschliessen ist, dass die Berme des wehrseitigen Einstiegs die Auffindbarkeit für bodenorientierte Arten begünstigt, zumal die registrierten Einschwimmereignisse zu 80 % auf Barben zurückzuführen waren.

Tab. 26: Auffindequoten der Fischaufstiegshilfen sowie Rangbewertung für alle Einstiege (E), Fischaufstiegshilfen (F) und Staustufen (S)

Staustufe	Standort	Auffindequote			Rang		
		<u>E</u> instieg	<u>F</u> isch- aufstiegs- hilfe	<u>S</u> taustufe	E	F	S
Augst- Wyhlen	Schlitzpass (CH)	16,0 %	16,0 %	37,1 %	4	5	3
	Fischlift (D)	4,0 %	4,0 %		9	8	
	Raugerinne-Beckenpass (D)	15,9 %	15,9 %		5	4	
	unbekannt	1,2 %					
Rheinfelden	Schlitzpass (CH)	26,7 %	26,7 %	40,5 %	1	2	2
	Ufereinstieg Umgebungsgewässer (D)	3,4 %	7,7 %		10	6	
	Umgebungsgewässer (D)	4,3 %			8		
	Raugerinne-Beckenpass (D)	4,9 %	4,9 %		7	7	
	unbekannt	1,1 %					
Ryburg- Schwörstadt	Schlitzpass (D)	10,9 %	48,3 %	48,3 %	6	1	1
	Raugerinne-Beckenpass (D)	26,2 %			2		
	Unbekannt	11,1 %					
Säckingen	Beckenpass (D)	20,3 %	20,3 %	20,3 %	3	3	4

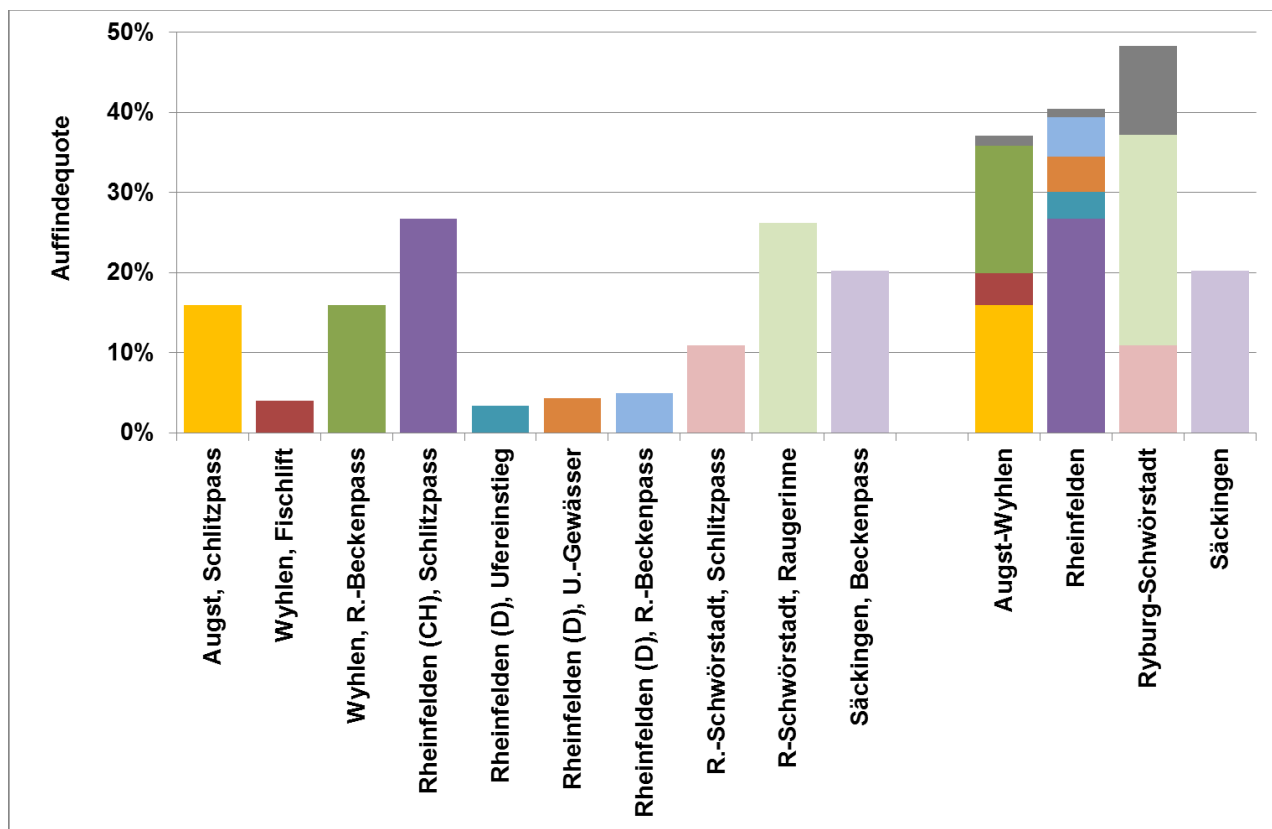


Abb. 87: Auffindequoten der Fischaufstiegshilfen und deren Einstiege separat und summiert für die vier Staustufen (grau: Wanderkorridor unbekannt; n = 8.048)

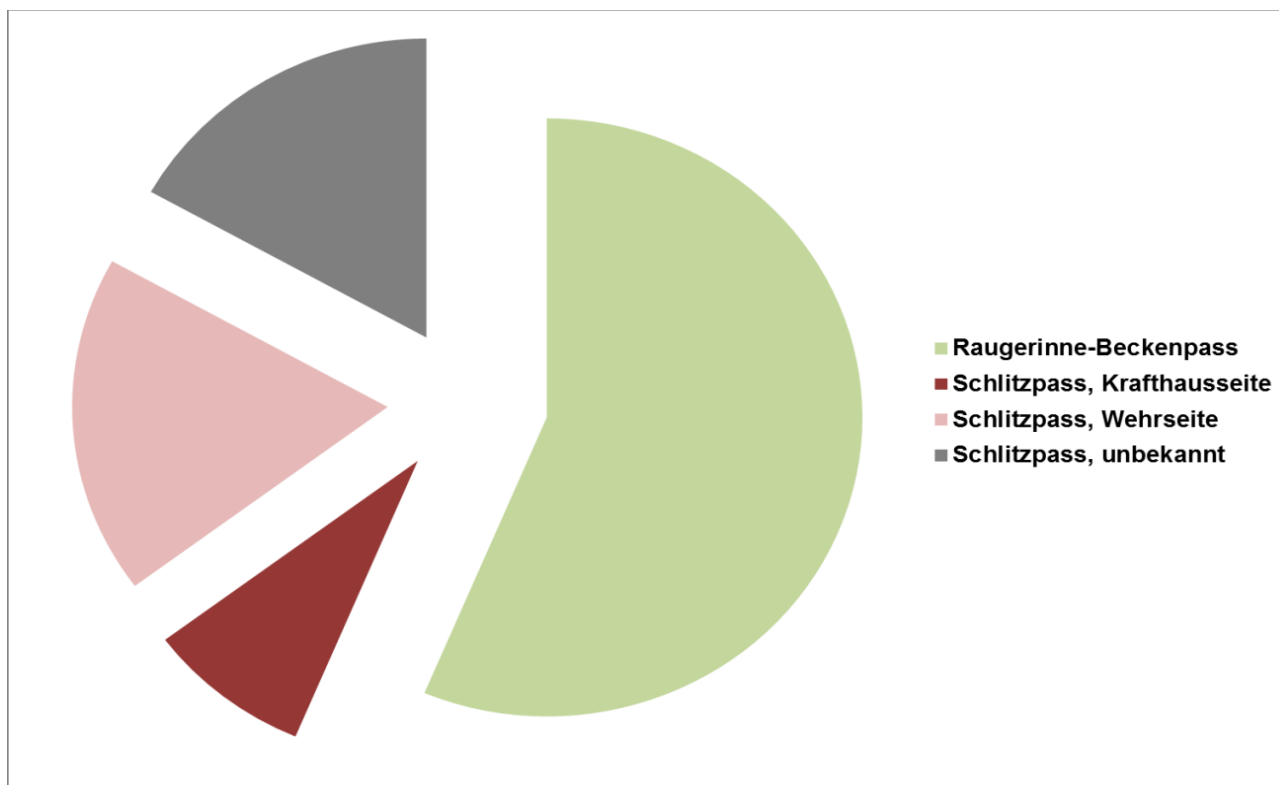


Abb. 88: Aufteilung der Einschwimmergebnisse auf die verschiedenen Einstiege der Fischaufstiegshilfe Ryburg-Schwörstadt (D) ab Mai 2019 (n = 71)

Im Vergleich mit anderen HDX-Untersuchungen sind die am Hochrhein ermittelten Auffindequoten ernüchternd, denn in der Literatur fand sich keine einzige Untersuchung mit noch geringeren Quoten als im Falle des Fischlifts Wyhlen (D), des Raugerinne-Beckenpasses Rheinfelden (D) und der beiden Einstiege des dortigen Umgehungsgewässers (D) (Tab. 27). Auch die höchsten am Hochrhein ermittelten Quoten für den Schlitzpass Rheinfelden (CH) und den Raugerinne-Beckenpass Ryburg-Schwörstadt (D) werden von anderen Untersuchungen deutlich übertroffen. Selbst die Kumulation der Auffindequoten sämtlicher Einstiege der Fischaufstiegshilfen an den Hochrhein-Staustufen Augst-Wyhlen, Rheinfelden oder Ryburg-Schwörstadt reicht nicht aus, um beispielsweise mit den von TETARD et al. (2013) für den Schlitzpass Gamsheim am Oberrhein publizierten Werten gleichziehen. Allerdings ist Vorsicht geboten, aus diesen Befunden weitreichende Schlussfolgerungen abzuleiten, denn methodisch sind die einzelnen Untersuchungen nicht direkt miteinander vergleichbar. So besetzten TETARD et al. (2013) ihre transpondierten Fische in geringer Entfernung zum Einstieg der Aufstiegshilfe, das Untersuchungsgewässer von OVIDIO et al. (2017) ist mit einem Mittelwasser von ca. 2 m³/s kaum mit dem Hochrhein zu vergleichen und auch die Mehrzahl der übrigen Untersuchungen wurde an Bächen und kleineren Flüssen durchgeführt.

Tab. 27: Auffindequoten von Vergleichsuntersuchungen mit HDX-Technik

Quote	Rahmenbedingungen	Autoren
7 %	Schlitzpass (CH), transpondierte Elritzen	BAIER 2016
13 %	Denilpass im River Derwent in Yorkshire (GB), diverse Arten, 200 m stromab des Einstiegs besetzt	LUCAS et al. 1999
14 %	Schlitzpass (CH), transpondierte Bachforellen	BAIER 2016
16 %	Schlitzpass Koblenz an der Mosel (D), diverse Arten wurden 550 m stromab besetzt	PITSCH & MOCKENHAUPT 2015
28 %	Fischrampe (S), diverse Arten wurden direkt stromab besetzt	CALLES & GREENBERG 2007
33 %	Schlitzpass (CH), diverse Arten	BENITEZ et al. 2018
37 %	Schlitzpass in einem Zufluss der Maas (B), diverse Arten wurden 120 m stromab besetzt	OVIDIO et al. 2017
43 %	Beckenpass im River Derwent (GB), transpondierte Flussneunaugen wurden direkt am Einstieg besetzt	FOULDS & LUCAS 2013
51 %	Fischrampe (F), transpondierte Bachforellen	DODD et al. 2017
66 %	Schlitzpass Gamsheim im Oberrhein (F), diverse Arten, 60 bis 200 m stromab der Einstiege besetzt	TETARD et al. 2013
70 %	Fischrampe (DK), transpondierte Meerforellen	AARESTRUP 2003
92 %	Denilpass im River Derwent (GB), transpondierte Flussneunaugen wurden direkt am Einstieg besetzt	FOULDS & LUCAS 2013

6.6.1.2 Artspezifische Unterschiede

Betrachtet man zunächst die 10 häufigsten Fischarten mit jeweils mehr als 150 markierten Exemplaren, dann erreichten im vorliegenden Projekt Brachsme und Barbe mit 62 % bzw. 56 % die höchsten Auffindequoten. Überdurchschnittlich hoch war die Quote auch beim Alet mit 43 % (Abb. 89). Geringere Werte um 20 % waren vor allem für die Kleinfische Gründling und Schneider zu verzeichnen, sowie für das Rotaugen, das überwiegend in Grössen zwischen 10 und 20 cm markiert worden war. Bei den selteneren Arten mit weniger als 30 markierten Exemplaren ist diese Quote aufgrund der geringen Stichprobe weniger aussagekräftig. Dennoch soll nicht verschwiegen werden, dass der Karpfen eine Auffindequote von 93 % erreichte, der Wels 82 %, Rapfen und Hecht 67 % bzw. 50 % (Tab. 27). Selbst für die Rotfeder wurde eine Quote von 46 % ermittelt. Es ist somit nicht nur die Gilde der rheophilen, als besonders „wanderfreudig“ geltenden Arten, die hohe Auffindequoten erreicht. Nicht weniger hohe, z.T. sogar noch höhere Quoten waren vielmehr auch für gegenüber der Strömung indifferente, ja selbst für limnopare und limnophile Arten zu verzeichnen.

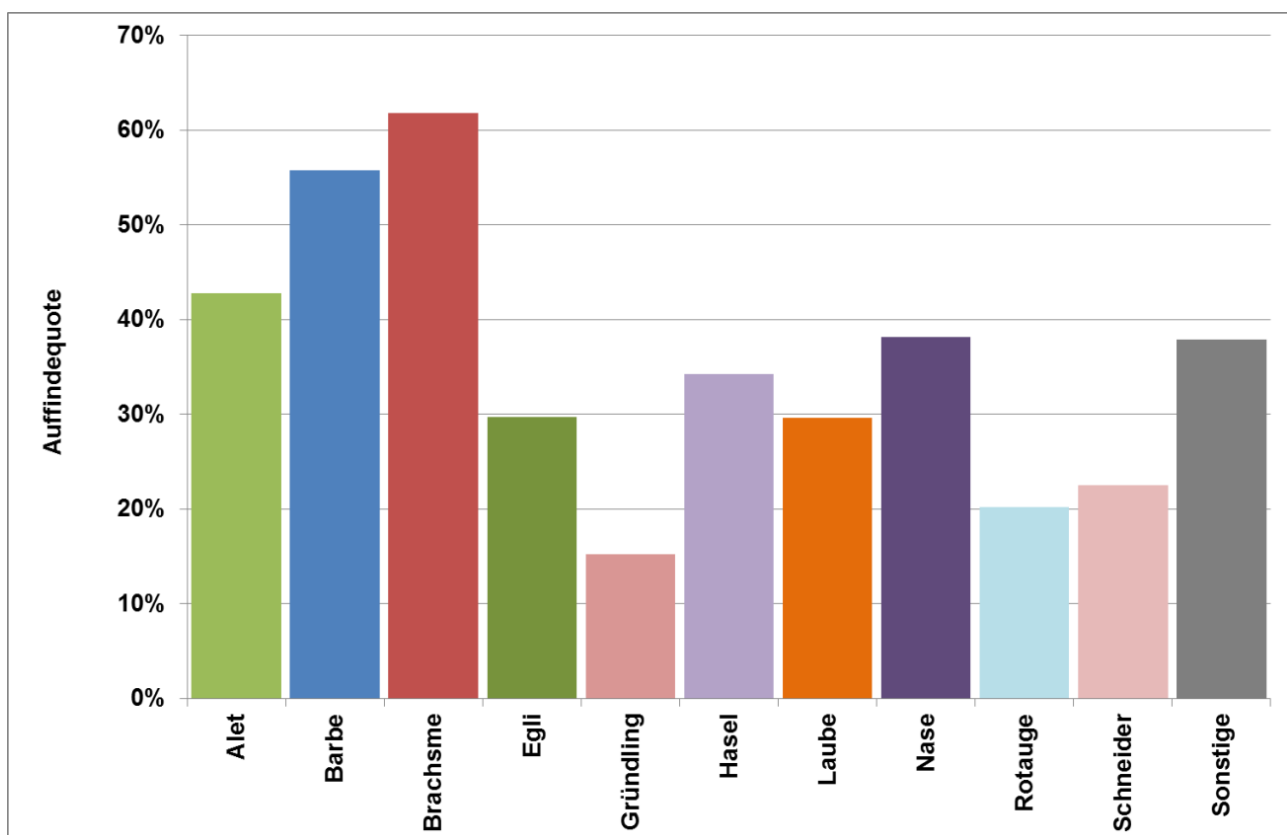


Abb. 89: Artspezifische Auffindequoten, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegs-
hilfen und Einstiege an allen Staustufen (n = 8.048)

Auffindequoten sind keine artspezifische Konstante, weshalb die Artenzusammensetzung derjenigen Exemplare, die die einzelnen Fischaufstiegshilfen bzw. deren Einstiege aufgefunden haben, deutlich voneinander abweicht. Sogar an derselben Staustufe, also bei identischem Aufstiegspotenzial im Unterwasser, sind die Unterschiede zum Teil beträchtlich (Abb. 90, Tab. 28):

- Der Fischlift Wyhlen (D) wurde mit 90 % aller Einschwimmereignisse fast ausschliesslich von Barben aufgefunden. Nur das Rotauge trat hier ebenfalls in nennenswertem Umfang in Erscheinung.
- Am Schlitzpass Augst (CH) dominierte die Barbe ebenfalls, allerdings weniger deutlich. Am benachbarten Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) hingegen entfielen auf diese Art nur 39 %, während das Rotauge genauso häufig auftrat. Dies ist auch diejenige Fischaufstiegshilfe im Untersuchungsgebiet, wo der Brachsme seinen höchsten Anteil am Aufstiegsgeschehen erreichte, während diese Art an den anderen beiden Fischpässen derselben Staustufe vollständig fehlte.
- An der Staustufe Rheinfelden dominierte wiederum die Barbe das Artenspektrum am Schlitzpass (CH). In den beiden Einstiegen in das Umgehungsgerinne (D) hingegen entfielen lediglich 25 % bzw. 32 % der Einschwimmereignisse auf die Barbe und im Raugerinne-Beckenpass (D) war diese Art mit nur 2,5 % kaum vertreten. Umso häufiger traten in den drei Einstiegen auf deutscher Seite Laube, Rotauge und Alet in Erscheinung.
- Im Schlitzpass Ryburg-Schwörstadt (D) erreichte der Egli mit fast 20 % den höchsten Anteil aller Fischaufstiegshilfen des Untersuchungsgebietes. Die Barbe, in den anderen Schlitzpässen die häufigste Art, stellte hier nur einen untergeordneten Anteil, war aber im Raugerinne-Beckenpass (D) wesentlich häufiger vertreten.
- Der Beckenpass Säcking (D) schliesslich wurde vor allem von Barben aufgefunden. Daneben traten nur Alet, Laube und Rotauge in nennenswertem Umfang in Erscheinung.

Tab. 28: Artspezifischer Unterwasserbestand an sämtlichen untersuchten Staustufen und Fischaufstiegshilfen, Einschwimmereignisse und Auffindequote

Art	Unterwasser- bestand	Einschwimm- ereignisse	Auffindequote
häufige Arten			
Alet	1.605	686	42,7 %
Barbe	7.370	4.110	55,8 %
Brachme	228	141	61,8 %
Egli	1.314	390	29,7 %
Gründling	151	23	15,2 %
Hasel	770	264	34,3 %
Laube	3.337	989	29,6 %
Nase	215	82	38,1 %
Rotaugen	6.093	1.234	20,3 %
Schneider	338	76	22,5 %
seltene Arten	140	53	37,9 %
Aal	7	1	14,3 %
Äsche	5	0	0,0 %
Bachforelle	26	3	11,5 %
Elritze	4	1	25,0 %
Giebel	1	0	0,0 %
Groppe	4	0	0,0 %
Güster	4	1	25,0 %
Hecht	4	2	50,0 %
Karpfen	15	14	93,3 %
Rapfen	3	2	66,7 %
Regenbogenforelle	3	0	0,0 %
Rotfeder	13	6	46,2 %
Schleie	9	2	22,2 %
Sonnenbarsch	16	2	12,5 %
Strömer	4	1	25,0 %
Wels	22	18	81,8 %
Summe	21.561	8.048	37,3 %

Gerade die völlig unterschiedlichen Dominanzverhältnisse in den verschiedenen Fischaufstiegshilfen bzw. Einstiegen in Augst-Wyhlen, Rheinfeldern und Ryburg-Schwörstadt zeigen, dass nicht nur der Unterwasserbestand Einfluss auf das Aufstiegsgeschehen nimmt, sondern auch dem artspezifisch unterschiedlichen Verhalten der Individuen eine

massgebliche Rolle zukommt. Die Mechanismen, die die Aufteilung der Arten auf die verschiedenen Wanderkorridore bedingen, sind allerdings erst ansatzweise verstanden.

Befunde von anderen Staustufen mit mehr als einer Fischaufstiegshilfe weisen darauf hin, dass dies keine lokale Besonderheit ist, sondern sich in ähnlicher Weise auch an anderen Standorten vollzieht (BALLON et al. 2016, SCHWEVERS & ADAM 2018). So erbrachten die koordinierten Fischzählungen vergangener Jahre an Hochrhein-Staustufen mit zwei oder mehr Fischaufstiegshilfen wie Albruck-Dogern und Laufenburg vergleichbare Befunde wie in Augst-Wyhlen und Rheinfelden (STAUB & GERSTER 1992, GERSTER 1998, GUTHRUF 2008, 2020). Die u. a. bereits von LARINIER (1992), DWA (2014) und anderen formulierte Notwendigkeit, den Fischen an den Staustufen grosser Flüsse mehr als eine Fischaufstiegshilfe bzw. mehrere Einstiege anzubieten, wird somit durch die Befunde der vorliegenden Untersuchung bestätigt.

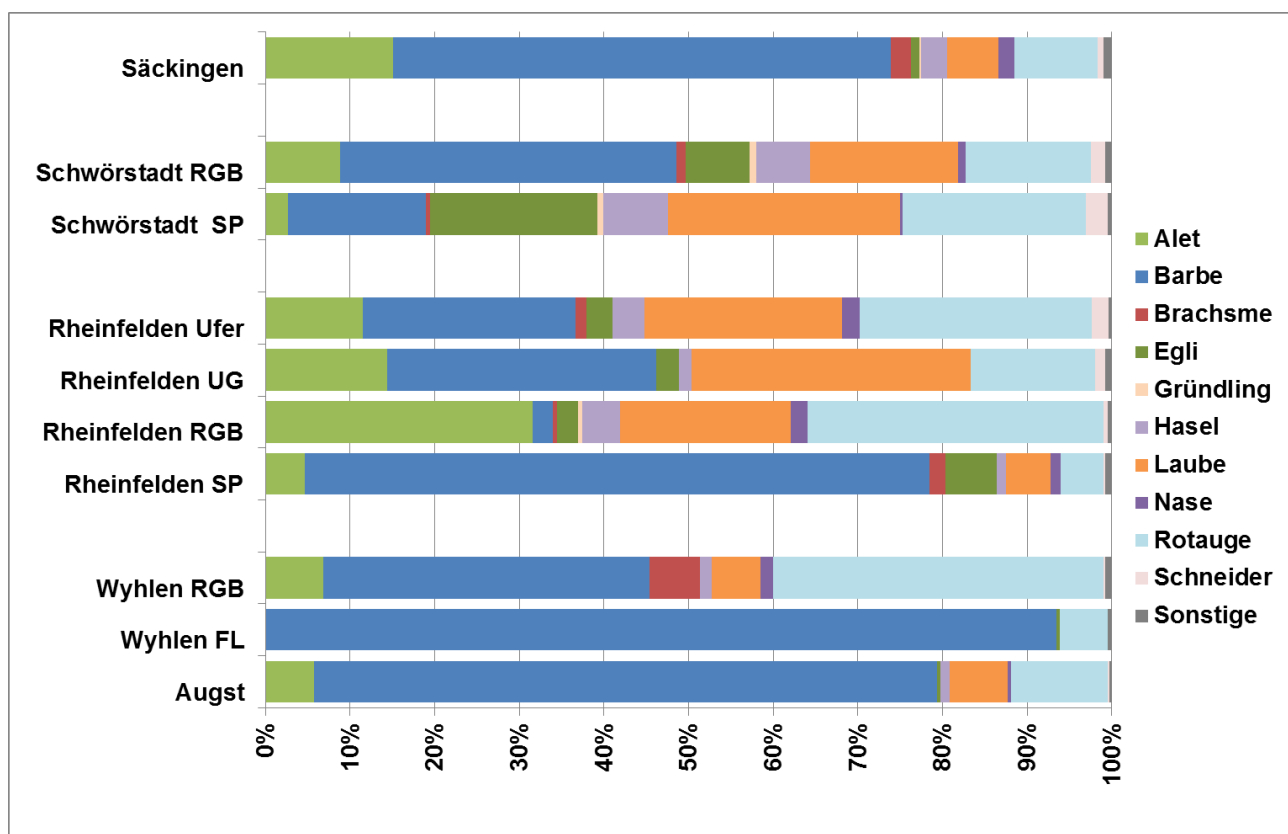


Abb. 90: Artspezifische Anteile der Einschwimmereignisse in die einzelnen Fischaufstiegshilfen bzw. deren Einstiege (n = 8.048)

Tab. 29: Artspezifische Anteile der Einschwimmereignisse in die einzelnen Fischaufstiegshilfen bzw. deren Einstiege (n = 8.048)

Art	Augst-Wyhlen			Rheinfeldern				Ryburg-Schwörstadt		Säck- in- gen
	Schlitzpass (CH)	Fischlift (D)	Raugerinne- Beckenpass (D)	Schlitzpass (CH)	Raugerinne- Beckenpass (D)	Umgehungs- gewässer (D)	Ufereinstieg (D)	Schlitzpass (D)	Raugerinne- Beckenpass (D)	Beckenpass (D)
Alet	5,7 %	0,0 %	6,8 %	4,6 %	31,5 %	14,3 %	11,5 %	2,6 %	8,8 %	15,1 %
Barbe	73,7 %	93,4 %	38,6 %	73,8 %	2,5 %	31,8 %	25,1 %	16,3 %	39,7 %	58,8 %
Brachsme	0,0 %	0,0 %	5,9 %	1,9 %	0,5 %	0,0 %	1,4 %	0,5 %	1,2 %	2,3 %
Egli	0,4 %	0,5 %	0,0 %	6,1 %	2,5 %	2,7 %	3,1 %	19,8 %	7,6 %	1,1 %
Gründling	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,5 %	0,0 %	0,0 %	0,7 %	0,7 %	0,1 %
Hasel	1,1 %	0,0 %	1,4 %	1,1 %	4,4 %	1,6 %	3,7 %	7,7 %	6,3 %	3,1 %
Laube	6,9 %	0,0 %	5,8 %	5,3 %	20,2 %	32,9 %	23,4 %	27,5 %	17,5 %	6,1 %
Nase	0,4 %	0,0 %	1,5 %	1,2 %	2,0 %	0,0 %	2,0 %	0,3 %	1,0 %	1,9 %
Rotaugen	11,5 %	5,6 %	39,1 %	5,1 %	35,0 %	14,7 %	27,5 %	21,6 %	14,8 %	9,8 %
Schneider	0,2 %	0,0 %	0,1 %	0,2 %	0,5 %	1,2 %	2,0 %	2,6 %	1,7 %	0,7 %
Sonstige	0,2 %	0,5 %	0,8 %	0,8 %	0,5 %	0,8 %	0,3 %	0,5 %	0,7 %	1,0 %
Gesamt	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

6.6.1.3 Grössenspezifische Unterschiede

Um zu überprüfen, ob ein Zusammenhang zwischen dem Auffinden einer Fischaufstiegshilfe und der Körpergrösse, resp. dem Leistungsvermögen eines Fisches besteht, wurde in Tab. 29 die Auffindequote für unterschiedliche Grössenklassen berechnet. Es zeigt sich eine ausgeprägte Grössenabhängigkeit: Betrug die Auffindequote bei Exemplaren bis 20 cm Körperlänge ca. 25 %, so stieg sie bei Exemplaren zwischen 25 und 50 cm Länge auf ca. 90 % an. Eine weitere Erhöhung der Körpergrösse hatte keine weitere Zunahme der Auffindequote mehr zur Folge (Abb. 91).

Dies bedeutet für die Befunde von HDX-Untersuchungen, dass die ermittelten Auffindequoten allein durch das Grössenspektrum der transpondierten Fische erheblich voneinander abweichen können. Im vorliegenden Falle spielte dies jedoch kaum eine Rolle, da das Grössenspektrum der in den einzelnen Stauhaltungen besetzten transpondierten Individuen sehr ähnlich war.

Tab. 30: Bestand der verschiedenen Grössenklassen im Unterwasser sämtlicher Staustufen, Einschwimmereignisse und grössenspezifische Auffindequote

Grössenklasse	Spanne	Unterwasserbestand	Einschwimmereignisse	Auffindequote
10 cm	7,5 - 12,4 cm	3.398	895	26,3 %
15 cm	12,5 - 17,4 cm	9.013	2.291	25,4 %
20 cm	17,5 - 22,4 cm	3.821	1.059	27,7 %
25 cm	22,5 - 27,4 cm	1.211	414	34,2 %
30 cm	27,5 - 32,4 cm	483	202	41,8 %
35 cm	32,5 - 37,4 cm	355	196	55,2 %
40 cm	37,5 - 42,4 cm	374	274	73,3 %
45 cm	42,5 - 47,4 cm	437	341	78,0 %
50 cm	47,5 - 52,4 cm	402	375	93,3 %
55 cm	52,5 - 57,4 cm	675	648	96,0 %
60 cm	57,5 - 62,4 cm	947	927	97,9 %
65 cm	62,5 - 67,4 cm	376	365	97,1 %
> 65 cm	67,5 - 117,0 cm	69	61	88,4 %
Summe		21.561	8.048	37,3 %

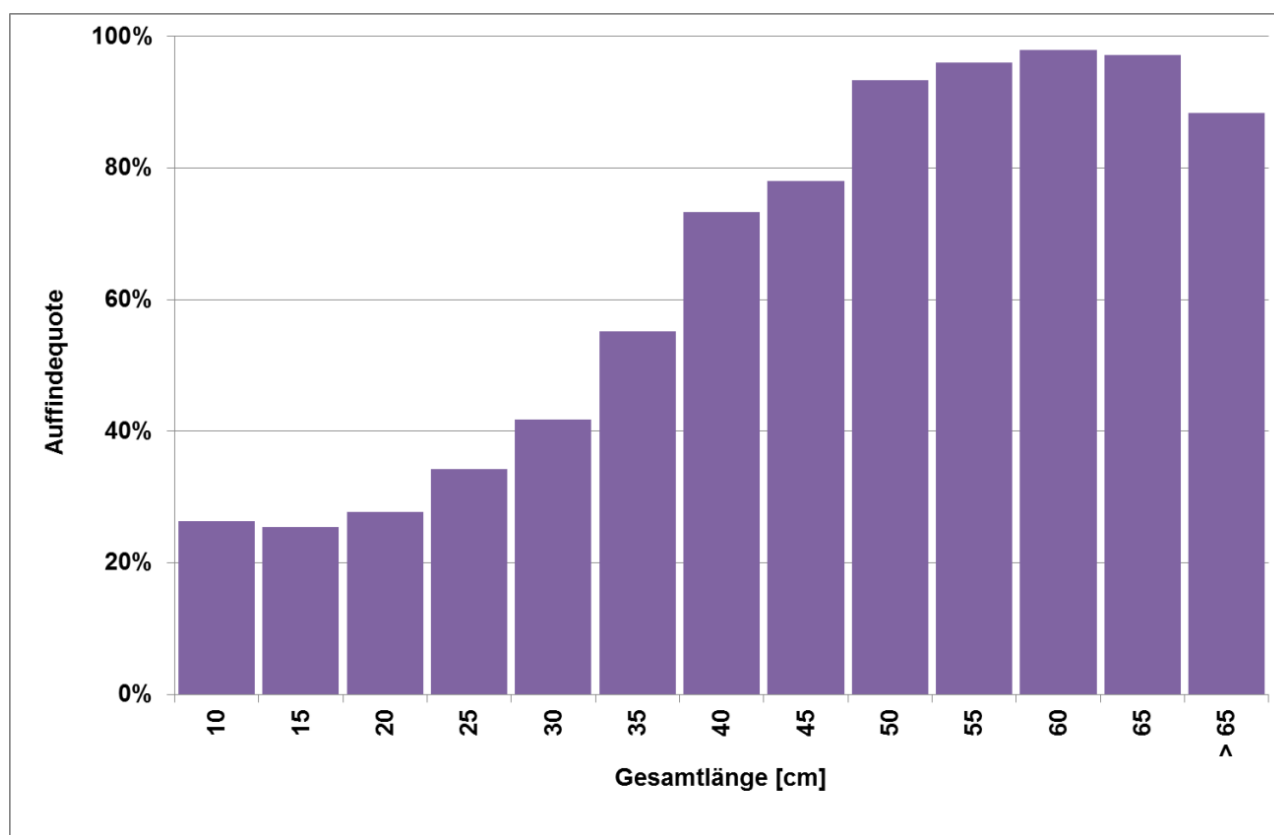


Abb. 91: Grössenspezifische Auffindequoten, jeweils für die Gesamtheit der Fische aufstiegshilfen und Einstiege an allen Staustufen (n = 8.048)

Eine detailliertere Auswertung der Daten ergab darüber hinaus, dass die grössenabhängigen Auffindequoten für die einzelnen Fischaufstiegshilfen bzw. deren Einstiege z. T. erheblich von der in Abb. 91 dargestellten Gesamtsituation abweichen (Tab. 30, Abb. 92 bis 95):

- Für den Schlitzpass Augst (CH) und den Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) ergaben sich sehr ähnliche Muster und vergleichbare Auffindequoten für die einzelnen Grössenklassen (Abb. 92). Auffällig hierbei ist jedoch, dass die Auffindequote grösserer Exemplare nur moderat anstieg und im Mittel kaum mehr als 30 % erreichte.
- Des Weiteren ist Abb. 92 zu entnehmen, dass sich der Fischlift Wyhlen (D) bei allen Grössenklassen durch eine sehr niedrige Auffindequote auszeichnet und dass dort insbesondere Exemplare von weniger als 40 cm Länge kaum registriert wurden.
- In Rheinfelden bestanden gravierende Unterschiede zwischen dem Schweizer und dem deutschen Ufer (Abb. 93). Bei allen Grössenklassen war die Auffindequote des Schlitzpasses (CH) wesentlich besser, als diejenige der drei Einstiege in das Umgebungsgewässer (D). Während die Quote dort bei allen Grössenklassen bei maximal 10 % lag, stieg sie im Schlitzpass (CH) mit zunehmender Fischgrösse stark an und erreichte bei den Exemplaren von mehr als 50 cm Länge ca. 70 %. Selbst wenn man die Auffindequoten der drei Einstiege auf deutscher Uferseite summiert, ergibt sich nur bei der kleinsten Grössenklasse von 10 cm ein geringfügig höherer Wert als für den Schlitzpass.
- In Ryburg-Schwörstadt (D) war die Auffindequote des Raugerinne-Beckenpasses bei allen Grössengruppen höher, als diejenige des Schlitzpasses (Abb. 94). Hier war die Quote des Schlitzpasses bei 20 cm langen Fischen am höchsten und stieg mit zunehmender Grösse nicht weiter an, sondern nahm sogar ab. Worauf dies zurückzuführen ist, lässt sich aufgrund fehlender Vergleichsdaten allerdings noch nicht begründen.
- Deutlich ist die Grössenabhängigkeit der Auffindequote auch im Falle des Beckenpasses Säcking (D), denn dort erreichte die 10 cm-Grössenklasse eine doppelt so hohe Quote wie an allen anderen Fischpasseinstiegen (Abb. 95). Möglicherweise bildet an diesem Standort die Turbinenströmung insbesondere für kleine Exemplare eine hydraulische Barriere und unterstützt deshalb die Auffindbarkeit des weit ins Unterwasser vorgebauten Einstiegs. Bereits bei der 15 cm-Grössenklasse ist ein solcher Effekt nicht mehr nachweisbar und bei den leistungsstärkeren Exemplaren bis 25 cm Länge war die Auffindequote auffällig niedrig und darüber hinaus

auch geringer als an der Mehrzahl der übrigen Fischaufstiegshilfen. Erst grössere Exemplare fanden den Beckenpass Säckingen wieder gut auf und erreichten mit mehr als 60 % eine so hohe Auffindequote, wie ansonsten nur im Schlitzpass Rheinfelden.

Tab. 31: Grössenspezifische Auffindequoten der Fischaufstiegshilfen bzw. deren Einstiege (n = 8.048)

Grössen- klasse	Augst-Wyhlen			Rheinfelden				Ryburg- Schwörstadt		Säck- in- gen
	Schlitzpass (CH)	Fischlift (D)	Raugerinne- Beckenpass (D)	Schlitzpass (CH)	Ufereinstieg	Umgehungs- gewässer (D)	Raugerinne- Beckenpass (D)	Schlitzpass (D)	Raugerinne- Beckenpass (D)	Beckenpass (D)
10 cm	9,2%	0,0%	8,3%	9,9%	3,9%	4,9%	6,1%	9,2%	14,3%	23,8%
15 cm	5,7%	0,4%	8,4%	15,5%	3,8%	3,7%	5,0%	12,4%	26,3%	10,3%
20 cm	10,1%	0,5%	15,3%	20,6%	2,9%	3,1%	2,2%	16,3%	28,4%	12,2%
25 cm	15,7%	0,3%	16,6%	28,1%	2,6%	2,3%	2,8%	15,4%	41,1%	14,2%
30 cm	17,5%	0,0%	17,5%	35,5%	3,2%	5,6%	3,2%	10,5%	41,9%	29,4%
35 cm	25,3%	0,0%	22,1%	34,0%	10,0%	8,0%	7,0%	5,1%	57,6%	37,6%
40 cm	37,6%	3,0%	35,6%	45,0%	8,3%	5,8%	2,5%	2,9%	52,2%	61,9%
45 cm	26,1%	10,9%	34,1%	52,6%	6,8%	9,8%	10,5%	7,1%	48,2%	63,0%
50 cm	45,1%	13,4%	29,6%	65,0%	0,0%	7,3%	4,9%	1,4%	50,0%	75,4%
55 cm	47,6%	22,0%	35,6%	83,3%	0,0%	5,9%	5,9%	4,8%	46,9%	73,7%
60 cm	58,7%	27,9%	36,9%	88,8%	0,0%	6,5%	8,8%	6,5%	59,3%	63,5%
65 cm	53,7%	23,1%	33,6%	78,5%	1,9%	7,5%	10,3%	13,3%	41,3%	64,4%
> 65 cm	25,0%	16,7%	50,0%	66,7%	0,0%	0,0%	9,5%	7,7%	30,8%	90,9%
Summe	16,0%	4,0%	15,9%	26,7%	3,4%	4,3%	4,9%	10,9%	26,2%	20,3%

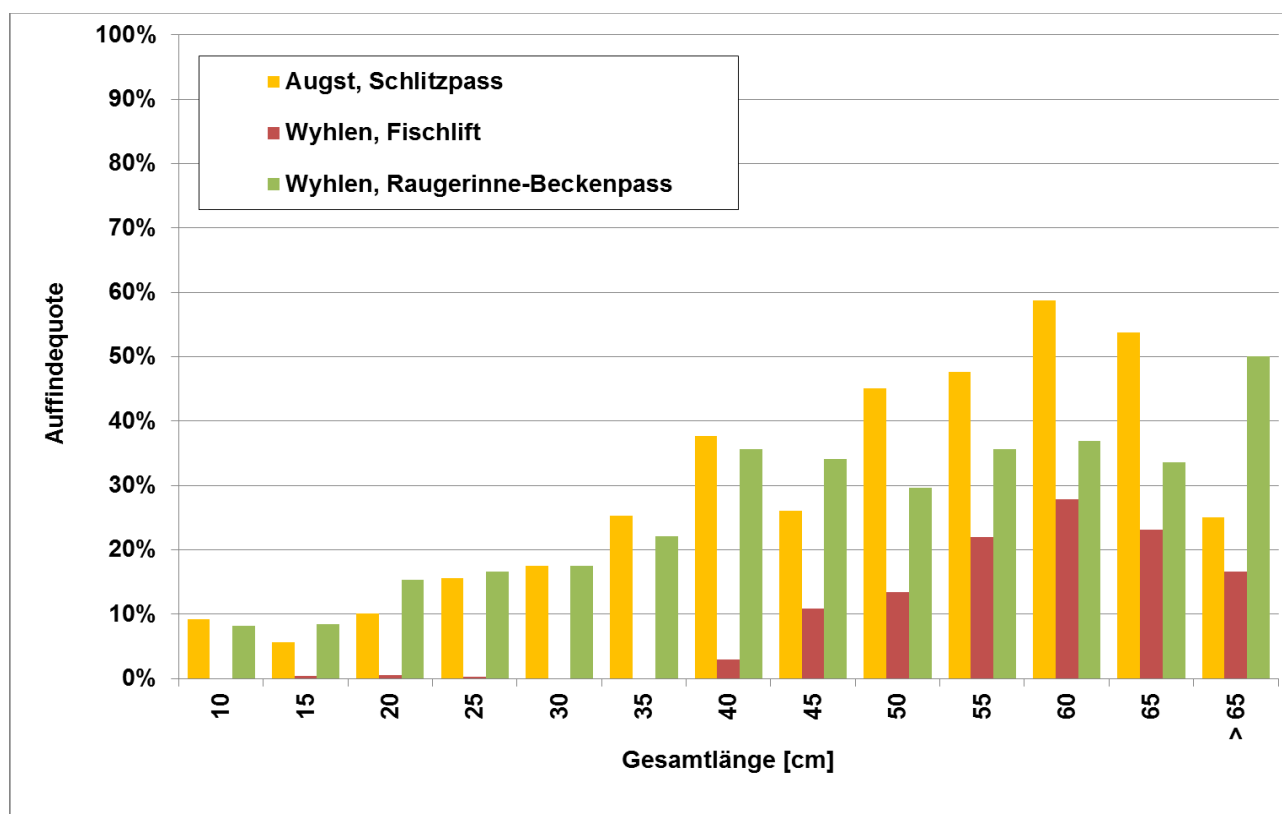


Abb. 92: Grössenspezifische Auffindequoten der Fischaufstiegshilfen an der Staustufe Augst-Wyhlen (n = 1.894)

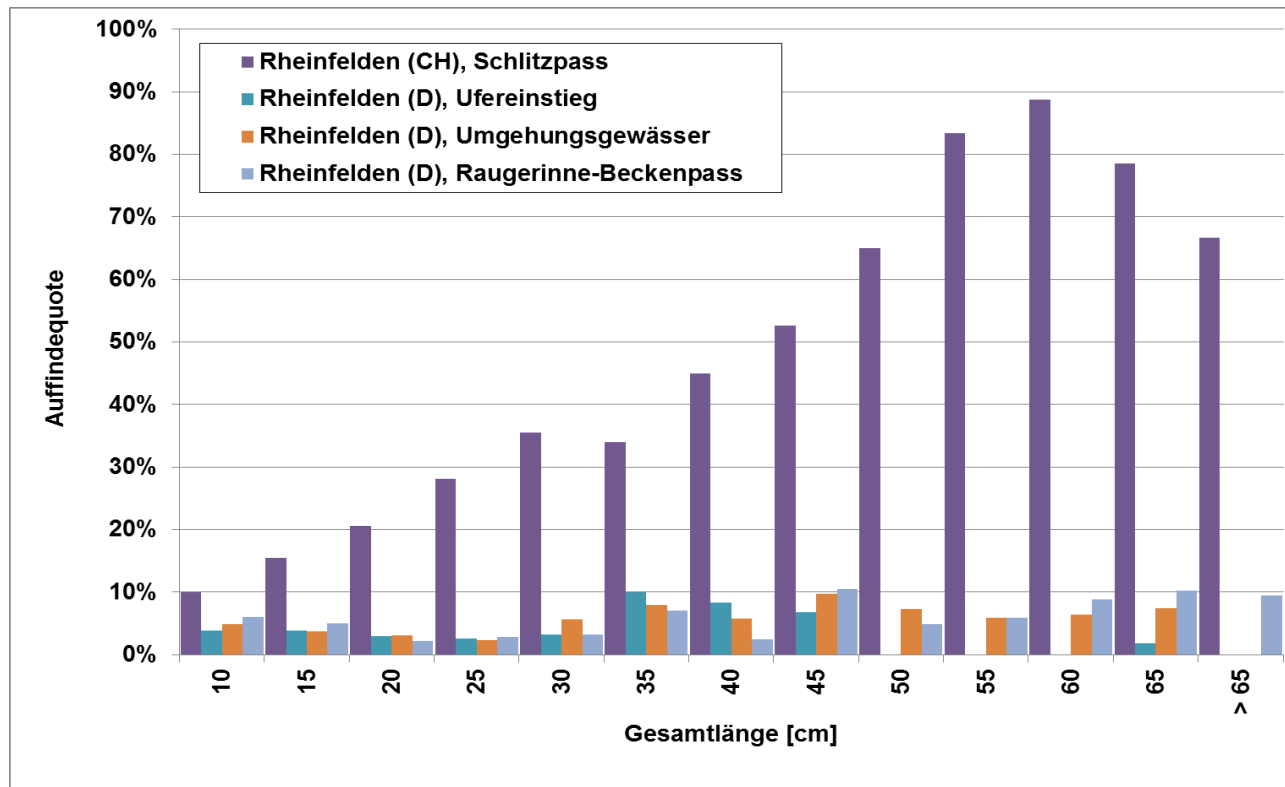


Abb. 93: Grössenspezifische Auffindequoten der Fischaufstiegshilfen bzw. deren Einstiege an der Staustufe Rheinfelden (n = 2.421)

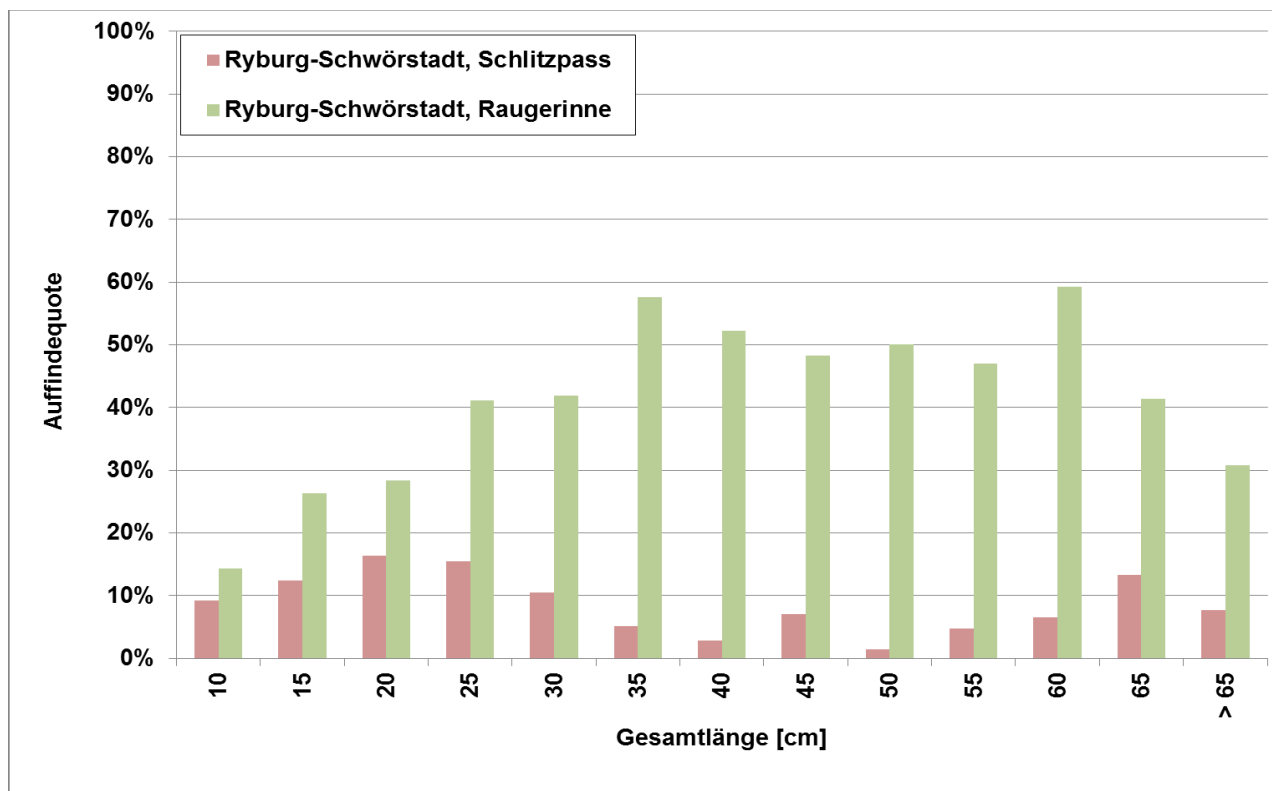


Abb. 94: Grössenspezifische Auffindequoten der Einstiege in das Umgehungsgerinne an der Staustufe Ryburg-Schwörstadt (n = 2.704)

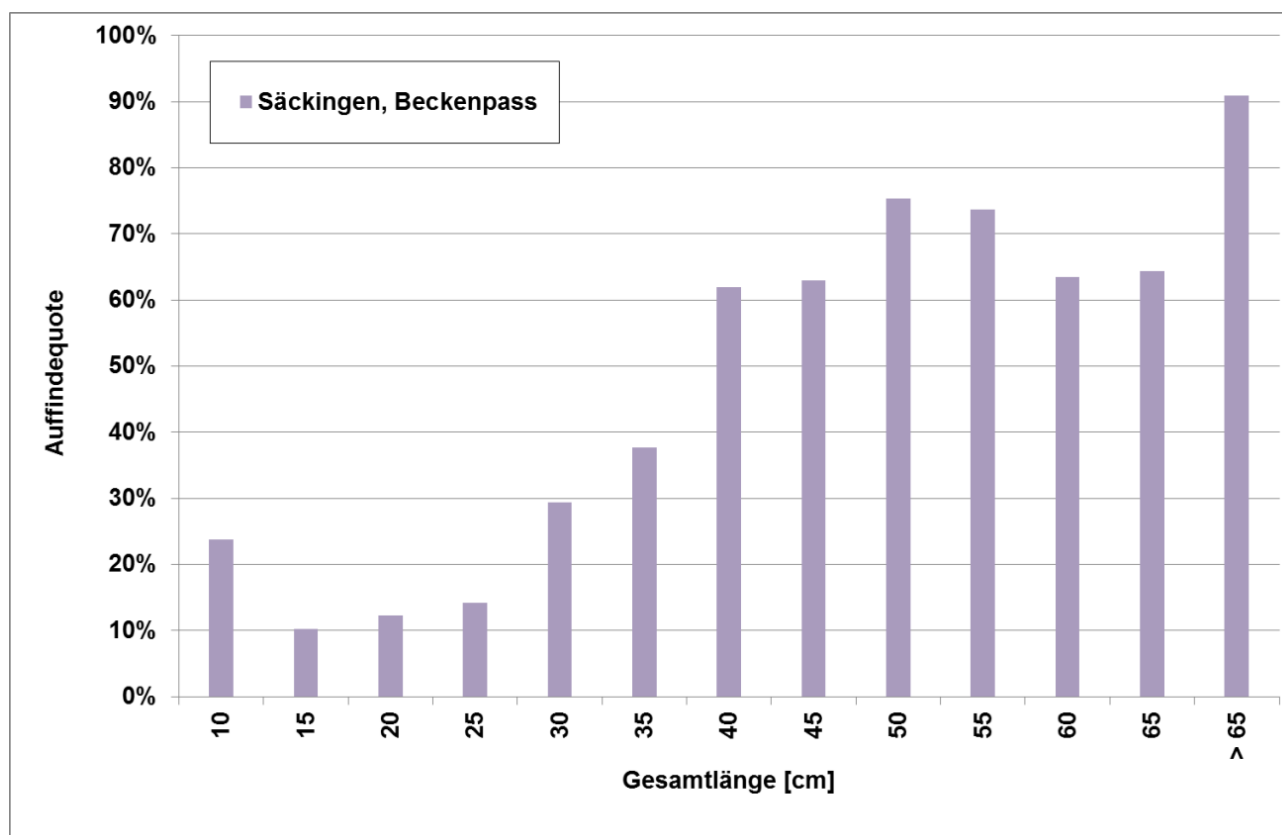


Abb. 95: Grössenspezifische Auffindequoten des Beckenpasses (D) an der Staustufe Säckingen (n = 939)

6.6.1.4 Einfluss der Wassertemperatur

Die Wassertemperatur des Hochrheins schwankte im Untersuchungszeitraum zwischen 4 und 26 °C (Kap. 5.2). Am häufigsten traten Temperaturen zwischen 6 bis 7 °C auf, wie sie für den Winter charakteristisch sind, sowie sommerliche Temperaturen von 21 bis 22 °C. Sowohl extrem niedrige und hohe Werte, wie auch mittlere Temperaturen zwischen 8 und 20 °C waren demgegenüber wesentlich seltener.

Um zu überprüfen, ob die Auffindequote der Fischaufstiegshilfen von der Wassertemperatur beeinflusst wird, ist in Abb. 96 die Anzahl der Einschwimmereignisse pro Tag jeweils für Temperaturklassen von 1 °C dargestellt. Danach war die Anzahl von Einschwimmereignissen bei niedrigen Wassertemperaturen bis ca. 11 °C vergleichsweise gering, während sie mit steigender Wassertemperatur deutlich zunahm, um bei etwa 20 °C Maximalwerte zu erreichen.

Dies erklärt sich damit, dass Fische poikilotherme, d. h. wechselwarme Organismen sind, die ihre Körpertemperatur nicht regulieren können und deshalb etwa dieselbe Temperatur haben, wie das umgebende Wasser. Da biochemische Reaktionen temperaturabhängig sind, erhöht sich mit zunehmender Wassertemperatur die Stoffwechselaktivität und damit die Leistungsfähigkeit von Fischen. Übersteigt die Wassertemperatur jedoch einen artspezifischen Optimalwert, fällt die Leistungskurve ab.

Abb. 96 ist zu weiterhin entnehmen, dass der Schwellenwert, dessen Überschreitung einen deutlichen Rückgang von Einschwimmereignisse zur Folge hatte, etwa bei einer Wassertemperatur von 20 °C liegt. Bei maximalen Wassertemperaturen von 26 °C wurde eine vergleichbar geringe Anzahl von Einschwimmereignissen verzeichnet, wie bei Wassertemperaturen unter 12 °C. Dieser Effekt lässt sich ebenfalls physiologisch begründen, da die Löslichkeit von Sauerstoff im Wasser mit steigender Wassertemperatur abnimmt, so dass die Fische zunehmend weniger Sauerstoff über ihre Kiemen aufnehmen zu können, was ihre Leistungsfähigkeit reduziert.

Dass hohe sommerliche Wassertemperaturen kritische Situationen für die Fischfauna hervorrufen können, unterstreicht nicht zuletzt das latente Fischsterben, das im extrem heißen Sommer 2018 im Hochrhein auftrat. In dieser Zeit starben vor allem die besonders sauerstoffbedürftigen Äschen (SFV 2018). Insofern verwundert es nicht, dass die Schwimmaktivität der Fische und damit ihr Aufstieg über die Fischpässe unter derartigen Umweltbedingungen rapide abnimmt.

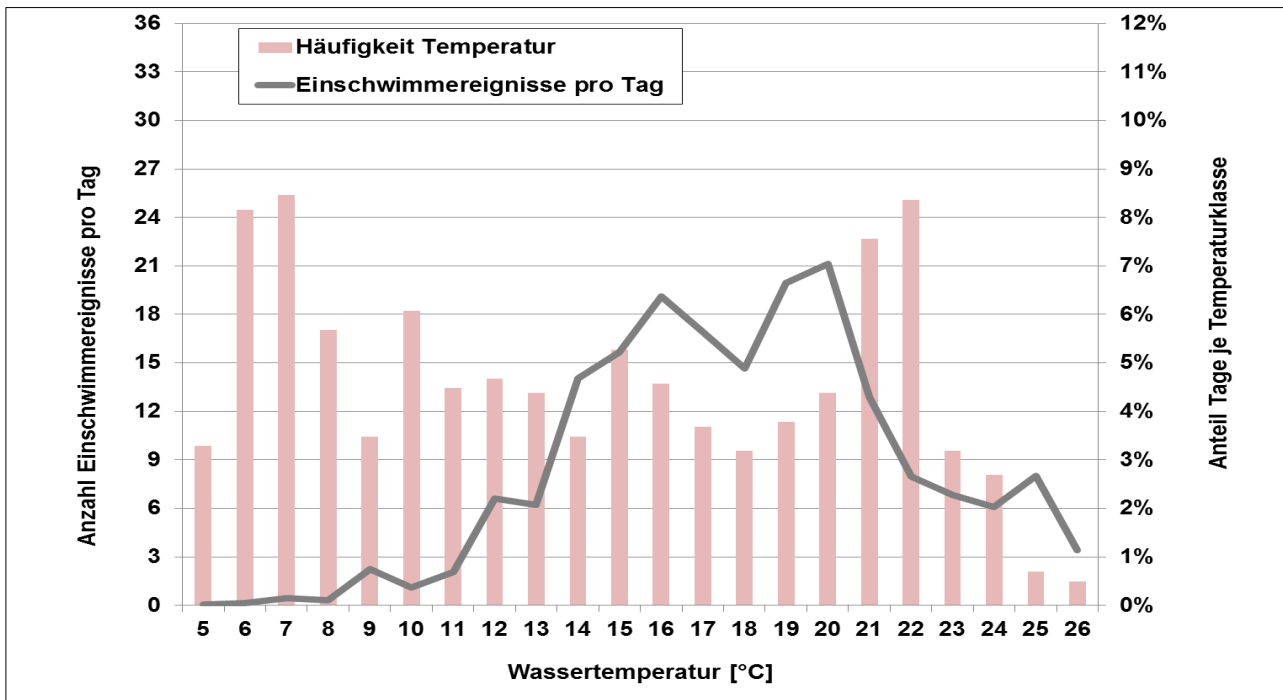


Abb. 96: Zusammenhang zwischen der Wassertemperatur des Hochrheins und der Häufigkeit von Einschwimmereignissen in die Fischaufstiegshilfen (n = 8.048)

6.6.1.5 Einfluss des Abflusses

Der Abfluss im Hochrhein betrug im Untersuchungszeitraum im Durchschnitt 967 m³/s. Im Minimum wurden 365 m³/s und im Maximum 2.826 m³/s gemessen, wobei mittlere Abflüsse zwischen ca. 700 und 1.000 m³/s vorherrschten (Kap. 5.1). Die Auffindequote der Fischaufstiegshilfen bzw. deren Einstiege in Abhängigkeit vom Abfluss zeigt Abb. 97. Die dargestellte Kurve erscheint auf den ersten Blick völlig unplausibel. So lässt sich kaum erklären, warum die Häufigkeit von Einschwimmereignissen bei einem Abfluss von 400 m³/s gering ist, bei Abflüssen von 500 bis 600 m³/s sprunghaft ansteigt und bei einer weiteren Erhöhung auf 700 bis 800 m³/s wieder auf ein Minimum zurückfällt.

Um die Zusammenhänge zu veranschaulichen ist in Abb. 97 neben dem Abfluss auch die mittlere Wassertemperatur eingefügt, die bei den jeweiligen Abflussklassen herrschte. Durch den weitgehend parallelen Verlauf der beiden Kurven wird deutlich, dass die Häufigkeit des Einschwimmens wesentlich stärker von der Wassertemperatur beeinflusst wird (Kap. 6.6.1.4), als vom Abfluss. So fällt das erste Maximum der Einschwimmereignisse mit besonders hohen Temperaturen von 18,5 bzw. 20,2 °C zusammen, während der Rückgang von Einschwimmereignissen bei steigenden Abflüssen offensichtlich nicht durch den Abfluss, sondern durch eine stark verringerte mittlere Wassertemperatur bedingt ist.

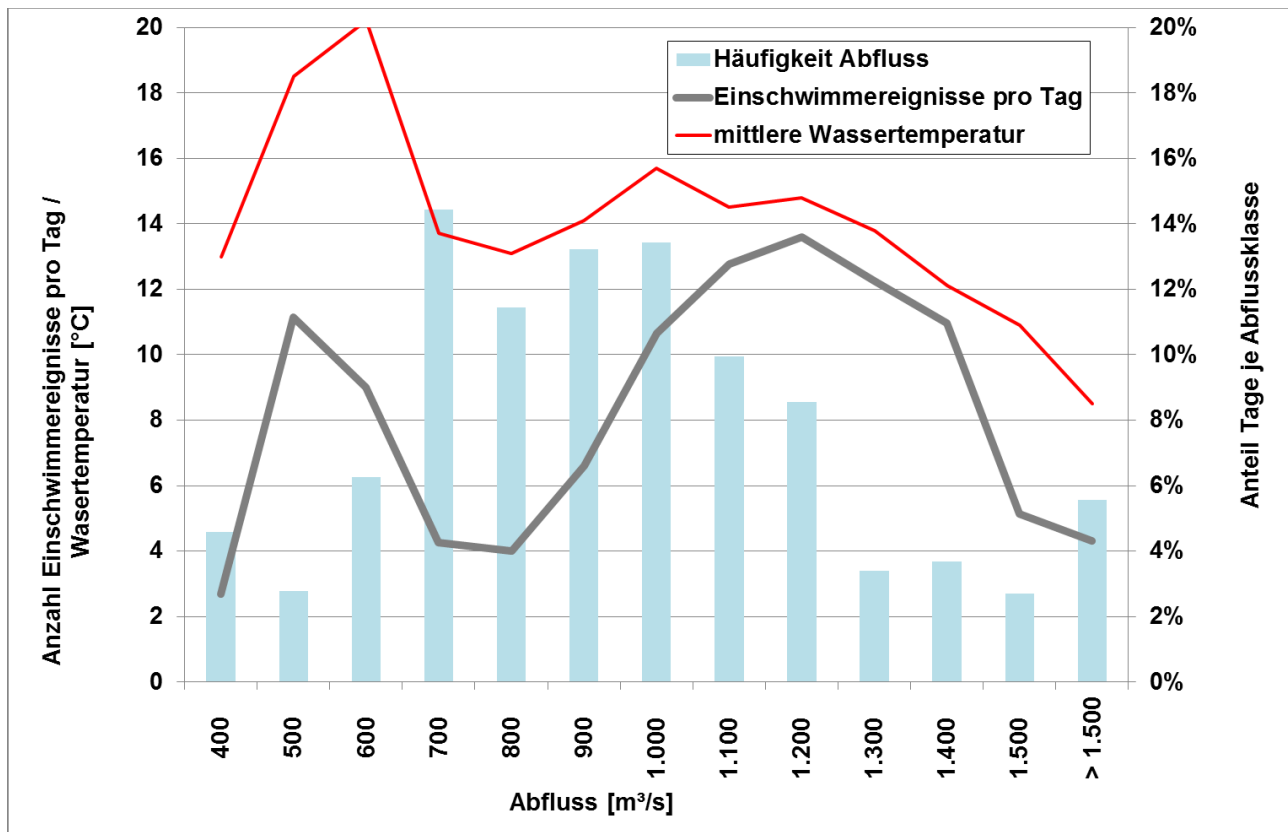


Abb. 97: Zusammenhang zwischen dem Abfluss des Hochrheins und der Häufigkeit von Einschwimmereignissen in die Fischaufstiegshilfen (n = 8.048)

Nur im Bereich zwischen 900 und 1.400 m³/s Abfluss scheint die Anzahl der Einschwimmereignisse von der Temperatur entkoppelt, bevor sich der starke Rückgang bei Abflüssen ab 1.500 m³/s wiederum plausibel mit niedrigen Wassertemperaturen erklären lässt.

Insofern verschleiert der Temperatureffekt in starkem Masse den Zusammenhang zwischen Abfluss und Auffindbarkeit. Darüber hinaus ist die mangelnde Korrelation sicherlich auch dem Umstand geschuldet, dass in Abb. 97 die Einschwimmereignisse sämtlicher beprobter Fischaufstiegshilfen summiert sind, obwohl bauart- und konstruktionsbedingt durchaus unterschiedliche Abhängigkeiten zwischen dem Abfluss und der Auffindbarkeit herrschen. Deutlich wird dies beim Vergleich des Raugerinne-Beckenpasses Wyhlen mit dem Schlitzpass Rheinfelden (CH) in Abb. 98.

Bei sehr niedrigen und sehr hohen Abflüssen zeigen sich dabei nur geringe Unterschiede zwischen den beiden Anlagen und die Anzahl der Einschwimmereignisse pro Tag korreliert in beiden Fällen gut mit den in Abb. 97 dargestellten Wassertemperaturen. Während aber die Zahl der Einschwimmereignisse in den Raugerinne-Beckenpass Wyhlen bei höheren Abflüssen ab 1.000 m³/s auf niedrigem Niveau stagniert, steigt sie im

Schlitzpass Rheinfelden stark an und erreicht ein ausgeprägtes Maximum. Allein dieser Unterschied erklärt übrigens, dass die Auffindequote hier fast doppelt so hoch ist, wie im Falle des Raugerinne-Beckenpasses Wyhlen (Kap. 6.6.1.1).

Zurückzuführen ist diese Diskrepanz vermutlich auf die unterschiedliche Bauweise beider Fischaufstiegshilfen. Bei steigenden Abflüssen und dem damit einhergehenden Anstieg des Unterwasserstandes (Kap. 5.1) werden die Trennwände des Raugerinne-Beckenpasses nämlich rasch überflutet. Die überströmten Trennwände sind hydraulisch nicht mehr wirksam und im Einstiegsbereich breitet sich eine strömungsberuhigte Zone aus, in der sich die Fische nicht mehr orientieren können (Abb. 99). Entsprechend beeinträchtigt ist die Auffindbarkeit. Die Trennwände des Schlitzpasses hingegen sind deutlich höher gezogen und deshalb auch bei wesentlich höheren Abflüssen noch hydraulisch wirksam, so dass sich weiterhin eine wahrnehmbare Leitströmung ausbilden kann. Bei demselben Abfluss, bei dem bereits das unterste Drittel des Raugerinne-Beckenpasses vollständig eingestaut ist, beginnt im Schlitzpass Rheinfelden deshalb erst allmählich die Überströmung der Trennwände und die Beeinträchtigung ihrer hydraulischen Wirksamkeit (Abb. 100).

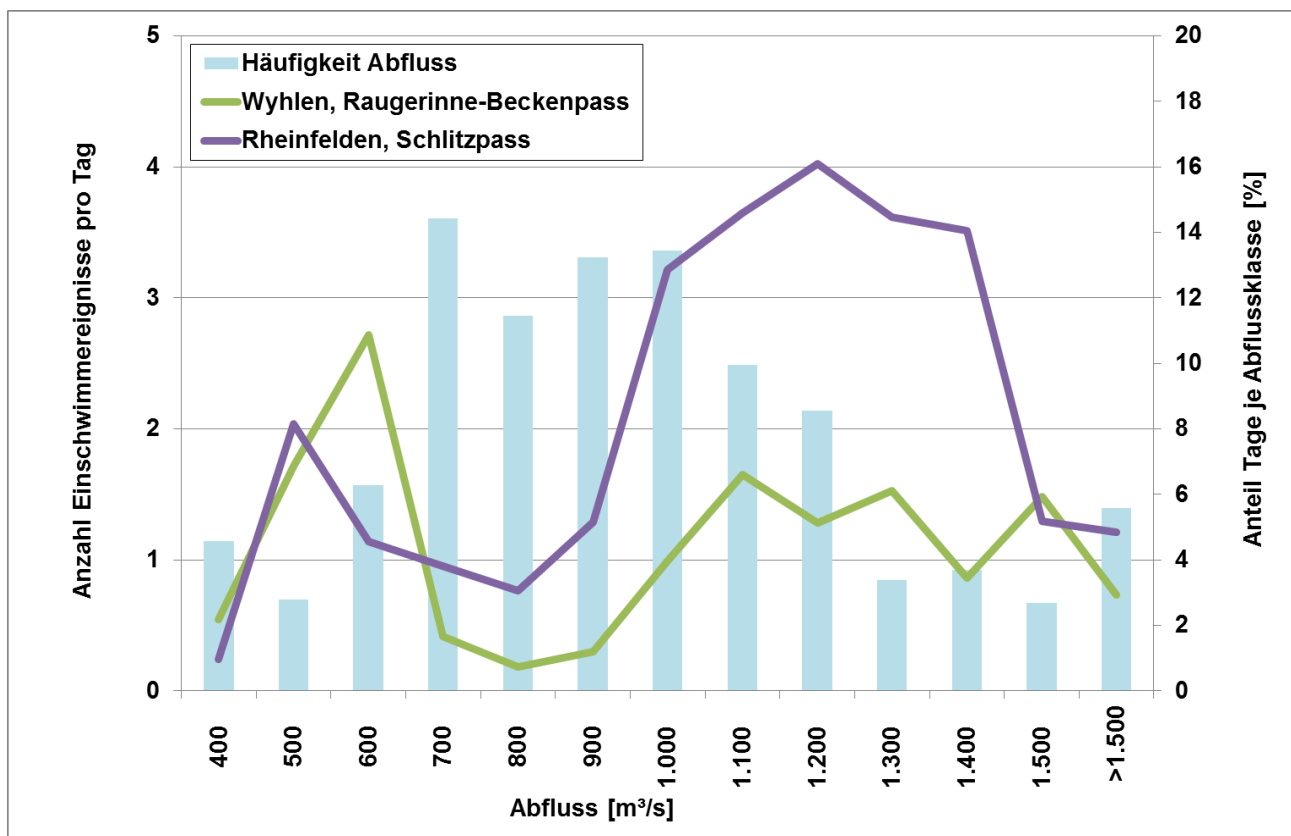


Abb. 98: Zusammenhang zwischen dem Abfluss des Hochrheins und der Häufigkeit von Einschwimmereignissen in den Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) (n = 939) und den Schlitzpass Rheinfelden (CH) (n = 2038)

Abb. 99:

Vollständig eingestauter Einstiegsbereich des Raugerinne-Beckenpasses Wyhlen (D) am 24. Januar 2018 bei einem Abfluss von 2.226 m³/s



Abb. 100:

Beginnende Überströmung einer Trennwand im unteren Abschnitt des Schlitzpasses Rheinfelden (CH) am 21. Mai 2019 bei einem Abfluss von 2.158 m³/s



6.6.2 Auffindedauer

Anhand der zeitgenauen Dokumentation transpondierter Fische an den HDX-Antennen lässt sich der Zeitraum zwischen dem Besatz und der erstmaligen Detektion im Einstiegsbereich einer Fischaufstiegshilfe für 4.511 Individuen auf die Sekunde genau ermitteln. Darüber hinaus ist für 3.035 Exemplare bekannt, wie lange sie benötigten, um nach der erfolgreichen Passage eines Fischpasses denjenigen an der stromaufwärts folgenden Staustufe zu erreichen. Insgesamt standen 7.546 Datensätze für diese Betrachtungen zur Verfügung. Bei einer Analyse dieser Daten ist zu bedenken, dass sich die ermittelten Zeiten aus zwei unterschiedlichen Komponenten zusammensetzen:

- die Zeit, die ein Fisch benötigte, um vom Besatzpunkt aus bzw. vom Verlassen der stromab gelegenen Fischaufstiegshilfe die stromaufwärts folgende Staustufe zu erreichen und
- der tatsächlichen Dauer der Suche im Unterwasser einer Staustufe nach dem Einstieg in eine Fischaufstiegshilfe.

Allein anhand der Detektionen lassen sich diese beiden zeitlichen Komponenten nicht differenzieren. Zudem wird die tatsächliche Auffindedauer auch durch folgende Verhaltensweisen der Fische maskiert:

- Fang, Hälterung, Narkose, Markierung, Transport und Besatz beeinträchtigen einen Fisch, selbst wenn die Handhabung so schonend wie möglich durchgeführt wird (ADAM et al. 2013). In Folge dessen reagieren Fische nach ihrer Entlassung in ein Gewässer zunächst mit einer ungerichteten Flucht, die als „Besatzflucht“ bezeichnet wird (Abb. 101). Erst nach mehreren Tagen bis zu zwei Wochen später normalisiert sich das Verhalten des Fisches auf dasjenige ungestresster Artgenossen. Der Effekt der Besatzflucht wurde bereits von MANN (1965) für markierte Gelbaale und SCHWEVERS & ADAM (2016) für Blankaale beschrieben, von MEYER & PELZ (1998) für Äschen sowie von GARDNER et al. (2015) für Brachsmen. Schon LAMPERT & LINK (1971) führten stromabwärts gerichtete Passagen markierter Fische an der Hochrhein-Staustufe Laufenburg darauf zurück, dass sie *„durch die Markierung sicher angegriffen waren“*.
- Auch bei den für das vorliegende Projekt am Hochrhein besetzten transpondierten Fischen lässt sich eine Besatzflucht nachweisen. So dauerte es nach dem Besatz der durch Fang, Markierung und Transport gestressten Fische wesentlich länger, bis sie die nächstfolgende Fischaufstiegshilfe aufgefunden hatten, als wenn sie bereits einen Fischpass erfolgreich überwunden hatten (Abb. 102): Innerhalb des ersten Tages nach dem Besatz wurden nur 5 % der Einschwimmereignisse in der stromauf gelegenen Fischaufstiegshilfe detektiert, während es nach der Passage einer stromabwärts gelegenen Fischaufstiegshilfe im gleichen Zeitraum schon 20 % waren. Dieser Befund ist umso bemerkenswerter, als die Fische zwischen den Fischaufstiegshilfen zweier aufeinander folgender Staustufen jeweils die gesamte Stauhaltung mit einer mittleren Länge von 8,5 km durchschwimmen mussten, während die Besatzpunkte im Mittel keine 3 km stromab der nächsten Aufstiegsmöglichkeit lagen.

- Überlagert wird die Auffindedauer schliesslich sehr deutlich von der ausgeprägten circadianen Rhythmik des Aufstiegsgeschehens (Kap. 6.3.2). Dies wird in Abb. 103 deutlich, wo jeweils eine Häufung von Einschwimmereignissen im Rhythmus von 24 Stunden erkennbar ist.

Insgesamt umfasst die berechnete Auffindedauer somit nicht nur die Dauer der Suche eines Einstiegs in eine Fischaufstiegshilfe. Vielmehr sind darin auch andere Zeitspannen enthalten, die dem komplexen Verhalten der Fische geschuldet sind, aber nicht in Zusammenhang mit der Funktionstüchtigkeit des jeweiligen Fischpasses stehen. Es ist allerdings davon auszugehen, dass sich solche Verhaltenseffekte in allen Stauhaltungen in ähnlicher Weise auswirken, so dass die Auffindedauer trotz aller Unschärfen nachfolgend als Parameter für die Bewertung der Auffindbarkeit genutzt wird, zumal sie plausible Ergebnisse erbringt. Der Wert für die Auffindedauer wurde mit dem in Kap. 4.4.6 beschriebenen und im Anhang detailliert erläuterten Verfahren von STEINECK et al. (2020) ermittelt. Er repräsentiert die mittlere Auffindedauer der motivierten Exemplare unter Ausschluss von Trödlern.

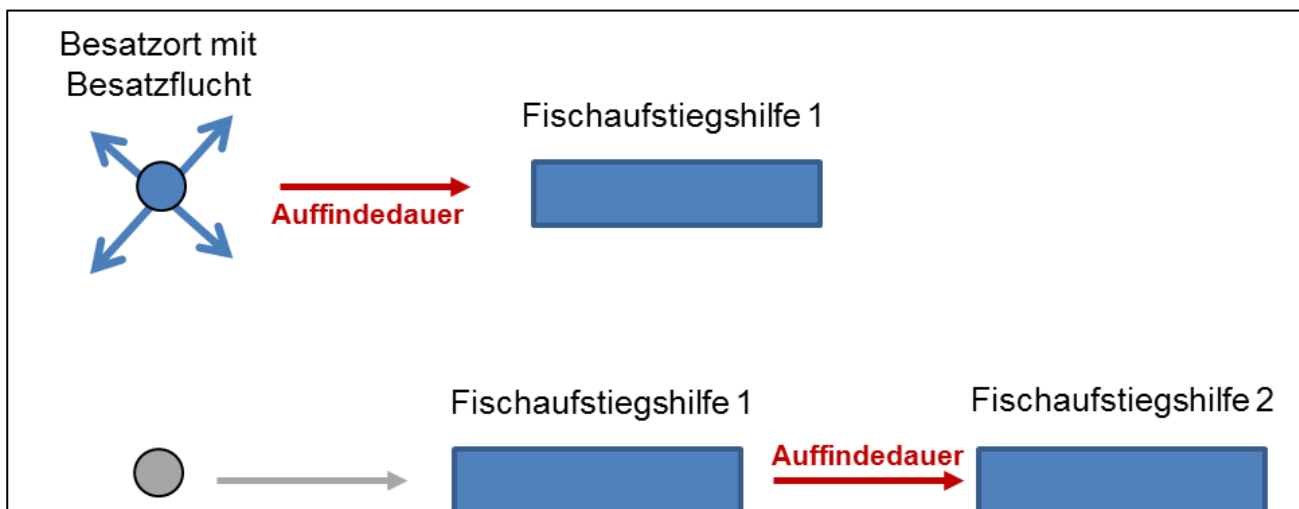


Abb. 101: Vorgehensweise bei der Ermittlung der Auffindedauer nach Besatz (oben) und nach der Passage der Fischaufstiegshilfe an der unterhalb gelegenen Staustufe

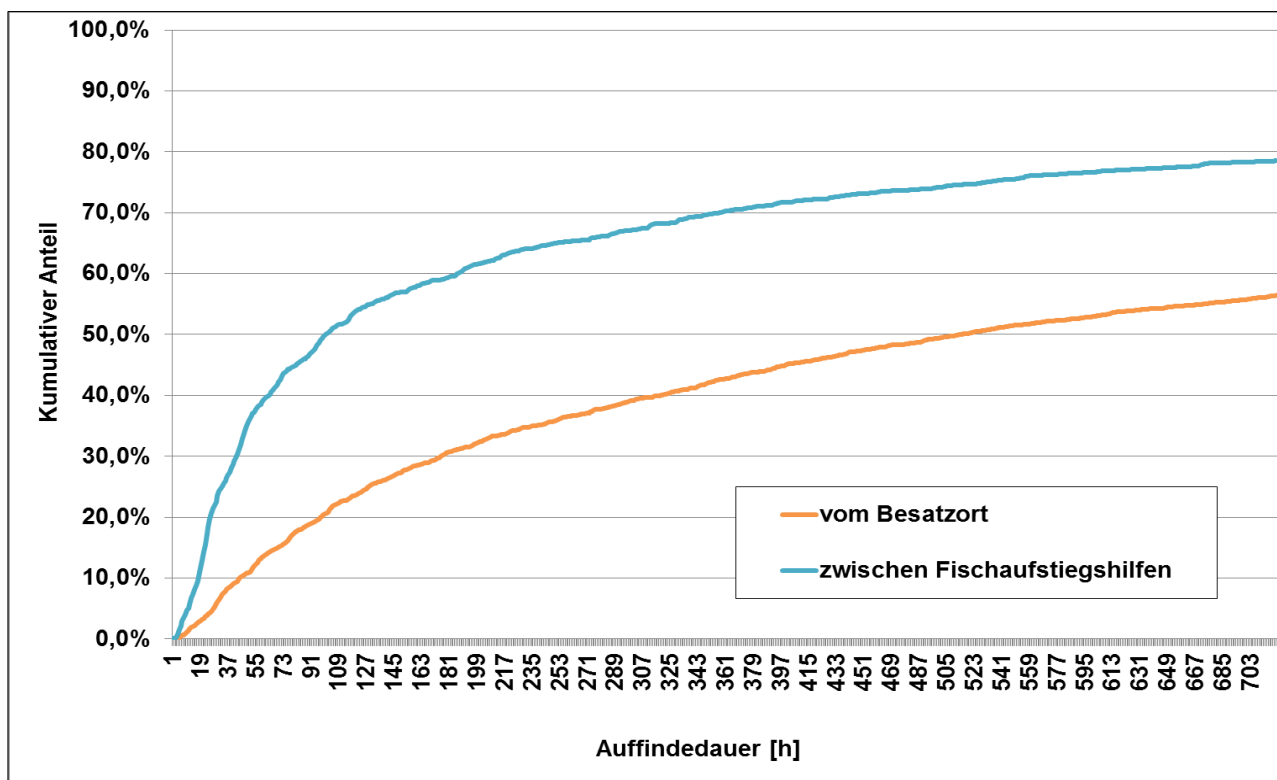


Abb. 102: Vergleich der Auffindedauer im ersten Monat nach dem Besatz und nach der Überwindung einer Fischaufstiegshilfe an der unterhalb gelegenen Staustufe

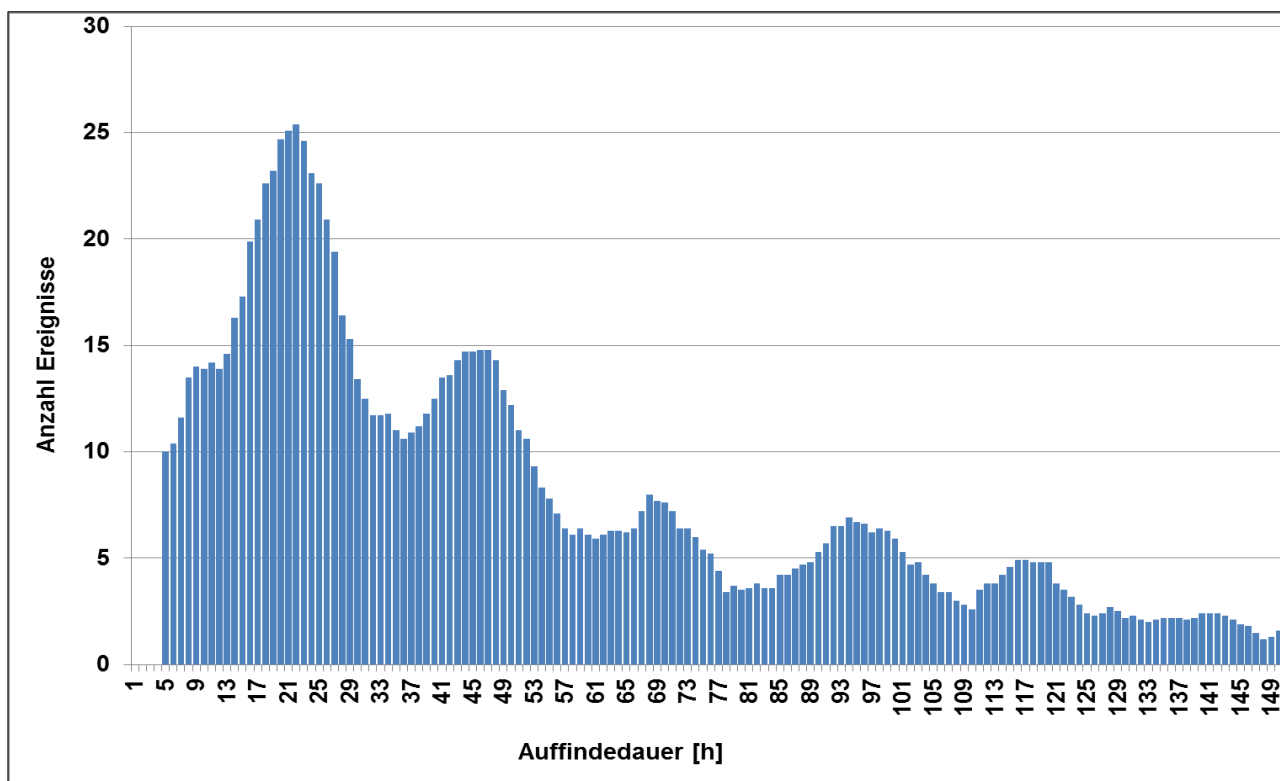


Abb. 103: Individuelle Auffindedauer nach Verlassen einer Fischaufstiegshilfe an der stromab gelegenen Staustufe (n = 3.035), Darstellung der ersten 150 Stunden, durch gleitenden Mittelwert geglättet

6.6.2.1 Standortspezifische Auffindedauer

Die mittlere Auffindedauer der motivierten Exemplare unterschied sich an den einzelnen Fischaufstiegshilfen bzw. deren Einstiegen beträchtlich voneinander (Tab. 31): während sie im besten Falle weniger als 12 Stunden betrug, waren es im anderen Extrem zweieinhalb Tage. Hierbei lässt sich folgende Rangfolge der einzelnen Fischaufstiegshilfen bzw. der Einstiege aufstellen (Abb. 104):

- Die geringste Auffindedauer von 11 bzw. 14 Stunden wurde für die Raugerinne-Beckenpässe in Wyhlen (D) und Ryburg-Schwörstadt (D) ermittelt (Rang 1 und 2). In beiden Fällen handelt es sich um Fischaufstiegshilfen, deren Einstiege den Vorgaben der Regelwerke entsprechend positioniert sind (DWA 2014).
- Es folgen die beiden Schlitzpässe in Ryburg-Schwörstadt (D) und Rheinfelden (CH) (Rang 3 und 4) mit einer etwa 24-stündigen Auffindedauer, deren Einstieg ebenfalls günstig positioniert ist.
- Deutlich schlechter schneidet der Schlitzpass Augst (CH) mit einer Auffindedauer von ca. 30 Stunden ab (Rang 5), dessen Leitströmung orthogonal auf die Turbinenströmung trifft und deshalb bereits nach kurzer Strecke zerschlagen wird.
- Nochmals 10 Stunden länger ist die Auffindedauer im Falle des Fischlifts Wyhlen (D) (Rang 6), der abseits der Hauptströmung am Wehr positioniert ist.
- Ähnlich lang ist die Auffindedauer des ebenfalls am Wehr positionierten Raugerinne-Beckenpasses Rheinfelden (D) (Rang 7) sowie für den Beckenpass Säckinggen (D) (Rang 8) dessen Einstieg weit ins Unterwasser vorgebaut ist.
- Mit deutlichem Abstand folgt das Umgehungsgewässer Rheinfelden (D) mit der höchsten Auffindezeit sämtlicher untersuchter Fischaufstiegshilfen von über 60 Stunden (Rang 9). Auch dieses Ergebnis ist plausibel, denn die Einstiege in diese Anlage befinden sich an der dem Krafthaus gegenüber liegenden Uferseite und damit weit entfernt von der Hauptströmung und zudem in etwa 2 km Entfernung stromab vom Wanderhindernis.

Tab. 32: Auffindedauer der einzelnen Fischaufstiegshilfen bzw. deren Einstiege

Staustufe	Fischaufstiegshilfe / Einstieg	Auffindedauer [h]	Rang
Augst-Wyhlen	Schlitzpass Augst (CH)	29,5	4
	Fischlift Wyhlen (D)	37,7	6
	Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D)	11,4	1
Rheinfelden	Schlitzpass (CH)	25,2	4
	Umgebungsgewässer (D)	60,4	9
	Raugerinne-Beckenpass (D)	38,7	7
Ryburg-Schwörstadt	Raugerinne-Beckenpass (D)	14,4	2
	Schlitzpass (D)	23,9	3
Säckingen	Beckenpass (D)	39,0	8

Leider lassen sich diese Ergebnisse nicht mit denen anderer HDX-Untersuchungen vergleichen, da bisher üblicher Weise nur der Median oder aber die Spanne der registrierten Zeiträume angegeben werden, während das Instrument der Berechnung der Auffindedauer anhand einer Gamma-Funktion in der vorliegenden Untersuchung erstmals zur Anwendung kam.

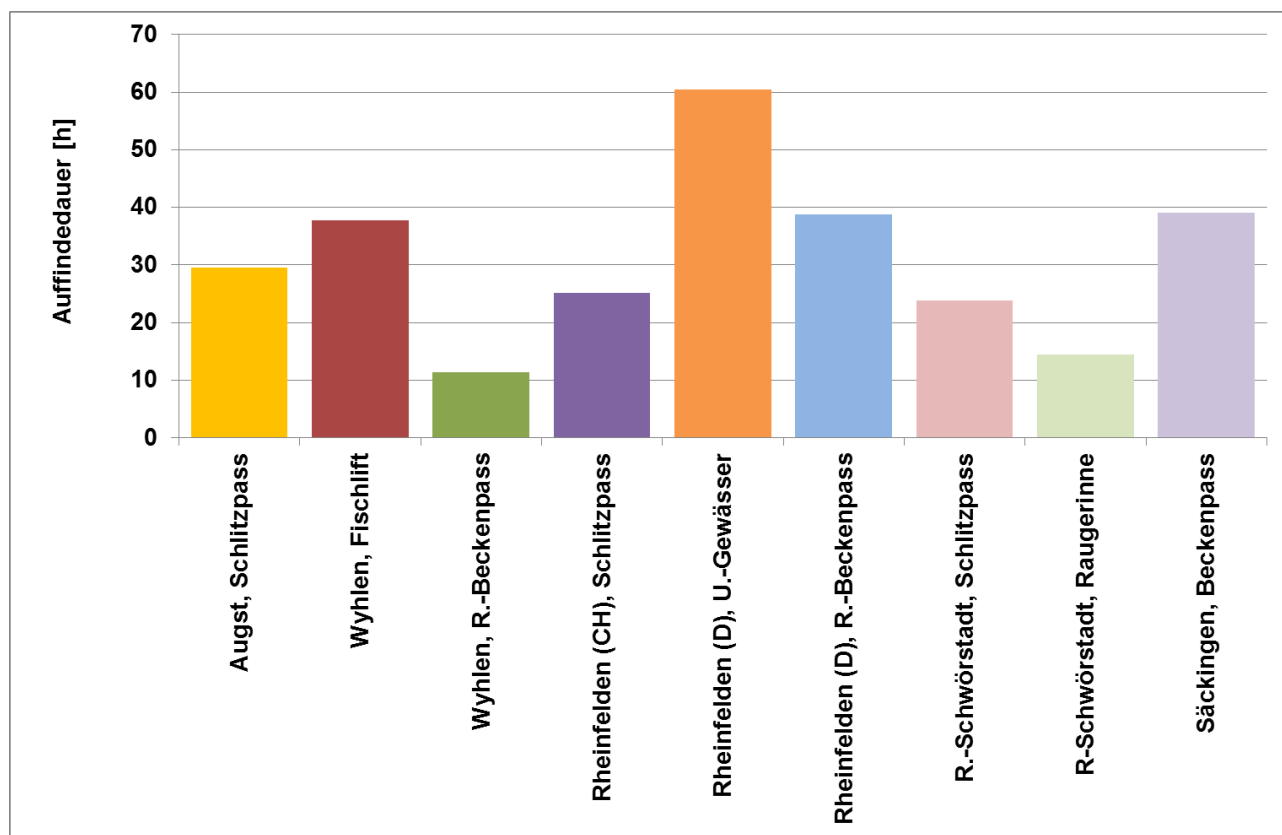


Abb. 104: Auffindedauer der einzelnen Fischaufstiegshilfen bzw. deren Einstiege (n = 7.546)

6.6.2.2 Artspezifische Unterschiede

Die Auffindedauer der einzelnen Fischarten an sämtlichen Fischaufstiegshilfen ist in Tab. 32 aufgeführt und in Abb. 105 dargestellt. Die Auffindedauer der einzelnen Arten unterscheiden sich mit ca. 22 bis 27 Stunden nicht wesentlich voneinander. Nur das Rotaugen war mit 18 Stunden deutlich schneller. Der Schneider brauche mit 41 Stunden hingegen fast doppelt so lange wie die übrigen Arten, um die Einstiege der Fischaufstiegshilfen aufzufinden. Für Alet, Brachsme, Gründling und Nase reichte die Datenbasis nicht aus, um die artspezifische Aufstiegsdauer zu ermitteln.

Tab. 33: Artspezifische Auffindedauer, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegshilfen und Einstiege an allen Staustufen (n = 7.546)

Art	Auffindedauer [h]
Alet	k. A.
Barbe	21,9
Brachsme	k. A.
Egli	22,3
Gründling	k. A.
Hasel	26,8
Laube	26,5
Nase	k. A.
Rotaugen	18,3
Schneider	41,1
Sonstige	23,9

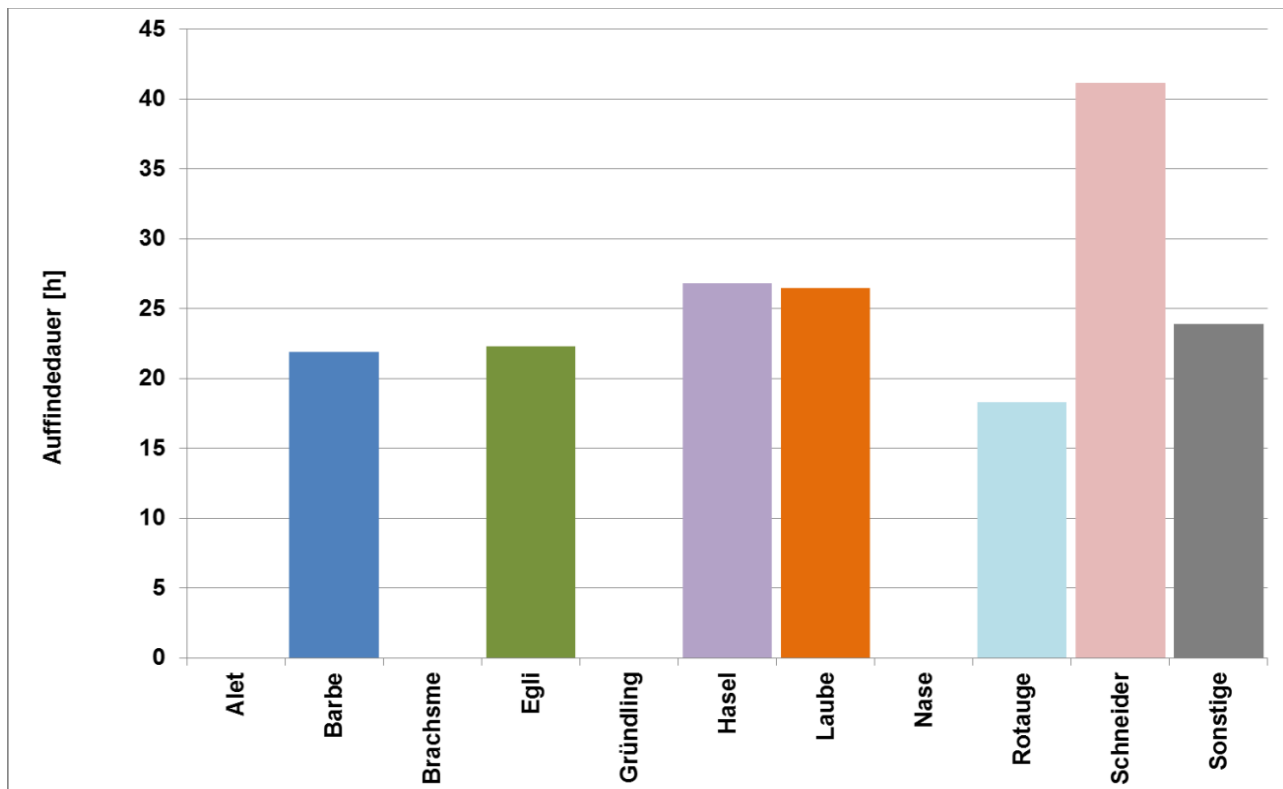


Abb. 105: Artspezifische Auffindedauer, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegshilfen und Einstiege an allen Staustufen (n = 7.546)

6.6.2.3 Grössenspezifische Unterschiede

Bei der grössenspezifischen Auswertung zeigte sich erwartungsgemäss, dass die kleinsten Exemplare bis 20 cm Gesamtlänge mit ca. 25 bis 30 Stunden deutlich länger brauchten, um die Einstiege der Fischaufstiegshilfen auszufinden, als grössere Individuen (Tab. 33, Abb. 106). Dies stimmt mit dem Befund der artspezifischen Auswertung überein, wonach die Auffindezeit für die Kleinfischart Schneider fast doppelt so lang war, wie für die grösseren hier betrachteten Arten (Kap. 6.6.2.2). Mit zunehmender Körperlänge und der damit einher gehenden höheren Leistungsfähigkeit verkürzte sich die Auffindedauer deutlich, so dass Exemplare von 35 cm Länge nur noch ca. 11 Stunden brauchten, und damit mehr als doppelt so schnell waren. Abweichend von dieser Regel stieg die Auffindedauer jedoch bei weiter zunehmender Grösse der Fische wieder deutlich an, so dass sie bei Exemplaren von mehr als 50 cm Länge ca. 20 Stunden betrug. Zumindest bei den grossen Exemplaren ist es also offensichtlich nicht die Schwimmleistung allein, die über die Auffindedauer entscheidet. Welche Ursachen für deren vergleichsweise grosse Auffindedauer verantwortlich sind, bleibt vorerst allerdings in Ermangelung einer grösseren auswertbaren Datenmenge im Unklaren.

Für die Klassen der 30 und 40 cm langen Exemplare war die Datendichte zu gering, um die Auffindedauer zu ermitteln.

Tab. 34: Grössenspezifische Auffindedauer, jeweils für die Gesamtheit der Fische aufstiegshilfen und Einstiege an allen Staustufen r (n = 7.546)

Grössenklasse	Spanne	Auffindedauer [h]
10 cm	7,5 - 12,4 cm	28,6
15 cm	12,5 - 17,4 cm	27,0
20 cm	17,5 - 22,4 cm	25,7
25 cm	22,5 - 27,4 cm	16,6
30 cm	27,5 - 32,4 cm	k. A.
35 cm	32,5 - 37,4 cm	11,1
40 cm	37,5 - 42,4 cm	k. A.
45 cm	42,5 - 47,4 cm	14,1
50 cm	47,5 - 52,4 cm	16,1
55 cm	52,5 - 57,4 cm	20,1
60 cm	57,5 - 62,4 cm	17,8
65 cm	62,5 - 67,4 cm	20,5
70 cm	67,5 - 117,0 cm	21,2

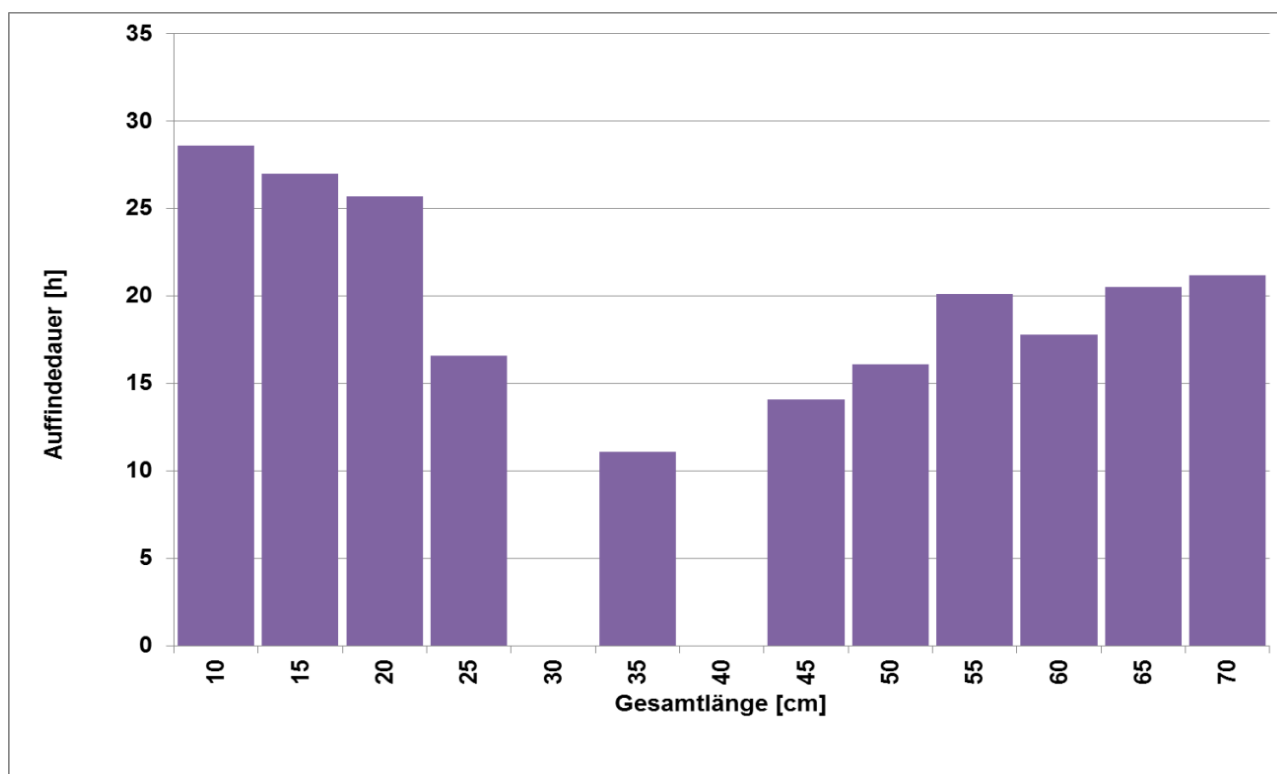


Abb. 106: Grössenspezifische Auffindedauer, jeweils für die Gesamtheit der Fische aufstiegshilfen und Einstiege an allen Staustufen (n = 7.546)

6.6.2.4 Einfluss der Wassertemperatur

Da die Wassertemperatur Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Fische nimmt, war zu vermuten, dass auch die Auffindedauer eine Abhängigkeit von diesem Parameter zeigt. Die in Tab. 35 sowie Abb. 107 aufgeführten Werte bestätigen dies: Während mangels Einschwimmereignissen für die Temperaturklasse ≤ 12 °C keine relevante Auffindedauer ermittelt werden konnte, bewegten sich die Werte bei 14 bis 18 °C im Bereich zwischen 24 und 29 Stunden. Eine weitere Erhöhung der Wassertemperatur hatte eine zunehmende Verkürzung der Auffindedauer auf Werte von weniger als 20 Stunden zur Folge.

Aufgrund zu geringer Datengrundlage mussten die Temperaturen von mehr als 22 °C zu einer einzigen Klasse zusammengefasst werden, so dass sich nicht klären lässt, ob die Auffindedauer bei besonders hohen sommerlichen Temperaturen und damit bei Überschreitung eines anzunehmenden Optimalwertes wieder zunahm.

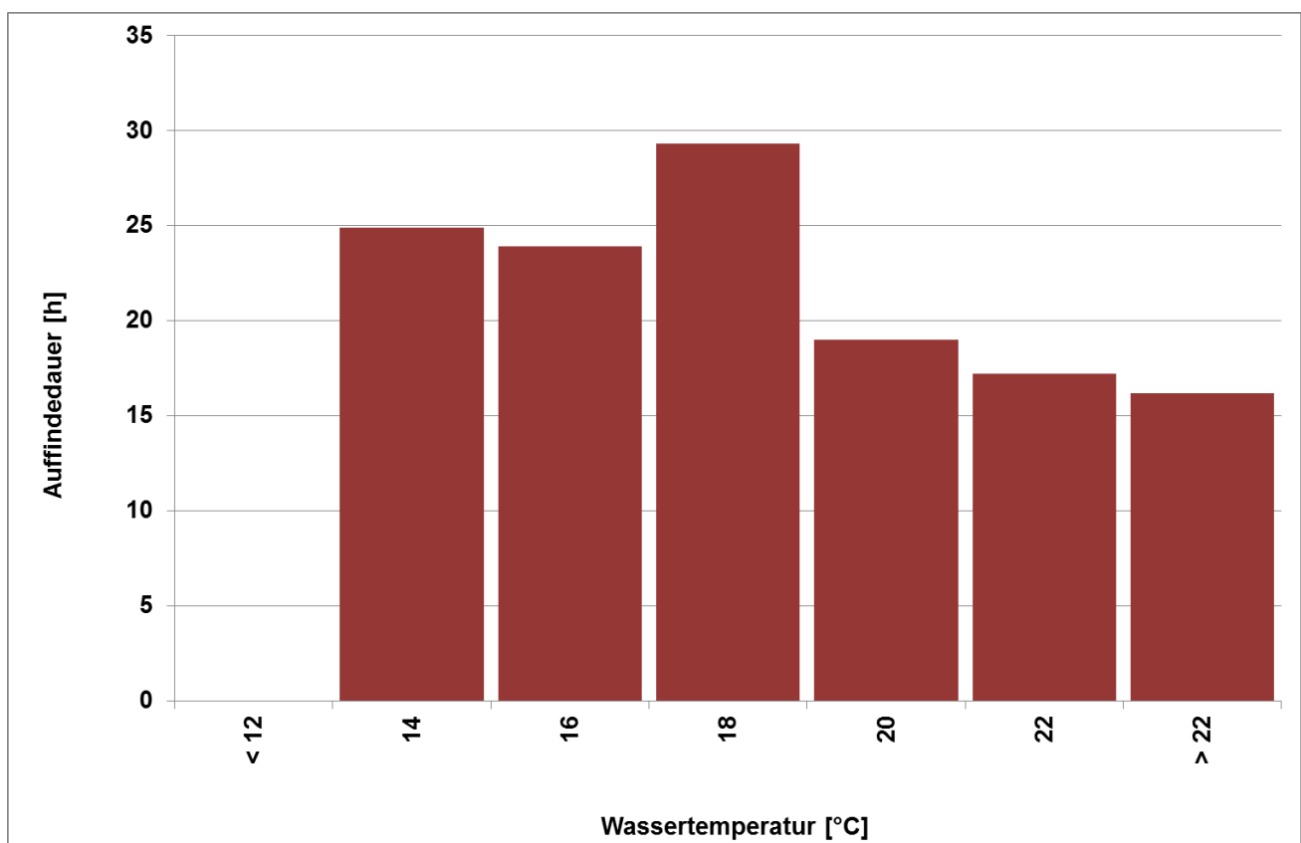


Abb. 107: Auffindedauer, jeweils für die Gesamtheit der Fischeaufstiegshilfen und Einstiege an allen Staustufen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur (n = 7.546)

Tab. 35: Auffindedauer, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegshilfen und Einstiege an allen Staustufen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur

Temperaturklasse	Spanne	Auffindedauer [h]
12 °C	5,1 - 12,9 °C	k. A.
14 °C	13,0 - 14,9 °C	24,9
16 °C	15,0 - 16,9 °C	23,9
18 °C	17,0 - 18,9 °C	29,3
20 °C	19,0 - 20,9 °C	19,0
22 °C	21,0 - 25,9 °C	17,2

6.6.2.5 Einfluss des Abflusses

Hohe bzw. steigende Abflüsse gelten als wichtige Zeitgeber für den Fischaufstieg. Zudem hat der Abfluss auch einen direkten Einfluss auf die mittlere Fliessgeschwindigkeit im Gewässer. Um dieselbe Schwimmgeschwindigkeit über Grund zu erreichen, muss ein Fisch mit steigendem Abfluss eine entsprechend höhere relative Schwimmgeschwindigkeit entwickeln. Insofern wäre zu erwarten, dass sich die Auffindedauer mit bei steigendem Abfluss im Gewässer verlängert.

Die ermittelten Werte für die abflussabhängige Auffindedauer bestätigen diese Erwartung im Wesentlichen: Betrug die Auffindedauer bei den geringsten Abflüssen von 500 m³/s lediglich 11 Stunden, erhöhte sie sich mit zunehmender Wasserführung sukzessive, um bei Maximalabflüssen > 1.300 m³/s den höchsten Wert von 36 Stunden zu erreichen (Tab. 35, Abb. 108).

Eine Abweichung von dieser Regel mit deutlich längeren Auffindezeiten als erwartet, zeigte sich bei Abflüssen von etwa 800 m³/s. Offensichtlich überlagerte in diesen Situationen die Wassertemperatur den Einfluss der Wasserführung im Hochrhein, denn besonders niedrige Temperaturen von z. T. unter 5 °C fielen im Untersuchungszeitraum fast immer mit Abflüssen von ca. 800 m³/s zusammen. Entsprechend ist die Auffindedauer dieser Abflussklasse deutlich erhöht..

Tab. 36: Auffindedauer, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegshilfen und Einstiege an allen Staustufen in Abhängigkeit vom Abfluss

Abflussklasse	Spanne	Auffindedauer [h]
500 m ³ /s	367 - 549 m ³ /s	11,3
600 m ³ /s	550 - 649 m ³ /s	14,0
700 m ³ /s	650 - 749 m ³ /s	18,7
800 m ³ /s	750 - 849 m ³ /s	34,1
900 m ³ /s	850 - 949 m ³ /s	13,9
1.000 m ³ /s	950 - 1.049 m ³ /s	20,3
1.100 m ³ /s	1.050 - 1.149 m ³ /s	22,9
1.200 m ³ /s	1.150 - 1.249 m ³ /s	21,2
1.300 m ³ /s	1.250 - 1.349 m ³ /s	25,2
> 1.300 m ³ /s	1.350 - 2.828 m ³ /s	36,1

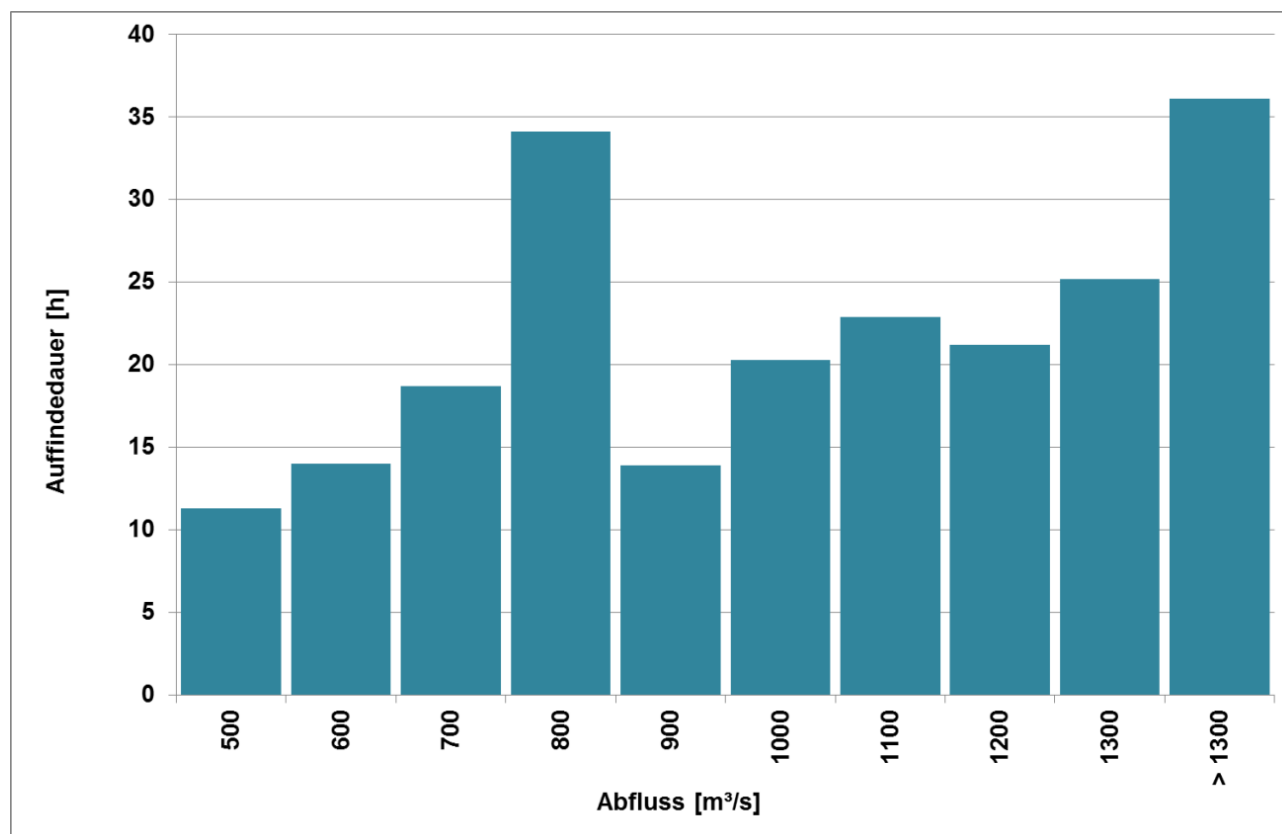


Abb. 108: Auffindedauer, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegshilfen und Einstiege an allen Staustufen in Abhängigkeit vom Abfluss (n = 7.546)

6.7 PASSIERBARKEIT

Durch Einsatz der HDX-Technik lassen sich auch für das zweite funktionsbestimmende Kriterium für eine Fischeaufstiegshilfe, nämlich die Passierbarkeit, wichtige Kenngrößen ermitteln. Neben den Quoten der Exemplare, die einen Fischpass auf gesamter Länge erfolgreich vom Unter- bis ins Oberwasser durchschwommen haben (Kap. 6.7.1), stehen auch die Passagedauer (Kap. 6.7.2) und die Passagegeschwindigkeit (6.7.3) als Bewertungsparameter zur Verfügung.

6.7.1 Passagequote

Bei der in Hinblick auf die Passagequote betrachteten Grundgesamtheit der Daten handelt es sich einerseits um diejenigen 8.048 Einschwimmereignisse, die bereits der Bewertung der Auffindbarkeit zugrunde lagen (Kap. 6.6). Hinzu kommen weitere 1.130 Ereignisse, die durch ein wiederholtes Einschwimmen nach abgebrochenen Aufstiegsversuchen zustande kamen, oder weil Aufsteiger durch Fanggeräte, d. h. Kastenreusen oder Zählbecken an einem Ausschwimmen ins Oberwasser gehindert wurden und deshalb wieder ins Unterwasser zurückkehrten. Die neuerlichen Aufstiegsversuche erfolgten teilweise an derselben Fischeaufstiegshilfe. Oft aber wechselten die Fische zuvor die Uferseiten und damit auch die Fischpässe. Bei 132 Passagen der Staustufen Augst-Wyhlen und Rheinfelden lässt sich der Wanderkorridor nicht eindeutig ermitteln. Insgesamt liegen der Quantifizierung der Passagequoten damit 9.046 Einschwimmereignisse zugrunde, denen 6.433 erfolgreiche Passagen bis ins Oberwasser gegenüber stehen. Die mittlere Passagequote im Untersuchungsgebiet betrug somit stattliche 71 % (Tab. 36). Dies zeigt, dass die Überwindung der Staustufen am Hochrhein weniger von Defiziten bezüglich der Passierbarkeit der Anlagen limitiert wird, als vielmehr durch deren eingeschränkte Auffindbarkeit, denn die mittlere Auffindequote war mit 37,3 % nur etwa halb so hoch.

6.7.1.1 Standortspezifische Passagequote

Für die Passagequoten der untersuchten Fischeaufstiegshilfen ergaben sich beträchtliche Unterschiede (Tab. 37, Abb. 109). Die besten Resultate erzielten der Schlitzpass in Augst (CH) und das Umgehungsgewässer in Rheinfelden (D) mit einer Quote von jeweils 89 % (Rang 1 und 2). Ähnlich gut schnitten auch der Schlitzpass Rheinfelden (CH) (Rang 3) und der Beckenpass Säckingen (D) (Rang 4) ab, wobei die Passierbarkeit des letzten aufgrund der geringen Distanz zwischen den unter- und oberwasserseitigen HDX-Antennen tenden-

ziell leicht überschätzt sein dürfte. Deutlich schlechter sind demgegenüber die Raugerinne-Beckenpässe in Rheinfelden (D) und Wyhlen (D) mit Quoten von 52 % bzw. 57 % zu bewerten (Rang 5 und 6). Nochmals geringfügig niedriger lag die Quote im Falle des Umgehungsgerinnes Ryburg-Schwörstadt (D) (Rang 7), allerdings dürfte sie aufgrund der begrenzten Leseleistung der HDX-Antennen an deren Ausstieg unterschätzt sein. Der Fischlift Wyhlen (D) schliesslich fällt mit einer Quote von nur 2,3 % deutlich aus dem Rahmen (Rang 8).

Tab. 37: Passagequoten der einzelnen Fischaufstiegshilfen

Fischaufstiegshilfe	Einschwimmereignisse	Passagen	Passagequote	Rang
Schlitzpass Augst (CH)	1.138	1.015	89,2 %	1
Fischlift Wyhlen (D)	307	7	2,3 %	8
Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D)	939	535	57,0 %	6
Schlitzpass Rheinfelden (CH)	2.038	1.710	83,9 %	3
Umgebungsgewässer Rheinfelden (D)	471	420	89,2 %	1
Raugerinne-Beckenpass Rheinfelden(D)	325	169	52,0 %	7
Umgehungsgerinne Ryburg-Schw. (D)	2.744	1.712	62,4 %	5
Beckenpass Säkingen (D)	1.084	865	79,8 %	4
Summe	9.046	6.433	71,1 %	

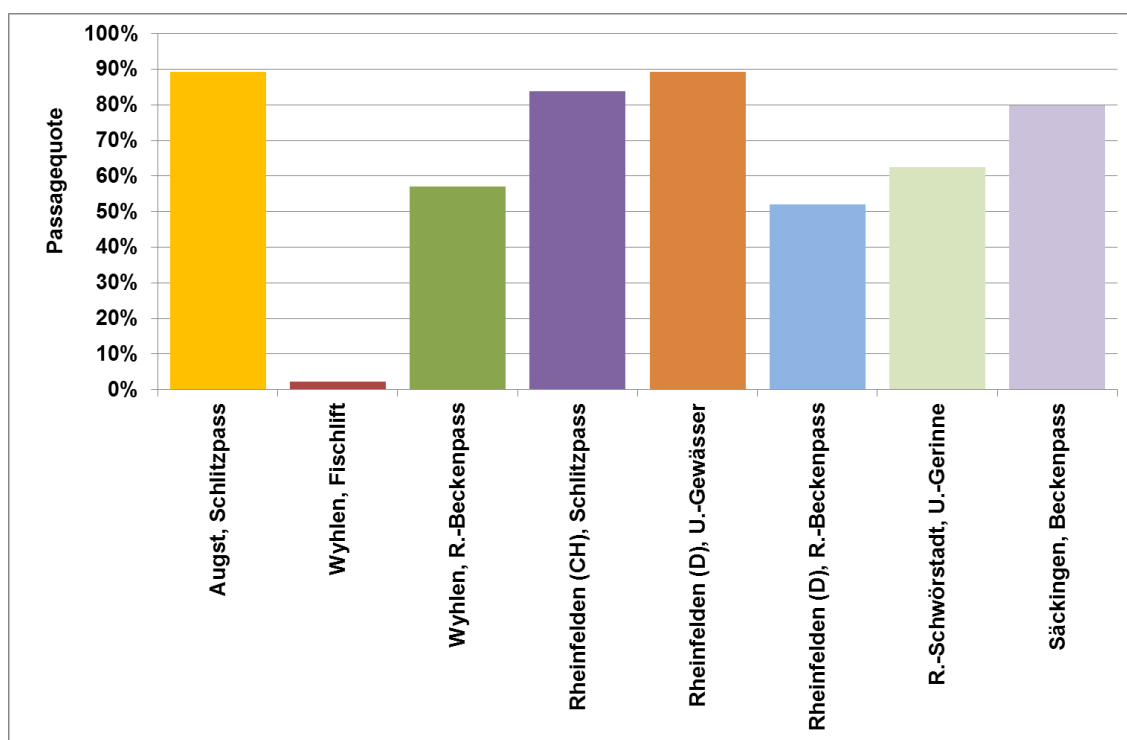


Abb. 109: Passagequoten der einzelnen Fischaufstiegshilfen (n = 9.046)

Zum Kriterium der Passierbarkeit stehen vergleichsweise viele Vergleichswerte aus anderen Funktionskontrollen an Fischpässen unter Einsatz der HDX-Technik zur Verfügung (Tab. 37):

- Bei den ersten Untersuchungen in Europa unter Einsatz der RFID-Technik ermittelten ADAM & SCHWEVERS (1996, 1997) an einem Beckenpass in der Sieg eine Aufstiegsquote von 58 % und LUCAS et al. (1999) an einem Denilpass im River Derwent (GB) von 17 %.
- Ernüchternd waren die Befunde von FOULDS & LUCAS (2013) zur Passierbarkeit eines Beckenpasses und eines Denilpasses am River Derwent (GB) für Flussneunaugen: Von den im Einstiegsbereich des Beckenpasses registrierten Exemplaren erreichte nur eines das Oberwasser und keinem Neunauge gelang es, den Denilpass zu überwinden. Die Passagequoten erreichten damit 5 bzw. 0 %.
- Deutlich höher waren die von TETARD et al. (2015) ermittelten Passagequoten für den Schlitzpass Gambsheim am Rhein (F): Im Mittel haben dort 73 % der Fische, die im Einstiegsbereich registriert wurden, den Ausstieg erreicht. Allerdings waren ausschliesslich adulte Exemplare grosswüchsiger Arten markiert und besetzt worden; vor allem Barben, Brachsmen und Nasen.
- Mit 64 % lag die Passagequote von Bachforellen in einem von DODD et al. (2017) beprobten Umgehungsgerinne am River Aire (GB) noch etwas höher.
- FORTY et al. (2016) untersuchten die Passierbarkeit eines Durchlasses und verschiedener Fischaufstiegshilfen in Zuflüssen des River Ribble (GB). Hier ermittelten sie für den Durchlass eine Passagequote von 96 bis 100 % und für die Fischpässe zwischen 71 und 82 %.

Die am Hochrhein beprobten Fischaufstiegshilfen weisen also vergleichsweise hohe Passagequoten auf. Werte zwischen 80 und 90 %, wie sie für den Schlitzpass Augst (CH), das Umgebungsgewässer (D) und den Schlitzpass (CH) in Rheinfelden sowie den Beckenpass Säckingen (D) ermittelt wurden, erreichte von den Vergleichsanlagen einzig der von BENIETZ et al. (2018) beprobte Schlitzpass in Grossbritannien. Es ist allerdings nicht auszuschliessen, dass die Passagequoten von Vergleichsuntersuchungen tendenziell unterschätzt sind, denn in den meisten Untersuchungen wurde jeweils nur eine einzige HDX-Antenne am Ein- und Ausstieg exponiert, zu deren Lesequote keine Angaben gemacht werden.

Tab. 38: Passagequoten von Vergleichsuntersuchungen

Quote	Rahmenbedingungen	Autoren
0 %	Schlitzpass (CH), transpondierte Elritzen	BAIER 2016
0 %	Denilpass im River Derwent (GB), transpondierte Flussneunaugen	FOULDS & LUCAS 2013
5 %	Beckenpass im River Derwent (GB), transpondierte Flussneunaugen	FOULDS & LUCAS 2013
17 %	Denilpass im River Derwent (GB), diverse Arten wurden 200 m stromab besetzt	LUCAS et al. 1999
39 %	Fischrampe (DK), transpondierte Meerforellen	AARESTRUP et al. 2003
39 %	Umgehungsgerinne Beyenburger Stausee in der Wupper (D), diverse Arten	ADAM et al. 2018
51 %	Schlitzpass Koblenz an der Mosel (D), diverse Arten wurden 550 m stromab besetzt	PITSCH & MOCKENHAUPT 2015
57 %	Schlitzpass in einem Zufluss der Maas (B), transpondierte Bachforellen, Äschen und Barben wurden 120 m stromab besetzt	OVIDIO et al. 2017
58 %	Beckenpass Scheuerfeld in der Sieg (D), diverse Arten wurden einige 100 m stromab besetzt	ADAM & SCHWEVERS 1996
62 %	Schlitzpass (CH), transpondierte Bachforelle	BAIER 2016
64 %	Fischrampe (GB), Bachforellen	DODD et al. 2017
67 %	Schlitzpass Auer Kotten in der Wupper (D), diverse Arten	ADAM et al. 2018
67 %	Umgehungsgerinne Buchenhofen in der Wupper (D), Äschen, Bach- und Meerforellen	ADAM et al. 2018
70 %	Fischrampe Schaltkotten in der Wupper (D), diverse Arten	ADAM et al. 2018
73 %	Fischrampe (S), diverse Arten	CALLES & GREENBERG 2007
73 %	Schlitzpass Gambsheim am Oberrhein (F), adulte Exemplare diverser grosswüchsiger Arten wurden unmittelbar stromab der Fischaufstiegshilfe besetzt	TETARD et al. 2013
73 %	Raugerinne-Beckenpass Auer Kotten in der Wupper (D), diverse Arten	ADAM et al. 2018
86 %	Schlitzpass (F), diverse Arten	BENITEZ et al. 2018
71 - 82 %	Verschiedene Fischaufstiegshilfen in Zuflüssen des River Ribbe (GB)	FORTY et al. 2016
96 - 100 %	Durchlass in einem Zufluss des River Ribbe (GB)	FORTY et al. 2016

6.7.1.2 Artspezifische Unterschiede

Die besten Passagequoten mit ca. 80 % erreichten die Arten Alet, Brachsme und Barbe. Ähnlich hoch war die Passagequote mit 79 % auch beim Wels, der in Tab. 39 und Abb. 110 unter „Sonstige“ subsummiert ist. Bei den anderen Fischarten lagen die Quoten im Bereich um 60 %. Nur beim Gründling scheiterte mehr als die Hälfte der Aufstiegsversuche, woraus eine Passagequote von lediglich 39 % resultierte (Abb. 110).

Tab. 39: Artspezifische Anzahl der Einschwimmereignisse, jeweils für die Gesamtheit der Fischeaufstiegshilfen an allen Staustufen, Anzahl erfolgreicher Passagen und Passagequote

Art	Einschwimmereignisse	Passagen	Passagequote
Alet	715	585	81,8 %
Barbe	5.077	3.772	74,3 %
Brachsme	157	125	79,6 %
Egli	394	223	56,6 %
Gründling	23	9	39,1 %
Hasel	253	145	57,3 %
Laube	965	617	63,9 %
Nase	90	54	60,0 %
Rotaugen	1.225	812	66,3 %
Schneider	87	49	56,3 %
Sonstige	60	42	70,0 %
Summe	9.046	6.433	71,1 %

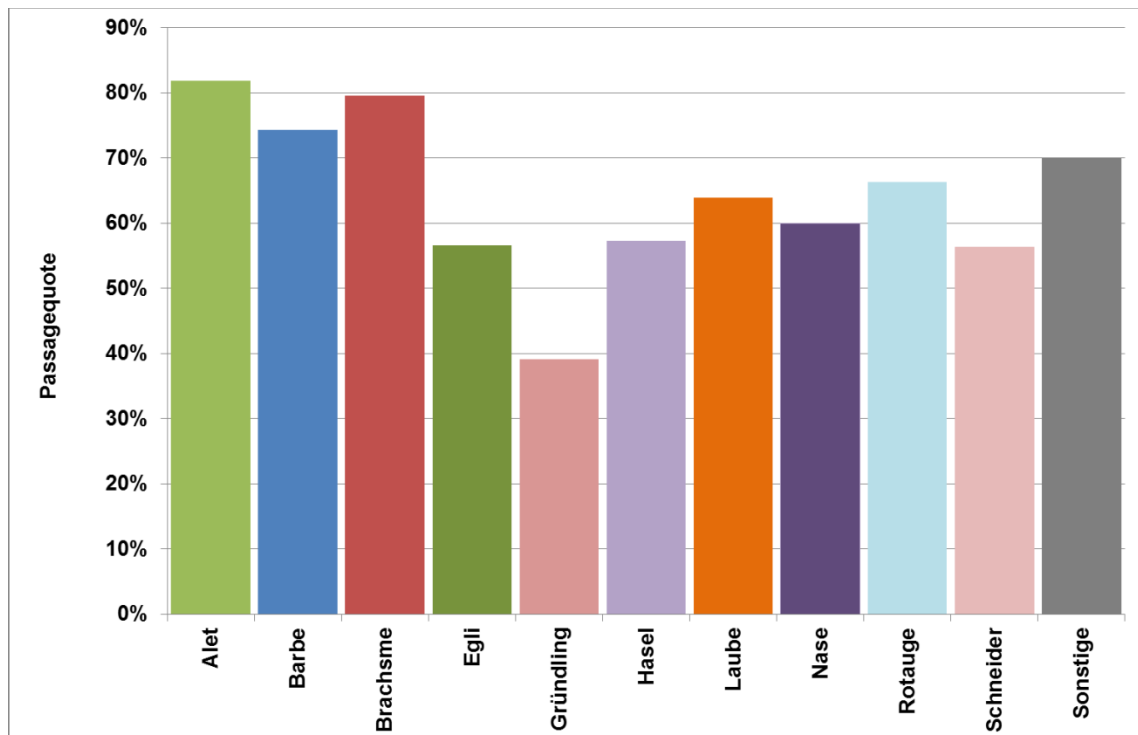


Abb. 110: Artspezifische Passagequoten, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegshilfen an allen Staustufen (n = 9.046)

Artspezifische Unterschiede lassen sich bei Betrachtung der einzelnen Fischaufstiegshilfen erkennen, wie Tab. 39 und Abb. 111 verdeutlichen. Besonders auffällig ist hierbei, dass die Passagequoten des Fischlifts Wyhlen (D) bei Exemplaren aller Arten, die ihn aufgefunden haben, sehr niedrig waren. Besonders geringe artspezifische Passagequoten $\leq 50\%$ entfielen in allen anderen Fällen auf sogenannte „naturnahe“ Fischpasskonstruktionen:

- im Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) auf Barbe und Nase,
- im Umgehungsgewässer Rheinfelden (D) auf Gründling, Nase und Schneider,
- im Raugerinne-Beckenpass Rheinfelden (D) auf Barbe, Brachsme, Egli, Hasel, Nase und Schneider,
- im Umgehungserinne Ryburg-Schwörstadt (D) auf Gründling und Laube.

Die sogenannten „technischen“ Aufstiegshilfen, also die Schlitzpässe Augst (CH) und Rheinfelden (CH), sowie der Beckenpass Säckingen (D) zeichneten sich demgegenüber für sämtliche Arten durch überdurchschnittlich hohe Passagequoten aus.

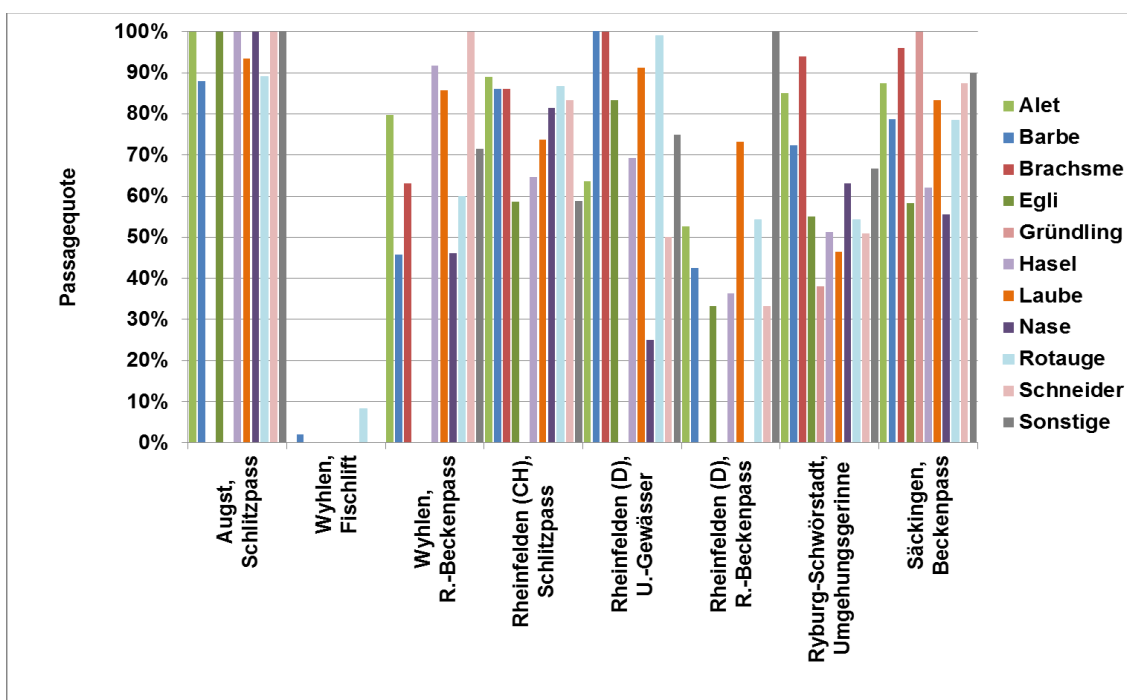


Abb. 111: Artspezifische Passagequoten der untersuchten Fischeaufstiegshilfen (n = 9.046)

Tab. 40: Artspezifische Passagequoten der untersuchten Fischeaufstiegshilfen (n = 9.046)

Art	Schlitzpass Augst (CH)	Fischlift Wyhlen (D)	Raugerinne-BP Wyhlen (D)	Schlitzpass Rheinfelden (CH)	Umgebungsgew. Rheinfelden (D)	Raugerinne-BP.(D) Rheinfelden	Umgehungsgerinne Ryburg-Schw. (D)	Beckenpass Säckingen (D)
Alet	100,0 %	-	79,7 %	89,0 %	63,6 %	52,6 %	85,0 %	87,5 %
Barbe	88,0 %	2,0 %	45,8 %	86,1 %	114,4 %	42,6 %	72,4 %	78,7 %
Brachsme	-	-	63,2 %	86,1 %	100,0 %	40,0 %	93,9 %	96,0 %
Egli	100,0 %	0,0 %	-	58,6 %	83,3 %	33,3 %	55,0 %	58,3 %
Gründling	-	-	-	-	0,0 %	-	38,1 %	100,0 %
Hasel	100,0 %	-	91,7 %	64,7 %	69,2 %	36,4 %	51,2 %	62,1 %
Laube	93,4 %	-	85,7 %	73,8 %	91,3 %	73,2 %	46,5 %	83,3 %
Nase	100,0 %	-	46,2 %	81,5 %	25,0 %	0,0 %	63,2 %	55,6 %
Rotaugen	89,1 %	8,3 %	59,9 %	86,7 %	99,1 %	54,3 %	54,3 %	78,5 %
Schneider	100,0 %	-	100,0 %	83,3 %	50,0 %	33,3 %	50,9 %	87,5 %
Sonstige	100,0 %	0,0 %	71,4 %	58,8 %	75,0 %	100,0 %	66,7 %	90,0 %
Gesamt	89,2 %	2,3 %	57,0 %	83,9 %	89,2 %	52,0 %	62,4 %	79,8 %

6.7.1.3 Grössenspezifische Unterschiede

Der geringe Passageerfolg der Kleinfischart Gründling lässt vermuten, dass die Quote erfolgreicher Passagen grössenabhängig ist. Um dies zu überprüfen, wurde die Passagequote für unterschiedliche Grössenklassen berechnet (Tab. 40). Hierbei zeigt sich zunächst, dass bereits Fische der kleinsten Grössengruppe von 10 cm Länge über die Hälfte der Aufstiegsversuche mit einer erfolgreichen Passage abschloss. Mit zunehmender Körpergrösse erhöhten sich die Passagequoten bis auf gut 80 %. Allerdings nahm diese Quote bei Fischen von mehr als 35 cm Länge wieder leicht ab und verringerte sich bei mehr als 55 cm langen Exemplaren auf ca. 70 %. Insofern zeichnet sich eine selektive Wirksamkeit der beprobten Fischeaufstiegshilfen nicht nur gegenüber kleinen, sondern auch gegenüber besonders grossen Exemplaren ab (Abb. 112).

Tab. 41: Grössenklassenspezifische Anzahl der Einschwimmereignisse und Passagen sowie Passagequote, jeweils für die Gesamtheit der Fischeaufstiegshilfen an allen Staustufen

Grössenklasse	Spanne	Einschwimmereignisse	Passagen	Passagequote
10 cm	7,5 - 12,4 cm	911	526	57,7 %
15 cm	12,5 - 17,4 cm	2.314	1.560	67,4 %
20 cm	17,5 - 22,4 cm	1.126	818	72,6 %
25 cm	22,5 - 27,4 cm	463	349	75,4 %
30 cm	27,5 - 32,4 cm	232	178	76,7 %
35 cm	32,5 - 37,4 cm	221	181	81,9 %
40 cm	37,5 - 42,4 cm	297	237	79,8 %
45 cm	42,5 - 47,4 cm	393	312	79,4 %
50 cm	47,5 - 52,4 cm	430	326	75,8 %
55 cm	52,5 - 57,4 cm	820	630	76,8 %
60 cm	57,5 - 62,4 cm	1.301	939	72,2 %
65 cm	62,5 - 67,4 cm	470	328	69,8 %
70 cm	67,5 - 117,0 cm	68	49	72,1 %
Summe		9.046	6.433	71,1%

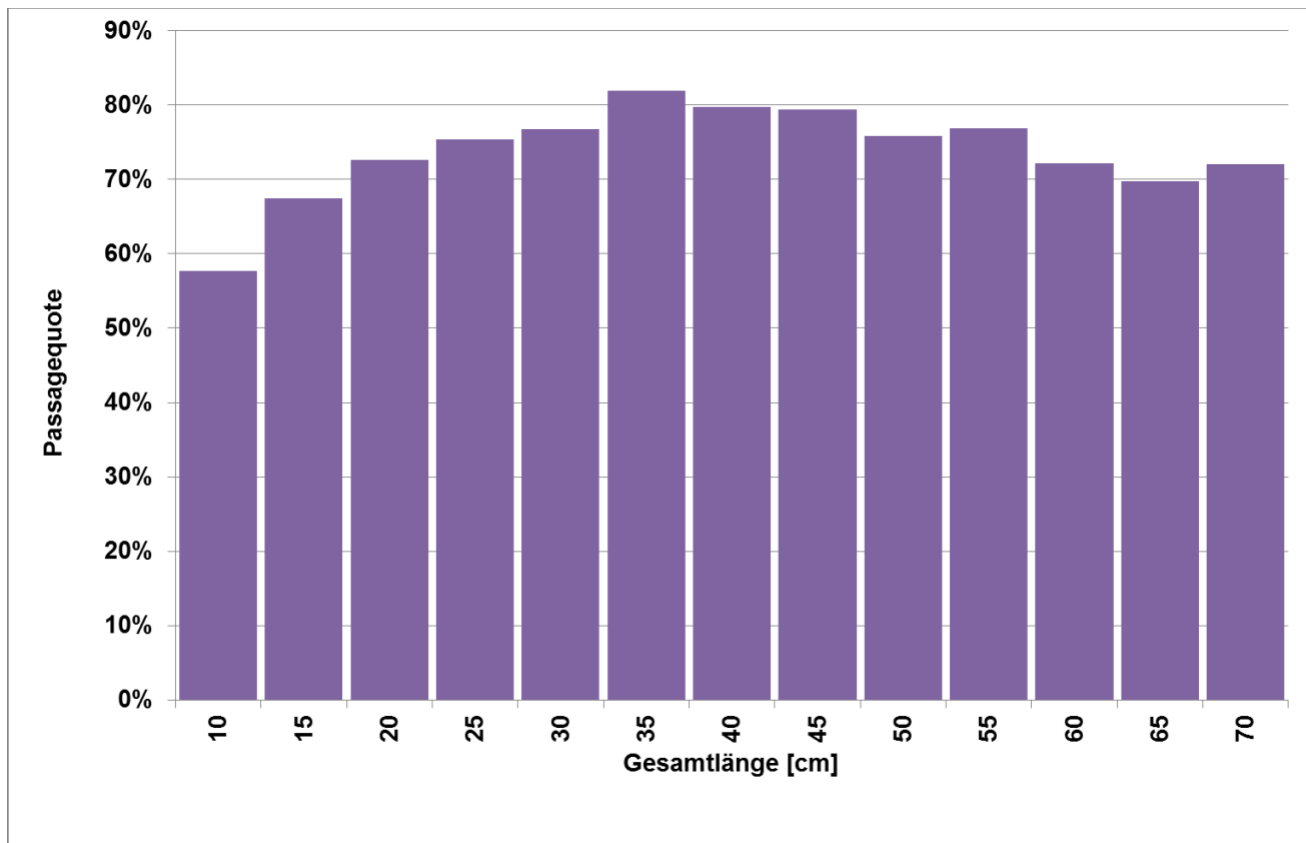


Abb. 112: Grössenspezifische Passagequoten, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegshilfen an allen Staustufen (n = 9.046)

Bei Betrachtung der einzelnen Fischaufstiegshilfen zeigen sich allerdings z. T. erhebliche Unterschiede bezüglich der Grössenselektivität (Abb. 113 bis Abb. 115):

- Im Schlitzpass Augst (CH) erreichte die Passagequote bei allen Grössenklassen Werte von mehr als 80 %. Diese Fischaufstiegshilfe ist offenbar weder für kleine, noch grosse Exemplare grössenselektiv wirksam.
- Die Passagequoten des Raugerinne-Beckenpasses Wyhlen (D) waren bei fast allen Grössenklassen deutlich niedriger. Auffällig ist, dass der Anteil der erfolgreichen Aufstiegsversuche bei Exemplaren ab 50 cm Länge kaum noch 50 % erreichte. Bei dieser Anlage liegt somit eine selektive Wirksamkeit gegenüber grossen Exemplaren vor.
- Für den Fischlift Wyhlen (D) sind mangels erfolgreicher Passagen keine Aussagen zur Grössenabhängigkeit der Passagequote möglich.

- Im Schlitzpass Rheinfelden (CH) erreichten alle Grössenklassen überdurchschnittlich hohe Passagequoten, doch reduzierten sich die Werte sowohl bei den kleinen, als auch bei den grossen Exemplaren, was auf eine moderate Selektivität gegenüber beiden Grössengruppen hindeutet.
- Im Umgehungsgewässer Rheinfelden (D) zeigte sich keine eindeutige Tendenz, so dass hier offenbar keine grössenselektive Wirksamkeit vorliegt.
- Die Werte für den Raugerinne-Beckenpass Rheinfelden (D) sind uneinheitlich. Generell war die Passagequote aller Grössengruppen geringer als bei den beiden anderen Fischaufstiegshilfen an dieser Staustufe. Tendenziell nahm die Passagequote mit zunehmender Fischgrösse ab und erreichte bei Exemplaren ab 50 cm Länge kaum mehr 40 %. Es besteht somit eine deutliche Selektivität gegenüber grossen Exemplaren. Die Quoten von 100 % für die grösste Grössenklasse ist diesbezüglich wenig aussagekräftig, da dieser Wert auf einem einzigen Exemplar, nämlich einem Wels, basiert.
- Beim Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D) zeigte sich eine deutlich reduzierte Passagequote in den Grössengruppen 10 und 15 cm, was auf eine grössenselektive Wirksamkeit gegenüber kleinen Exemplaren hinweist. Mit zunehmender Körperlänge stieg die Quote jedoch deutlich an, so dass die Werte ab einer Körperlänge von 30 cm um ca. 80 % schwankten. Eine selektive Wirksamkeit gegenüber grossen Exemplaren ist somit nicht erkennbar.
- Im Gegensatz dazu erreichten im Beckenpass Säckingen (D) gerade die kleinsten und die grössten Exemplare besonders hohe Passagequoten. Eine grössenselektive Wirksamkeit ist also bei dieser Fischaufstiegshilfe nicht nachweisbar.

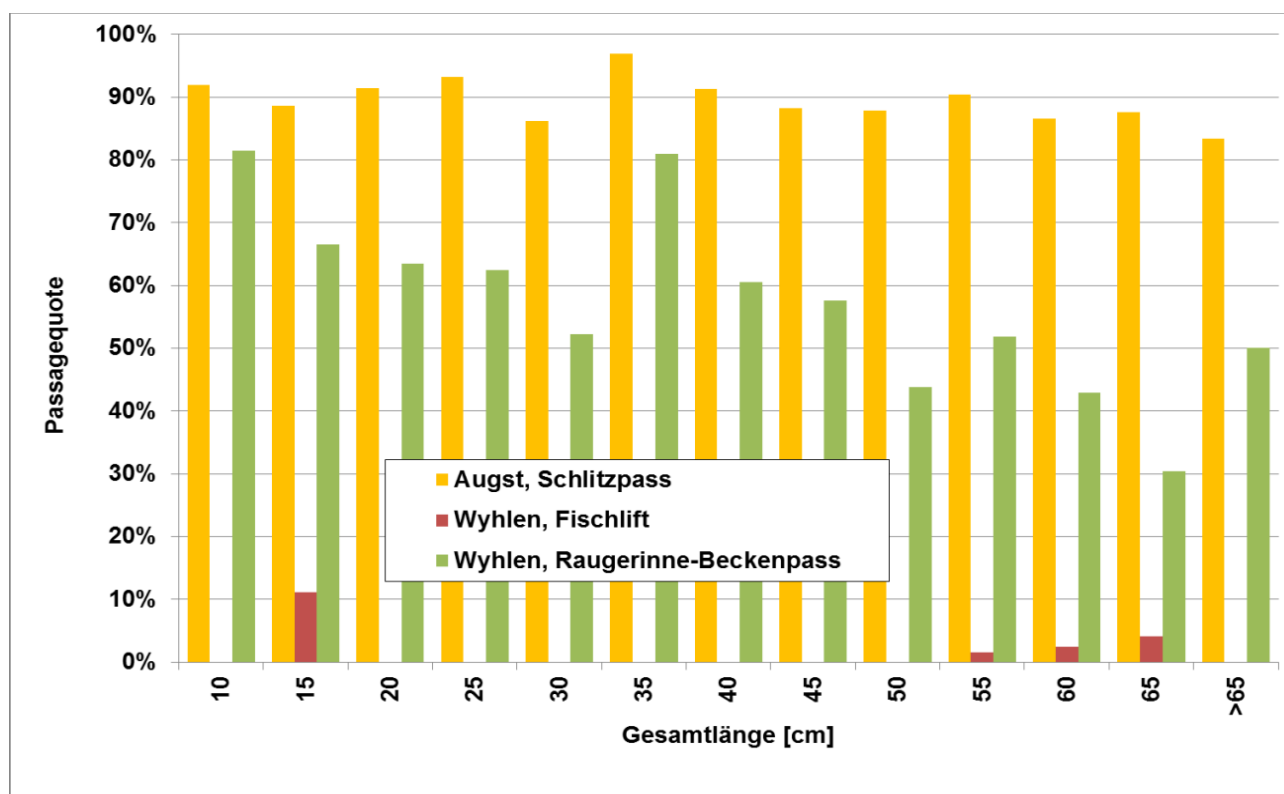


Abb. 113: Grössenspezifische Passagequoten der Fischaufstiegshilfen an der Staustufe Augst-Wyhlen (n = 1.557)

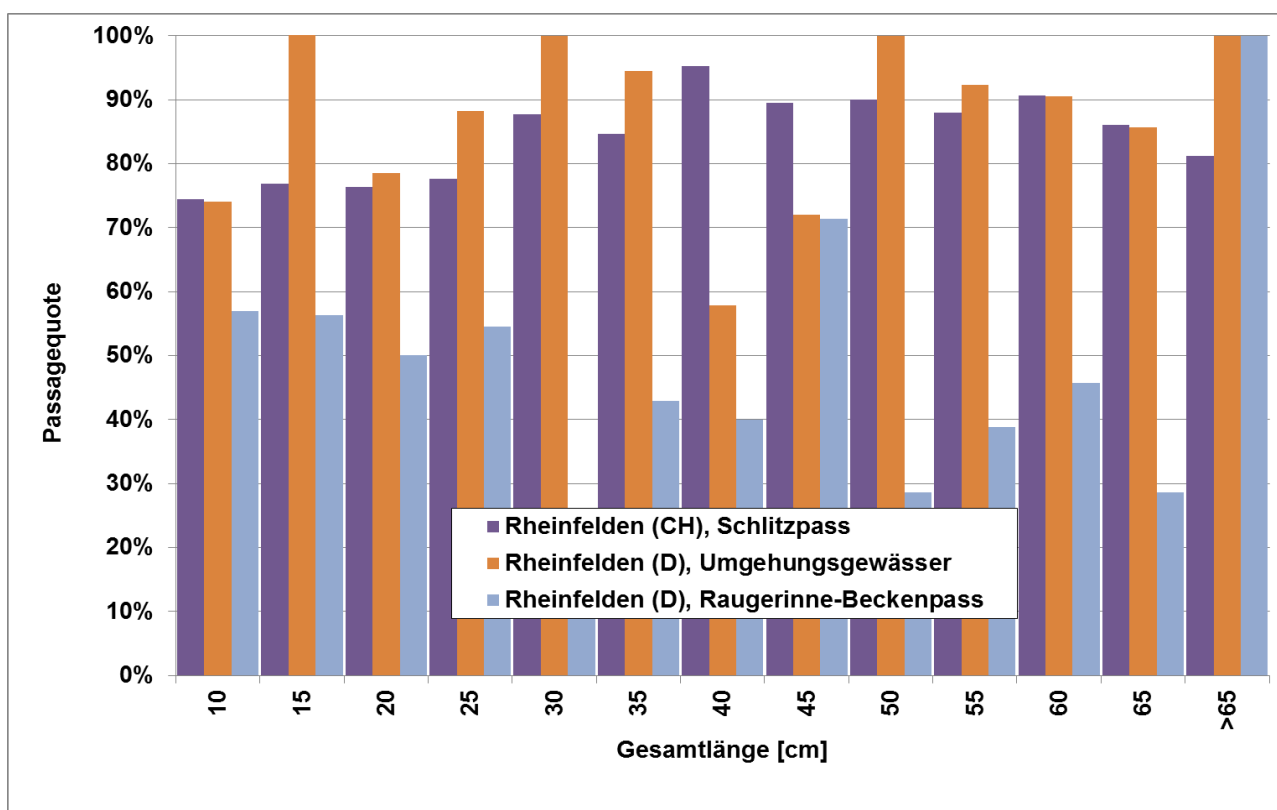


Abb. 114: Grössenspezifische Passagequoten der Fischaufstiegshilfen an der Staustufe Rheinfelden (n = 2.299)

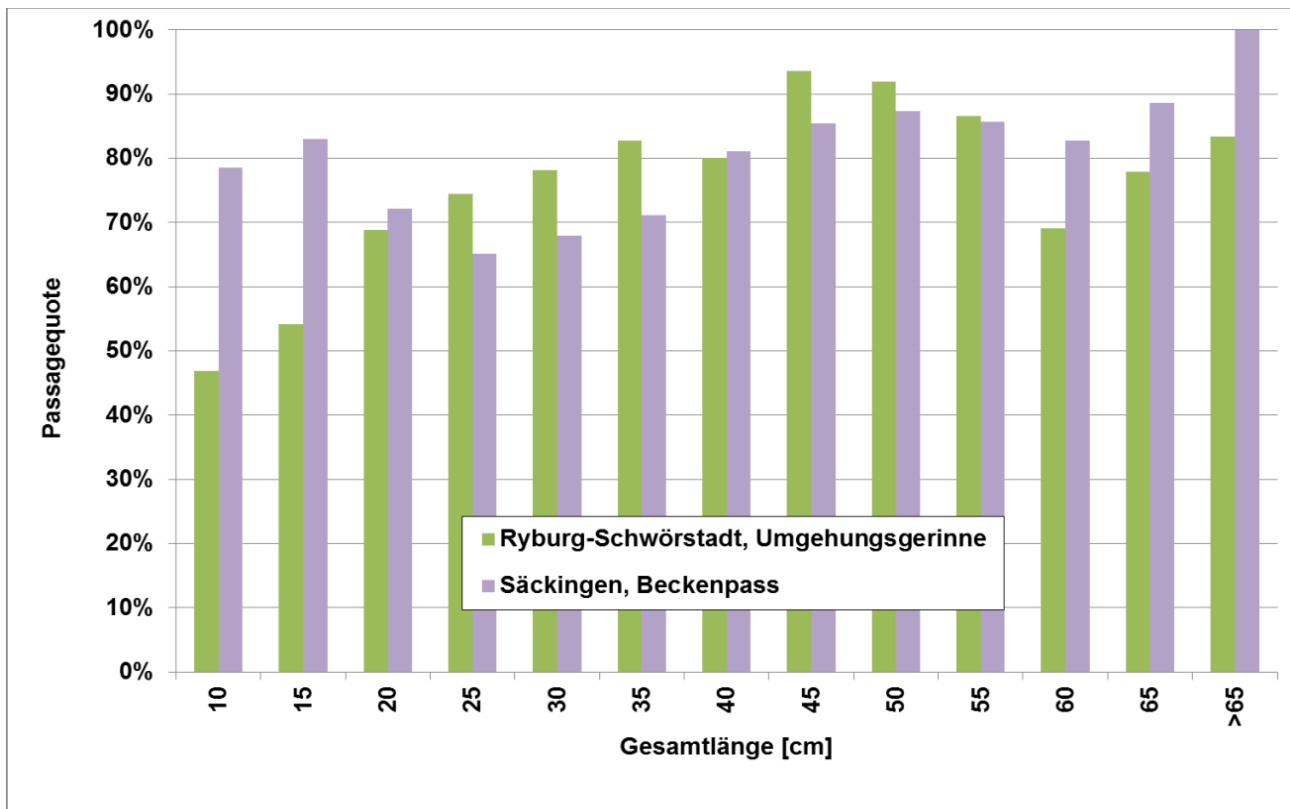


Abb. 115: Grössenspezifische Passagequoten der Fischaufstiegshilfen an den Staustufen Ryburg-Schwörstadt (n = 1.712) und Säckingen (n = 865)

6.7.1.4 Einfluss der Wassertemperatur

Während die Wassertemperatur einen starken Einfluss auf die Häufigkeit von Einschwimmereignissen und damit auf die Auffindequote entfaltet (Kap. 6.6.1.4), ist der Effekt auf die Passagequote weniger deutlich ausgeprägt: Bereits bei Wassertemperaturen unter 10 °C erreichten die Quoten teilweise mehr als 50 %. Einheitlich hohe Werte zwischen 70 und 80 % wurden dann im Temperaturbereich von 15 bis 24 °C ermittelt. Erst ab 25 °C sank die Passagequote wieder deutlich ab, um Werte von ca. 60 % zu erreichen (Abb. 116).

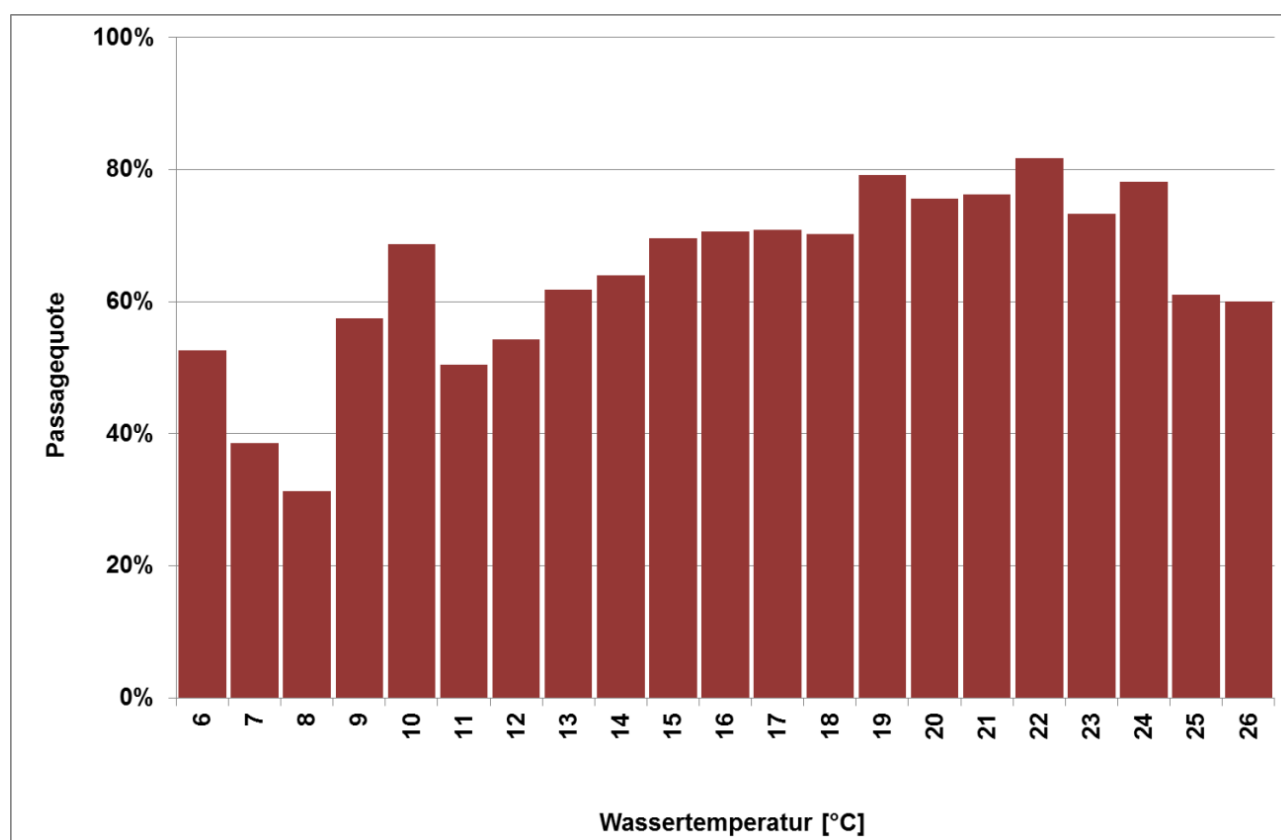


Abb. 116: Passagequote, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegshilfen an allen Staustufen, in Abhängigkeit von der Wassertemperatur (n = 9.046)

6.7.1.5 Einfluss des Abflusses

Unabhängig von der Wasserführung des Rheins wird der Oberwasserspiegel der Wehre weitgehend konstant gehalten (Kap. 5.1). Insofern nimmt der Abfluss kaum Einfluss auf die hydraulischen Bedingungen innerhalb der Fischaufstiegshilfen. Folglich zeigt sich auch keine Abhängigkeit der Passagequoten vom Rheinabfluss. Allenfalls bei hohen Rheinabflüssen scheint die Quote leicht anzusteigen (Abb. 117).

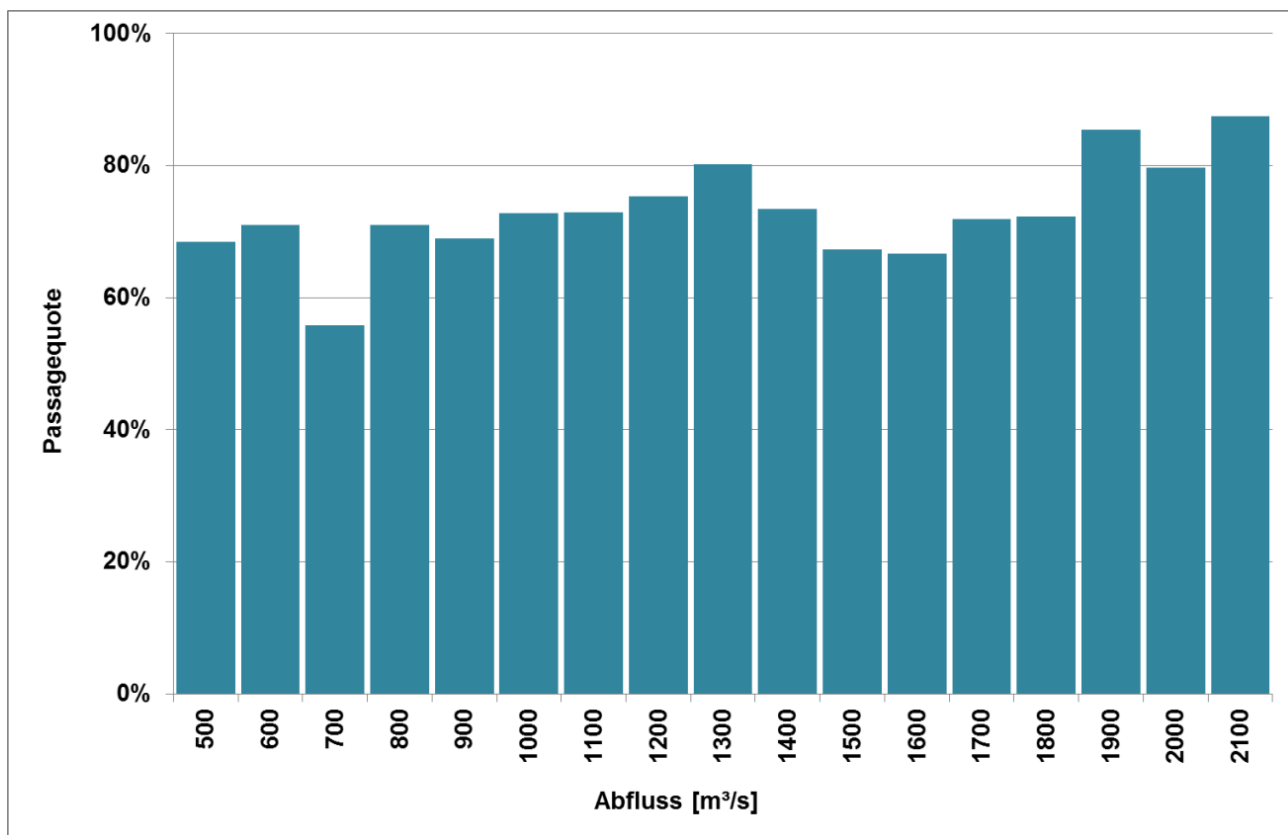


Abb. 117: Passagequote, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegshilfen an allen Staustufen, in Abhängigkeit vom Abfluss (n = 9.046)

6.7.2 Passagedauer

Der Zeit, die ein Fisch für die Überwindung einer Fischaufstiegshilfe benötigt, ist ein wichtiger Parameter zur Bewertung der Passierbarkeit. Dazu wurde für insgesamt 4.938 erfolgreiche Aufsteiger die Differenz zwischen dem Zeitpunkt der letztmaligen Detektion am Einstieg und der erstmaligen Detektion am Ausstieg berechnet.

Mit zunehmender Aufenthaltsdauer in den Fischaufstiegshilfen wurden erfolgreiche Passagen immer seltener. Anhand der HDX-Daten ist es jedoch nicht möglich zwischen

„Aufsteigern“ und „Residents“ zu unterscheiden, die eine Fischaufstiegshilfe über längere Zeit als Aufenthaltsort oder gar Lebensraum nutzten. Vermutlich jedoch ist eine solche Differenzierung ohnehin nicht möglich oder sinnvoll, da es sich lediglich um unterschiedlich motivierte Aufsteiger handelt, von denen einige extrem lange trödeln.

Im Gegensatz zur Auffindedauer muss bei der Passagedauer nicht zwischen Fischen unterschieden werden, die im Unterwasser derselben Staustufe oder weiter stromab besetzt wurden. Auch die Besatzflucht kann ausser Acht gelassen werden und weil fast die Hälfte der Passagen weniger als 2 Stunden dauerten, hat die circadiane Rhythmik allenfalls einen geringen Einfluss auf die relevanten Passagezeiten der motivierten Exemplare.

Die anhand der Detektionen ermittelten Passagezeiten der einzelnen Fischaufstiegshilfen sind zunächst nicht direkt miteinander vergleichbar, denn die HDX-Antennen waren z. T. aus sicherheitstechnischen Gründen mehr oder minder weit vom unmittelbaren Ein- und Ausstieg installiert. Aus diesem Grund wurden die ermittelten Passagezeiten anhand des in Tab. 41 angegebenen Umrechnungsfaktors auf die Gesamtlänge der jeweiligen Fischaufstiegshilfe extrapoliert.

Tab. 42: Gesamtlänge der Fischaufstiegshilfen sowie Distanz zwischen der untersten und der obersten HDX-Antenne

Fischaufstiegshilfe	Gesamtlänge	Distanz zwischen unterster und oberster Antenne	Umrechnungsfaktor
Schlitzpass Augst (CH)	87 m	50 m	1,74
Fischlift Wyhlen (D)	21 m	21 m	1,00
Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D)	140 m	110 m	1,27
Schlitzpass Rheinfelden (CH)	304 m	200 m	1,52
Umgebungsgewässer Rheinfelden (D)	1.030 m	690 m	1,49
Raugerinne-Beckenpass Rheinfelden (D)	242 m	180 m	1,34
Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D)	1.150 m	1.000 m	1,15
Beckenpass Säckingen (D)	130 m	60 m	2,17

6.7.2.1 Standortspezifische Passagedauer

Für die motivierten Exemplare wurden für die einzelnen Fischaufstiegshilfen sehr unterschiedliche Passagezeiten ermittelt, die zwischen knapp 1,5 und fast 8 Stunden schwankten (Tab. 42, Abb. 118). Hierbei lassen sich die einzelnen Anlagen anhand der Baulänge sehr deutlich in zwei Kohorten gruppieren:

- Die Passagezeiten der fünf beckenartigen Fischaufstiegshilfen mit vergleichsweise kurzer Trassenlänge bewegen sich zwischen knapp 1,5 und gut 2 Stunden. Die Unterschiede untereinander sind somit gering und korrelieren weitgehend mit der Baulänge:
 - Die kürzeste Passagezeit von 82 Minuten wurde für den Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) ermittelt (Rang 1).
 - Darauf folgen auf den Rängen 2 und 3 der Beckenpass Säckingen (D) und der Schlitzpass Augst (CH) mit jeweils ca. 100 Minuten.
 - In geringem Abstand belegt der Raugerinne-Beckenpass Rheinfelden (D) Rang 4.
 - Rang 5 entfällt auf den Schlitzpass Rheinfelden (CH) mit einer Passagezeit von 135 Minuten.
- Nicht verwunderlich ist, dass die beiden Fischaufstiegshilfen mit der mit Abstand grössten Baulänge auch durch deutlich längere Passagezeiten gekennzeichnet sind:
 - Für die Passage des mehr als 1 km langen Umgehungsgerinnes Ryburg-Schwörstadt (D) benötigten die motivierten Fische im Mittel knapp 4 Stunden (Rang 6). Hierbei erlaubte die Datenbasis nicht zu unterscheiden, ob der Raugerinne-Beckenpass oder der Schlitzpass als Einstieg genutzt wurde.
 - Die mit Abstand längste Passagezeit von fast 8 Stunden wurde für das Umgehungsgerinne Rheinfelden (D) ermittelt (Rang 7), obwohl es etwas kürzer ist als das Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D).

Aufgrund der geringen Anzahl von Passagen lässt sich mit dem Verfahren von STEINECK et al. (2020) für den Fischlift Wyhlen (D) keine Passagedauer berechnen.

Ein Vergleich dieser Befunde zur Passagedauer mit anderen Untersuchungen ist nicht möglich, denn in diesen werden allenfalls der Median oder die Spanne der registrierten Zeiträume angegeben.

Tab. 43: Passagedauer der einzelnen Fischaufstiegshilfen (n = 4.938)

Staustufe	Fischaufstiegshilfe	Passagedauer [min]	Rang
Augst-Wyhlen	Schlitzpass Augst (CH)	102,3	3
	Fischlift Wyhlen (D)	k. A.	
	Raugerinne-BP Wyhlen (D)	82,1	1
Rheinfelden	Schlitzpass (CH)	135,2	5
	Umgebungsgewässer (D)	466,2	7
	Raugerinne-Beckenpass (D)	113,7	4
Ryburg-Schwörstadt	Umgehungsgerinne (D)	213,9	6
Säckingen	Beckenpass (D)	98,0	2

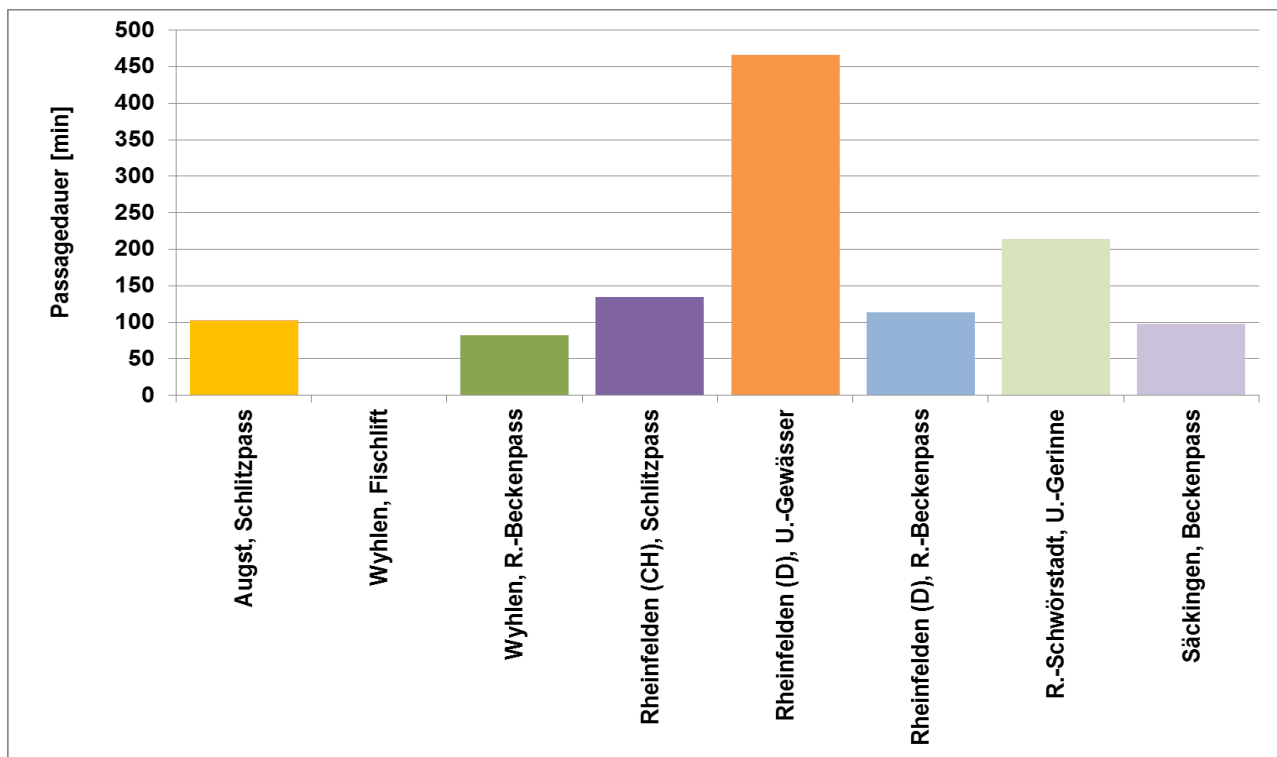


Abb. 118: Passagedauer der einzelnen Fischaufstiegshilfen (n = 4.938)

6.7.2.2 Artspezifische Unterschiede

In Tab. 43 und Abb. 119 sind die Passagezeiten für die verschiedenen Fischarten angegeben. Die artspezifischen Unterschiede waren dabei mit Werten zwischen ca. 60 und 100 Minuten eher gering. Dass die Passagezeiten bei Alet, Barbe und Hasel als Vertretern der rheophilen Gilde besonders kurz waren, ist plausibel. Allerdings steht ihnen das Rotauge als eurytope Art kaum nach. Ebenso wenig verwundert, dass der Brachsme als eher strömungsmeidende Art und der Kleinfisch Laube die meiste Zeit brauchten, um die Fischeaufstiegshilfen zu durchschwimmen.

Im Falle von Egli, Gründling, Nase und Schneider reichte die Datengrundlage nicht aus, um Gamma-Kurven für die artspezifische Passagedauer zu ermitteln.

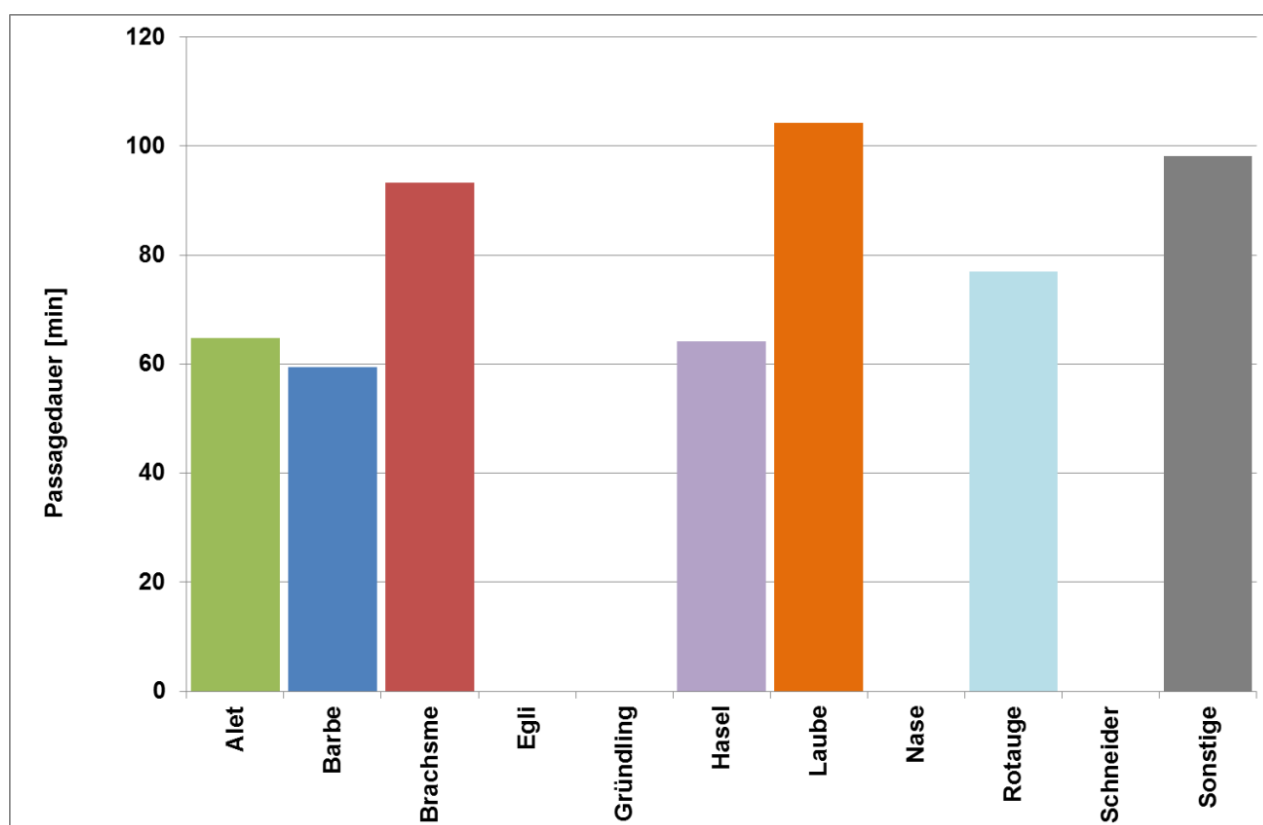


Abb. 119: Artspezifische Passagedauer, jeweils für die Gesamtheit der Fischeaufstiegshilfen an allen Staustufen (n = 4.938)

Tab. 44: Artspezifische Passagedauer, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegshilfen an allen Staustufen (n = 4.938)

Art	Passagedauer [min]
Alet	64,8
Barbe	59,5
Brachsme	93,3
Egli	k. A.
Gründling	k. A.
Hasel	64,1
Laube	104,3
Nase	k. A.
Rotaugen	76,9
Schneider	k. A.
Sonstige	98,2

6.7.2.3 Grössenspezifische Unterschiede

Die Leistungsfähigkeit von Fischen ist vor allem von ihrer Körpergrösse abhängig. In den grössenspezifischen Passagezeiten kommt diese Abhängigkeit deutlich zum Ausdruck (Tab. 45, Abb. 120), , denn die Passagedauer reduzierte sich mit der Grösse der Fische. Allerdings waren die Unterschiede nicht gravierend: Die kleinste Grössengruppe von 10 cm Länge brauchte nämlich nicht einmal die doppelte Zeit der schnellsten Exemplare von 50 cm Länge. Nahm die Körperlänge weiter zu, dann stieg die Passagedauer allerdings wieder an. Der Leistungsfähigkeit kann dies nicht geschuldet sein, sondern offensichtlich kommt hierin zum Ausdruck, dass grosse Exemplare zunehmend Probleme haben in Fischaufstiegshilfen begrenzter Dimensionen zu manövrieren. Der Anstieg der Passagedauer ist somit Ausdruck einer Selektivität der Fischpässe gegenüber grossen Exemplaren.

Tab. 45: Grössenspezifische Passagedauer, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegshilfen an allen Staustufen (n = 4.938)

Grössenklasse	Spanne	Passagedauer [min]
10 cm	7,5 - 12,4 cm	89,0
15 cm	12,5 - 17,4 cm	82,1
20 cm	17,5 - 22,4 cm	77,3
25 cm	22,5 - 27,4 cm	74,2
30 cm	27,5 - 32,4 cm	64,4
35 cm	32,5 - 37,4 cm	65,4
40 cm	37,5 - 42,4 cm	65,5
45 cm	42,5 - 47,4 cm	58,1
50 cm	47,5 - 52,4 cm	47,4
55 cm	52,5 - 57,4 cm	53,9
60 cm	57,5 - 62,4 cm	63,1
65 cm	62,5 - 117,0 cm	59,9

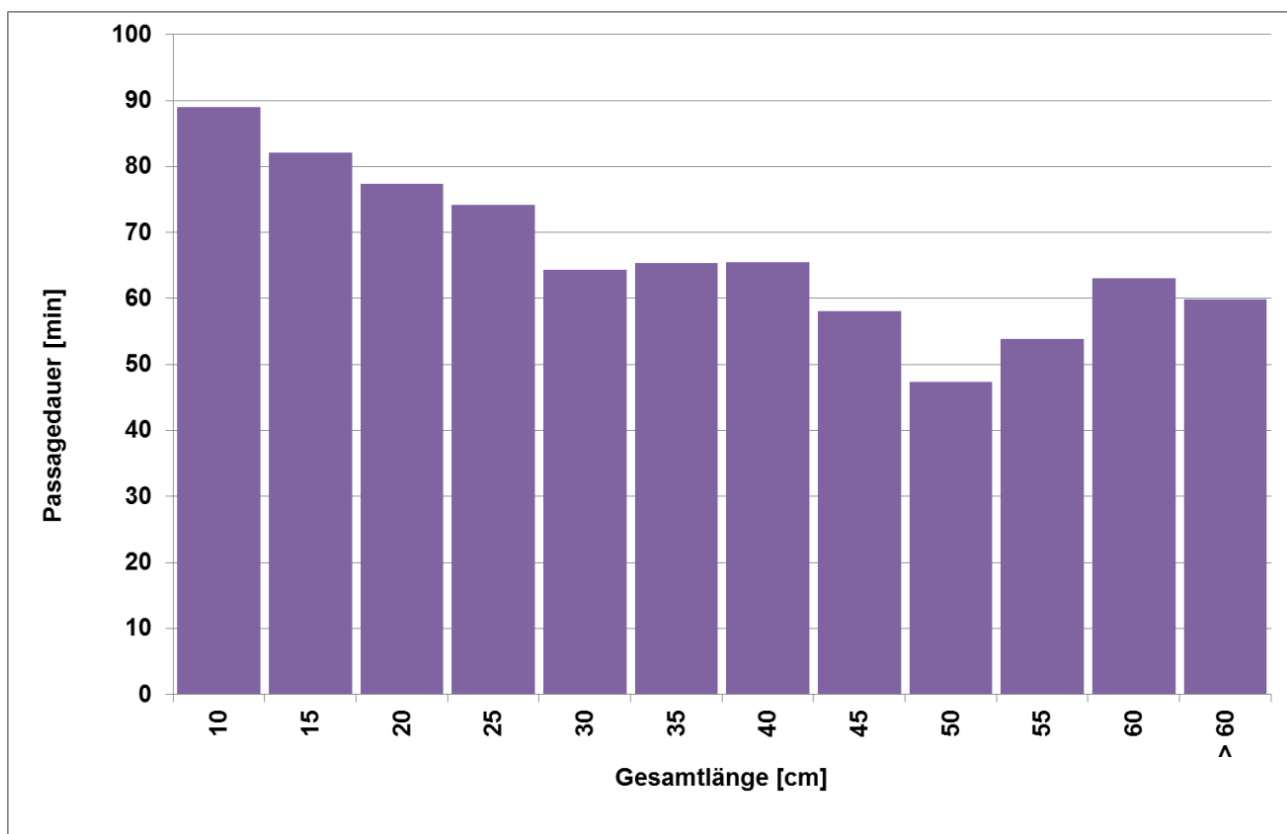


Abb. 120: Grössenspezifische Passagedauer, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegshilfen an allen Staustufen (n = 4.938)

6.7.2.4 Einfluss der Wassertemperatur

Die in Tab. 46 und Abb. 121 dargestellten Befunde verdeutlichen, dass niedrige Wassertemperaturen den Fischen erhebliche Probleme bereiten, eine Fischaufstiegshilfe im Allgemeinen und die untersuchten Fischaufstiegshilfen am Hochrhein im Speziellen zu passieren.

Während selbst die motivierten Exemplare bei Wassertemperaturen unter 14 °C im Mittel ca. 2 Stunden benötigten, um die Fischaufstiegshilfen zu durchschwimmen, verkürzte sich diese Zeit mit steigender Wassertemperatur beträchtlich, so dass sie sich bei 20 °C auf etwa 1 Stunde halbiert hatte. Bei noch höheren sommerlichen Temperaturen deutet sich wieder ein leichter Anstieg der Passagedauer an.

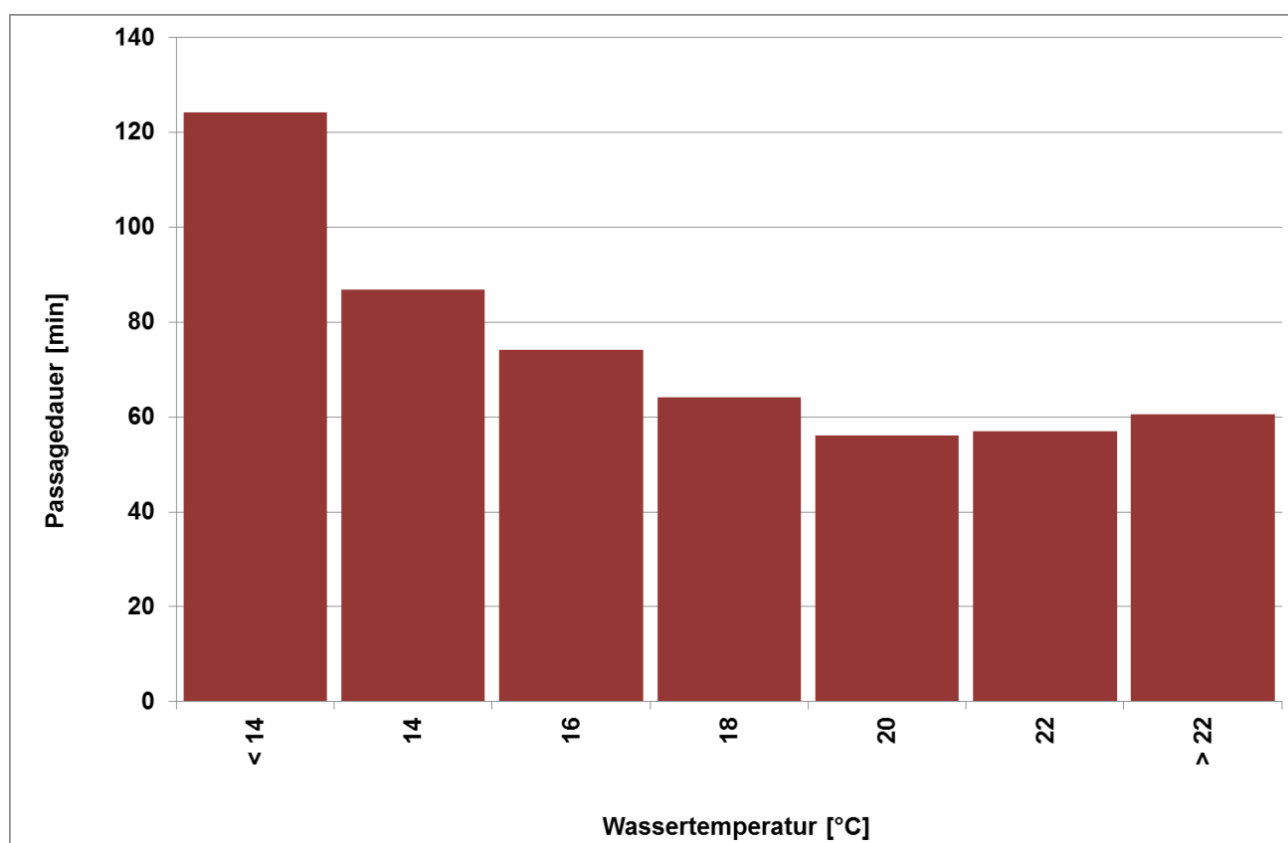


Abb. 121: Passagedauer, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegshilfen an allen Staustufen, in Abhängigkeit von der Wassertemperatur (n = 4.938)

Tab. 46: Passagedauer, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegshilfen an allen Staustufen, in Abhängigkeit von der Wassertemperatur

Temperaturklasse	Spanne	Passagedauer [min]
12 °C	5,1 - 12,9 °C	124,3
14 °C	13,0 - 14,9 °C	86,8
16 °C	15,0 - 16,9 °C	74,2
18 °C	17,0 - 18,9 °C	64,2
20 °C	19,0 - 20,9 °C	56,1
22 °C	21,0 - 22,9 °C	57,0
> 22 °C	23,0 - 25,9 °C	60,5

6.7.2.5 Einfluss des Abflusses

Der Oberwasserstand an den Staustufen des Hochrheins ist weitgehend unabhängig vom Abfluss annähernd konstant, weil er durch die Wehre reguliert wird. Insofern unterliegen auch die hydraulischen Bedingungen innerhalb der Fischaufstiegshilfen in der Regel nur geringen Schwankungen. Es wäre somit zu erwarten, dass der Abfluss des Hochrheins keinen nennenswerten Einfluss auf die Passagedauer entwickelt. Bestätigt wird dies durch die in Tab. 46 und Abb. 122 dargestellten Befunde, nach denen sich die Passagedauer bei den unterschiedlichen Abflüssen nur geringfügig voneinander unterscheidet. Es ist keine Tendenz erkennbar, dass die Zeiten mit zunehmendem Abfluss sinken oder steigen.

Tab. 47: Passagedauer, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegshilfen an allen Staustufen, in Abhängigkeit vom Abfluss des Hochrheins (n = 4.938)

Abflussklasse	Spanne	Passagedauer [min]
500 m ³ /s	367 - 549 m ³ /s	72,1
600 m ³ /s	550 - 649 m ³ /s	61,6
700 m ³ /s	650 - 749 m ³ /s	68,4
800 m ³ /s	750 - 849 m ³ /s	72,0
900 m ³ /s	850 - 949 m ³ /s	62,9
1.000 m ³ /s	950 - 1.049 m ³ /s	63,4
1.100 m ³ /s	1.050 - 1.149 m ³ /s	71,3
1.200 m ³ /s	1.150 - 1.249 m ³ /s	69,4
1.300 m ³ /s	1.250 - 1.349 m ³ /s	53,4
> 1.300 m ³ /s	1.350 - 2.828 m ³ /s	53,5

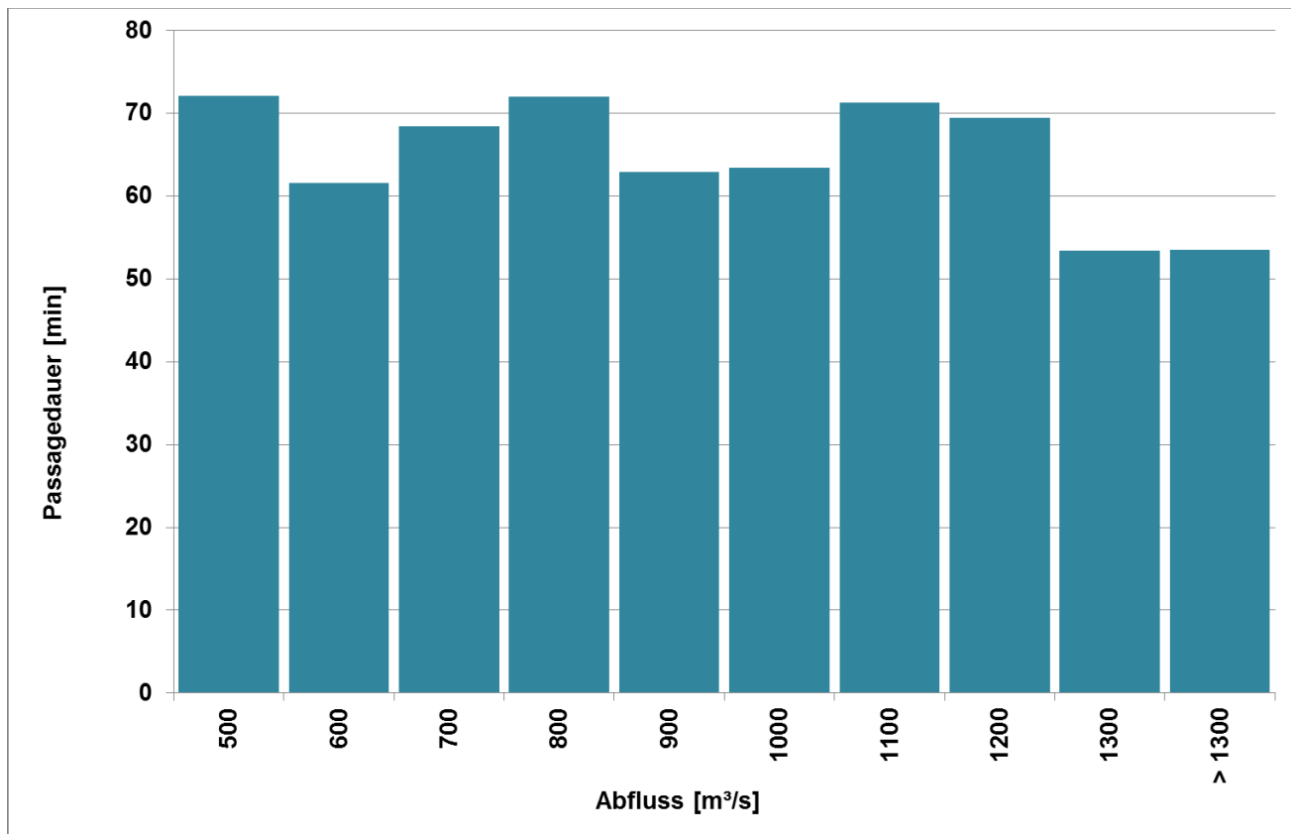


Abb. 122: Passagedauer, jeweils für die Gesamtheit der Fischaufstiegshilfen an allen Staustufen, in Abhängigkeit vom Abfluss des Hochrheins (n = 4.938)

6.7.3 Passagegeschwindigkeit

In Hinblick auf die Gesamtdurchgängigkeit eines Flusses ist, neben der Passagequote, zweifellos die absolute Passagezeit der wesentliche Parameter zur Bewertung der Passierbarkeit. Doch auch die Passagegeschwindigkeit ist von Bedeutung, denn sie ist ein Mass für den Kraftaufwand, den die Fische erbringen müssen, um das Oberwasser zu erreichen (Tab. 47, Abb. 123). Hierbei zeigt sich, dass die Fische im Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D) mit mehr als 300 m/h die mit Abstand höchste Schwimmgeschwindigkeit über Grund erreichten. Dies ist sicherlich der Konstruktionsweise dieser Fischaufstiegshilfe geschuldet, die sich nach der Vereinigung der beiden Einstiegstrassen, also auf ca. 80 % ihrer Länge, durch ein sehr geringes Gefälle und entsprechend niedrige Fliessgeschwindigkeiten auszeichnet. Mit derselben relativen Schwimmgeschwindigkeit gegen die Strömung legt der Fisch hier somit eine grössere Distanz zurück, als in allen anderen untersuchten Fischaufstiegshilfen, in denen meist eine Geschwindigkeit von nur 100 bis 150 m/h erreicht wurde. Im Beckenpass Säckingen (D) war sie nochmals deutlich geringer und im Schlitzpass Augst (CH) betrug sie gerade einmal 50 m/h.

Für den Fischlift Wyhlen (D) lässt sich einmal mehr aufgrund der minimalen Anzahl von Passagen kein Wert angeben.

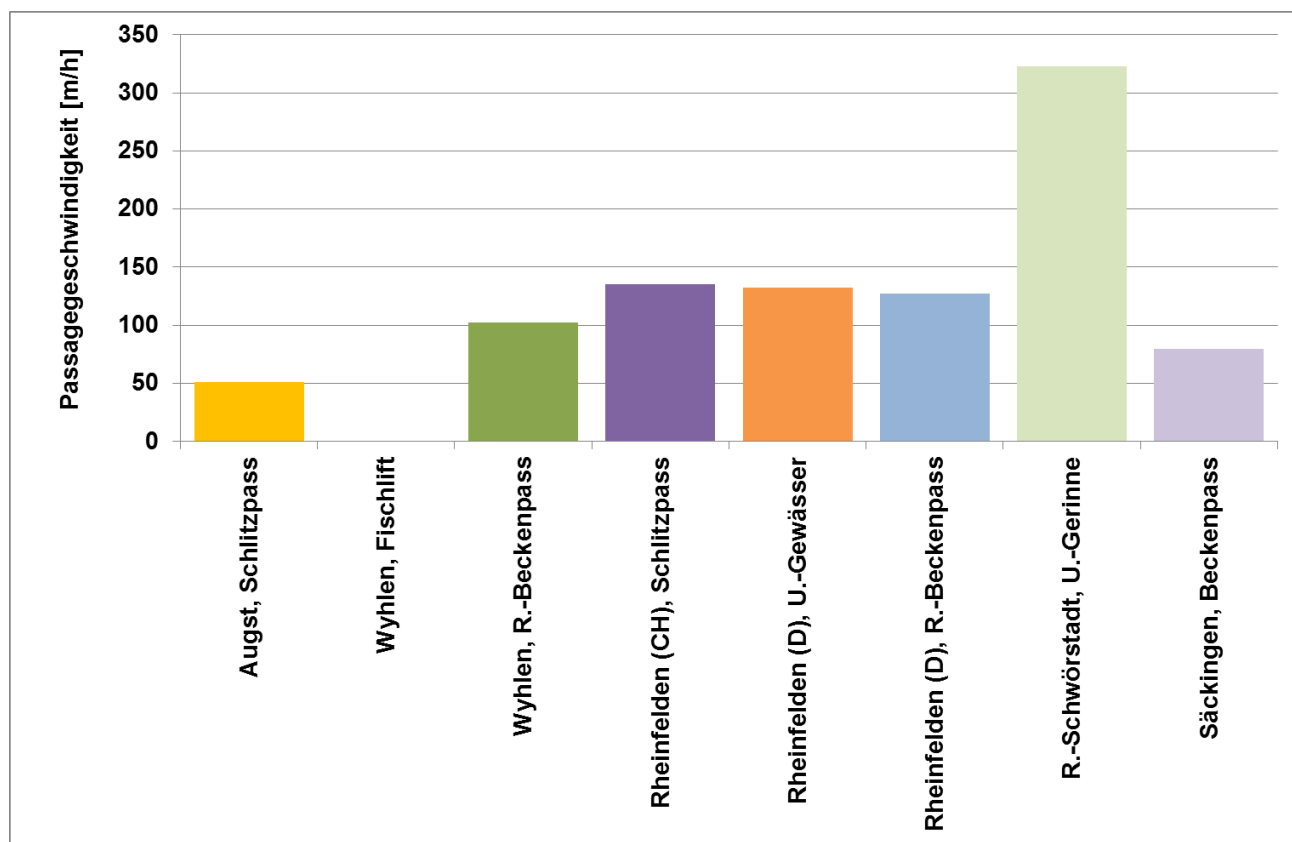


Abb. 123: Passagegeschwindigkeit in den untersuchten Fischaufstiegshilfen am Hochrhein (n = 4.938)

Tab. 48: Passagegeschwindigkeit in den untersuchten Fischaufstiegshilfen am Hochrhein (n = 4.938)

Staustufe	Fischaufstiegshilfe	Passagegeschwindigkeit [m/h]	Rang
Augst-Wyhlen	Schlitzpass Augst (CH)	51	7
	Fischlift Wyhlen (D)	k.A.	-
	Raugerinne-B. Wyhlen (D)	103	5
Rheinfelden	Schlitzpass (CH)	135	2
	Umgebungsgewässer (D)	132	3
	Raugerinne-Beckenpass (D)	127	4
Ryburg-Schwörstadt	Umgehungsgerinne (D)	323	1
Säckingen	Beckenpass (D)	80	6

Aufschlussreich ist schliesslich die vergleichende Betrachtung der Schwimmgeschwindigkeit über Grund im Verlauf derselben Fischeaufstiegshilfe. Um dies zu ermöglichen, wurden im Jahr 2019 der Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) und das Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D) mit 12 zusätzlichen HDX-Antennen ausgestattet. Allerdings war die Datenausbeute aufgrund des vergleichsweise kurzen Bearbeitungszeitraums mit der mittlerweile reduzierten Anzahl im Untersuchungsgebiet verbliebener Fische mit einem PIT-Tag begrenzt. Deshalb konnten die Passagegeschwindigkeiten nicht mit dem Verfahren von STEINECK et al. (2020) ermittelt werden, sondern es stand lediglich der Median als Mass zur Verfügung. Dennoch ergibt auch diese Auswertung interessante Befunde:

Zunächst fällt auf, dass sich die Passagegeschwindigkeiten in den einzelnen Abschnitten der beiden näher untersuchten Fischeaufstiegshilfen fast um den Faktor 10 unterschieden. Bemerkenswert hierbei ist, dass die beiden Extreme eng benachbart, an den beiden Einstiegen des Schlitzpasses Ryburg-Schwörstadt auftraten (Abb. 124, links). Dabei wurde der krafthausseitige Einstieg offensichtlich ohne Zögern angenommen, weshalb die Fische dort im Median eine Schwimmgeschwindigkeit über Grund von 450 m/h erreichten. Im wehrseitigen Einstieg hingegen betrug ihre Geschwindigkeit lediglich 76 m/h. Was die Tiere dort beunruhigte oder irritierte ist unklar. Einen potentiellen Störfaktor könnte die dort einmündende Zusatzdotation sein (Abb. 125). Allerdings beeinträchtigte die unmittelbar stromauf folgende, zweite Zusatzdotation (Abb. 126) die Schwimmgeschwindigkeit der Fische trotz der dort herrschenden Turbulenzen nicht, denn diesen Bereich passierten sie mit der zweithöchsten überhaupt gemessenen Geschwindigkeit von 342 m/h.

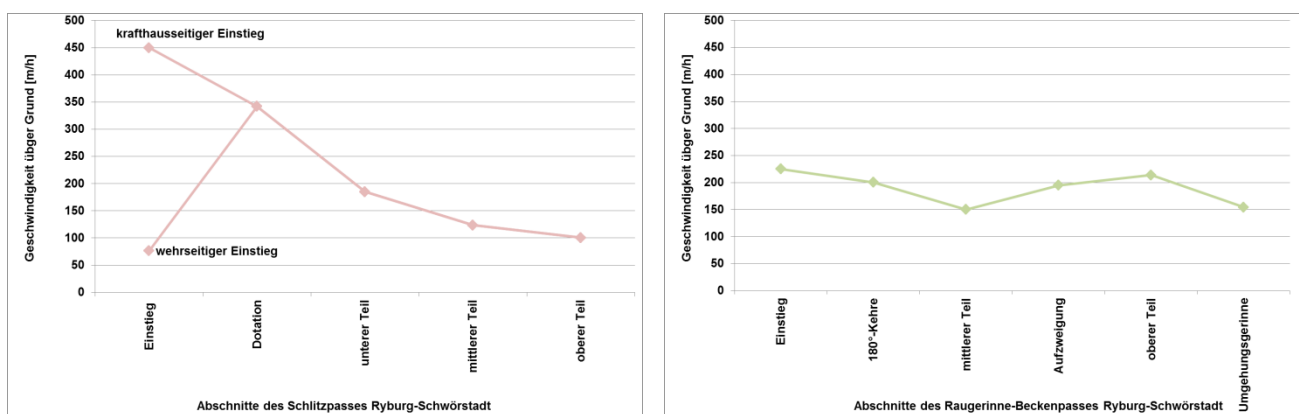
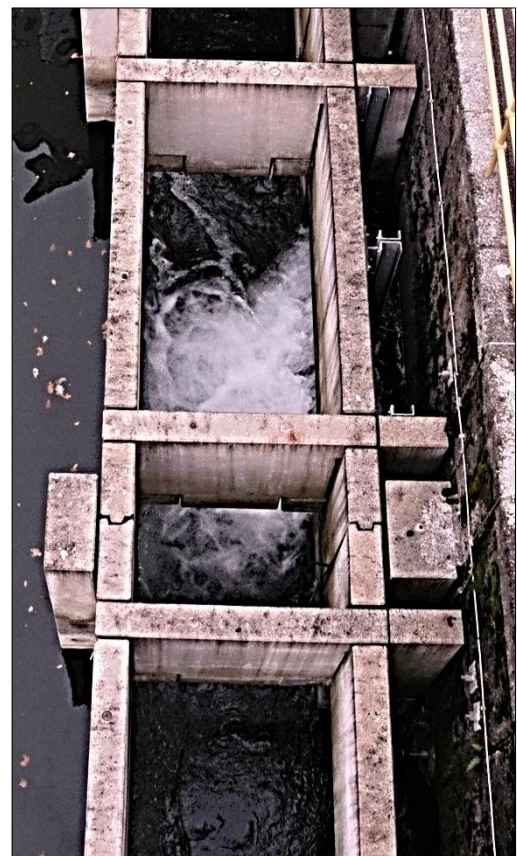


Abb. 124: Mittlere Schwimmgeschwindigkeit (Median) der Fische über Grund im Verlauf der Schlitzpasses- (links) und der Raugerinne-Beckenpass-Trasse (rechts) Ryburg-Schwörstadt (D)



Abb. 125: Blick in den gelenzten Kanal des wehrseitigen Einstiegs in den Schlitzpass stromauf von HDX-Antenne Nr. 168 mit einer mit einem Rechen (Pfeil) gegen ein Einschwimmen gesicherten Zusatzdotation (nicht in Betrieb)

Abb. 126:
Zweite Zusatzdotation im Schlitzpass stromauf der Verzweigung in den krafthausseitigen und den wehrseitigen Einstieg



Denkbar ist auch, dass die Überbauung und die damit einhergehende Verdunkelung des wehrseitigen Einstiegsbereiches den Aufstieg der Fische hemmte. Einerseits zeigen zwar potamodrome Arten kein Meideverhalten gegenüber dunklen Gewässerabschnitten (ENGLER & ADAM 2020) und im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden für die umhausten Fischaufstiegshilfen in Augst (CH) und Säckingen (D) unterdurchschnittlich kurze absolute Passagezeiten ermittelt. Andererseits waren genau dies aber auch diejenigen der beprobten Fischaufstiegshilfen mit den geringsten Schwimmgeschwindigkeiten über Grund.

Der Einstieg in den Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) zeichnete sich ebenfalls durch eine auffällig niedrige Schwimmgeschwindigkeit der Aufsteiger von nur 129 m/h aus und auch hier beschleunigten die Fische deutlich, sobald sie diesen Bereich passiert hatten (Abb. 127). Bei dieser Fischaufstiegshilfe mündet die Zusatzdotation bereits stromab der untersten HDX-Antenne ein, weshalb dies die Befunde nicht beeinflusst haben kann. Die einzige Besonderheit, die diesen Abschnitt des Raugerinne-Beckenpasses Wyhlen auszeichnet, ist ein Wechsel zwischen der Betonbauweise des unmittelbaren Einmündungsbereichs und der stromauf anschliessenden naturnahen Bauweise mit unregelmässigen Steinriegeln (Abb. 128).

Abb. 127:

Mittlere Schwimmgeschwindigkeit (Median)
der Fische über Grund im Verlauf des
Raugerinne-Beckenpasses Wyhlen (D)

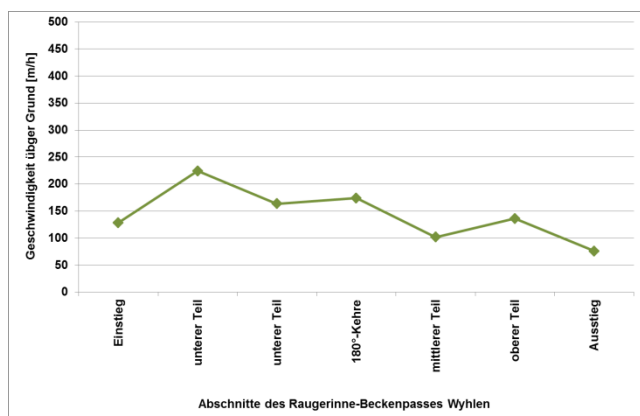




Abb. 128: Einstiegsbereich des Raugerinne-Beckenpasses Wyhlen (D) mit einem Wechsel der Bauweise von Beton- zu Natursteinriegeln

Demgegenüber lassen die Sonderstrukturen im Verlauf der beprobten Fischeaufstiegshilfen, also die 180°-Kehren in den Raugerinne-Beckenpässen Wyhlen (D) und Ryburg-Schwörstadt (D) sowie die Aufzweigung des Umgehungsgewässers Ryburg-Schwörstadt in die beiden Einstiegstrassen des Schlitzpasses und des Raugerinne-Beckenpasses keinen Einfluss auf die Schwimmgeschwindigkeit der aufwandernden Fische erkennen (Abb. 124 und Abb. 127).

Auffällig ist jedoch, dass sich die Schwimmgeschwindigkeiten der Fische im Verlauf der verschiedenen Aufstiegshilfen verlangsamt. Besonders deutlich ist dieser Effekt im Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) und im Schlitzpass Ryburg-Schwörstadt (D), in deren Verlauf sich die Schwimmgeschwindigkeit um zwei Drittel bzw. sogar drei Viertel reduziert (Abb. 124 und Abb. 127). Möglicherweise kommt hierin eine der Länge des überwundenen Schwimmweges geschuldete, zunehmende Ermüdung der Fische zum Ausdruck, die aufgrund des Aufbaus Ihrer Muskulatur physiologische Höchstleistungen nur über kurze Zeit erbringen und nicht beliebig wiederholen können (BONE & MARSHALL 1985).

Die hier vorgelegten Befunde basieren auf einer dichten Abfolge nacheinander angeordneter HDX-Antennen im Verlauf von Fischaufstiegshilfen. Dies ist ein zielführender methodischer Ansatz, denn bei der Schwimmgeschwindigkeit handelt es sich um einen geeigneten Parameter, um „Knack- und Dollpunkte“, d. h. Problemzonen im Verlauf einer Fischaufstiegshilfe zu identifizieren. Ebenso deutlich wird aber auch, dass die erhobenen Befunde nur eingeschränkt interpretierbar sind, solange sie nicht durch hydraulische Daten, beispielsweise auf der Basis von hydraulischen Messungen oder hydrodynamisch-numerischen Modelluntersuchungen ergänzt werden. Erst dann wäre es auch möglich, aus der Analyse räumlich differenzierter Schwimmgeschwindigkeiten im Fliessweg einer Fischaufstiegshilfe verlässliche Rückschlüsse auf die konstruktiven und hydraulischen Merkmale zu ziehen, die den Fischaufstieg unterstützen, hindern oder hemmen.

6.7.4 Abbruch von Aufstiegsversuchen

Die beprobten Fischaufstiegshilfen wurden wenn immer technisch machbar, mit einem Rudel aus jeweils zwei aufeinander folgenden HDX-Antennen am Ein- und Ausstieg ausgestattet. Dieser Versuchsaufbau erlaubte es, erfolgreiche Passagen nachzuweisen, ebenso wie erfolglose, abgebrochene Passageversuche. Unbeantwortet blieb zunächst jedoch die Frage, wo im Verlauf der Fischaufstiegshilfen ggf. ein Aufstiegsversuch abgebrochen wurde. Entsprechend war es auch nicht möglich, bestimmte geometrische oder hydraulische Bedingungen im Verlauf einer Fischaufstiegshilfe zu identifizieren, die für das Scheitern verantwortlich gemacht werden können.

Auch dieser Frage konnte mit Hilfe der im Jahr 2019 im Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) und im Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D) zusätzlich installierten 12 HDX-Antennen nachgegangen werden. Insgesamt wurde auf diese Weise für 125 Fische dokumentiert, wo der Abbruch eines Aufstiegsversuchs stattfand. In Tab. 48 ist aufgeführt, an welcher Antennenposition und in welcher Entfernung vom Einstieg eine letztmalige Detektion erfolgte und die Anzahl sowie der daraus errechnete kumulierte Anteil der Abbrecher. Eine graphische Darstellung der Ergebnisse zeigt Abb. 129.

Diese Auswertung macht deutlich, dass der Abbruch von Aufstiegsversuchen fast immer im unmittelbaren Einstiegsbereich erfolgte. Hatte ein Fisch erst einmal die ersten Meter der Fischaufstiegshilfe passiert, war die Wahrscheinlichkeit sehr gering, dass er seinen Aufstiegsversuch weiter stromauf doch noch abbrach. Unmittelbar nachvollziehbar ist dies

im Falle besonders kleiner, leistungsschwacher Exemplare: In den beprobten Fischaufstiegshilfen herrscht an jedem Durchlass bzw. Schlitz annähernd dieselbe Fließgeschwindigkeit. Wenn diese die Leistungsfähigkeit des Fisches überschreitet, scheitert er folglich bereits am ersten Durchlass. Allerdings waren die registrierten Abbrecher mit einer mittleren Gesamtlänge von 42 cm überdurchschnittlich gross. Insofern kann eine mangelnde Leistungsfähigkeit bei der Mehrzahl dieser Fische nicht die Ursache für den Abbruch des Aufstiegsversuchs sein. Vielmehr ist anzunehmen, dass sie nicht bereit waren, sich dem hydraulischen Stress und den beengten räumlichen Verhältnissen innerhalb einer Fischaufstiegshilfe auszusetzen.

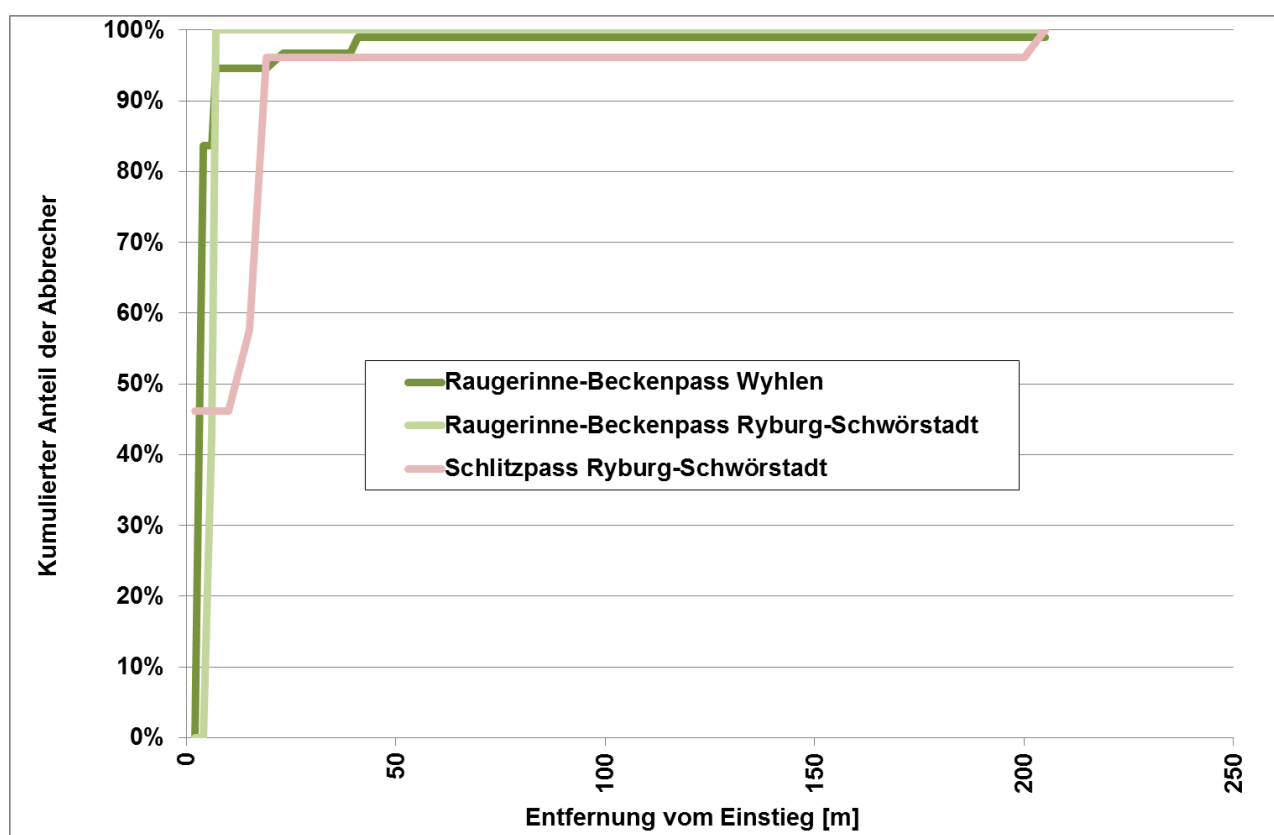


Abb. 129: Kumulierter Anteil der Abbrecher im Verlauf der Fischaufstiegshilfen in Wyhlen und Ryburg-Schwörstadt (n = 125)

Tab. 49: Ort der letztmaligen Detektion von Abbrechern und ihr kumulativer Anteil im Verlauf des Raugerinne-Beckenpasses in Wyhlen (D) und im Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D)

Antenne Nr.	Entfernung vom Einstieg	Anzahl Abbrecher	kumulierter Anteil
Raugerinne-Beckenpass Wyhlen			
121	4 m	77	84%
122	7 m	10	95%
123	21 m	1	96%
124	23 m	1	97%
125	39 m	0	97%
126	41 m	3	100%
Summe		92	
Raugerinne-Beckenpass Ryburg-Schwörstadt			
161	6 m	3	43%
162	10 m	4	100%
163	158 m	0	100%
164	166 m	0	100%
165	192 m	0	100%
166	200 m	0	100%
Summe		7	
Schlitzpass Ryburg-Schwörstadt			
167 + 168	2	12	46%
169	15	3	58%
170	19	10	96%
171	161	0	96%
172	165	0	96%
165	205	1	100%
Summe		26	

6.8 EFFIZIENZ

Letztlich entscheidend für die Funktion einer Fischaufstiegshilfe ist vor allem deren Effizienz, also der Anteil der im Unterwasser präsenten Fische denen es gelingt, das Oberwasser zu erreichen. Hierzu müssen die Tiere die Anlagen auffinden und auf gesamter Länge passieren können. Entsprechend errechnet sich die Effizienz durch Multiplikation der Auffindequote (Kap. 6.6.1.1) mit der Passagequote (Kap. 6.7.1.1). Ausgangsdaten und Ergebnisse dieser Berechnung enthält Tab. 49, die graphische Darstellung der Effizienz folgt in Abb. 130.

Tab. 50: Auffinde- und Passagequote der einzelnen Fischaufstiegshilfen und die daraus errechnete Effizienz und Rangfolge

Fischaufstiegshilfe	Auffindequote	Passagequote	Effizienz	Rang
Schlitzpass Augst (CH)	16,0 %	89,2 %	14,3%	4
Fischlift Wyhlen (D)	4,0 %	2,3 %	0,1%	8
Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D)	15,9 %	57,0 %	9,1%	5
Schlitzpass Rheinfelden (CH)	26,7 %	83,9 %	22,4%	2
Umgehungsgewässer Rheinfelden (D)	4,3 %	89,2 %	6,9%	6
Raugerinne-Beckenpass Rheinfelden (D)	4,9 %	52,0 %	2,5%	7
Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D)	48,3 %	62,4 %	30,1%	1
Beckenpass Säckingen (D)	20,3 %	79,8 %	14,5%	3

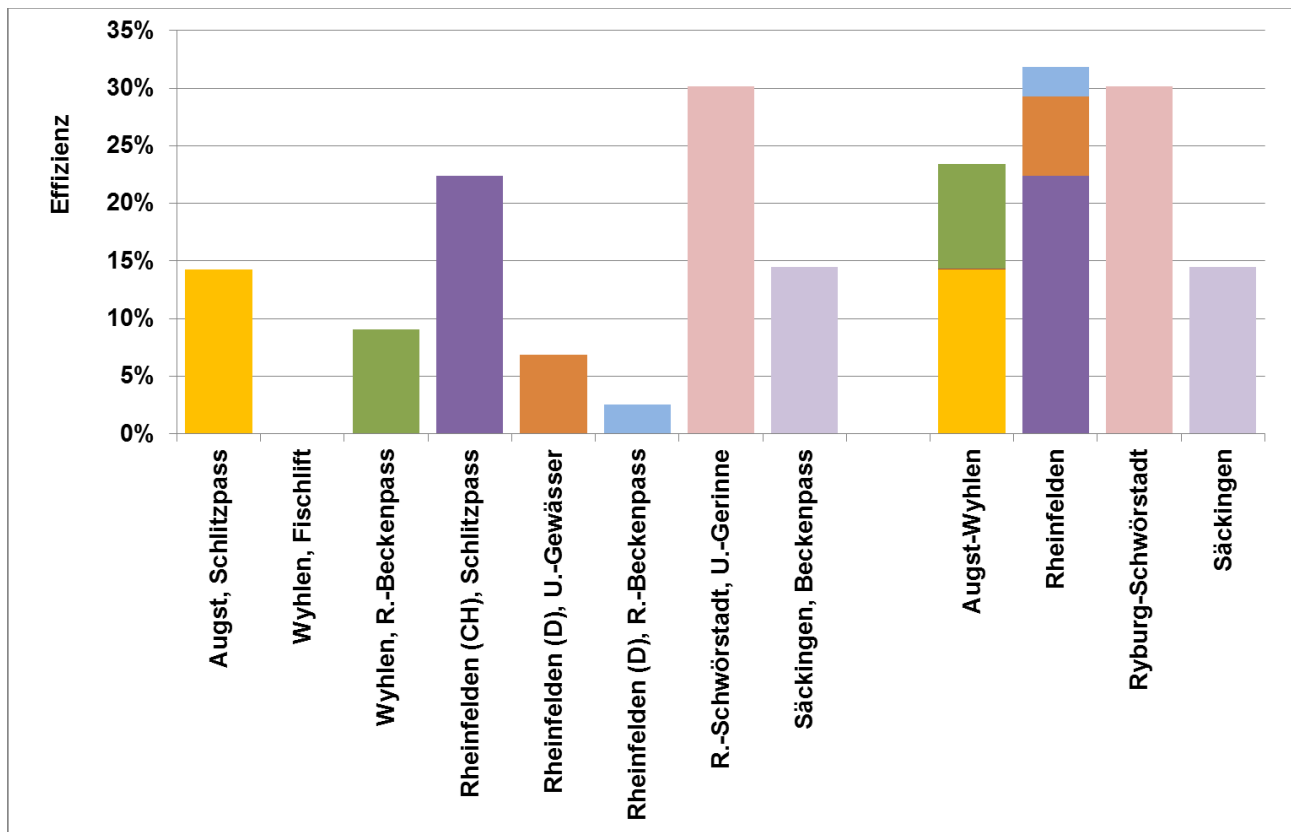


Abb. 130: Effizienz der einzelnen Fischaufstiegshilfen sowie Gesamtergebnis für die einzelnen Staustufen des Hochrheins

Die eindeutig beste Effizienz von 30 % und damit Rang 1 erreichte das Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D) mit mehreren, verschieden konstruierten und positionierten Einstiegsmöglichkeiten. Wenngleich eine Differenzierung zwischen den einzelnen Einstiegen auf der Basis des realisierten Antennen-Setups nur zeit- und teilweise möglich war, tragen zweifellos alle vier Einstiege zu dieser vergleichsweise sehr guten Quote bei. Immerhin 22 % Effizienz erreichte der Schlitzpass Rheinfelden (CH), obwohl er nur über einen einzigen, aber optimal positionierten Einstieg verfügt. Rang 3 entfällt mit 14 % auf den Beckenpass Säcking (D), die älteste der untersuchten Fischaufstiegshilfen. Nur unwesentlich geringer ist die Effizienz auch im Falle des Schlitzpasses Augst (CH) (Rang 4), was insbesondere dessen besonders guter Passagequote geschuldet ist.

Die Effizienz der übrigen Fischaufstiegshilfen beträgt weniger als 10 %. Im Falle des Raugerinne-Beckenpasses Wyhlen (D) sind es immerhin noch 9 % (Rang 5), während das Umgebungsgewässer Rheinfelden (CH) lediglich 7 % erreicht, obwohl den Fischen dort zwei verschiedene Einstiege angeboten werden. Bei dem Raugerinne-Beckenpass

Rheinfelden (D) sind es nur 3 % (Rang 7). Der Fischlift Wyhlen (D) schliesslich ist mit einer Effizienz von 0,1 % faktisch als funktionsuntüchtig zu beurteilen.

Im Falle der Staustufen Augst-Wyhlen und Rheinfelden summiert sich die Effizienz der Fischaufstiegshilfen beider Ufer. Hierdurch erreichen in Rheinfelden der Schlitzpass (CH) zusammen mit dem Umgebungsgewässer (D) und dem Raugerinne-Beckenpass eine etwas höhere Gesamteffizienz als das Umgehungsgerinne in Ryburg-Schwörstadt (D). An der Staustufe Augst-Wyhlen summiert sich die Effizienz der dortigen drei Fischaufstiegshilfen immerhin auf ca. 23 %.

Grundsätzlich ist es für Fische somit durchaus leistbar, die Staustufen im Untersuchungsgebiet stromauf zu passieren. Setzt man die o. a. Prozentzahlen allerdings in Relation zu der u. a. von DUMONT et al. (2005), LUWG (2008) und HENNEBERG (2011) für Durchgängigkeitsmodelle postulierten Erwartungen, dass regelkonform errichtete Fischaufstiegshilfen von etwa 95 % der aufwanderwilligen Fische aufgefunden und passiert werden können, dann ist das Ergebnis ernüchternd - selbst wenn man annimmt, dass nur ein Teil der als Aufstiegspotential anstehenden Fische tatsächlich motiviert ist, grossräumige Wanderungen nach stromaufwärts zu unternehmen.

Vergleicht man die Effizienz der beprobten Fischaufstiegshilfen am Hochrhein mit Fischpässen an anderen Standorten (Tab. 50), dann sortieren sich die Werte annähernd gleichmässig in das Spektrum der Befunde durchgeführter Untersuchungen ein. Spitzenwerte wie diejenigen von DODD et al. (2017) für eine englische Fischrampe, von ADAM et al. (2018) für Fischaufstiegshilfen an der Wupper und von TETARD et al. (2015), die für den Schlitzpass Gambsheim am Oberrhein 48 % ermittelten, werden am Hochrhein allerdings nicht erreicht.

Immerhin sind die Werte des Schlitzpasses Rheinfelden (CH) und des Umgehungsgerinnes Ryburg-Schwörstadt (D) etwa halb so hoch und übertreffen damit deutlich die von PITSCH & MOCKENHAUPT (2015) für den Schlitzpass Koblenz an der Mosel ermittelte Effizienz von 13 %. Zudem ist zu bedenken, dass eine Effizienz über 20 % in den Vergleichsuntersuchungen fast ausnahmslos für relativ kleine Gewässer mit einem Abfluss von wenigen Kubikmetern pro Sekunde ermittelt wurde: Die Auffindbarkeit ist dort in der Regel deutlich besser als in grossen Flüssen, was auch auf die Effizienz durchschlägt. Für eine abschliessende Bewertung der am Hochrhein ermittelten Effizienzzraten wären weitere Vergleichswerte aus ähnlich grossen Gewässern wünschenswert. Die von TETARD et al.

(2015) für den Schlitzpass Gambsheim ermittelte Effizienz von 48 % dürfte nur eingeschränkt vergleichbar sein, da dort die Probanden in geringer Entfernung vom Einstieg besetzt wurden, was die Auffindequote zweifellos positiv beeinflusst hat.

Tab. 51: Vergleich der Effizienz mit anderen Fischaufstiegshilfen (PIT-Tagging Hochrhein: blau hinterlegt)

Quote	Rahmenbedingungen	Autoren
0 %	Schlitzpass (CH), transpondierte Elritzen	BAIER 2016
0 %	Denilpass im River Derwent (GB), transpondierte Flussneunaugen	FOULDS & LUCAS 2013
0,1 %	Fischlift Wyhlen (D)	
2 %	Beckenpass im River Derwent (GB), transpondierte Flussneunaugen	FOULDS & LUCAS 2013
2,5 %	Raugerinne-Beckenpass Rheinfelden (CH)	
6,9 %	Umgebungsgewässer Rheinfelden (D)	
9 %	Schlitzpass (CH), transpondierte Bachforelle	BAIER 2016
9,1 %	Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D)	
13 %	Schlitzpass Koblenz an der Mosel (D), diverse transpondierte Arten	PITSCH & MOCKENHAUPT 2015
14,3 %	Schlitzpass Augst (CH)	
14,5 %	Beckenpass Säckingen (D)	
20 %	Fischrampe (S), diverse Arten	CALLES & GREENBERG 2007
21 %	Schlitzpass in einem Zufluss der Maas (B), transpondierte Bachforellen, Äschen und Barben	OVIDIO et al. 2017
22,4 %	Schlitzpass Rheinfelden (CH)	
27 %	Fischrampe (S), transpondierte Meerforellen	AARESTRUP et al. 2003
28 %	Schlitzpass (F), diverse transpondierte Arten	BENITEZ et al. 2018
30,1 %	Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D)	
32 %	Schlitzpass Auer Kotten in der Wupper (D), diverse transpondierte Arten	ADAM et al. 2018
34 %	Fischrampe (GB), transpondierte Bachforellen	DODD et al. 2017
39 %	Raugerinne-Beckenpass Auer Kotten in der Wupper (D), diverse transpondierte Arten	ADAM et al. 2018
48 %	Schlitzpass Gambsheim am Oberrhein (F), diverse transpondierte Arten	TETARD et al. 2013

6.9 FUNKTIONSBEWERTUNG DER FISCHAUFSTIEGSHILFEN

Als Grundlage für eine zusammenfassende Funktionsbewertung der untersuchten Fischaufstiegshilfen wurden in Kap. 6.6 bis Kap. 6.8 die einzelnen Parameter zur Beurteilung der Kriterien Auffindbarkeit und Passierbarkeit sowie die Effizienz quantifiziert. Hierbei offenbarten sich bei jeder der betrachteten Fischaufstiegshilfen mehr oder weniger deutliche Stärken und Schwächen.

Zur Aufstellung einer Rangfolge der untersuchten Fischpässe in Hinblick auf ihre fisch-ökologische Wirksamkeit wurde zunächst für jeden quantifizierten Parameter der Bestwert ermittelt, also die höchste Quote, die grösste Geschwindigkeit oder die geringste Zeit, die an einem der Standorte berechnet wurde. Dieser Bestwert wurde in Tab. 51 mit 100 % gleichgesetzt. Für die übrigen Fischaufstiegshilfen ist jeweils die prozentuale Abweichung des jeweiligen Parameters von diesem Bestwert angegeben. Aus dem Mittelwert dieser Abweichungen wurde schliesslich die Rangfolge der einzelnen Fischaufstiegshilfen abgeleitet, die sich anhand der jeweiligen konstruktiven und hydraulischen Merkmale plausibel nachvollziehen lässt.

Rang 1: Mit grossem Abstand entfällt die beste Bewertung auf das Umgehungsgerinne in Ryburg-Schwörstadt (D). Entscheidend hierfür ist die beste aller Auffindequoten, was darauf zurückzuführen ist, dass die Anlage über vier Einstiege verfügt, von denen drei im Bereich der Hauptströmung positioniert sind. Der Bestwert bezüglich der Auffindequote schlägt auch auf die Effizienz durch. Den dritten Bestwert erhält diese Fischaufstiegshilfe für die Passagegeschwindigkeit, die mehr als doppelt so hoch ist, wie an allen anderen Standorten. Vergleichsweise schlecht ist nur die Passagedauer, was sich aus der Baulänge des Umgehungsgerinnes von mehr als einem Kilometer ergibt.

Rang 2: Für den Schlitzpasses Rheinfelden (CH) zeigt sich ein sehr ausgewogenes Bild. Er erreicht zwar bei keinem einzigen Parameter den Bestwert. Allerdings belegt er viermal den zweiten Platz und zeigt bei keinem Parameter deutliche Schwächen. Hier ist zwar nur ein einziger Einstieg vorhanden, doch weicht dessen Positionierung aufgrund seiner gewendelten Trassierung nur geringfügig vom Optimum ab, so dass sowohl die Auffindequote, als auch die Passagequote vergleichsweise gut sind und mithin ebenso die Effizienz.

Rang 3: Kaum schlechter zu bewerten ist der Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D). Bei dieser Fischaufstiegshilfe stehen Bestwerten für die Auffinde- und Passagedauer relativ schlechte Werte bezüglich der Auffinde- und Passagequote und folglich auch der Effizienz gegenüber.

Rang 4: Der Beckenpass in Säkingen (D) ist nicht nur die älteste der im Untersuchungsgebiet untersuchten Fischaufstiegshilfen, sondern er entspricht auch einem Konstruktionstyp, der in den letzten Jahrzehnten in Mitteleuropa fast vollständig vom Schlitzpass verdrängt wurde. Dennoch erreicht er vergleichsweise gute Werte hinsichtlich der Passagequote und -dauer. Bezüglich der Auffindbarkeit weist er deutliche Schwächen auf, zumal nur ein einziger, weit ins Unterwasser vorgebauter Einstieg vorhanden ist. Allerdings drückt sich dies weniger in der Auffindequote, als vielmehr in einer überdurchschnittlich grossen Auffindedauer aus.

Rang 5: Kaum schlechter fällt die Bewertung des Schlitzpasses Augst (CH) aus. Dem Bestwert bezüglich der Passagequote steht allerdings eine relativ geringe Auffindequote gegenüber, die wohl vor allem der orthogonal zur Turbinenströmung austretenden Leitströmung geschuldet ist, die nicht durch eine Zusatzdotierung verstärkt wird und deshalb einen vergleichsweise geringen Abfluss aufweist. Hieraus resultiert insgesamt eine mässige Effizienz. Negativ zu Buche schlägt auch die geringste aller ermittelten Passagegeschwindigkeiten.

Rang 6: Der Raugerinne-Beckenpass (D) auf der Wehrseite in Rheinfelden ist ungünstig positioniert und zudem nur mit einem geringen Abfluss dotiert. Entsprechend niedrig ist die Auffindequote. Auch die Passagequote ist schlecht, woraus eine minimale Effizienz resultiert. Eine überdurchschnittlich gute Bewertung erreicht lediglich die vergleichsweise kurze Passagedauer.

Rang 7: Obwohl für das grosszügig angelegte und grossdimensionierte Umgehungsgewässer Rheinfelden (D) die höchste Passagequote aller beprobten Fischaufstiegshilfen festgestellt wurde, erreicht es doch nur den 7. Rang. Dies ist den sehr schlechten Werten für die Auffindbarkeit geschuldet. Hierin kommt zum Ausdruck, dass die beiden Einstiege fernab der Hauptströmung positioniert sind. Die Anlage ist zudem nahezu 2 km ins Unterwasser vorgebaut und befindet sich an der dem Kraftwerk gegenüber liegenden Uferseite.

Rang 8: Die mit Abstand schlechteste Bewertung entfällt auf den Fischlift Wyhlen (D). Dessen Auffindequote ist minimal, ebenso wie die Passagequote. Die Effizienz ist folglich

so gering, dass sie sich nur in Prozentbruchteilen ausdrücken lässt. Einzig die Auffindedauer der wenigen Fische, die diese Anlage erreicht haben, fällt in den mittleren Wertebereich. Die Passagedauer und -geschwindigkeit konnte aufgrund der minimalen Anzahl erfolgreicher Aufsteiger nicht berechnet werden.

Insgesamt zeigt sich, dass als „technische Fischaufstiegshilfen“ bezeichnete Konstruktionsweisen sogenannten „naturnahen“ nicht per se überlegen sind oder umgekehrt. Vielmehr ergeben sich die Wirksamkeit und damit die Qualität einer Fischaufstiegshilfe aus ihrer Lage in Relation zum Wanderweg der Fische, ihrer Geometrie und den in ihr herrschenden hydraulischen Bedingungen jeweils in Hinblick auf das im Unterwasser präsente Arten- und Grössenspektrum. Offensichtlich finden aufwandernde Fische die besten Bedingungen im Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D), das eine Kombination aus technischen und naturnahen Konstruktionselemente aufweist. Ansonsten sind die Schlitzpässe Rheinfelden (CH) und Augst (CH) sowie der Beckenpass Säckingen (D) als „technische“ Bauwerke ähnlich zu bewerten, wie der „naturnahe“ Raugerinne-Beckenpass in Wyhlen (D). Die schlechte Bewertung des Raugerinne-Beckenpasses und des Umgebungsgewässer Rheinfelden (D) resultiert allein aus ihrer falschen Lage fernab der Hauptströmung, was auch durch deren „naturnahe“ Bauweise in keiner Weise kompensiert werden kann. Dass der Fischlift Wyhlen (D) am schlechtesten abscheidet, ist schliesslich nicht den Baumaterialien geschuldet, sondern der ungünstigen Position und dem diskontinuierlichen Betrieb. Zweifellos ist das Versagen des Fischliftes allerdings nicht auf die Untauglichkeit des Konstruktionsprinzips an sich zurückzuführen, sondern auf gravierende Abweichungen von den in den Regelwerken wie dem DWA-Merkblatt M-509 erläuterten Gestaltungskriterien.

Tab. 52: Abweichung der Bewertungsparameter vom Bestwert und Rangfolge der Bewertung der untersuchten Fischaufstiegshilfen anhand des Mittelwertes

		Auffindequote	Auffindedauer	Passagequote	Passagedauer	Passagegeschwindigkeit	Effizienz	Mittelwert	Bewertung / Rang
Staustufe	Fischaufstiegshilfe	Abweichung vom Bestwert [%]							
Augst-Wyhlen	Schlitzpass Augst (CH)	33	39	100	80	16	48	52,6	5
	Fischlift Wyhlen (D)	8	30	3	-	-	0	10,4	8
	Raugerinne-BP Wyhlen (D)	33	100	64	100	32	30	59,8	3
Rheinfelden	Schlitzpass (CH)	55	45	94	61	42	74	61,9	2
	Umgehungsgewässer (D)	9	19	100	18	41	23	36,0	7
	Raugerinne-Beckenpass (D)	10	29	58	72	39	8	36,3	6
Ryburg-Schw.	Umgehungsgerinne (D)	100	67	70	38	100	100	79,2	1
Säckingen	Beckenpass (D)	42	29	89	84	25	48	52,9	4

6.10 FUNKTION UND AUSWIRKUNGEN DER FANGGERÄTE

Im Rahmen der Untersuchung „PIT-Tagging Hochrhein“ wurden über längere Zeiträume parallel zum Monitoring mittels HDX-Technik auch die Fanggeräte in den Fischeaufstiegshilfen, also die Reusen und Zählbecken betrieben. Hierdurch bestand die Möglichkeit, die Wirksamkeit dieser Fanggeräte und ihren Einfluss auf das Aufstiegsgeschehen zu analysieren. Dabei wurden Schädigungen von Fischen in den Kastenreusen dokumentiert (Kap. 6.10.1), es wurde untersucht, wie zuverlässig aufwandernde Fische nachgewiesen werden (Kap. 6.10.2) und ob ggf. auch Fische registriert werden, die aus dem Oberwasser eingewandert und damit nicht als erfolgreiche Aufsteiger zu werten sind (Kap. 6.10.3). Schliesslich wurden die Daten dahingehend ausgewertet, in wie weit die Fanggeräte Einfluss auf das Aufstiegsgeschehen und damit auf die Wirksamkeit der Fischeaufstiegshilfen nehmen (Kap. 6.10.4).

6.10.1 Schädigung von Fischen

Wie bereits in Kap. 4.3.1.1 dargelegt, können die Kastenreusen in den Fischeaufstiegshilfen von Birsfelden, Augst und Säckingen gefangene Fische verletzen, was nicht selten zum Tod führt.

Dies ist ein grundsätzliches Problem von Reusen, die im Hauptstrom von Fischwegen exponiert sind und deshalb vom gesamten Betriebsabfluss durchströmt werden. Hieraus resultieren einerseits hohe Fliessgeschwindigkeiten und Turbulenzen innerhalb der Reusen, andererseits ist eine relativ grosse Maschenweite notwendig, um die hydraulische Wirkung solcher Fanggeräte als Abflusshindernis zu begrenzen. Die Schädigung von Fischen in derartigen Reusen ist auf unterschiedliche Mechanismen zurückzuführen:

- Kleine Fische werden von der Strömung gegen die Gitter an der Rückwand der Reuse gepresst und erleiden hierdurch Schuppenverluste und Schürfwunden (Abb. 131, links), und können auf Dauer durch den Anpressdruck getötet werden.
- Typisch bei grossen Fischen sind offene Wunden im Kopfbereich (Abb. 131, rechts), da die Tiere immer wieder versuchen, dem Fanggerät zu entkommen und dabei in Sprintgeschwindigkeit mit den Absperrungen kollidieren.
- Fische, deren Körperhöhe geringfügig grösser ist als die Maschenweite, bleiben häufig in den Maschen stecken und können sich nicht mehr befreien (Abb. 132). Dies führt in Kombination mit dem Strömungsangriff rasch zum Tode.



Abb. 131: Reusenbedingte Verletzungen von Fischen: Schuppenverluste bei einem Hasel (links) und Verletzungen im Kopfbereich bei einem Brachsme (rechts)

Abb. 132:

In den Maschen der Reusen-
umkleidung stecken gebliebene
und verendete Laube



Als besonders gross erwies sich das Ausmass derartiger Schädigungen im Falle der Kastenreuse in Birsfelden. Dort waren im Mittel mehr als 25 % der aus der Reuse geborgenen Fische erheblich verletzt oder tot. Dieses Fanggerät wurde deshalb nach wenigen Tagen Bedienung durch das Institut für angewandte Ökologie ausser Betrieb genommen. Demgegenüber war der Umfang der Schädigungen sowohl in Augst, als auch in Säckingen mit 5 bis 10 % deutlich geringer, so dass diese Fanggeräte weiter betrieben wurden, wobei die Expositionszeit bis zur Reusenleerung so kurz wie möglich gehalten wurde.

Der Fang in Zählbecken, wie sie an den anderen Standorten vorhanden sind, erwies sich demgegenüber als bedeutend schonender für die Fische. Auch dort wurden zwar gelegentlich Verletzungen registriert, doch handelte es sich hierbei vor allem um minder schwerwiegende Schuppenverluste und Flossenschäden, von denen nicht eindeutig zu klären war, ob die Fische sich diese in den Zählbecken zugezogen hatten, oder ob es sich um Vorschädigungen gehandelt hat.

Verletzungen und Verluste von Fischen im Rahmen eines konventionellen Aufstiegsmonitorings mittels Reusen sind somit ein grundsätzliches, übrigens seit langem bekanntes Problem (HARTMANN 2004, SCHWEVERS & ADAM 2006, GEBLER 2010, ULRICH 2010, SCHWEVERS et al. 2011, DWA 2014 u. a.). Sie lassen sich zwar nicht gänzlich verhindern, doch kann ihr Ausmass durch folgende Massnahmen minimiert werden:

- Eine Reuse sollte stets im Nebenschluss eines Fischweges exponiert werden, so dass sie nur von einem geringen Teilabfluss durchströmt wird, wodurch hohe Fliessgeschwindigkeiten und Turbulenzen innerhalb des Fanggerätes vermieden werden. Dies wurde beispielsweise in der Fischaufstiegshilfe in Gamsheim am Oberrhein realisiert (Abb. 133), nachdem es an der stromab gelegenen Staustufe Iffezheim zu erheblichen Fischschäden durch die dort im Hauptschluss eingesetzte Kastenreuse gekommen war (HARTMANN 2004).
- Weiterentwickelt wurde dieses Prinzip im Falle der Fanganlage des Doppelschlitzpasses Geesthacht an der Elbe, wo der Betriebsabfluss der Fischaufstiegshilfe die Reuse gar nicht mehr durchströmt, sondern die Beaufschlagung des Fanggerätes und die Erzeugung der aus ihm austretenden Leitströmung durch separate Pumpen erfolgt (ADAM & NEUMANN 2012, Abb. 134).
- Ist eine Reuse im Nebenschluss angeordnet und wird sie nicht vom Gesamtabfluss des Fischpasses durchströmt, kann ihre Maschenweite reduziert werden. Besteht die Umkleidung zudem aus Lochblech statt aus Maschendraht, senkt auch dies die Gefahr von Verletzungen und Verlusten durch ein Steckenbleiben in den Maschen.
- Generell sind scharfe Grate, vorstehende Kanten, Schrauben und andere Bauteile im Inneren einer Reuse zu vermeiden, an den sich Fische verletzen können.
- Sofern es die topographische Situation erlaubt, kann eine Kastenreuse innerhalb der Fischaufstiegshilfe durch eine im Oberwasser abgespannte, grossvolumige Garnreuse ersetzt werden. Die Erfahrungen vom Umgehungsgerinne am Elbewehr Geesthacht zeigen, dass sich mit einer solchen Massnahme die methodisch bedingte Mortalität auf ein unbedeutendes Ausmass reduzieren lässt, wenn zudem der Fangsack in einem strömungsberuhigten Bereich positioniert wird (SCHWEVERS et al. 2011).
- Auch Zählbecken, wie sie am Hochrhein im Einsatz sind, reduzieren das Mortalitätsrisiko im Rahmen des Aufstiegsmonitorings entscheidend.



Abb. 133: Aufteilung des Betriebsabflusses im Schlitzpass Gambenheim, so dass die exponierte Fangreuse (im Bild rechts) nur von einem Teilabfluss durchströmt wird

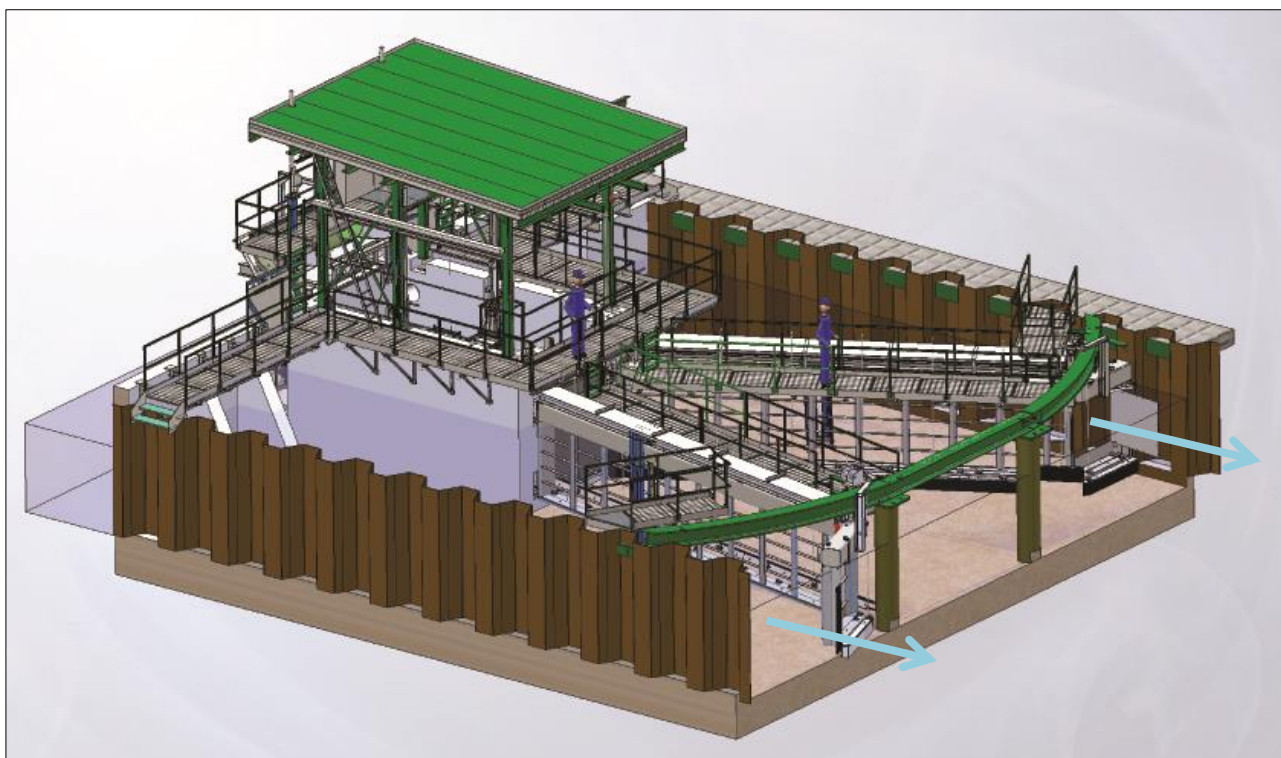


Abb. 134: Fanganlage im Doppelschlitzpass Geesthacht: Die Dotation des Fischpasses (blaue Pfeile) erfolgt über zwei seitliche Tore, während die aus der mittig positionierten Fangkammer austretende Leitströmung durch separate Pumpen erzeugt wird (Quelle: Fa. MUHR)

6.10.2 Nachweis von Aufsteigern

Bei herkömmlichen Monitoringuntersuchungen wird in der Regel der Fang von Fischen in Reusen, Zählbecken u. ä. mit dem tatsächlichen Aufstiegsgeschehen gleichgesetzt. Bei diesem methodischen Vorgehen ist es gar nicht möglich, die Wirksamkeit des Fanggerätes zu überprüfen. Demgegenüber liefert die berührungslose Detektion aufwandernder Fische mit Hilfe von HDX-Antennen Einblicke in ein bislang weitgehend unbeachtetes methodisches Problem, denn hierbei werden bei geeigneter Antennenausstattung auch solche Fische erfasst, die zwar bis zum Oberwasser aufsteigen, jedoch nicht mit dem jeweiligen Fanggerät nachgewiesen werden.

Insgesamt wurden im Rahmen der drei Fangkampagnen am Hochrhein 437 aufgestiegene transpondierte Fische mit den drei Reusen und drei Zählbecken gefangen. Eine Überprüfung der Fangquote ist an den Standorten möglich, wo die Fanggeräte am Ausstieg der Fischaufstiegshilfe positioniert sind und aufwandernde Fische die obersten Antennen passieren müssen, um in das Fanggerät hinein zu gelangen. Diese Betrachtung ist für den Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D) nicht möglich, denn dort waren die Antennen parallel zum Zählbecken im Aufstiegsbereich der Fischaufstiegshilfe angeordnet: Steigen dort während des Monitorings Fische bis in das Zählbecken auf, werden sie nicht von den HDX-Antennen registriert und lassen sich folglich auch nicht von Exemplaren unterscheiden, die ihren Aufstieg bereits vorher abgebrochen haben. Ebenso wenig lässt sich der Effekt des Zählbeckens im Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D) untersuchen, da dieses etwa auf halber Länge der Fischaufstiegshilfe liegt.

Überprüfen liess sich die Fängigkeit mit den installierten HDX-Antennen also an folgenden vier Fangeinrichtungen: den Kastenreusen im Schlitzpass Augst (CH) und im Beckenpass Säckingen (D) sowie den beiden Zählbecken in Rheinfelden auf Schweizer und auf deutscher Seite.

Anhand der Detektionen der HDX-Antennen lässt sich belegen, dass in den vier o. a. Fischaufstiegshilfen während des Monitoringbetriebs der Fanggeräte insgesamt 1.723 transpondierte Fische aufgewandert sind. Lediglich 268 von diesen Exemplaren wurden jedoch in den Fanggeräten nachgewiesen, was im Mittel nur 16 % der Aufwanderer entspricht. Besonders niedrig war diese Quote mit nur 7 bzw. 8 % im Falle der beiden Zählbecken in Rheinfelden. Deutlich bessere Werte erzielten hingegen die Reusen, wobei die Nachweisquote in Säckingen (D) 15 % und in Augst (CH) 23 % erreichte. Auch dort

wurde somit lediglich jeder sechste bzw. jeder vierte Aufsteiger im Rahmen des herkömmlichen Monitorings durch Fang nachgewiesen (Tab. 52). Die Reduzierung des Schädigungsrisikos durch Einsatz von Zählbecken wird somit durch eine um den Faktor 2 bis 4 verringerte Nachweisquote erkauft.

WILMSMEIER et al. (2020) konnten zeigen, dass vor allem in Zählbecken ohne Reusenkehle ein „*freies Kommen und Gehen*“ herrscht, so dass nur wenige der eingeschwommenen Fische im Rahmen des Monitorings nachgewiesen werden. Allein durch den Einbau einer Metall- bzw. Garnkehle gelang es ihnen, die Ausschwimmrate aus den Zählbecken der Fischaufstiegshilfen in Winznau und Schönenwert an der Aare um fast 90 % zu senken.

Tab. 53: Nachweisquote durch Fang in den Reusen und Zählbecken

Methode	Fischaufstiegshilfe	Aufsteiger insgesamt	durch Fang nachgewiesen	Nachweisquote
Reuse	Schlitzpass Augst (CH)	570	167	29 %
	Beckenpass Säckingen (D)	200	29	15 %
Zählbecken	Schlitzpass Rheinfelden (CH)	788	60	8 %
	Umgebungsgewässer Rheinfelden (D)	165	12	7 %
Summe		1.723	268	16 %

Durch eine Modifikation der Fanggeräte liessen sich die Nachweisquoten also deutlich verbessern. So ergibt sich die vergleichsweise gute Fängigkeit der Reuse im Schlitzpass Augst (CH) vermutlich aus der Einengung der Einstiegsöffnung in Gestalt einer Reusenkehle (Abb. 135). Der Einstieg in das Zählbecken im Umgebungsgewässer Rheinfelden (D) ist zwar ebenfalls reusenkehlenartig verengt, doch erreicht der offene Querschnitt eine Fläche von fast 0,5 m², über die sogar grosse Fische leicht wieder entweichen können. Demgegenüber reduziert eine zu stark verjüngte Einstiegsöffnung in ein Fanggerät oder Zählbecken gleichermassen die Fängigkeit und damit den Nachweis von Aufsteigern.

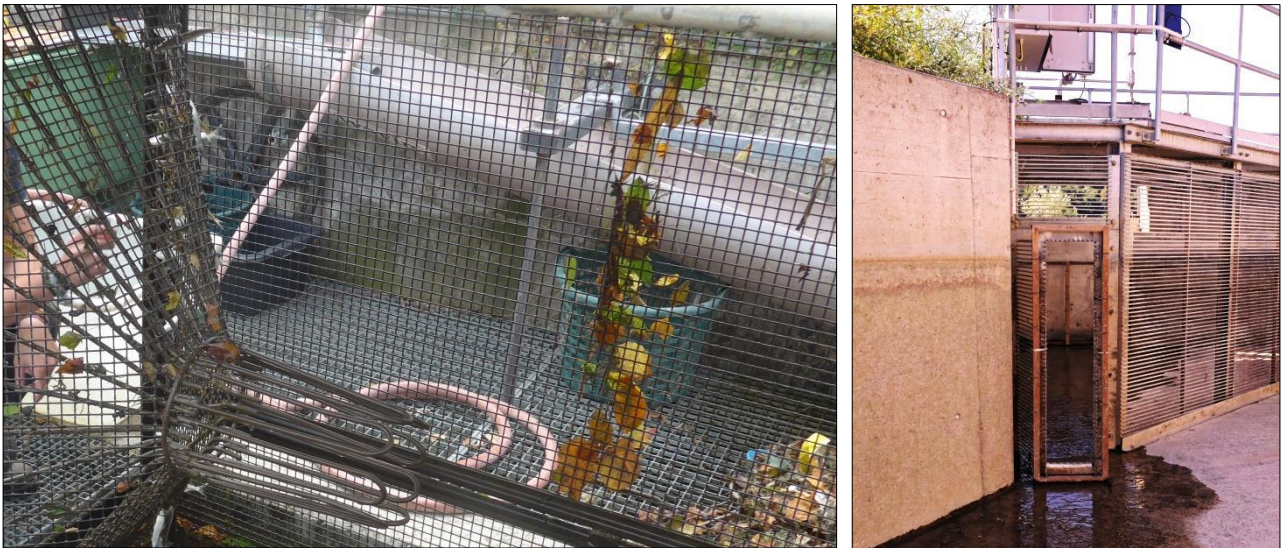


Abb. 135: Die Reusenkehle der Kastenreuse in der Fischaufstiegshilfe Augst (CH) reduziert die Einstiegsöffnung auf einen engen Querschnitt und erschwert somit ein Entweichen bereits gefangener Fische (links). Durch die fast 0,5 m² grosse Öffnung der Reusenkehle am Einstieg in das Zählbecken des Umgehungsgewässers in Rheinfelden (D) können Fische leicht wieder entweichen (rechts)

Aus der Kombination geringer, wenngleich im Detail sehr unterschiedlicher Fangquoten ergibt sich, dass die Nachweiszahlen von Aufsteigern mit Kastenreusen und Zählbecken am Hochrhein stärker von methodischen Mängeln beeinflusst sind, als durch das tatsächliche Aufstiegsgeschehen. Damit sind die bisher mit diesen Methoden erhobenen Aufstiegszahlen untereinander nicht vergleichbar, wie dies schon GERSTER (1998) vermutete. Allein deshalb sind die Daten aus den koordinierten Fischzählungen als Grundlage für die Bewertung der Funktion der jeweiligen Fischaufstiegshilfen ungeeignet. Es bestehen wenig Zweifel daran, dass diese ernüchternde Erkenntnis auch auf andere Standorte übertragen werden muss.

6.10.3 Fang abwandernder bzw. verdriftender Fische

In den Monitoringeinrichtungen wurden insgesamt 10 transpondierte Fische nachgewiesen, die definitiv nicht über die jeweilige Fischaufstiegshilfe aufgewandert waren, sondern aus dem Oberwasser stammten. Hierbei handelte es sich um 4 Barben von gut 40 bis knapp 60 cm, zwei Alet um die 40 cm, einen 23 cm langen Egli sowie zwei Hasel und ein Rotaugen zwischen 10 und 20 cm Länge. Diese primär in den Zählbecken des Raugerinne-Beckenpasses Wyhlen (D) und des Umgehungsgewässers Rheinfelden (D)

erfolgten Nachweise erklären sich damit, dass die Zählbecken nicht durch unpassierbare mechanische Barrieren zum Oberwasser hin abgesperrt sind.

Drei Exemplaren aus dem Oberwasser der Staustufe Augst-Wyhlen gelang es sogar in die Reuse des Schlitzpasses Augst (CH) einzudringen: Offensichtlich hatten sich die Fische bei gehobenem Fanggerät in den Schlitzpass verdriften lassen und waren nach der neuerlichen Exposition der Reuse wieder stromauf und in das Fanggerät hinein geschwommen.

Dass Fische nicht nur gegen, sondern auch mit der Strömung wandern, ist keine neue Erkenntnis und lässt sich anhand der Bewegungsmuster zahlreicher transpondierter Exemplare belegen (6.4). Als Abwanderkorridore werden in der Regel die Wasserkraftwerke genutzt und bei Hochwasser ist darüber hinaus eine Passage der überströmten Wehre möglich. Auch ein Eindringen transpondierter Fische vom Oberwasser in die Fischaufstiegshilfen liess sich in 276 Fällen belegen. Da aus diversen Untersuchungen bekannt ist, dass in Flüssen wie dem Hochrhein vor allem die Larven, Brütlinge und Jungfische potamodromer Arten stromab wandern bzw. verdriftet werden (PAVLOV et al. 2002, SCHMALZ 2002 u. a., Abb. 136), ist davon auszugehen, dass die Anzahl von Fischen, die nach stromab unterwegs sind, um Zehnerpotenzen höher ist, als die Anzahl der nachgewiesenen transpondierten Exemplare.

Hieraus folgt, dass kleine Fische unter 10 cm Länge, wie sie beispielsweise im Rahmen der koordinierten Fischzählungen vor allem in den Zählbecken am Hochrheins registriert wurden, mit hoher Wahrscheinlichkeit vom Oberwasser her eingedrifft sind. Je kleiner diese Exemplare sind, umso unwahrscheinlicher ist es, dass es sich um Aufsteiger handelt. Quantifizieren lässt sich der Anteil aus dem Oberwasser in die Zählbecken gelangter Exemplare anhand der vorliegenden Befunde der HDX-Studie nicht. Allerdings ist anzunehmen, dass durch mit der Strömung abwandernde bzw. verdriftende Fische die Befunde von Aufstiegszählungen mittels Zählbecken in erheblichem Umfang verfälscht werden.

Dieses Problem wurde inzwischen erkannt, so dass beispielsweise das Zählbecken des am Schweizer Ufer gelegenen Umgehungsgerinnes am Dotierkraftwerk Albruck-Dogern oberwasserseitig mit einem Rechen ausgestattet wurde, um ein Eindringen von grösseren Fischen aus dem Oberwasser zu verhindern.

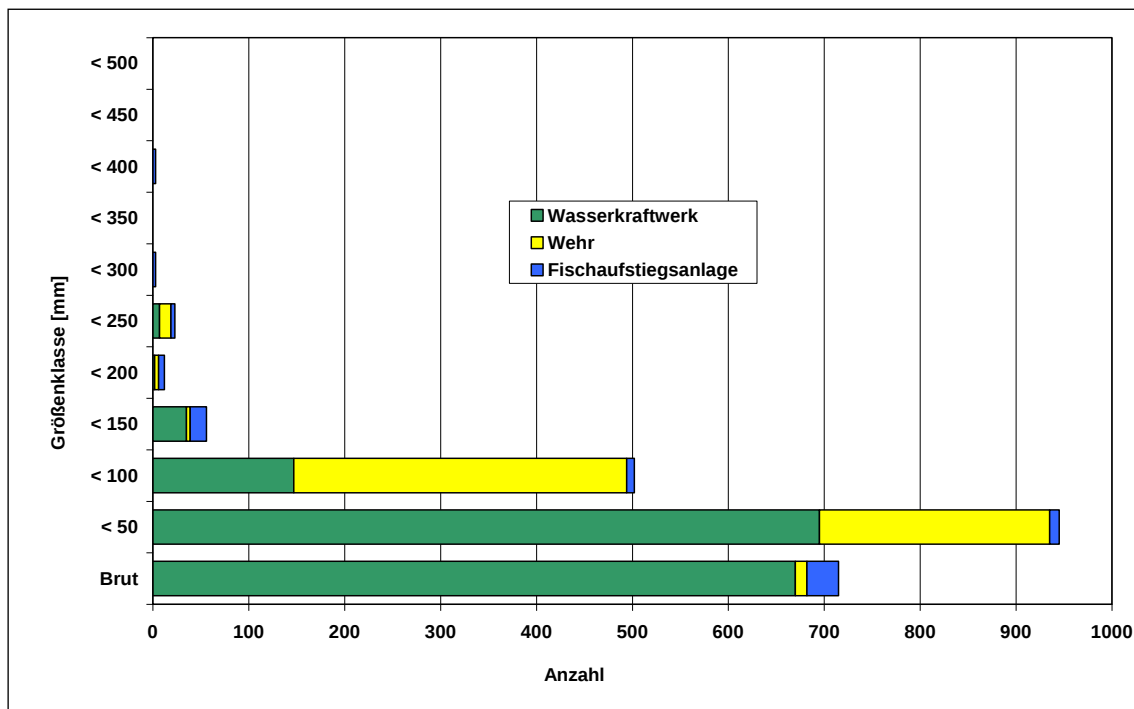


Abb. 136: Grössenspektrum der in der Saale in Thüringen in der Zeit vom 26. Juni bis 20. September 2001 abgewanderten Fische (nach Daten von SCHMALZ 2002)

6.10.4 Einfluss auf das Aufstiegs geschehen

Exponierte Reusen und fängig-gestellte Zählbecken blockieren während der Monitoringzeiten den oberwasserseitigen Ausstieg einer Fischaufstiegshilfe. Für die Exemplare die in solche Fanggeräte gelangen, bedeutet dies eine deutliche Verzögerung ihrer Aufwanderung. Das Ausmass dieser Verzögerung wurde anhand der Zeitdifferenz zwischen der Registrierung eines jeden Fisches an der obersten HDX-Antenne stromab der Fanggeräte und seinem Nachweis bei der Bergung des Fanges ermittelt (Tab. 53). Im Mittel wurde auf diese Weise ein Zeitverlust von 33 Stunden berechnet.

Nur im Falle des Zählbeckens im Umgehungsgewässer Rheinfeld (D) war die Verzögerung geringfügig kürzer, als der Turnus der Kontrolle dieser Fangeinrichtung, die in der Regel täglich durchgeführt wurde. Dies zeigt, dass ein Zeitverlust nicht alleine aus der Gefangenschaft des Fisches bis zur nächsten Leerung resultiert, sondern Fische zudem längere Zeit vor einem Fanggerät verweilen, bevor sie in dieses hinein schwimmen. Bedenkt man, dass die Hälfte der Fische für die Passage der Fischaufstiegshilfen gerade einmal zwei Stunden benötigte, dann wird deutlich, dass der ermittelte Zeitverlust aufgrund von exponierten Fanggeräten nicht als marginal zu betrachten ist, da sich die mittlere Passagezeit um den Faktor 16 erhöht.

Schliesslich stellt sich auch die Frage nach dem Schicksal derjenigen Fische, die während der Expositionszeiten der Fanggeräte in den Fischaufstiegshilfen aufgestiegen sind, jedoch nicht gefangen wurden. Für 60 % dieser Fische lässt sich nachweisen, dass sie ihren Aufstiegsversuch abbrachen und ins Unterwasser zurückkehrten. Dies kommt grundsätzlich auch ausserhalb von Monitoringzeiten vor, wurde dann allerdings nur bei 7 % der Aufstiegsereignisse festgestellt. Vergleichbare Effekte einer exponierten Kontrollreuse wies auch KÄFER (2019) an der Möll in Kärnten (Österreich) nach.

Ins Unterwasser zurückgekehrte Exemplare wiederholten ihren Aufstiegsversuch häufig, wenngleich nicht zwingend über dieselbe Fischaufstiegshilfe. Oft wechselten sie zuvor die Uferseite bzw. den Einstieg, um dort einen erneuten Aufstiegsversuch zu unternehmen. Die hierdurch verursachte Verzögerung betrug bei den meisten Exemplaren ein Vielfaches des durch Fanggeräte bedingten Zeitverlustes.

Schliesslich endete etwa ein Viertel der Aufstiegsversuche weder mit einem Fang, noch mit einer Rückkehr ins Unterwasser, sondern den Fischen gelang es trotz exponierter Fanggeräte das Oberwasser zu erreichen. Im Falle der Zählbecken erfolgten solche Passagen während der Monitoringzeiten vermutlich über das Überfallwehr am Zulauf. Im Falle der Reusen nutzten die Fische vor allem die Zeiten der Reusenkontrollen, in denen der Querschnitt des Ausstiegs freigegeben war und sie ungehindert entweichen konnten. Ob bzw. in welchem Umfang es Fischen darüber hinaus möglich war, exponierte Reusen aufgrund eines unvollständigen Sohlen- oder Wandanschlusses zu umgehen, liess sich mit der realisierten HDX-Antennenausstattung in den Fischaufstiegshilfen nicht bestimmen.

Tab. 54: Auswirkungen der Fanggeräte des konventionellen Monitorings auf das Aufstiegsgeschehen in den Fischaufstiegshilfen

Fischaufstiegshilfe	Zeitverlust [h]	Anteil abgebrochener Aufstiegsversuche
Schlitzpass Augst (CH)	26	48 %
Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D)	44	-
Schlitzpass Rheinfelden (CH)	30	66 %
Umgebungsgewässer Rheinfelden (D)	20	72 %
Umgebungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D)	48	-
Beckenpass Säckinggen (D)	29	61 %
Mittelwert	33	60 %

7 FAZIT UND AUSBLICK

Konventionelle Funktionskontrollen mittels Reusen und anderer Fanggeräte werden seit über hundert Jahren durchgeführt, seit es Fischaufstiegshilfen gibt. So berichten beispielsweise GERHARDT (1912) und METZGER (1912) von Aufstiegszählungen an Fischpässen in Fulda und Weser oder KRAUTINGER (1913) vom ehemaligen Denil-Pass Wyhlen am Hochrhein. Ebenso alt wie die Vorgehensweise ist auch das Problem der Interpretation der Befunde. In der Regel versagen Fischaufstiegshilfen nämlich nie vollständig, sondern es wird immer eine mehr oder minder grosse Anzahl von Fischen nachgewiesen, und es bleibt letztlich dem Bearbeiter überlassen zu entscheiden, ob ihm das Ergebnis ausreichend erscheint oder nicht.

Objektive Kriterien für die Bewertung stehen bislang nur ansatzweise zur Verfügung (EBEL et al. 2006, SCHWEVERS & ADAM 2006), zumal eine Quantifizierung des Aufstiegspotenzials im Unterwasser insbesondere in grossen Flüssen und Strömen nicht möglich ist und die Fangnachweise von Aufsteigern keine Rückschlüsse auf die Auffindbarkeit und Passierbarkeit der beprobten Fischaufstiegshilfe erlauben. Deshalb erfolgt die Interpretation von Aufstiegszählungen, die zumeist unter Einsatz traditioneller Fischereitechniken durchgeführt wurden, meist unkritisch und unsystematisch, so dass die darauf basierenden Bewertungen der Funktionsfähigkeit einer objektiven Überprüfung nicht standhalten (SCHWEVERS & ADAM 2006, ADAM et al. 2007). Auch ein von EBEL et al. (2006) im Rahmen einer Arbeitsgruppe des deutschen Bundes der Ingenieure für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (BWK) erarbeiteter „Methodenstandard für die Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen“ ist kritisch zu hinterfragen, da einzelne Annahmen, z. B. die Beschränkung von Aufstiegszählungen auf das Frühjahr, sowie die Aggregation einzelner Metrics zu diskutieren sind. Folglich sind die Ergebnisse solcherart durchgeführter Funktionskontrollen oftmals unzureichend, um eine fachgerechte Bewertung von Fischaufstiegshilfen anhand biologischer Parameter durchzuführen (HUFGARD & SCHWEVERS 2013, SCHWEVERS et al. 2015). Kontraproduktiv ist ferner, dass sich die Bearbeiter solcher Studien häufig bei ihrem Tun mit der von ihnen beprobten Anlage identifizieren, bzw. selbst bei der Planung beteiligt waren, woraus selbst bei minimalen Aufstiegszahlen, einer offensichtlichen Arten- bzw. Grössenselektivität und/oder gravierenden baulichen Abweichungen vom Stand der Technik eine positive Bewertung resultiert. Auf diese Weise wurden in der Vergangenheit viele unzureichend funktionierende Fischaufstiegshilfen abgesegnet und damit letztlich das Bemühen um die qualitative Verbesserung solcher Bauwerke konterkariert. In Konsequenz empfiehlt das aktuelle deutsche

Regelwerk für den Bau von Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbaren Bauwerken (DWA 2014), auf unzuverlässige Funktionskontrollen vollständig zu verzichten. Stattdessen sollte bereits in der Planungsphase eine konsequente Qualitätssicherung einsetzen, um konstruktive Mängel von vorne herein zu vermeiden. Daran sollte sich eine sorgfältige Überwachung in der Bauphase anschließen, gefolgt von einer kritischen Bauabnahme, damit eine dem Stand des Wissens und der Technik entsprechende Fischaufstiegshilfe in Betrieb gehen kann.

Die Überprüfung der Wirksamkeit einer Massnahme ist in der Schweiz gesetzlich vorgeschrieben und wird, wie auch im Rahmen von Sanierungsprojekten, vollständig entschädigt. In begründeten Fällen kann bei Standard-Bauwerken jedoch auf eine biologische Wirkungskontrolle verzichtet und lediglich eine technische Wirkungskontrolle durchgeführt werden.

Zweifel an der Aussagefähigkeit herkömmlicher Funktionskontrollen waren letztlich Auslöser für die vorliegende Untersuchung. Deren Befunde zeigen, dass diese Skepsis durchaus angebracht war, insbesondere weil die Nachweisquoten der am Hochrhein betriebenen Reusen und Zählbecken so gering sind, dass die Aufstiegsergebnisse stärker von methodischen Mängeln beeinflusst werden, als vom tatsächlichen Aufstiegs-geschehen in den jeweiligen Fischaufstiegshilfen. Zudem blockieren die Fangeinrichtungen den Fischaufstieg in den Fischwegen massiv und insbesondere in Reusen unterliegen die gefangenen Fische einem hohen Verletzungsrisiko.

Solche Nachteile sind durch Einsatz der HDX-Technik vermeidbar, denn transpondierte Fische werden bei der Annäherung an die Antennen berührungslos, zeit- und ortsgenau erfasst, ohne diese Individuen zu beeinträchtigen oder zu stören. Die mit dieser Technologie erhobenen Daten beschränken sich zwar auf die markierte Stichprobe, doch repräsentieren sie bei einer geeigneten Antennenausstattung unverfälscht das tatsächliche Geschehen in Fischaufstiegshilfen und darüber hinaus auch im Gewässer. Im Ergebnis liefert die HDX-Technik eine Fülle konkreter, miteinander vergleichbarer Werte zu verschiedenen Parametern, die unabhängig voneinander eine differenzierte Bewertung der Auffindbarkeit und Passierbarkeit einer Fischaufstiegshilfe ermöglichen. Auf dieser Basis kann die Wirkweise und Funktion solcher Bauwerke wesentlich objektiver und zutreffender bewertet werden, als mit konventionellen Methoden. So ist auch ein Vergleich verschiedener Fischaufstiegshilfen miteinander, wie auch die Überprüfung der Wirksamkeit von Optimierungsmassnahmen durch Vorher-Nachher-Untersuchungen am selben Bauwerk möglich.

Eine Kombination beider Methoden liefert bei Untersuchungen zum Fischeaufstieg kaum zusätzlichen Erkenntnisgewinn, so dass ein PIT-Tagging meist vollkommen ausreicht, um die für eine Funktionsbewertung von Fischeaufstiegshilfen benötigten Informationen zu erheben. Allerdings kann ein Fang von Fischen ggf. mit Reusen und Zählkammern zwecks Bereitstellung von Probanden für die Markierung mit PIT-Tags erforderlich sein.

Für die vergleichende Bewertung der beprobten Fischeaufstiegshilfen wurde in Kap. 6.9 jeweils der Bestwert der einzelnen Parameter als Bewertungsmaßstab herangezogen und die von den einzelnen Fischpässen erreichten Werte anhand der prozentualen Abweichung von diesem Bestwert im Sinne einer Bewertung in eine Rangfolge gebracht (Tab. 51). Die am Hochrhein ermittelten Bestwerte der einzelnen Parameter sind in Tab. 54 zusammengestellt.

Tab. 55: Bestwerte der Parameter zur Bewertung der Funktionsfähigkeit der untersuchten Fischeaufstiegshilfen am Hochrhein

Parameter	Bestwert	Fischeaufstiegshilfe
Auffindequote eines Einstiegs	26,7 %	Raugerinne-Beckenpass Ryburg-Schwörstadt (D)
Auffindequote einer Fischeaufstiegshilfe	48,3 %	Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D)
Auffindedauer der motivierten Exemplare	11,4 h	
Passagequote	89,2 %	Schlitzpass Augst (CH)
Passagedauer der motivierten Exemplare	82 min	Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D)
Passageschwindigkeit der motivierten Exemplare	323 m/h	Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D)
Effizienz	30,1 %	Fischeaufstiegshilfe Ryburg-Schwörstadt (D)
Gesamtdurchgängigkeit 4 Staustufen	4,8 %	

Allerdings weichen auch die besten der am Hochrhein beprobten Fischeaufstiegshilfen in verschiedenen technischen Parametern vom Optimum ab. Insofern ist davon auszugehen, dass die hier ermittelten Bestwerte an anderen Standorten ausserhalb des Untersuchungsgebietes durchaus übertroffen werden. Die Befunde vergleichbarer Untersuchungen an anderen Staustufen und Flüssen, wie sie europaweit in den letzten Jahren in stark ansteigender Zahl stattfinden, werden also zweifellos neue Orientierungshilfen ergeben und so die Messlatte in Hinblick auf die Qualität von Fischeaufstiegshilfen

entsprechend erhöhen. So liegen bereits verschiedene Untersuchungen vor, denen entsprechende Werte für einige Parameter entnommen werden können, wie die in Tab. 56 aufgeführten Angaben von Passagequoten.

Tab. 56: Übersicht der von verschiedenen Autoren ermittelten Passagequoten von Fischaufstiegshilfen (PIT-Tagging Hochrhein: blau hinterlegt)

Quote	Fischaufstiegshilfe	Autoren
89,2 %	Schlitzpass Augst (CH)	
89,2 %	Umgebungsgewässer Rheinfelden (D)	
86 %	Schlitzpass (B)	BENITEZ et al. 2018
83,9 %	Schlitzpass Rheinfelden (CH)	
79,8 %	Beckenpass Säckingen (D)	
71 - 82 %	Fischpässe in Zuflüssen des River Ribbe (GB)	FORTY et al. 2016
73 %	Schlitzpass Gambsheim am Oberrhein (F)	TETARD et al. 2013
73 %	Fischrampe (S)	CALLES & GREENBERG 2007
73 %	Raugerinne-Beckenpass am Auer Kotten in der Wupper (D)	ADAM et al. 2018
70 %	Fischrampe Schaltkotten an der Wupper (D)	ADAM et al. 2018
67 %	Umgehungsgerinne in Buchenhofen an der Wupper (D)	ADAM et al. 2018
67 %	Schlitzpass Auer Kotten an der Wupper (D)	ADAM et al. 2018
64 %	Fischrampe (GB)	DODD et al. 2017
62,4 %	Umgehungsgerinne Ryburg-Schwörstadt (D)	
58 %	Beckenpass Scheuerfeld an der Sieg (D)	ADAM & SCHWEVERS 1996
57,0 %	Raugerinne-Beckenpass Wyhlen (D)	
57 %	Schlitzpass in einem Zufluss der Maas (B)	OVIDIO et al. 2017
52,0 %	Raugerinne-Beckenpass Rheinfelden (D)	
51 %	Schlitzpass Koblenz an der Mosel (D)	PITSCH & MOCKENHAUPT 2015
39 %	Umgehungsgerinne Beyenburg an der Wupper (D)	ADAM et al. 2018
39 %	Fischrampe (DK)	AARESTRUP et al. 2003
5 %	Beckenpass im River Derwent (GB)	FOULDS & LUCAS 2013
2,3 %	Fischlift Wyhlen (D)	
0 - 17 %	Denilpass im River Derwent (GB)	FOULDS & LUCAS 2013
0 - 62 %	Schlitzpass (CH)	BAIER 2016

Es zeigt sich, dass vier der fünf ersten Ränge mit den höchsten Passagequoten von Fischaufstiegshilfen am Hochrhein eingenommen werden, und dass die übrigen Hochrhein-Anlagen zumindest im Mittelfeld angesiedelt sind. Nur der Fischlift Wyhlen (D) wird von fast allen beprobten Fischaufstiegshilfen übertroffen. Insgesamt schneiden somit die am Hochrhein mit HDX-Technik untersuchten Fischaufstiegshilfen hinsichtlich der Passagequote vergleichsweise gut ab und der Bestwert des Schlitzpasses Augst (CH) sowie des Umgehungsgewässers Rheinfelden (D) ist bislang unangefochten.

Bei den übrigen Parametern ist ein Vergleich aus folgenden Gründen allenfalls eingeschränkt möglich:

- Die meisten vorliegenden Untersuchungen wurden an kleinen Flüssen oder gar Bächen durchgeführt. Aufgrund der begrenzten Dimensionen wirkt sich dort eine ungünstige Einstiegsposition weniger stark auf die Auffindbarkeit aus, als an grossen Flüssen wie dem Hochrhein.
- Im Rahmen der Untersuchungen von TETARD et al. (2013) am Fischpass des Wasserkraftwerks Gamsheim am Oberrhein wurde nur die Passierbarkeit untersucht. Die markierten Fische wurden deshalb im Nahbereich des Einstiegs in die Fischaufstiegshilfe besetzt. Die auf diese Weise ermittelte Auffindequote war zwangsläufig höher als am Hochrhein, wo die Fische im Mittel in 3,5 km Entfernung besetzt wurden. Auch bei den meisten anderen Projekten erfolgte der Besatz in nur geringer Entfernung vom Einstieg der zu untersuchenden Fischaufstiegshilfe.
- Sieht man von den Untersuchungen des Instituts für angewandte Ökologie an Elbe und Wupper ab (MAST et al. 2016, ADAM et al. 2018), dann war die Anzahl der Probanden in den Vergleichsuntersuchungen mit 111 bis 731 markierten Exemplaren etwa um den Faktor 20 bis 200 geringer, als im Rahmen der vorliegenden Untersuchung. Der Stichprobenumfang war damit folglich so gering, dass eine Bewertung der Auffinde- und Passagedauer ähnlich wie mit dem Verfahren von STEINECK et al. (2020) gar nicht möglich war. Wenn die Autoren hierzu Angaben machten, handelte es sich um Spannweiten, den Mittelwert oder Median. Allerdings ergibt sich aus den in Kap. 4.6.2 und 4.7.2 dargestellten Befunden, dass diese Werte für eine tatsächliche vergleichende Bewertung ungeeignet sind. Insofern ist bezüglich dieser Parameter bislang keine Vergleichbarkeit zu anderen Untersuchungen gegeben.

Es wäre somit von grossem Vorteil, wenn die Methodik von HDX-Untersuchungen soweit wie möglich vereinheitlicht würde. Dies betrifft beispielsweise die Lage der Besatzpunkte sowie die (Mindest)-Dauer der Datenaufnahme. Auch sollte die Anzahl der Probanden so hoch sein, dass Gamma-Verteilungen zur objektiven Berechnung der Auffinde- und Passagedauer der motivierten Exemplare als Grundlage für vergleichende Betrachtungen erstellt werden können.

Natürlich lässt auch die HDX-Technik Fragen offen, die mittels anderer Techniken wie der Telemetrie beantwortet werden müssen. Doch betrifft dies primär das grossräumige Verhalten der Fische im Fluss, z. B. bei der Annäherung an den Einstieg in eine Fischaufstiegshilfe sowie die Passage gross dimensionierter Fischwege. Eine differenzierte Wertung bestimmter Fischaufstiegshilfen ist jedoch auch ohne solche Erkenntnisse, allein auf der Basis von HDX-Daten möglich.

8 LITERATUR

- AARESTRUP, K., M. C. LUCAS & J. A. HANSEN (2003): Efficiency of a nature-like bypass channel for sea trout (*Salmo trutta*) ascending a small Danish stream studied by PIT telemetry. - Ecology of Freshwater Fish 12, 160 - 168.
- ADAM, B. (2020): Erkenntnisse aus der Rückmeldung transpondierter Fische durch Dritte. - Artenschutzreport 41, 48 - 51.
- ADAM, B. & C. NEUMANN (2012): Einrichtungen zum Monitoring des Fischeaufstiegs im Doppelschlitzpass Geesthacht. - Wasserwirtschaft 102/4, 44 - 48.
- ADAM, B. & U. SCHWEVERS (1996): Automatische Funktionsüberprüfung von Fischwegen mittels Einsatz der Transponder-Technologie. - Wasserwirtschaft 86, 650 - 652.
- ADAM, B. & U. SCHWEVERS (1997): Zur Funktionskontrolle von Fischwegen - Einsatz automatischer Kontrollstationen unter Anwendung der Transponder-Technologie. - DVWK-Schrift 119, Bonn (Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH), 100 S.
- ADAM, B., M. SCHÜRMANN & U. SCHWEVERS (2013): Zum Umgang mit aquatischen Organismen: Versuchstierkundliche Grundlagen. - Wiesbaden (Springer Spektrum), 188 S.
- ADAM, B., O. ENGLER & U. SCHWEVERS (2018): HDX- Wupper; Projektendbericht. - Kirtorf-Wahlen (Institut für angewandte Ökologie), im Auftrag der Bezirksregierung Düsseldorf. - <http://www.brd.nrw.de/umweltschutz/wasserrahmenrichtlinie/PDF/HDX-Monitoring-Wupper-2019-Endbericht.pdf>
- ADAM, B., U. SCHWEVERS & R. KOLF (2007): Zum Sinngehalt von Funktionskontrollen an Fischeaufstiegsanlagen. - Wasserwirtschaft 97/1+2, 42 - 46.
- APRAHAMIAN, M. W., S. N. NICHOLSON & D. McCUBBING (1996): The use of resistivity fish counters in fish stock assessment. - In: Cowx, I. G. (Hrsg.): Stock assessment in inland fisheries. - Oxford (Fishing News Books), 27 - 43.
- BAIER, E. (2016): Fish pass Steffstep - a solution for disconnected rivers? Potential application and efficiency of a new fish pass type. - Masterarbeit, ETH Zürich, 85 S.

- BALLON, E., S. MÖGELTÖNDER-LÖWENBERG, V. ROSENFELLNER & B. ADAM (2017): Monitoring des Fischaufstiegs an der Staustufe Geesthacht an der Elbe - Jahrbuch 2013/14. - Hamburg (Vattenfall Heizkraftwerk Moorburg GmbH), Schriftenreihe Elbfisch-Monitoring 5, 120 S.
- BENITZ, J.-P., A. DIERCKS, B. NITAU, X. ROLLIN & M. OVIDIO (2018): Movement behaviours of potamodromous fish within a large anthropised river after the reestablishment of the longitudinal connectivity. - Fisheries Research 207, 140 - 149.
- BONE, Q. & N. B. MARSHALL (1985): Biologie der Fische. - Stuttgart (Gustav Fischer Verlag), 236 S.
- CALLES, E. O. & L. A. GREENBERG (2007): The use of two nature-like fishways by some fish species in the Swedish River Eman. - Ecology of Freshwater Fish 16, 183 - 190.
- CARLE, C. (2011): Raum für Nase und Co. - Tec21, 137/13, 28 - 31.
- DODD, J. R., U. G. COWX & J. D. BOLLAND (2017): Efficiency of a nature-like bypass channel for restoring longitudinal connectivity for a river-resident population of brown trout. - J. Env. Management 204, 318 - 326.
- DUMONT, U., P. ANDERER & U. SCHWEVERS (2005): Handbuch Querbauwerke. - Düsseldorf (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und ländlichen Raum NRW), 212 S.
- DUSSLING, U., A. BISCHOFF, R. HABERBOSCH, A. HOFFMANN, H. KLINGER, C. WOLTER, K. WYSUJACK & R. BERG (2004): Grundlagen zur ökologischen Bewertung von Fließgewässern anhand der Fischfauna. - Webseite der Fischereiforschungsstelle Baden-Württemberg, [www. LVVG.bwl.de/FFS](http://www.LVVG.bwl.de/FFS), 49 S.
- DWA (2014): DWA-Merkblatt M-509: Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Bemessung, Gestaltung, Qualitätssicherung. - Hennef (DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.), 334 S.
- EBEL, G., F. FREDRICH, A. GLUCH, C. LECOUR & F. WAGNER (2006): Methodenstandard für die Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen. - Sindelfinden (BWK - Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau), 115 S.

- ENGLER, O. & B. ADAM (2014): HDX-Monitoring Wupper: Untersuchung der Wanderung von Fischen, Untersuchungszeitraum vom 31. Oktober 2013 bis 31. Mai 2014. - Kirtorf-Wahlen (Institut für angewandte Ökologie), im Auftrag der Bezirksregierung Düsseldorf. - <http://www.brd.nrw.de/umweltschutz/wasserrahmenrichtlinie/PDF/HDX-Monitoring-Wupper-2013-14.pdf>
- ENGLER, O. & B. ADAM (2018): HDX-Monitoring Wupper II: 3. Zwischenbericht der Untersuchung der Wanderung von Fischen. - Kirtorf-Wahlen (Institut für angewandte Ökologie), im Auftrag der Bezirksregierung Düsseldorf. - <http://www.brd.nrw.de/umweltschutz/wasserrahmenrichtlinie/PDF/HDX-Monitoring-Wupper-2017-Zwischenbericht.pdf>
- ENGLER, O. & B. ADAM (2020): Beeinflussung der Effizienz von Fischwegen durch die Lichtverhältnisse. - Artenschutzreport 41, 41 - 47.
- FINKENZELLER, K. (2015): RFID-Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC. - Hanser Verlag, 7. Auflage.
- FORTY, M., J. SPEES, & M. C. LUCAS (2016) Not just for adults! Evaluating the performance of multiple fish passage designs at low-head barriers for the upstream movement of juvenile and adult trout *Salmo trutta*. - Ecological engineering 94, 214 - 224.
- FOULDS, W. L. & M. C. LUCAS (2013): Extreme inefficiency of two conventional, technical fishways used by European river Lamprey (*Lampetra fluviatilis*). - Ecological engineering 58, 423 - 433.
- FREDRICH, F. & H. H. ARZBACH (2002): Wanderungen und Uferstrukturnutzung der Quappe, *Lota lota* in der Elbe, Deutschland. - Z. Fischk. Suppl. 1, 159 - 178.
- FUST, A. & H. REIF (2008): Neubau des Wehres und Kraftwerks Rheinfelden. - Wasserwirtschaft 98/12, 10 - 17.
- GARDNER, C. J., D. C. DEEMING, I. WELLBY, C. D. SOULSBURY & P. E. EADY (2015): Effects of surgically implanted tags and translocation on the movements of common bream *Abramis brama* (L.). - Fisheries Research 167, 252 - 259.
- GEBLER, H. J. (2003): Vorprojekt Erneuerung des Fischpasses beim KW Augst. - Walzbachtal (Ingenieurbüro Dr.-Ing. Rolf-Jürgen Gebler), im Auftrag der NOK Engineering, Baden, 27 S.
- GEBLER, R. J. & P. LEHMANN (2013): Naturnahes Fließgewässer am neuen Kraftwerk Rheinfelden. - Wasserwirtschaft 103/6, 48 - 53.

- GEBLER, R. J. (2010): Zählbecken: eine Fisch schonende Methode zur Funktionskontrolle von Fischwegen. - Wasserwirtschaft 100/3, 26 - 29.
- GERHARDT, P. (1912): Die Fischwege. - Handbuch der Ingenieurwissenschaften 3. Teil, II. Bd., 1. Abt.: Wehre und Fischwege, 454 - 499.
- GERSTER, S. (1998): Hochrhein: Aufstiegskontrollen 1995/96; Vergleich mit früheren Erhebungen. - BUWAL Mitt. Fischerei 60, 5 - 137.
- GUTHRUF, J. (2006): Koordinierte Fischaufstiegskontrollen an den Aare-Kraftwerken zwischen Solothurn und der Mündung in den Rhein. - Wichtrach (Aquatika GmbH), im Auftrag des Amts für Umwelt des Kantons Solothurn u. a., 99 S.
- GUTHRUF, J. (2008): Fischaufstieg am Hochrhein, koordinierte Zählung 2005/06. - Bern (BAFU), Umwelt-Wissen 10/08, 161 S.
- GUTHRUF, J. (2020): Fischaufstieg am Hochrhein, koordinierte Zählung 2016/17. - Bern (BAFU) (in Vorbereitung).
- HARTMANN, F. (2004): Fischschädigungen am Fischpass Iffezheim. - Tagungsband 16. SVK-Fischereitagung, 28 S.
- HENNEBERG, S. C. (2011): Flussgebietsstrategie zur Entwicklung der Wanderfischfauna. - KW - Korrespondenz Wasserwirtschaft 4, 258 - 263.
- HUFGARD, H. & U. SCHWEVERS (2013): Monitoring des Fischaufstiegs an der Staustufe Geesthacht an der Elbe - Jahrbuch 2010. - Cottbus (Vattenfall Europe Generation AG), Schriftenreihe Elbfisch-Monitoring 2, 94 S.
- JENS, G. (1982): Der Bau von Fischwegen, Fischtreppen, Aalleitern und Fischschleusen. - Hamburg (Verlag Paul Parey), 5. Aufl., 93 S.
- JENS, G. et al. (1997): Fischwanderhilfen: Notwendigkeit, Gestaltung, Rechtsgrundlagen. - SchrR. Verband Dt. Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler 11, 113 S.
- KÄFER, S. (2019): Verbesserung der ökonomischen Effizienz bei gleichbleibender ökologischer Effektivität. - Wasserwirtschaft 109/10, 45 - 47.
- KRAUTINGER (1913): Erprobung der Deniltreppe in Wyhlen am Oberrhein. - Allg. Fischerei-Z. 28, 197.

- LAMPERT, W. & W. LINK (1971): Markierungsversuche und Fischeaufstiegskontrolle an den Staustufen des Hochrheins in den Jahren 1947 und 1952. - Arch. Hydrobiol. Suppl. 38, 315 - 335.
- LARINIER, M. (1992): Implantation des passes a poissons. - Bull. Fr. Pêche Piscic. 326/327, 30 - 44.
- LÖSER, C. & B. ADAM (2017): Achtung bitte! In Elbe, Wupper, Diemel und Hochrhein schwimmen Fische mit Personalausweis. - Fischer & Teichwirt 65, 173 - 174.
- LUBW (2010): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch Rheingebiet, Teil I: Hoch - und Oberrhein 2009 (01.11.2008 - 31.12.2009). - Karlsruhe (LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg), 159 S.
- LUCAS, M. C., T. MERCER, J. D. ARMSTRONG, S. MCGINTY & P. RYCROFT (1999): Use of flat-bed passive integrated transponder antenna array to study the migration and behaviour of lowland river fishes at a fish pass. - Fish. Res. 44, 183 - 191.
- LUWG (2008): Durchgängigkeit und Wasserkraftnutzung in Rheinland-Pfalz: Bewertung der rheinland-pfälzischen Wanderfischgewässer hinsichtlich Durchgängigkeit und Eignung zur Wasserkraftnutzung, Phase 2. - Mainz (Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz), 132 S.
- MANN, H. (1965): Ergebnisse der Aalmarkierungen in der Elbe im Jahr 1963. - Fischwirt 15, 1 - 7.
- MAST, N., V. ROSENFELLNER & B. ADAM (2016): Telemetrische Untersuchungen zur Gefährdung wandernder Fische durch das Pumpspeicherwerk Geesthacht. - Wasserwirtschaft 106/12, 28 - 33.
- METZGER, A. (1912): Über die Wirksamkeit des Fischpasses am Fuldaweher bei Bonafort im Jahre 1911. - Allg. Fischerei-Z. 37, 179 - 180.
- MEYER, L. & G. R. PELZ (1998): Radiotelemetrische Untersuchungen an Äschen *Thymallus thymallus* (L.) in der Ilmenau (Niedersachsen. - Fischökologie 11, 21 - 34.
- MOCKENHAUPT, B. & C. KLÜBER (2015): Fischerfassung in FAA: Reuse vs. automatische Fischerfassung (Vaki-Counter) - Vergleich zweier Verfahren. - Karlsruhe & Koblenz (BAW & BFG Kolloquiumsreihe Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstrasse. 4. Kolloquium 9./10. Juli 2014 in Koblenz), 64 - 70.

- MÜLLER-HAECKEL, A. & K. MÜLLER (1970): Chronobiologie in Fließgewässern. - Österr. Fischerei 23, 90 - 96.
- MUSALL, M., P. OBERLE, A. FUST & F. NESTMANN (2008): 3-D-Strömungssimulation zur Bewertung der Leitströmung eines Umgehungsgerinnes am Hochrheinkraftwerk Ryburg-Schwörstadt. - Wasserwirtschaft 98/1+2, 37 - 42.
- NÖTHLICH, I., D. DEGEL & G. FRANK (2001): Untersuchungsergebnisse zur Fischwanderung in der neuen Fischaufstiegsanlage Iffezheim. - Koblenz (Bundesanstalt für Gewässerkunde), 69 S.
- OVIDIO, M., A. DIERCKX, J. P. BENITEZ, J. C. PHILIPPART & P. ORBAN (2012): Behavioural adaptations of rheophilic fish radio-tracked in a river highly fragmented by hydroelectric plants, outcomes of a partial reopening of their migration routes. - Proc. 9th International Symposium on Ecohydraulics, Vienna, 9 S.
- PAVLOV, D. S., A. I. LUPANDIN & V. V. KOSTIN (2002): Downstream migration of fish through dams of hydroelectric power plants. - Oak Ridge / Tennessee (Oak Ridge National Laboratory), 249 S.
- PESCHKE, E. (Hrsg.) (2011): Chronobiologie - Leopoldina-Symposium am 19. März 2010 in Halle (Saale). - Nova Acta Leopoldina NF 114/389, Stuttgart (Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft), 280 S.
- PETER, A. (1998): Interruption of the river continuum by barriers and the consequences for migratory fish. - In: Jungwirth, M. et al. (Hrsg.): Fish migration and fish bypasses. - Oxford (Fishing News Books), 99 - 112.
- PETER, A., R. METTLER & N. SCHÖLZEL (2016): Kurzbericht zum Vorprojekt "PIT-Tagging Untersuchungen am Hochrhein - Kraftwerk Rheinfelden". - Olten (Peter Fishconsulting), im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU, 43 S.
- PITSCH, M. & B. MOCKENHAUPT (2015): Passierbarkeit in unterschiedlichen Abschnitten einer Fischaufstiegsanlage in Schlitzpassbauweise. - Karlsruhe & Koblenz (BAW & BFG, Kolloquiumsreihe Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstrassen. 4. Kolloquium 9./10. Juli 2014 in Koblenz), 105 - 111.
- REIF, H. (2013): Neubau des Stauwehres in Rheinfelden. - Wasserwirtschaft 103/6, 15 - 18.
- SCHINDLER, O. (1975): Unsere Süßwasserfische. - Stuttgart (Franckh), 5. Auflage.
- SCHMALZ, W. (2002): Modifizierung, Erprobung und Untersuchung einer neuartigen Fangtechnik zur Erforschung des Fischabstiegs im Bereich von Wasserkraftanlagen,

Abschlussbericht. - Schleusingen (Bauhaus-Universität Weimar, Hydrolabor Schleusingen), gefördert von der DBU, 45 S.

SCHMUTZ, S. & G. UNFER (1996): Radio telemetry as an additional tool for investigating the colonisation of a recently constructed channel (Marchfeldkanal). - In: Baras, E. & J. C. Philippart (Hrsg.): Underwater biotelemetry 1996 (Liège), 137 - 142.

SCHÖLZEL, N. (2014): Bedeutung von Blockrampen für die Längsvernetzung der Fließgewässer für ausgewählte Fischarten (Nicht-Salmoniden). - Masterarbeit, Universität Konstanz und Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), 102 S.

SCHWEVERS, U. & B. ADAM (2006): DWA-Themen: Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen - Auswertung durchgeführter Untersuchungen und Diskussionsbeiträge für Durchführung und Bewertung. - Hennef (DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.), 123 S.

SCHWEVERS, U. & B. ADAM (2016): Fischökologisches Monitoring mittels Telemetrie zur Evaluierung des aalschützenden Anlagenmanagements an den Staustufen Offenbach und Kesselstadt. - Kirtorf-Wahlen (Institut für angewandte Ökologie), im Auftrag der Uniper Kraftwerke GmbH, 114 S.

SCHWEVERS, U. & B. ADAM (2018): Zur Sackgassenwirkung von Ausleitungskraftwerken für stromaufwärts wandernde Fische. - Wasser & Abfall 20/7+8, 67 - 71.

SCHWEVERS, U., M. FALLER & H. HUGGARD (2011): Monitoring des Fischaufstiegs an der Staustufe Geesthacht an der Elbe, Jahrbuch 2009. - Cottbus (Vattenfall Europe Generation AG), Schriftenreihe Elbfisch-Monitoring 1, 67 S.

SCHWEVERS, U., O. ENGLER, S. WALTER & P. IRMSCHER (2015): Funktionskontrolle der Fischwanderhilfe am Wehr der Schwalm in Schwalmstadt-Allendorf. - Kirtorf-Wahlen (Institut für angewandte Ökologie), im Auftrag von Hessen Mobil: Strassen- und Verkehrsmanagement, 109 S. - https://www.researchgate.net/publication/289308462_Funktionskontrolle_der_Fischaufstiegsanlageam_Allendorfer_Wehr_Schwalm_in_Schwalmstadt-Allendorf

SFV (2018): Hintergrundinformationen zum Äschensterben am Hochrhein. - Bern (Schweizer Fischerei-Verband), 9 S. - <https://www.sfv-fsp.ch>.

- STAUB, E. & S. GERSTER (1992): Fischpassanlagen der Hochrheinkraftwerke: Aufstiegskontrollen 1985/86 und Vergleich mit früheren Erhebungen. - Bern (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL), SchrR. Fischerei 48, 109 S.
- STEINECK, S., A. EICHHORN & B. LEHMANN (2020): Statistisch abgesicherte Maximalwertermittlung einer unscharfen Datenreihe mit einer Gammafunktion. - Darmstadt (Technische Universität Darmstadt), 3 S.
- TETARD, S., E. de OLIVEIRA & K. LINÉ (2015): Untersuchungen zur Auffindbarkeit und Passierbarkeit der FAA Gamsheim/Rhein für Salmoniden und Cypriniden. - 4. Kolloquium „Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstrassen“ 9./10. Juli 2014 in Koblenz, 87 - 93.
- TRAVADE, F., M. LARINIER, S. BOYER-BERNARD & J. DARTIGUELONGUE (1998): Performance of four fish pass installations recently built on two rivers in south-west France. - In: Jungwirth, M. et al. (Hrsg.): Fish migration and fish bypasses. - Oxford (Fishing News Books), 146 - 170.
- TRAVADE, F. & M. LARINIER (1992): Les techniques de contrôle des passes a poissons. - Bull. Fr. Pêche Piscic. 326/327, 151 - 164.
- ULRICH, J. (2010): Optimierung des Beckenfischpasses am Rheinkraftwerk Wyhlen. - Wasserwirtschaft 100/3, 20 - 25.
- ULRICH, J. (2013a): Ökologische Massnahmen im Umfeld des neuen Wasserkraftwerks Rheinfelden. - Wasserwirtschaft 103/6, 43 - 47.
- ULRICH, J. (2013b): Zwischenergebnis der Fischzählung am neuen Wasserkraftwerk Rheinfelden. - Wasserwirtschaft 103/6, 54 - 57.
- ULRICH, J. (2017): Monitoring Natur, Landschaft und Gewässer am Kraftwerk Rheinfelden. - Wasserwirtschaft 107/12, 58 - 64.
- VISCHER, D. & A. HUBER (1985): Wasserbau: hydrologische Grundlagen, Elemente des Wasserbaues, Nutz- u. Schutzbauten an Binnengewässern. - Berlin & Heidelberg (Springer-Verlag), 4. Auflage, 218 S.
- WILMSMEIER, L., N. SCHÖLZEL, A. BAUMANN, Y. CARMONA & A. PETER (2020): Fischzählbecken - die unterschätzte Bedeutung der Reusenkehle. - Wasserwirtschaft 110/2+3, 55 - 62.

ZEIER, T. & M. KRARUP (2007): Fischpass Augst, Schlussbericht. - Augst (Kraftwerk Augst), 9 S.

9 ANHANG

Statistisch abgesicherte Maximalwertermittlung einer unscharfen Datenreihe mit einer Gammafunktion

S. Steineck, A. Eichhorn und B. Lehmann / Stand: 24.03.2020

Grundlegende Erläuterung

Reale Datenreihen, deren Werte aus Versuchen und Beobachtungen komplexer Prozesse gewonnen wurden, sind oftmals umfangreich und unscharf. Infolge der Unschärfe, welche bspw. durch Messunsicherheiten (aufgrund nicht vermeidbarer Messabweichungen) oder erfasster extremer Ereignisse (Ausreißer) entstehen kann, lassen sich charakteristische Merkmale der Datenreihe oftmals nicht klar ermitteln. So ist es bspw. zwar leicht möglich, den Maximalwert aus allen empirisch erfassten Werten eines gesuchten Parameters zu filtern – unklar ist jedoch, ob nicht grade dieser Wert einer großen Unschärfe unterliegt und daher als im statistischen Sinne „ungenau“ geltend gemacht werden muss.

Daher wird zur Auswertung folgende Grundidee umgesetzt: sofern die Datenreihe einen ausreichenden Umfang aufweist, können hinsichtlich des gesuchten Parameters Klassen gebildet und deren relative Häufigkeiten ermittelt werden (Schritt 1). Darauf aufbauend lässt sich mit Hilfe einer angepassten Dichtefunktion (Schritt 2) eine schließende statistische Analyse der Daten durchführen (Bem.: hieraus könnte dann in einem weiterführenden Schritt 3 durch Integration auch die zugehörige Verteilungsfunktion ermittelt werden). Eine an die Datenreihe möglichst optimal angepasste Dichtefunktion gemäß der Methode der kleinsten Quadrate von C.F. Gauß glättet Unschärfefeffekte wie Messabweichungen. Die mathematische Analyse der Funktion kann wiederum zur Identifikation von Extremwerten (bspw. Maximal- und Minimalwerte, Wendepunkte) oder von Quantilbereichen (Verteilungsfunktion) genutzt werden, woraus sich schlussendlich eine statistisch abgesicherte Analyse der zu Grunde liegenden Datenreihe ergibt.

Maximalwertermittlung einer unscharfen Datenreihe mit einer Gamma-Verteilung

Im konkreten Fall ist das Ziel der mathematischen Auswertung einer Datenreihe die statistisch abgesicherte Bestimmung des Maximalwertes der relativen Häufigkeiten einer unscharfen Datenreihe. Dazu wurde als anzupassende Dichtefunktion die Funktionsarchitektur auf Grundlage einer Gamma-Verteilung genutzt, die mit ihren zwei Parametern b und p eine allgemein gute Anpassung an Datenreihen ermöglicht. Die Gamma-Verteilung stellt in der Statistik eine kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsfunktion über der Menge der positiven Zahlen dar. Sie gilt als eine Verallgemeinerung der Exponentialfunktion und der Erlang-Funktion für nichtganzzahlige Parameter.

Ihre zugehörige Dichtefunktion $f(x)$ ist wie folgt definiert:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{b^p}{\Gamma(p)} \cdot x^{p-1} \cdot e^{-b \cdot x} & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

Die Funktion wird durch die zwei reelle Parameter b und p parametrisiert, welche größer als null sein müssen. Dabei stellt b einen inversen Skalenparameter und p einen Formparameter dar. Der Faktor $(b^p/\Gamma(p))$ dient der Normierung, wobei $\Gamma(p)$ den Funktionswert der Gammafunktion darstellt. Mit Hilfe der Parameter p und b lassen sich die wichtigsten grafischen Werte der Funktion mathematisch ableiten - beispielsweise der Maximal- und der Erwartungswert.

Anwendung auf die HDX-Daten von markierten Fischen zur Auffinde- und Passagedauer von fischpassierbaren Anlagen

Um die Gamma-Verteilung bzw. deren Dichtefunktion konkret auf eine erhobene Datenreihe zur Auffinde- oder Passagedauer einer fischpassierbaren Anlage anzuwenden, muss zunächst festgelegt werden, welches Beobachtungszeitintervall zu Grunde gelegt werden soll. Alle Daten, die nach diesem Beobachtungsintervall erfasst wurden, fließen nicht in die Auswertung mit ein. Indem man bspw. das Beobachtungsintervall auf die ersten 300 Stunden ab Versuchsbeginn legt kann erreicht werden, dass primär die HDX-Signale der „wandermotivierten“ Fische berücksichtigt werden – markierte Fische, deren HDX-Signal erst später erfasst wurde weil sie keiner aktiven Wandermotivation unterlagen, können so die Auswertung nicht verfälschen.

Als gezählte Ereignisse/Signale liegen die Werte der Datenreihe über den definierten Klassen in absoluten Häufigkeiten vor. Um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den Ergebnissen zu erzielen, müssen die Häufigkeiten zunächst in relative Häufigkeiten umgerechnet werden.

Die eigentliche Auswertung der so vorbereiteten Datenreihe durch Anpassung der Dichtefunktion $f(x)$ der Gamma-Verteilung erfolgt mittels eines auf der Methode der kleinsten Quadrate basierenden Algorithmus, welcher in der Software *Matlab* implementiert und von dort als autonom ausführbares Programm (exe-File) exportiert wurde. Die Darstellung von $f(x)$ ist mit *Matlab* möglich, allerdings mit einer gegenüber Gleichung (1) veränderten Parametrisierung:

$$p = \text{Matlab_a} \text{ und } b = \frac{1}{\text{Matlab_b}} \quad (2)$$

Daraus folgt für die Funktion mit der alternativen Parametrisierung:

$$f(x) = \frac{\frac{1}{\text{Matlab_b}}}{\Gamma(\text{Matlab_a})} \cdot x^{\text{Matlab_a}-1} \cdot e^{-\frac{1}{\text{Matlab_b}}x} \quad (3)$$

Die Parameter *Matlab_a* und *Matlab_b* werden von der Software optimal geschätzt, um eine Funktion zu erzeugen, die sich der Datenreihe mit minimaler Quadratsumme der Residuen annähert (Fitting). Der im statistischen Sinne optimal bestimmte Maximal- (x_M) und Wendepunkt (x_W) der Datenreihe ergibt sich aus den geschätzten Parametern dann wie folgt:

$$x_M = \frac{\text{Matlab_a}-1}{\frac{1}{\text{Matlab_b}}} \quad \text{und} \quad x_W = x_M + \frac{(\text{Matlab_a}-1)^{\frac{1}{2}}}{\frac{1}{\text{Matlab_b}}} \quad (4)$$

Zudem können die Unsicherheiten der aus dem Fitting abgeleiteten Größen σ_{xM} bzw. σ_{xW} berechnet werden.

Für eine erfolgreiche (konvergierende) Anpassung der Dichtefunktion $f(x)$ an die Datenreihe benötigt das Programm zunächst Näherungswerte *Matlab_a0* und *Matlab_b0* für die Parameter. Diese werden dann im Anpassungsprozess so lange iteriert, bis eine konvergente Lösung erzielt ist, d.h. eine vorgegebene minimale Änderungsschranke erreicht wird.

Die Bestimmung von hinreichend guten Näherungswerten kann bspw. durch Auswertung der relativen Häufigkeiten der ursprünglichen Datenreihe und Auffinden von grob genäherten Werten $x_{M,0}$ bzw. $x_{W,0}$ erfolgen.

Daraus ergibt sich für die Parameter *Matlab_a0* und *Matlab_b0*:

$$\text{Matlab_a0} = \frac{x_W^2 - 2 \cdot x_W \cdot x_M + 2 \cdot x_M^2}{(x_M - x_W)^2} \quad \text{Matlab_b0} = \frac{x_M}{\text{Matlab_a} - 1} \quad (5)$$