

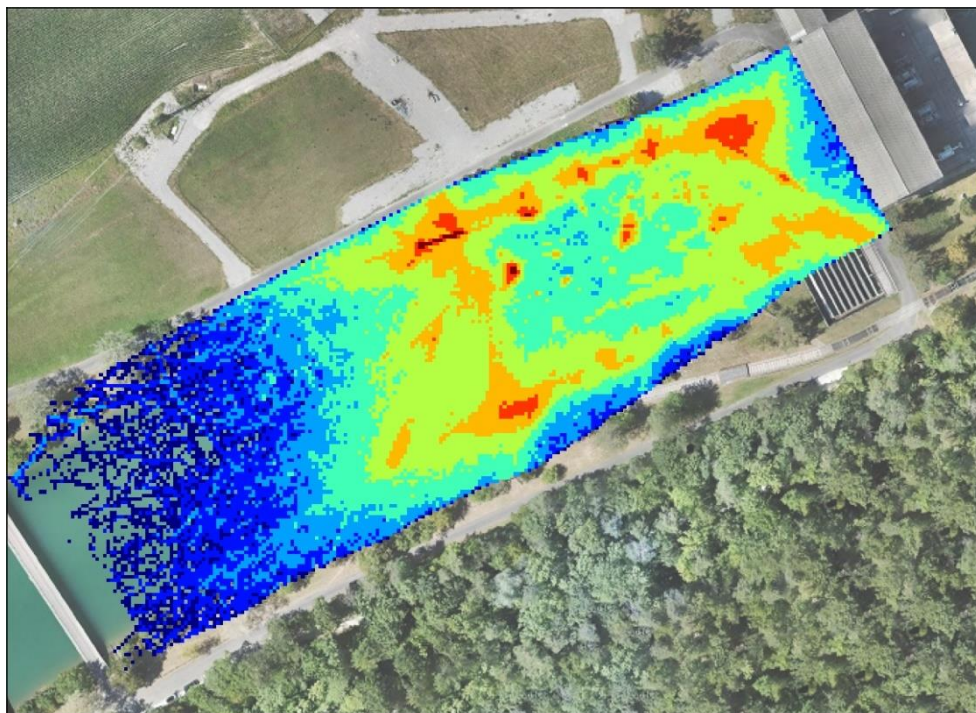
Bericht

KWWB Villnachern AG

Kraftwerk Wildegg-Brugg
Sanierung Geschiebehaushalt und Wiederherstellung
Fischwanderung

Teilprojekt F: Fischabstieg am Maschinenhaus

Verhaltensbiologische Untersuchungen mittels akustischer
Telemetry



Meister Julian Axpo Umwelt
Adrian Mehl Axpo Umwelt
Alexander Schumann Axpo Umwelt
FishConsulting GmbH

27. März 2024

Ref.-Nr. H 18596

Details zum Dokument

Titelbild	Darstellung der präferierten Aufenthaltsorte aller während dieser Studie detektierten Fische
Dokumentart/ -klasse	Bericht
Nummer	H 18596
Auftraggeber	KWWB Villnachern AG Kraftwerk Wildegg-Brugg
Anlage/Objekt	Sanierung Geschiebehalt und Wiederherstellung Fischwanderung
Titel	Teilprojekt F: Fischabstieg am Maschinenhaus
Betreff	Verhaltensbiologische Untersuchungen mittels akustischer Telemetrie Meister Julian Axpo Umwelt Adrian Mehl Axpo Umwelt Alexander Schumann Axpo Umwelt
Erstellt	27.03.2024 FishConsulting GmbH
Geprüft	27.03.2024 Mendez Ricardo Axpo Umwelt
Freigegeben	27.03.2024 Semadeni Nadia Axpo Umwelt
Datei	KWWB 2024.03.27 H-18596 Akustische Telemetrie.docx
Attribute	Bericht KWWB --- Ökologie Fischeauf-, -Abstieg

Verteiler

Name	STKZ
Oliver Steiger	Leiter Kraftwerksgruppe Aare-Reuss-Rhein
Manuel Häfeli	Betriebsleiter Kraftwerk Wildegg-Brugg
Andreas Stettler	Geschäftsführer SWV/VAR
Maja Kevic	Kanton Aargau
Martin Huber Gysi	Bundesamt für Umwelt
Ablage Axpo	Axpo

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Zusammenfassung	4
1. Einleitung und Veranlassung	6
2. Projektziele und Fragestellungen	7
3. Grundlagen	8
3.1 Kraftwerk Wildegg-Brugg	8
3.2 Hydrologie	8
3.3 Hydraulik	9
3.4 Potenzielle Wanderkorridore	11
3.5 Zielfischarten und Wanderverhalten	11
4. Material und Methoden	14
4.1 Akustische Telemetrie	14
4.2 PIT-tagging	16
4.3 Untersuchungsperimeter und Versuchsaufbau	16
4.4 Untersuchungszeitraum	26
4.5 Datenvalidierung und Datenanalyse Hydrophonnetz	26
4.6 Datenvalidierung und Datenanalyse Aussenstation und mobiles Tracking	33
4.7 Fang und Markierung der Fische	33
5. Resultate und Diskussion	38
5.1 Lebensdauer der verwendeten Tags	38
5.2 Überblick über die vorhandenen Daten	39
5.3 Grossräumige Wanderung und Abstiegskorridore	45
5.4 Überlebensraten bei der Turbinenpassage	52
5.5 Anzahl, Dauer und Rheotaxis von Annäherungen an das Maschinenhaus	53
5.6 Umkehrpunkte	57
5.7 Durchstosspunkte: Räumliche Verteilung der Annäherungen und Suchbewegungen	59
5.8 Heatmaps: Analyse der Aufenthaltsorte	62
5.9 Einfluss abiotischer Faktoren	67
5.10 Einfluss des Fangorts und Reduktionsrate	79
5.11 Ausgewählte Schwimm- und Wanderpfade	82
6. Antworten auf Fragen aus dem Pflichtenheft	98
7. Probleme und Herausforderungen	102
7.1 Probleme im Langzeitbetrieb aufgrund der Gewässereinwirkungen	103
7.2 Hardwareprobleme	107
7.3 Softwareprobleme	108
7.4 Weitere Probleme	109
8. Praxisrelevanz für den Fischabstieg	112
8.1 Betriebliche Massnahmen	112
8.2 Ufernahe Leitstrukturen	113
9. Fazit und Ausblick	114
Literaturverzeichnis	116
Abbildungsverzeichnis	118

Zusammenfassung

Das Kraftwerk Wildegg-Brugg (das KWWB) der KWWB Villnachern AG (die KWWB) ist nach den Bestimmungen des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) und Bundesgesetzes über die Fischerei (BGF) hinsichtlich Fischwanderung (Art. 9 und 10 BGF) sanierungspflichtig. Die Sanierung der Fischwanderung wurde mittels Regierungsratsbeschluss des Kantons Aargau vom 29. April 2015 verfügt. Die KWWB hat die Axpo Power AG am 5. November 2018 mit der Durchführung einer akustischen Telemetrieuntersuchung beauftragt.

Die in vorliegendem Bericht beschriebene akustische Telemetrieuntersuchung ist Teil eines vom Verband Aare-Rheinwerke (VAR) initiierten Pilotprojekts zum Fischabstieg an grossen Wasserkraftanlagen. Die meisten Kraftwerke an der Aare und am Rhein haben eine Verfügung für die Sanierung des Fischabstiegs gemäss BGF erhalten, obwohl heute noch keine zufriedenstellende Lösung für Rechensysteme bei Kraftwerken mit einer Ausbauwassermenge grösser 100 m³/s vorliegt. Aus diesem Grund sah der VAR vor, an zwei repräsentativen Kraftwerken (Kraftwerk Bannwil der BKW Energie AG (BKW) und KWWB) neben technischen Vorprojekten für den Einsatz von Leitrechen-Bypass-Systemen mittels *Bar Racks* Telemetriestudien durchzuführen, um mehr über das Fischverhalten im Ist-Zustand herauszufinden. Das übergeordnete Ziel dieser Studien war es, durch das bessere Verständnis des Fischverhaltens im Ist-Zustand eine bessere Grundlage zur Beurteilung von alternativen Fischabstiegsmassnahmen zu Leitrechen-Bypass-Systemen zu schaffen.

Im Rahmen dieses Projekts wurde vor dem Maschinenhaus (MH) des KWWB ein aus 16 Hydrophonen bestehendes akustisches Telemetrienetz aufgebaut. Insgesamt wurden 699 Fische von 14 verschiedenen Fischarten mittels Zählvorrichtungen in Fischaufstiegshilfen und mittels Elektrofischerei gefangen, markiert und im Oberwasserkanal des KWWB ausgesetzt. Dabei handelte es sich um 323 Alet, 270 Barben und 106 Individuen weiterer Fischarten. Zusätzlich zu dem dichten Hydrophonnetz vor dem MH des KWWB wurden mehrere Aussenstationen ober- und unterstrom des KWWB installiert. Dies ermöglichte die Analyse des grossräumigen Wanderverhaltens der markierten Fische.

Die Haupteckdaten dieses Projekts sind:

- Die überwiegende Mehrheit der Fische nähert sich dem MH des KWWB mit positiver Rheotaxis, d.h. mit der Schwanzflosse voraus.
- Das MH wird von den Fischen als Hindernis wahrgenommen. Anstatt direkt abzuweichen, führen die meisten Fische intensive Suchbewegungen im Nahbereich des MH durch.
- Die erste Annäherung an das MH des KWWB erfolgt bei der Fischart Alet in Ufernähe, bei den Barben und anderen Fischarten wurde diese Präferenz jedoch nicht beobachtet.
- Die folgenden Suchbewegungen nach der ersten Annäherung konzentrierten sich sowohl bei Alet als auch bei Barben auf die Uferbereiche.
- Alet bevorzugten generell strömungsberuhigte Bereiche, während sich Barben auch häufig in Bereichen mit hohen Fliessgeschwindigkeiten aufhielten.
- Während der Grossteil der Fische im Oberwasser verblieb, muss bei 80 Individuen von einer Turbinenpassage ausgegangen werden.
- Die Turbinen des KWWB dienten somit als Hauptabstiegskorridor. Die Fischaufstiegshilfe wurde nur von einzelnen Fischen für den Abstieg genutzt. Weitere Abstiegskorridore sind beim MH des KWWB nicht vorhanden.

- Durch die Analyse vieler abiotischer Faktoren konnten diverse, teilweise fischart-spezifische Trends festgestellt werden. Die Streuung der beobachteten Zusammenhänge ist jedoch gross. Weder die stromabwärts gerichteten Fischbewegungen noch die Turbinenpassagen konzentrierten sich auf kurze Zeiträume.
- Durch die Erkenntnis, dass die Suchbewegungen primär ufernah stattfinden, entstand mit ufernahen Leitstrukturen eine neue, für das KWWB vielversprechende, Idee für eine alternative Fischabstiegsmassnahme.
- Aufgrund von externen Gewässereinwirkungen wie Schwemmholtz- und Geschiebetransport ist es sehr herausfordernd, ein akustisches Telemetriesystem über mehrere Jahre hinweg in Schweizer Fliessgewässern zuverlässig zu betreiben. Dies ist insbesondere deshalb relevant, da diese externen Gewässereinwirkungen in Schweizer Fliessgewässern sehr ausgeprägt sind.

Die während dieses Projekts gesammelten Erkenntnisse tragen zum besseren Verständnis des Schwimm- und Wanderverhaltens adulter potamodromer Fische bei. Für die zielgerichtete Planung alternativer Fischabstiegsmassnahmen sind diese Erkenntnisse unerlässlich. Mit ufernahen Leitstrukturen entstand eine für das KWWB vielversprechende alternative Fischabstiegsmassnahme, welche in einem Nachfolgeprojekt detaillierter ausgearbeitet und anschliessend umgesetzt werden könnte.

1. Einleitung und Veranlassung

Das vom Verband Aare-Rheinwerke (VAR) im Jahr 2011 initiierte Forschungsprojekt «Gewährleistung eines schonenden Fischabstiegs an grösseren mitteleuropäischen Flusskraftwerken» konnte Anfang 2015 mit der Publikation der Dissertation einer möglichen Variante mittels «Leitrechen an Fischabstiegsanlagen – Hydraulik und fischbiologische Effizienz» (VAW-Mitteilung Nr. 230) und des zusammenfassenden Fachartikels «Massnahmen zur Gewährleistung eines schonenden Fischabstiegs» (Wasser Energie Luft, 107. Jahrgang, 2015, Heft 1, Seiten 17-28) abgeschlossen werden.

Das vom VAR gemeinsam mit den Bundesämtern BAFU und BFE sowie swisselectric research finanzierte Projekt hat interessante Resultate zu Leitrechen als mechanische Verhaltensbarrieren auf Stufe Labor hervorgebracht. Gleichzeitig sind aber viele neue Fragen aufgetaucht: einerseits zur technischen Umsetzbarkeit einer solchen Lösung bei grossen Flusskraftwerken und andererseits zum grossräumigen Wanderverhalten der Fische in unseren Gewässern. Eventuell gibt es noch weitere Fischabstiegsvarianten, die zielführender und kostengünstiger sind, wie z.B. das partielle Öffnen der Wehre, Drosselung der Turbinen oder eine Kombination davon. Die Grundlage für die Entwicklung von solchen Varianten bildet das Wissen zum Verhalten der Fische beim Abstieg.

Die meisten Kraftwerke an der Aare haben eine Verfügung für die Sanierung des Fischabstiegs nach Art. 10 Bundesgesetz über die Fischerei (BGF) erhalten, obwohl heute noch keine praktikable Lösung für Rechensysteme bei Kraftwerken mit einer Ausbauwassermenge grösser 100 m³/s vorliegt. Aus diesem Grund sah der VAR vor, an zwei repräsentativen Kraftwerken (Kraftwerk Bannwil der BKW Energie AG (BKW) und KWWB) je ein technisches Vorprojekt für den Einsatz der Variante «Abstieg mittels Bar Racks» durchzuführen, welche Klarheit über die Machbarkeit und die zu erwartenden Kosten brachten. Die Resultate daraus werden den restlichen 31 Kraftwerken des VAR zur Verfügung gestellt.

Mit dem Regierungsratsbeschluss (RRB) vom 29. April 2015 wurde die KWWB gestützt auf Art. 10 des BGF verpflichtet, den Fischabstieg beim KWWB zu sanieren. Auch weitere Anlagenteile sind gemäss RRB zu sanieren. Weitere Informationen zur Gesamtanierung beim KWWB können dem technischen Vorprojekt [1] entnommen werden.

Im Dezember 2016 reichten die KWWB und die BKW je eine Pflichtenheftskizze für die technischen Vorprojekte und beim KWWB zusätzlich eine Pflichtenheftskizze für die Untersuchung des Wanderverhaltens der Fische im Flusssystem beim BAFU ein. Anschliessend wurden die Pflichtenheftskizzen in der Begleitgruppe aus kantonalen Fachbehörden, Umweltschutzorganisationen und Forschungsanstalten verteilt sowie an einer gemeinsamen Sitzung am 28. Februar 2017 vorgestellt und besprochen. Grundsätzlich unterstützten alle Mitglieder der Begleitgruppe das skizzierte Vorgehen.

Mit Schreiben vom 21. Dezember 2017 reichte Axpo für das KWWB je ein separates Pflichtenheft zum technischen Vorprojekt und zur verhaltensbiologischen Studie mittels akustischer Telemetrie inkl. Antrag für Entschädigung nach Art. 34 Energiegesetz (EnG) beim Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Landschaft und Gewässer des Kantons Aargau (BVUALG) ein. Mit Schreiben vom 14. Februar 2018 beurteilte das BVUALG die Pflichtenhefte der KWWB als zweckmässig für das Vorhaben und stellte den Antrag auf Gutheissung der Pflichtenhefte durch das BAFU.

Schliesslich hat das BAFU am 31. Oktober 2018 eine Verfügung erlassen, welche auch die Kostenübernahme zusicherte.

Die KWWB beauftragte die Axpo Power AG am 5. November 2018 mit der Durchführung der verhaltensbiologischen Studie. Der Projektstand und die entsprechenden Zwischenresultate wurden der Begleitgruppe an den Sitzungen vom 14. November 2019, 3. März 2021, 6. April 2022 und 27. Juni 2023 vorgestellt.

Der vorliegende Bericht umfasst die beim KWWB durchgeführte, verhaltensbiologische Studie mittels akustischer Telemetrie. Zum technischen Vorprojekt wurde ein separater Bericht verfasst. Zusätzlich wurde in Zusammenarbeit mit der BKW ein Synthesebericht [2] geschrieben, in welchen die wichtigsten Erkenntnisse der beiden technischen Vorprojekte und verhaltensbiologischen Studien eingeflossen sind.

2. Projektziele und Fragestellungen

Hauptziel der in diesem Bericht beschriebenen akustischen Telemetrieuntersuchung war es, das Abstiegsverhalten ausgewählter Zielfischarten bei Kraftwerken in den grösseren Fliessgewässern im Schweizer Mittelland besser zu verstehen. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen unter anderem dazu beitragen, Alternativmassnahmen zu Leitrechen-Bypass-Systemen für den Fischabstieg zu entwickeln, oder vorhandene Systeme auf ihr Potenzial für Erfolg zu beurteilen.

Im Pflichtenheft dieses Projekts wurde festgehalten, dass die Frage im Vordergrund steht, wie sich bestimmte Individuen bei ihrer Abwanderung vor dem Kraftwerk verhalten und welchen Wanderkorridor sie nutzen. Zudem wurden die folgenden Fragen gestellt:

- Wie lange dauert die Passage des Kraftwerks?
- Wann wandern die Fische ab (Abfluss, Temperatur, Jahreszeit, etc.)?
- Schwimmt der Fisch beispielsweise zielstrebig an einen bestimmten Ort (z.B. Turbineneingang) oder sucht er länger nach einer Abstiegsmöglichkeit (z.B. beim Wehr oder bei der Fischaufstiegshilfe)?
- Geht vom Kraftwerk eine Scheuchwirkung aus, sodass der Fisch wieder in Richtung flussaufwärts umkehrt?
- Wie lange dauern Suchbewegungen, sind sie typisch für eine bestimmte Fischart und in welchen Tiefen schwimmen die Fische?
- Welche Rolle spielen die Mondphase, die saisonalen Aspekte und die Art sowie Grösse der Fische?
- Wie verändern Abfluss und Temperatur das Verhalten der Fische?
- Die letzte Frage betrifft schliesslich das Überleben der abgewanderten Fische. Wie hoch sind die Überlebensraten der über das Kraftwerk abgewanderten Fische?

Dank der Durchführung der akustischen Telemetrieuntersuchung kann der Grossteil dieser Fragen in diesem Bericht beantwortet werden. In Kapitel 6 werden diese Fragen mit den entsprechenden Antworten bzw. einem Verweis zu dem Kapitel, in welchem die entsprechende Frage beantwortet wird, aufgeführt. Zudem werden Erklärungen gegeben, falls eine Frage im Rahmen dieses Projekts nicht oder nur teilweise beantwortet werden konnte.

Von zusätzlichem Interesse war während dieser Studie auch das grossräumige Wanderverhalten der Zielfischarten. Aus diesem Grund wurden die Fische nicht nur mit

akustischen Sendern, sondern auch mit PIT-Tags (*Passive Integrated Transponder*) markiert.

3. Grundlagen

3.1 Kraftwerk Wildegg-Brugg

Das KWWB ist ein Ausleitkraftwerk mit einem rund 4.5 km langen Ausleitkanal und einer Restwasserstrecke (Abb. 3.1). Das Bruttogefälle beim Maschinenhaus (MH) beträgt bei einem Aareabfluss von $430 \text{ m}^3/\text{s}$ rund 13.8 m. Beim Hauptkraftwerk sind zwei frontal angeströmte, vertikalachsige Kaplan-turbinen mit einer Ausbauwassermenge von je $210 \text{ m}^3/\text{s}$ installiert. Die Ausbauwassermenge des Dotierkraftwerks beträgt $11.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Neben dem Hauptwehr sind in der Restwasserstrecke ein Dachwehr und ein Hilfswehr vorhanden. Weitere Details zum KWWB können dem Bericht des technischen Vorprojekts [1] entnommen werden.



Abb. 3.1 Situation beim KWWB, Flussrichtung der Aare von links nach rechts (Quelle: Axpo).

3.2 Hydrologie

Knapp 500 m unterstrom des Zusammenflusses der Restwasserstrecke des KWWB mit dem Unterwasserkanal des KWWB befindet sich die für den Projektperimeter repräsentative BAFU-Messstation «Aare - Brugg 2016».

Abb. 3.2 zeigt die mittlere Dauerkurve des Aareabflusses der letzten 20 Jahre (Periode 2003–2022). Während dieser Periode betrug der mittlere Abfluss $Q_m = 296 \text{ m}^3/\text{s}$. Zusätzlich sind die Dauerkurven der Jahre 2011 und 2007 zu sehen, welche mit $Q_m = 214$ bzw. $370 \text{ m}^3/\text{s}$ den Jahren mit dem geringsten und höchsten mittleren Jahresabfluss entsprechen. Diese Dauerkurven dienen als Referenz, um die Dauerkurven der Jahre 2020 ($Q_m = 266 \text{ m}^3/\text{s}$), 2021 ($Q_m = 350 \text{ m}^3/\text{s}$) und 2022 ($Q_m = 234 \text{ m}^3/\text{s}$), in welchen die akustische Telemetriestudie durchgeführt wurde, einordnen zu können. Zusätzlich ist die Dauerkurve der Untersuchungsperiode (2.05.2020–23.05.2022; $Q_m = 300 \text{ m}^3/\text{s}$) dargestellt, wobei die x-Achse zur besseren Vergleichbarkeit mit den anderen Dauerkurven auf 1 Jahr skaliert wurde. Als Referenz ist in Abb. 3.2 zusätzlich der Ausbaudurchfluss des Hauptkraftwerks von $420 \text{ m}^3/\text{s}$ dargestellt.

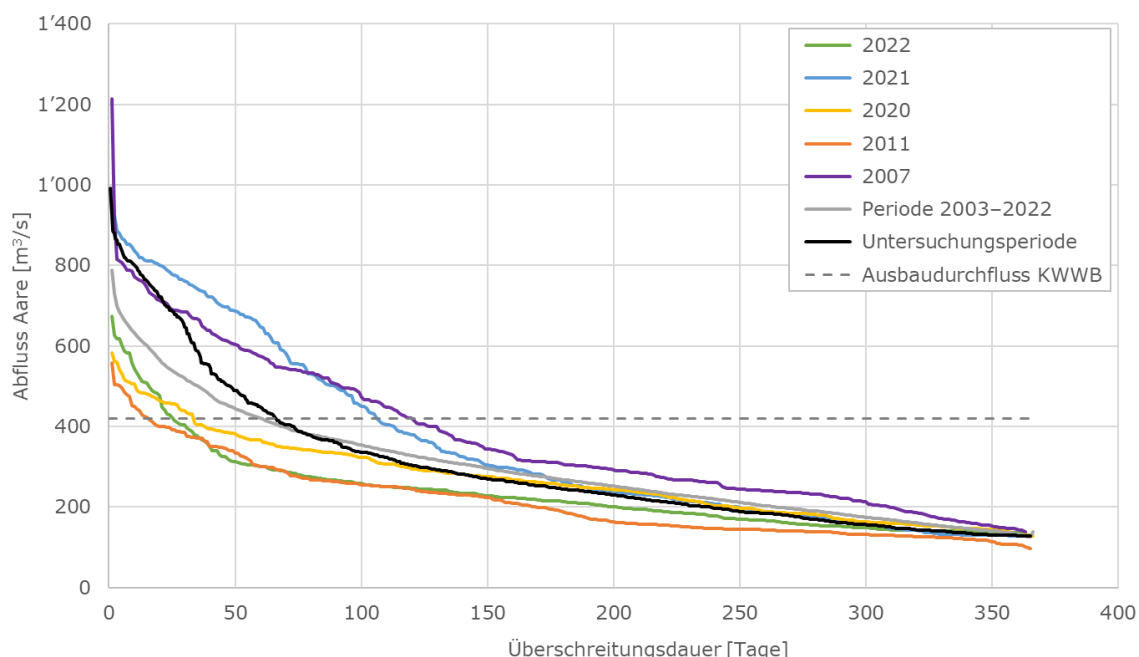


Abb. 3.2 Dauerkurven ausgewählter Jahre sowie der Untersuchungsperiode der BAFU Messstation «Aare - Brugg 2016» (Datenquelle: BAFU).

Der mittlere Abfluss der Untersuchungsperiode entspricht nahezu dem Abfluss der Periode 2003–2022 ($Q_m = 300 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $Q_m = 296 \text{ m}^3/\text{s}$). Aus Abb. 3.2 wird jedoch ersichtlich, dass die Abflussverhältnisse während der Untersuchungsperiode deutlich extremer waren als im langjährigen Mittel. An rund 80 Tagen überstieg der Abfluss der Untersuchungsperiode den Abfluss der langjährigen Messperiode, teilweise sogar sehr deutlich. An den restlichen Tagen lag der Abfluss der Untersuchungsperiode geringfügig unter dem langjährigen Mittel. Die im Vergleich zur langjährigen Messperiode extremeren Abflussbedingungen sind primär auf das sehr nasse Jahr 2021 und das sehr trockene Jahr 2022 zurückzuführen.

3.3 Hydraulik

Im Rahmen des technischen Vorprojekts beim Kraftwerk Wildegg-Brugg untersuchte die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich die Strömungsbedingungen im Nahbereich der Turbinen des KWWB mittels eines numerischen 3D-Modells. Die Details zu diesem numerischen Modell können dem VAW Bericht 4390 [3] entnommen werden, welcher auch als Beilage 1 zum technischen Vorprojekt [1] veröffentlicht wurde.

Die mittels der Rohdaten des VAW-Berichts erstellte Abb. 3.3 zeigt die tiefengemittelten Fließgeschwindigkeiten im Oberwasser des KWWB. Abb. 3.3a bildet dabei den Volllastbetrieb, bei welchem sowohl die linke als auch die rechte Turbine mit jeweils $210 \text{ m}^3/\text{s}$ betrieben werden ($Q_{\text{links}} = Q_{\text{rechts}} = 210 \text{ m}^3/\text{s}$). Bei Abb. 3.3b ist nur die linke Turbine in Betrieb ($Q_{\text{links}} = 210 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{rechts}} = 0 \text{ m}^3/\text{s}$) und bei Abb. 3.3c entsprechend nur die rechte Turbine ($Q_{\text{links}} = 0 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{rechts}} = 210 \text{ m}^3/\text{s}$).

Einschränkend muss bei Abb. 3.3 erwähnt werden, dass bei der Erstellung des 3D-Modells keine Sedimentablagerungen vor dem MH berücksichtigt wurden. In dem in Abb. 3.3a rot eingekreisten Bereich wurden 2022 jedoch Ablagerungen festgestellt. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Fließgeschwindigkeiten in

diesem Bereich während der Untersuchungsperiode etwas höher waren als in Abb. 3.3 dargestellt.

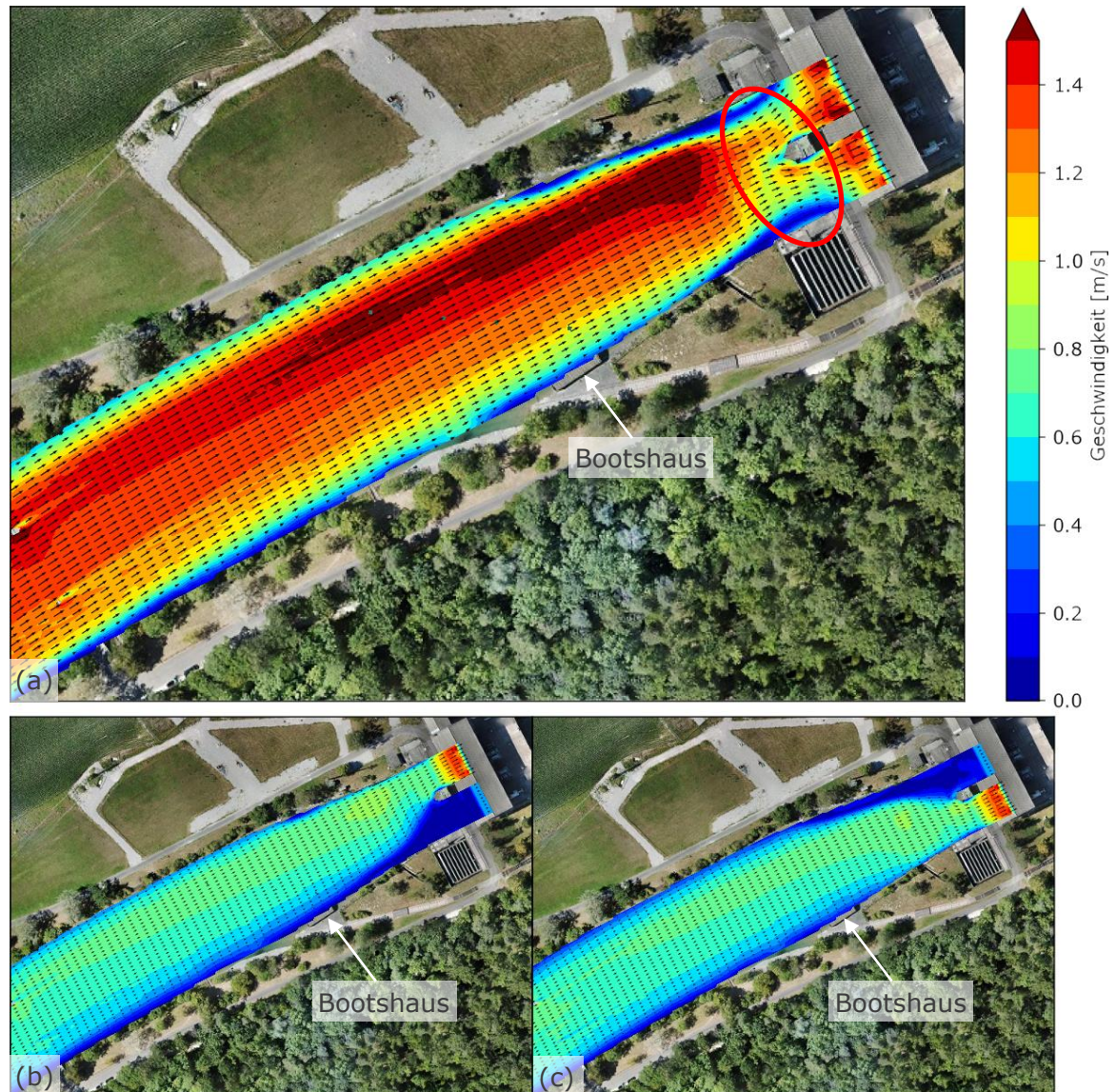


Abb. 3.3 Tiefengemittelte Fliessgeschwindigkeiten im Oberwasser des KWVB für (a) den Volllastbetrieb ($Q_{\text{links}} = Q_{\text{rechts}} = 210 \text{ m}^3/\text{s}$) und im Teillastbetrieb mit (b) $Q_{\text{links}} = 210 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{rechts}} = 0 \text{ m}^3/\text{s}$ und (c) $Q_{\text{links}} = 0 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{rechts}} = 210 \text{ m}^3/\text{s}$ (Datengrundlage [3]).

Aus Abb. 3.3a wird ersichtlich, dass die Fliessgeschwindigkeiten im Bereich der linken Kanalhälfte trotz gleicher Turbinenbeaufschlagung grösser sind als im Bereich der rechten Kanalhälfte. Dies ist auf die leichte Rechtskurve des Oberwasserkanals zurückzuführen.

Ein Vergleich von Abb. 3.3b mit Abb. 3.3c zeigt, dass die Fliessgeschwindigkeiten bis zu dem gekennzeichneten Bootshaus nahezu unabhängig davon sind, ob die linke oder die rechte Turbine in Betrieb ist. Auch wenn wie im Lastfall in Abb. 3.3c nur die rechte Turbine in Betrieb ist, sind die Fliessgeschwindigkeiten bis zum Bereich des Bootshauses auf der linken Kanalseite tendenziell höher als auf der rechten Kanalseite. Erst

relativ knapp oberstrom der Turbinen verläuft die Hauptströmung im Fall von Abb. 3.3c zur rechten Turbine.

Nicht ersichtlich wird aus Abb. 3.3, dass die sohlennahen Fließgeschwindigkeiten deutlich unter den gezeigten tiefengemittelten Werten liegen. Erwähnt werden muss zudem, dass es sich bei den in Abb. 3.3 dargestellten tiefengemittelten Fließgeschwindigkeiten insbesondere im unmittelbaren Nahbereich der Turbinen um eine starke Vereinfachung handelt. Dies insbesondere deshalb, da die Fließgeschwindigkeiten aufgrund der Sohleneintiefung und der Ausbetonierung des oberflächennahen Bereichs in der unteren Hälfte der Wassersäule deutlich grösser sind als oberflächennah. Details zu den Fließgeschwindigkeiten in unterschiedlichen Wassertiefen können den Querschnitten im Bericht [3] entnommen werden.

3.4 Potenzielle Wanderkorridore

Abb. 3.4 gibt einen Überblick über die potenziellen Wanderkorridore beim KWWB, wobei die Richtung der Pfeile jeweils andeutet, ob der entsprechende Korridor nur für den Aufstieg oder für den Auf- und Abstieg genutzt werden kann.



Abb. 3.4 Übersicht des KWWB, wobei die potenziellen Wanderkorridore mit roten Pfeilen dargestellt sind (FAH: Fischaufstiegshilfe; Quelle Orthofoto: Swisstopo).

Fische können entweder über die Restwasserstrecke des KWWB oder den Unter- und Oberwasserkanal aufsteigen. Beim Aufstieg über die Restwasserstrecke müssen die Fische die Fischaufstiegshilfe (FAH) beim Dachwehr, dann die FAH beim Hilfswehr und anschliessend die FAH beim Hauptwehr nutzen. Der Aufstieg über den Unter- und Oberwasserkanal ist nur über die FAH beim Hauptkraftwerk möglich.

Wie beim Aufstieg können Fische auch über die Restwasserstrecke oder den Ober- und Unterwasserkanal absteigen. Beim Abstieg über die Restwasserstrecke können die Fische das Hauptwehr, die Turbinen des Dotierkraftwerks oder die FAH beim Hauptwehr nutzen. Für die weitere Abwärtswanderung können die Fische das Hilfswehr und das Dachwehr oder die dazugehörigen FAH nutzen. Ein Abstieg über den Ober- und Unterwasserkanal ist nur möglich, wenn die Fische entweder über die FAH beim Hauptkraftwerk oder die Turbinen des Hauptkraftwerks absteigen.

3.5 Zielfischarten und Wanderverhalten

Dieses Kapitel wurde von der FishConsulting GmbH in Zusammenarbeit mit Axpo verfasst. Das Gefälle, des in Kapitel 4.3.1 beschriebenen Untersuchungsperimeters zwischen Aarau und der Reussmündung beträgt 1.7‰. Damit ist dieser

Flussabschnitt der Barbenregion (Epipotamal) zuzuordnen. Zwischen Aarau und Brugg kommen in der Aare 34 Fischarten vor [4]. Als Zielfischarten werden Arten aus der regionstypischen Fischzönose ausgewählt, welche Vertreter der Leitarten sind. Im Vordergrund standen daher Alet und Barbe. Weitere gewässertypspezifische Arten sind Hasel, Egli (Flussbarsch), Rotaugen sowie Laube. Von den Arten mit einem hohen Schutzstatus kommen Nase und Flussforelle als Leitfischarten infrage. Nasen wurden jedoch weder in den Reusen und Zählbecken noch bei den elektrischen Befischungen gefangen. Die genannten Arten sind für den Untersuchungsperimeter repräsentativ. Mit den Zielfischarten Alet und Barbe werden zwei potamodrome Wanderfische ausgewählt, die im Verlaufe ihres Lebenszyklus grössere Wanderungen über mehrere Kilometer durchführen.

Grundsätzlich führen alle Fischarten Wanderungen durch. Fische suchen im Verlaufe ihres Lebenszyklus unterschiedliche Habitate auf. Die grossen Unterschiede zwischen den Arten liegen jedoch in den Wanderdistanzen. Folgende Typen von Wanderungen können unterschieden werden:

Nahrungswanderungen, Laichwanderungen, Post-Reproduktionswanderungen (Rückkehr von den Laichhabitaten), Refugium aufsuchende Wanderungen, Kompensationswanderungen, Kolonisierungen (Rekolonisierung, Neubesiedlung).

3.5.1 Barbe

Die Ökologie der Barbe ist europaweit gut untersucht und ihre Ansprüche an den Lebensraum sind weitgehend bekannt. Es gibt relativ standorttreue Populationen und Barben mit einem ausgesprochenen Migrationsverhalten. Die Barbe (*Barbus barbus*) kann Körperlängen bis zu einem Meter und ein Alter bis zu 35 Jahren erreichen [5]. Typische Wassertemperaturen im Sommer liegen in der Barbenregion um 20 °C, die maximalen Temperaturen werden mit 26–28 °C [6], bzw. bis 30 °C [7] angegeben. Die Barbe ist ein mobiler Fisch und legt erhebliche Wanderungen zu ihren Reproduktionsorten zurück. Britton & Pegg (2011) [8] nennen Reproduktionswanderungen mit Distanzen von über 20 km. Nach der Fortpflanzung kehren Barben oft an ihre Standplätze zurück (Post-reproduktives homing, [9]). Im Sommer nimmt die Wanderaktivität resp. die Wanderdistanz der Barben in der Regel ab, da sie standorttreu werden, jedoch in der Dämmerung Habitatswechsel durchführen [5]. Im Winter, nach dem Aufsuchen der Winterhabitate, stellen sie die Wanderung gemäss Literatur gänzlich ein. Die Barben wandern in Schwärmen, die aus geschlechtsreifen und noch nicht geschlechtsreifen Individuen bestehen. Gemäss Literaturangaben bewegen sich Barben vor allem nachts sowie in der Morgen- und Abenddämmerung und sind somit nachtaktiv [5]. Rekordwanderungen von Barben sind aus den Arbeiten von Steinmann et al. (1937) [10] bekannt. Die maximale Wanderdistanz in der Donau betrug 318 km flussaufwärts. Da Barben sehr wanderaktiv sind, eignen sie sich gut, um die Wanderungen durch Kraftwerke und zwischen den Staustufen zu dokumentieren. In der ebenfalls im Rahmen des VAR-Pilotprojekts durchgeführten Radiotelemetriestudie beim Wasserkraftwerk Bannwil an der Aare beobachteten Peter et al. (2023) [11] durchschnittliche Wanderdistanzen von 6.9 km. Die Ökologie der Barbe sowie der Lebenszyklus sind in dieser Studie umfassend beschrieben. In der Schweiz hat die Barbe den Gefährdungsstatus 4 (potenziell gefährdet), in Deutschland und europaweit gehört sie zu den gefährdeten Arten. Ihre Bestände sind in den meisten Flüssen in Europa abnehmend. In der Aare ist die Barbe immer noch ein häufiger Fisch, obwohl ihre Bestände in den letzten Jahrzehnten zurückgingen. Abb. 3.5 zeigt eine im Rahmen dieses Projekts markierte Barbe.



Abb. 3.5 Bild einer im Rahmen dieses Projekts am 12.06.2020 markierte Barbe mit einer Totallänge von 421 mm und einem Gewicht von 1'337 g. Die Barbe wurde mit der Reuse in der FAH des KWWB gefangen.

3.5.2 Alet

Der Alet oder Döbel (*Squalius cephalus*) gilt in der Schweiz als nicht gefährdete Fischart und ist einer der häufigsten Fische in den schweizerischen Gewässern. Seine Ökologie ist gut beschrieben, er ist ein euryöker Fisch, der typischerweise in der Barbenregion häufig vorkommt, jedoch auch in stehenden Gewässern. Er kann Körperlängen von rund 70 cm erreichen und ernährt sich mit zunehmender Grösse piscivor. Zusammen mit Rotaugen, Nase, Hasel und Barbe sind Alet typische Cypriniden (benthopelagische und benthische Cypriniden). Jungfische leben in Schwärmen, die grossen Individuen eher als Einzelfische. Der Alet gilt als anspruchslos. Grössere Individuen bevorzugen jedoch Unterstände in Form von überhängender Ufervegetation. Im Sommer unternimmt der Alet Wanderungen von mehreren Kilometern, im Winter ist er gemäss Literatur standorttreu. Die Reproduktionszeit ist zwischen April und Juli bei Wassertemperaturen >14 °C. Männchen weisen typische Laichausschläge auf. Die Eier werden auf Steinen oder Pflanzen abgelegt. Grosse Weibchen (36–46 cm) legen zwischen 27'000–65'000 Eier ab [12]. In der Laichzeit bilden Alet oft mit Nasen grössere Schwärme. Steinmann et al. (1937) [10] beobachteten ausgedehnte Wanderungen bis zu einer Distanz von 148 km. Abb. 3.6 zeigt einen im Rahmen dieses Projekts markierten Alet.



Abb. 3.6 Bild eines im Rahmen dieses Projekts am 24.06.2020 markierten Alet, welcher im Zählbecken des Kraftwerks Ruppertswil-Auenstein gefangen wurde. Er wies eine Totallänge von 439 mm und ein Gewicht von 996 g auf.

3.5.3 Weitere Fischarten

Barben und Alet waren mit Abstand die häufigsten Fische, welche während dieses Projekts gefangen und somit auch markiert wurden. Ziel des vorliegenden Projekts war es jedoch, dass neben den beiden Hauptfischarten auch eine geringere Anzahl weiterer Fischarten markiert wird, da auch das Wanderverhalten dieser weiteren Fischarten interessant ist. Diese Fischarten wurden jedoch nicht vorgängig definiert,

da vor dem Projektbeginn nicht abgeschätzt werden konnte, welche Fischarten überhaupt beschafft und markiert werden können. Wie viele Individuen der verschiedenen Fischarten markiert werden konnten, wird in Kapitel 4.7.1 beschrieben. Abb. 3.7 und Abb. 3.8 zeigen im Rahmen dieses Projekts markierte Fische.



Abb. 3.7 Bild eines am 17.07.2020 markierten Wels mit einer Totallänge von 930 mm.



Abb. 3.8 Bild eines am 10.07.2020 markierten Egli (Flussbarsch) mit einer Totallänge von 308 mm und einem Gewicht von 379.

4. Material und Methoden

4.1 Akustische Telemetrie

4.1.1 Funktionsweise der akustischen Telemetrie

Bei der akustischen Telemetrie handelt es sich um eine aktive Telemetriemethode. Dabei sendet ein Sender (engl. *Tag*) ein akustisches Signal, welches von stationär im Fluss installierten Hydrophonen empfangen wird. Somit können mit der akustischen Telemetrie nur Bewegungen von mit speziellen Sendern markierten Fischen aufgezeichnet werden. Mit einzelnen in einem Gewässer installierten Hydrophonen kann dabei lediglich festgestellt werden, ob sich ein Fisch in der Nähe eines Hydrophons aufgehalten hat oder nicht. Durch die Installation von mehreren Hydrophonen kann die Position des Senders bzw. des markierten Fisches trigonometrisch berechnet werden. Über den zeitlichen Verlauf der Positionsdaten kann schlussendlich der Schwimmpfad eines markierten Fisches innerhalb des Hydrophonnetzes ermittelt werden.

Der Hauptvorteil der akustischen Telemetrie ist, dass mit dieser Methode – im Gegensatz zu anderen Telemetriemethoden wie beispielsweise der Radiotelemetrie oder PIT-tagging – der Schwimmpfad eines Fisches genau ermittelt werden kann. Hauptnachteile der akustischen Telemetrie sind die beschränkte Senderdauer und der grosse Aufwand für die Installation, Wartung und die Datenauswertung sowie die

begrenzte Anwendbarkeit bzw. Genauigkeit bei gewissen Bedingungen (z.B. ausgeprägte Störgeräusche von Turbinen, starke Turbulenzen, sehr hohe Schwebstoffkonzentrationen).

4.1.2 Verwendetes akustisches Telemetriesystem

In vorliegendem Projekt wurde das 307 kHz akustische Telemetriesystem des Herstellers HTI verwendet. Gemäss Herstellerangaben ist dieses System aufgrund der hohen Frequenz ideal für das Tracking von Fischen im Süsswasser und im Speziellen in Gewässern mit hohen Fliessgeschwindigkeiten und in geräuschvollen Umgebungen, wie diese beispielsweise bei Wasserkraftanlagen vorkommen, geeignet (Anhang 1). Die Firma HTI wurde 2019 von der Firma Innovasea übernommen.

Details zur verwendeten Hardware können dem Anhang 1 entnommen werden, wobei nachfolgend die wichtigsten Informationen zusammengefasst werden. Es wurden Hydrophone des Modells 590 (Abb. 4.1a), Datenkabel des Modells 690, Datenlogger des Modells 395, das Aufzeichnungssystem (*receiver system*) 290 und zwei unterschiedliche Sender verwendet. Diese Sender werden nachfolgend entsprechend des englischen Begriffs als Tags bezeichnet. Die kleinen Tags (795-LF; Abb. 4.1b) sind 24.5 mm lang und 3.00 g schwer, während die grossen Tags (795-LG) 33.0 mm lang sind und 4.47 g wiegen. Gemäss Herstellerangaben im Anhang 1 beträgt die Lebensdauer der Batterien der Tags bei einem Pulsfrequenzintervall (*pulse rate interval*, PRI) von 3 s für die kleinen Tags 170 Tage und für die grossen Tags 365 Tage. Diese Angaben beziehen sich jedoch auf eine Pulslänge von 1 ms, das Senden von jeweils nur einem Signal und einer Wassertemperatur von 10 °C. Das Pulsfrequenzintervall variiert zwischen den Tags, betrug in diesem Projekt jedoch rund 6 s. Zur besseren Erkennung der Tags wurden nicht einzelne Signale gesendet, sondern jeweils zwei Signale (*double ping sequence*), was ebenfalls einen Einfluss auf die Tag-Lebensdauer hat. Die *double ping sequence* wurde jedoch vom Hersteller empfohlen, da durch den Zeitabstand des primären und sekundären Signals und dem Abstand zur nächsten Pulsgruppe gemäss dem Hersteller die Tags bei Umgebungen mit sehr viel Störgeräuschen besser erkannt werden können. Aufgrund dieser abweichenden Bedingungen ist zu erwarten, dass die Tag-Lebensdauer von den im Anhang 1 aufgeführten Herstellerangaben abweicht. Die während dieser Untersuchung effektiv aufgetreten Tag-Lebensdauern werden in Kapitel 5.1 anhand der aufgezeichneten Daten abgeschätzt. Für die Aktivierung der Tags wurde ein sogenannter *Model 490-LP Acoustic Tag Programmer* eingesetzt und für die mobilen Trackings das sogenannte *Model 305 Mobile Tag System*.



Abb. 4.1 (a) Vier der verwendeten Hydrophone (Modell 590) und (b) ein Teil der verwendeten 795-LF Tags.

4.2 PIT-tagging

Die RFID-Technologie (*Radio Frequency IDentification*) wird vor allem bei Habitatsstudien und bei Wirkungskontrollen von FAH häufig eingesetzt. Dabei werden den Fischen PIT-Tags (134.2 kHz) implantiert. Wenn mit einem PIT-Tag markierte Fische eine entsprechende Antenne durchschwimmen, wird ein individueller Code an den Empfänger geschickt. Da es sich bei PIT-Tags um passive Tags ohne Batterien handelt, sind diese sehr klein und leicht. Zudem haben sie eine unbegrenzte Lebensdauer. Der Hauptnachteil der RFID-Technologie ist jedoch, dass mit den entsprechenden Antennen nur kleine Querschnitte abgedeckt werden können. Somit eignet sich diese Technologie primär für die Installation an Engstellen, welche von Fischen durchschwommen werden müssen. Solche Engstellen sind beispielsweise FAH.

4.3 Untersuchungsperimeter und Versuchsaufbau

4.3.1 Untersuchungsperimeter und Messstationen

Als Untersuchungsperimeter wurde die gesamte Fließstrecke zwischen den beiden Kraftwerken Rüchlig und Wildegg-Brugg (KWWB) festgelegt, sowie die Strecke unterhalb des KWWB bis zum Zusammenfluss mit der Restwasserstrecke bei Brugg (Abb. 4.2).

Das Grundprinzip des Versuchsaufbaus ist dabei, dass die Schwimmbewegungen der Fische im Nahbereich des MH durch die Installation vieler Hydrophone in 2D bzw. 3D detailliert analysiert werden können. Alle weiteren in Abb. 4.2 gezeigten Station dienen lediglich als *Checkpoints*, welche nachfolgend als Aussenstationen bezeichnet werden. Damit ist gemeint, dass Fische zwar registriert werden, wenn sie eine Aussenstation passieren. Weitere Informationen zum Schwimmverhalten werden jedoch nicht erhalten. Die 1D akustischen Telemetriestationen wurden so installiert, dass sie möglichst den ganzen Gewässerquerschnitt abdecken. Somit sollten theoretisch alle Fische detektiert werden, welche diese Stationen passieren. Im Gegensatz dazu waren die PIT-tagging Antennen in den FAH installiert (Kapitel 4.3.2), sodass an diesen Stationen primär stromaufwärts gerichtete Wanderbewegungen erfasst werden konnten.



Abb. 4.2 Überblick über den Untersuchungsperimeter und die Messstationen (Quelle Karte: Swisstopo).

4.3.2 PIT-tagging Stationen

In diesem Projekt wurden die Daten der PIT-tagging Antennen der Kraftwerke Ruppertswil-Auenstein (KRA), Rüchlig (KWRü) und beim Wehr des hydraulischen Kraftwerks Beznau (HKB) ausgewertet. Das KRA befindet sich rund 10 km oberstrom des KWWB. Über die Restwasserstrecke des KRA aufsteigende Fische können entweder über das Umgehungsgerinne oder einen Vertikalschlitzpass, der auch in das Umgehungsgerinne führt, aufsteigen. Diese beiden Korridore waren mit PIT-tagging Antennen ausgestattet. Beim MH ist jedoch noch eine zweite FAH vorhanden, bei welcher keine PIT-tagging Antenne installiert war. Beim KWRü, welches sich rund 15 km oberstrom des KWWB befindet, können Fische über den Freykanal, die FAH beim Dotierkraftwerk oder die FAH beim Hauptkraftwerk aufsteigen. Da diese drei Korridore mit PIT-tagging Antennen ausgestattet waren, kann davon ausgegangen werden, dass alle beim KWRü aufgestiegenen Fische detektiert wurden. Das Wehr des HKB befindet sich rund 13 km unterstrom des KWWB. Dort sind eine alte und eine neue FAH vorhanden. Während des Grossteils der Untersuchungsperiode dieses Projekts waren in den FAH noch keine PIT-tagging Antennen installiert. Bei der Wirkungskontrolle der beiden FAH des Wehrkraftwerks Beznau wurden jedoch die PIT-tagging Daten von Mai 2022 bis Februar 2023 analysiert. Dabei wurde geprüft, ob während dieses Projekts markierte Fische in einer der beiden FAH detektiert wurden.

Für weitere Details zum PIT-tagging im Allgemeinen und die Antennenanordnung beim KWRü wird auf den Schlussbericht der Wirkungskontrolle der FAHs beim KWRü [13] verwiesen. Der Bericht der Wirkungskontrolle der beiden FAH beim Wehr des HKB wird voraussichtlich 2024 veröffentlicht.

4.3.3 Installation der Hydrophone

Die Hydrophone wurden entsprechend der örtlichen Gegebenheiten unterschiedlich befestigt. Alle Hydrophone wurden mit Datenkabeln mit dem Aufzeichnungssystem (Hydrophonnetz vor dem MH) oder mit den Datenloggern (Aussenstationen) verbunden. Insgesamt wurden dafür Datenkabel mit einer Gesamtlänge von über 2 km verlegt. Alle unter Wasser verlegten Hydrophonkabel wurden parallel mit einem 7 mm dicken Stahlseil (6x19, IWRC, sZ, B, 1770 N/mm² bzw. 6x19W, IWRC, sZ, B, 1960 N/mm²) verstärkt, sodass die Kabel keinen Spannungen ausgesetzt waren.

In den Bereichen mit betonierten Böschungen wurden die Hydrophone an sogenannten C-Halterungen befestigt (Abb. 4.3a) und mit Hilfe von Tauchern in der Böschung angeschraubt (Abb. 4.3b). Die Winkel der C-Halterung wurden dabei so gewählt, dass die Antenne, welche in Abb. 4.3a als schwarze Spitze erkennbar ist, vertikal ausgerichtet war. Aufgrund der unterschiedlichen Böschungsneigungswinkel wurden dementsprechend auch C-Halterungen mit unterschiedlichen Winkeln verwendet. Um die Taucherarbeiten zu ermöglichen, war eine kurzzeitige Drosselung des Kraftwerksdurchflusses nötig.

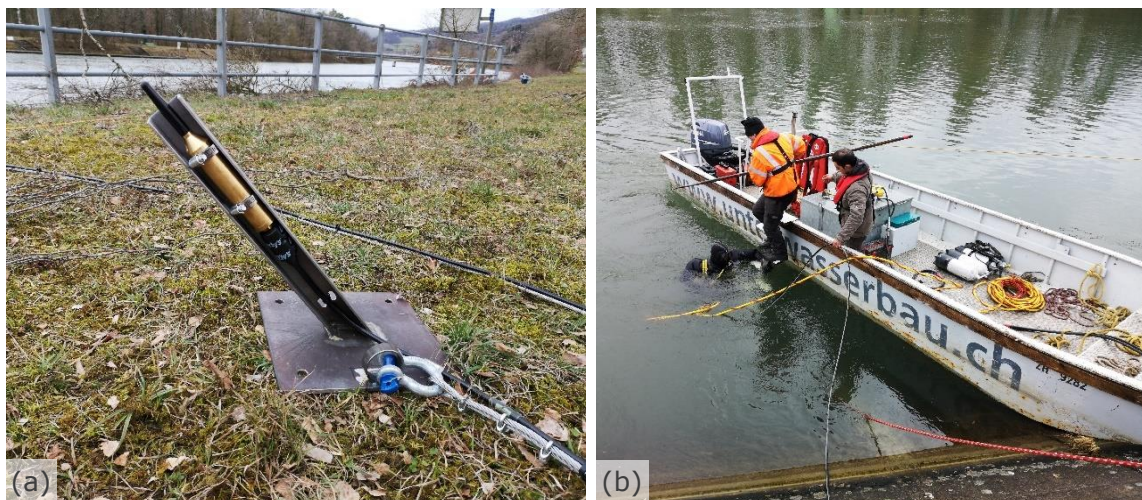


Abb. 4.3 (a) An einer C-Halterung montiertes Hydrophon und (b) Befestigung eines Hydrophons im Böschungsbereich mithilfe eines Tauchers.

Die Hydrophone, welche nicht im Böschungsbereich angeschraubt werden konnten, wurden auf Empfehlung von HTI an sogenannten H-Halterungen befestigt (Abb. 4.4a). Diese waren ungefähr 56 cm hoch und jeweils rund 40 kg schwer. Die H-Halterungen wurden mit einem Stahlseil auf den Gewässergrund hinuntergelassen. An allen vier Ecken der Halterungen befanden sich Sporne, welche verhindern sollten, dass sich die Hydrophone am Gewässergrund bewegen. Abb. 4.4b zeigt einen Teil der für dieses Projekt verwendeten C- und H-Halterungen.



Abb. 4.4 (a) An einer H-Halterung befestigtes Hydrophon und (b) ein Teil der verwendeten C- und H-Halterungen.

Es hat sich gezeigt, dass einige der mit den H-Halterungen installierten Hydrophone nicht stabil waren und bei grösseren Abflüssen flussabwärts transportiert wurden (Kapitel 7.1.1). Da sich die Hydrophone für die Bestimmung des Schwimmpfades nicht verschieben dürfen und um zu verhindern, dass weitere Hydrophone weggeschwemmt werden, wurden nachträglich insgesamt sechs Hydrophone an Betonklötzen befestigt (Abb. 4.5a), welche dann mit einem Pneukran auf der Gewässersohle platziert wurden (Abb. 4.5b,c). Die in Abb. 4.5a gezeigten Betonklötze haben einen quadratischen Grundriss mit einer Seitenlänge von 1.20 m und einer Höhe von 0.80 m. Daraus resultiert pro Betonklotz ein Volumen von 1.15 m^3 , was unter der Annahme einer Betondichte von $2'500 \text{ kg/m}^3$ ein Gewicht von knapp 3 Tonnen ergibt. Zwei Hydrophone wurden an kleineren Betonklötzen befestigt. Für die Verbindung der Betonklötze mit dem Pneukran wurden 16 mm dicke Stahlseile mit einer Nennzugfähigkeit der Einzeldrähte von $1'960 \text{ N/mm}^2$ und einer Mindestbruchkraft von 169 kN eingesetzt.



Abb. 4.5 (a) Zwei jeweils knapp drei Tonnen schwere Betonklötze mit aufgesetzten Hydrophon-Halterungen, welche im Oberwasserkanal des KWWB positioniert wurden, (b) eine Detailaufnahme des eingesetzten Pneukrans und (c) der Pneukran mit ausgefahrenem Ausleger beim Setzen eines Hydrophons im Oberwasserkanal des KWWB.

Zwei weitere Hydrophone wurden mit einer speziell angefertigten Halterung am Mittelpfeiler des KWWB installiert. Dank dieser Halterung konnte das sohlennahe Hydrophon, welches in Abb. 4.6 rot hervorgehoben ist, in einer Wassertiefe von 9.5 m installiert werden.



Abb. 4.6 (a) Auf dem Mittelpfeiler montierte Stahlkonstruktion zur Befestigung der in (b) gezeigten langen Stahlhalterung für die Installation eines sohlennahen Hydrophons (rot hervorgehoben).

4.3.4 Versuchsaufbau des Hydrophonnetzes beim Maschinenhaus

Die Ermittlung der Schwimmpfade in 2D bzw. 3D ist nur möglich, wenn ein Hydrophonnetz aus einer ausreichenden Anzahl an Hydrophonen aufgebaut wird. Im Frühling 2019 wurden basierend auf einem Vorschlag vom Hersteller HTI vor dem MH des KWWB acht Hydrophone installiert. Im Juli 2019 durchgeführte, umfangreiche Tests haben jedoch gezeigt, dass die Positionsbestimmung in 3D unzureichend funktionierte. Es hat sich herausgestellt, dass die Qualität der Schwimmpfade nur durch eine Verdichtung des Hydrophonnetzes wesentlich verbessert werden konnte. Mittels der Installation von weiteren Hydrophonen innerhalb des vorhandenen Netzwerks wurden die Distanzen zwischen den Hydrophonen verkürzt, wodurch sich einerseits aufgrund der kürzeren Laufzeit zwischen Tag und Hydrophon das Signal (*Signal to Noise Ratio*) verbesserte und andererseits die Wahrscheinlichkeit erhöhte, dass ein Fisch zeitgleich von mehreren Hydrophonen registriert wurde, was eine bessere Bestimmung der 3D Positionen ermöglichte. Da mit dem bereits installierten Aufzeichnungssystem maximal 16 Hydrophone verbunden werden können, wurden im Frühling 2020 acht weitere Hydrophone installiert. Da nur mit diesem verdichteten Hydrophonnetz sinnvolle Schwimmpfade in 3D ermittelt werden konnten und vor der Verdichtung des Hydrophonnetzes nur 18 Fische markiert wurden, wird im Folgenden nur das verdichtete Hydrophonnetz beschrieben. Die Hydrophone wurden an den in Abb. 4.7 gezeigten Positionen in Wassertiefen zwischen 1.2 m und 9.5 m installiert. Von den 16 Hydrophonen wurden elf Hydrophone mit C-Halterungen im Böschungsbereich angeschraubt, drei Hydrophone mit Betonklötzen nahe der Kanalmitte positioniert und zwei Hydrophone am Trennpfeiler befestigt.

Die Kabel aller Hydrophone wurden in ein Pegelhäuschen am orografisch linken Ufer geführt und mit dem Aufzeichnungssystem verbunden, welches wiederum an einem PC mit der Software zur Datenaufzeichnung angeschlossen war. Abb. 4.7 zeigt auch

die Turbinenachse und den Beginn des Hydrophonnetzes. Wenn ein Fisch von oberstrom in Richtung Turbinen schwamm, wurde dieser je nach Position und Signalstärke schon deutlich oberstrom des Bootshauses detektiert. Teilweise wurden die Fische jedoch auch erst ab Höhe des Bootshauses detektiert. Aus diesem Grund wurde das stromabwärts gelegene Ende des Bootshauses als Beginn des Hydrophonnetzes definiert (schwarz gestrichelte Linie in Abb. 4.7). Diese Linie befindet sich 91 m oberstrom der Turbinenachse. Zur genauen Positionierung sind in Abb. 4.7 die UTM-Koordinaten angegeben. Bei allen weiteren Darstellungen in diesem Bericht, welche den gleichen Ausschnitt wie Abb. 4.7 zeigen, wird der Übersichtlichkeit halber auf die Angabe der Koordinaten verzichtet.

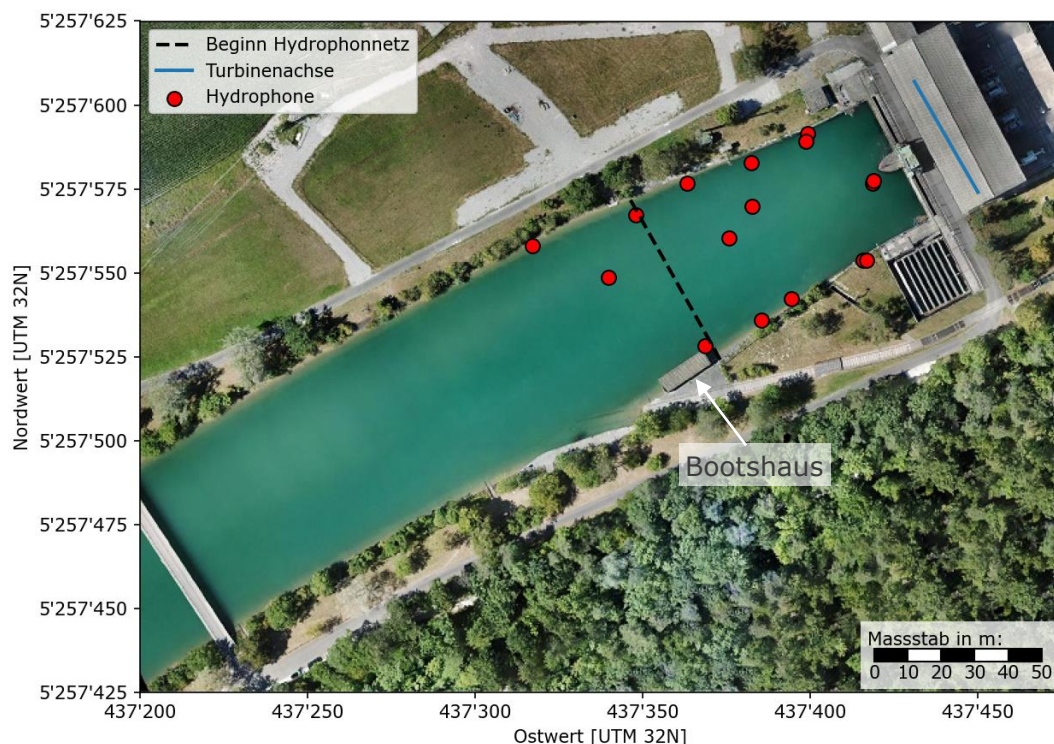


Abb. 4.7 Positionen der Hydrophone im Nahbereich des Maschinenhauses.

Bestimmung der Hydrophonpositionen

Je genauer die Position der Hydrophone in x-, y- und z-Richtung bekannt ist, desto genauer können die Schwimmpfade der markierten Fische ermittelt werden. Gemäss dem Hersteller HTI müssen die Hydrophone bei der Installation jedoch nicht eingemessen werden, da diese mit der sogenannten *Ping-around* Funktion ermittelt werden kann. Bei dieser Funktion wird jedes Hydrophon für rund eine Minute vom Empfang-Modus in den Sende-Modus gestellt. Die verbleibenden Hydrophone zeichnen dann das Signal des Hydrophons auf, welches sich im Sende-Modus befindet. In Zusammenarbeit mit HTI wurden dabei die akustischen Empfindlichkeiten (Sensitivität) der einzelnen Hydrophone angepasst, um eine optimale Mehrfachabdeckung zu erreichen. Die Empfindlichkeit bzw. Sensitivität der Hydrophone entspricht dem Grad der Verstärkung der elektronischen Signale. Daher muss mittels einer Feinabstimmung jedes einzelnen Hydrophons eine genügende, jedoch möglichst geringe elektronische Empfindlichkeit eingestellt werden. Trotz dieser Bemühungen konnten die Hydrophonpositionen mit der HTI-Software nicht mit zufriedenstellender Genauigkeit ermittelt werden.

Die Position der in den Uferbereichen befestigten Hydrophone konnte zwar mit einem GPS-Gerät relativ genau bestimmt werden, die Position der mit Betonklötzen in der Flussmitte positionierten Hydrophonen hingegen nicht. Um die Hydrophonpositionen genauer ermitteln zu können, wurde der in Kapitel 4.5.2 beschriebene YAPS (*Yet Another Positioning System*) Algorithmus eingesetzt. Grundlage der Positionsbestimmung mit YAPS sind die aufgezeichneten *Ping-around* Daten. Der Algorithmus geht davon aus, dass die Positionen gewisser Hydrophone bekannt sind und schätzt die Positionen der verbleibenden Hydrophone. Die Hydrophonpositionen werden dann mit den neu abgeschätzten Positionsdaten aktualisiert, wobei dieser Prozess iterativ durchgeführt wird. Bei jeder Iteration wird für eine zufällige Auswahl an Hydrophonen davon ausgegangen, dass deren Position bekannt ist. Insbesondere die Ermittlung der Tiefe der Hydrophone stellte sich in diesem Projekt jedoch als schwierig heraus, was einerseits daran lag, dass die Aare vor dem MH, im Vergleich zu vielen anderen Gewässern an welchen bisher akustische Telemetriestudien durchgeführt wurden, relativ seicht ist und andererseits am nicht optimal gewählten Hydrophonlayout. Damit ist gemeint, dass verhältnismässig wenige Hydrophone sohnah installiert wurden. Aufgrund dieses nicht optimalen Hydrophonlayouts konnte mit der beschriebenen Methodik keine konvergierende Lösung gefunden werden. Aus diesem Grund wurde davon ausgegangen, dass die bei der Installation manuell ermittelte Installationstiefe aller Hydrophone und die Positionen in x- und y-Richtung zweier im Böschungsbereich installierten Hydrophone bekannt und korrekt sind. Dadurch konnten die Positionen aller anderen Hydrophone ermittelt werden, allerdings nur mit relativ grossen Unsicherheiten. Trotz intensiver Bemühungen konnte somit insbesondere die Installationstiefe der Hydrophone nicht genau ermittelt werden, was sich v.a. auf die Genauigkeit der ermittelten Schwimmtiefe der markierten Fische auswirkt. Die Unsicherheiten in der Bestimmung der z-Koordinate sollten jedoch keinen Einfluss auf die Genauigkeit der Daten in der x-y-Ebene haben.

4.3.5 Versuchsaufbau Aussenstationen

In diesem Kapitel werden die in Abb. 4.2 grün eingezeichneten Aussenstationen beschrieben. Bei den Aussenstationen «Dotierkraftwerk KWWB» und «Wehr KWWB» konnte die Stromversorgung mit Aussensteckdosen sichergestellt werden. Alle anderen Stationen wurden mit Photovoltaik-Modulen und einem Batteriesystem ausgestattet. Aufgrund von Anpassungen an die lokalen Gegebenheiten konnten nicht alle Aussenstationen baugleich ausgeführt werden.

Als Beispiel für eine typische Aussenstation zeigt Abb. 4.8 die Aussenstation in Brugg. In Abb. 4.8a sind die in den Hang gebaute Plattform (gelbe Holztafel), eine abschliessbare Holzbox und das Photovoltaik-Modul zu sehen. Zudem sind die am Baum befestigten Drahtseile erkennbar, welche mit den als Hydrophonhalterung genutzten Betonklötzen verbunden wurden. Abb. 4.8b zeigt die Elektronik in einer Metallkiste, welche unter der abschliessbaren Holzbox installiert war. Darin sind der HTI Datenlogger (Modell 395, Kapitel 4.1.2), ein Solarladeregler (Western MPPT WRM 20), ein 4G / LTE Router (Teltonika RUT950) und Leitungsschutzschalter zu sehen. In der gleichen Box, aber unter der Elektronik, waren je nach Aussenstation Hoppecke Batterien mit 6V Zellen mit 242Ah/C24 oder 350Ah/C24 verbaut. Die Zeitsynchronisation der Datenlogger wurde mit GPS-Antennen sichergestellt.



Abb. 4.8 Die Aussenstation in Brugg mit (a) der Plattform (gelbe Holztafel), der Holzbox und dem Photovoltaik-Modul und (b) die Elektronik in der unter der Holzbox positionierten Metallkiste.

Aussenstation Dotierkraftwerk KWWB

Diese Aussenstation befindet sich rund 2.3 km oberstrom des MH des KWWB direkt beim Dotierkraftwerk des KWWB bzw. dem Beginn des Oberwasserkanals. Bei dieser Aussenstation wurden zwei an H-Halterungen befestigte Hydrophone in der Flussmitte angeschraubt. Ziel dieser Aussenstation war es, alle Fische zu detektieren, welche den Oberwasserkanal Richtung oberstrom verlassen.

Aussenstation Wehr KWWB

Diese Aussenstation befindet sich rund 2.4 km oberstrom des MH des KWWB. Dabei wurde ein Hydrophon mit einer C-Halterung an der Uferwand vom rechten Widerlager des Wehrs des KWWB installiert. Ziel dieser Aussenstation war es, dass kein Fisch über das Wehr absteigen kann, ohne dass der Fisch bei dieser Aussenstation detektiert wird. Aufgrund der Nähe dieser Station zur Station beim Dotierkraftwerk KWWB wurden viele Fische gleichzeitig oder mit sehr geringem Zeitversatz bei diesen beiden Stationen detektiert. Aus diesem Grund wurden die Daten dieser beiden Stationen bei der Auswertung unter der Bezeichnung «Wehr KWWB» zusammengefasst.

Aussenstation Auenstein (Oberer Kontrollpunkt)

Diese Aussenstation befindet sich rund 7.5 km oberstrom des MH des KWWB, knapp vor dem Zusammenfluss des Unterwasserkanals und der Restwasserstrecke des KRA. Bei dieser Aussenstation wurden zwei an H-Halterungen befestigte Hydrophone an der orographisch linken Böschung installiert. Ziel dieser Aussenstation war es, insbesondere Fische zu detektieren, welche über den Unterwasserkanal und anschliessend die FAH beim MH des KRA, aufsteigen. Dies war insbesondere deshalb wichtig, da bei der FAH beim MH des KRA im Gegensatz zur FAH in der Restwasserstrecke keine PIT-tagging Antenne installiert war (Kapitel 4.3.2). Zudem ermöglichte es diese Station die Zeit zu messen, welche Fische für den Abstieg von Auenstein bis zum Wehr bzw. MH des KWWB benötigten. Zumindest teilweise wurden bei dieser Station voraussichtlich auch über die Restwasserstrecke aufsteigende Fische detektiert. Aufgrund von unterschiedlichen Sohllagen muss jedoch davon ausgegangen werden, dass nicht alle der über die Restwasserstrecke aufgestiegenen Fische detektiert wurden.

Aussenstation Unterwasserkanal KWWB

Bei der rund 2.1 km unterstrom des MH des KWWB aufgebauten Aussenstation wurden zwei an H-Halterungen installierte Hydrophone auf dem Gewässergrund positioniert. Diese Aussenstation befand sich beim Zusammenfluss des Unterwasserkanals mit der Restwasserstrecke des KWWB. Ziel dieser Aussenstation war es primär, über den Unterwasserkanal und somit über die Turbinen oder die FAH abgewanderte Fische zu detektieren.

Aussenstation Restwasserstrecke KWWB

Diese Aussenstation befindet sich knapp vor dem Zusammenfluss der Restwasserstrecke mit dem Unterwasserkanal oberstrom des Dachwehrs. Bei dieser Aussenstation wurde zuerst ein an einer H-Halterung installiertes Hydrophon auf den Gewässergrund abgesenkt. Aufgrund der in Kapitel 7.1.1 beschriebenen Probleme wurde dieses Hydrophon dann jedoch durch ein an einem Betonklotz befestigtes Hydrophon ersetzt. Ziel dieser Aussenstation war es, alle über die Restwasserstrecke auf- und absteigenden Fische zu detektieren.

Aussenstation Brugg (unterer Kontrollpunkt)

Bei Brugg, rund 3.6 km unterstrom des MH des KWWB ist die Aare sehr schmal, wodurch sich dieser Standort ideal für den unteren Kontrollpunkt eignet. Durch die hohen Fliessgeschwindigkeiten wurden die an Betonklötzen befestigten Hydrophone jedoch durch die Strömung verdriftet. Somit mussten die H-Halterungen durch Betonklötze ersetzt werden. Bei dieser Aussenstation stand die Detektion aller Fische im Vordergrund, welche den Untersuchungsperimeter in Richtung unterstrom verliessen. Zudem war diese Station wichtig, um feststellen zu können, ob Fische nach der Turbinenpassage wieder stromaufwärts schwammen.

4.3.6 Versuchsaufbau mobile Trackings

Dieses Kapitel wurde von der FishConsulting GmbH in Zusammenarbeit mit Axpo verfasst. Mit mobilen Trackings kann der Aufenthaltsort markierter Fische ausserhalb der Reichweite der fest installierten Hydrophone bestimmt werden. Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurde ein mobiles Tracking im Januar/Februar 2021 und eines im Dezember 2021 durchgeführt.

Für die mobilen Trackings wurde das *Model 305 Mobile Tag System* mit einem Laptop und einem Hydrophon verbunden. Das Hydrophon wurde dabei so an einem Motorboot befestigt, dass es sich ca. 1.2 m unterhalb der Wasseroberfläche befand. Mit einem externen GPS-Gerät wurde die Position des Bootes ermittelt und zusammen mit den akustischen Daten gespeichert. Nach einer Testfahrt und Rücksprache mit HTI wurde eine Verstärkung (engl. *Gain*) zwischen 32 und 50 verwendet. Dabei wurde die Verstärkung bei starken Störsignalen (engl. *Noise*) reduziert. Die Stärke der Störsignale kann dabei in Echtzeit aus der Übersicht der HTI-Software MobileTag abgelesen werden. Getrackt wurde die Strecke zwischen dem KRA (Unterwasserkanal) und dem Ende des Unterwasserkanals des KWWB (26.01./17.02.2021 sowie 14./15.12.2021) und die Strecke ab Brugg bis zum Wehr des HKB (18.02.2021 sowie 16.12.2021). Die getrackten Strecken sind in Abb. 4.9 rot hervorgehoben. Somit konnte mit Ausnahme der Restwasserstrecke und der Schlucht bei Brugg nahezu der gesamte relevante Untersuchungsperimeter abgedeckt werden. Diese beiden Abschnitte konnten aufgrund der geringen Wassertiefe bzw. aus Sicherheitsgründen nicht befahren werden. Um Störgeräusche zu vermeiden, wurde das Boot beim mobilen Tracking mit ausgeschaltetem Motor in der Strömung treiben gelassen. Die

breitesten Stellen der Aare (Holderbank bis Hauptwehr KWWB und Brücke Stilli bis Hauptwehr Beznau) wurden sowohl in der linken als auch der rechten Flusshälfte befahren, um den gesamten Gewässerquerschnitt abzudecken.

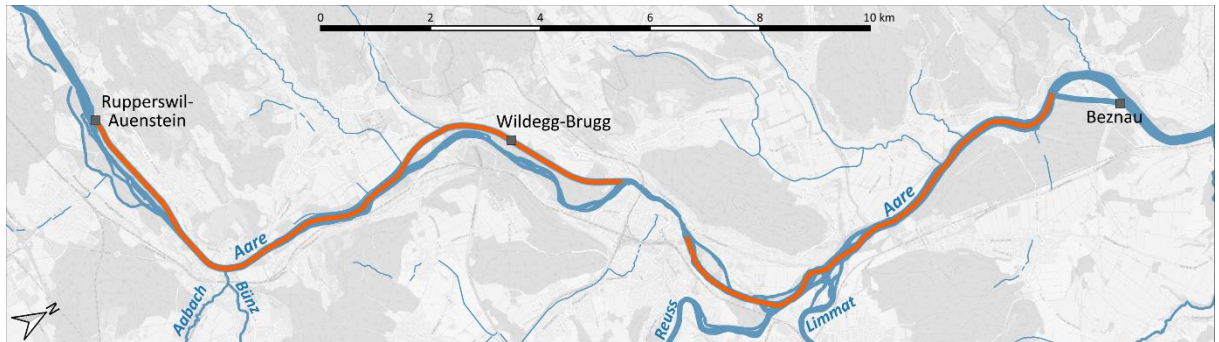


Abb. 4.9 Aare zwischen den Kraftwerken Rapperswil-Auenstein und Beznau, wobei die beim mobilen Tracking befahrenen Abschnitte rot hervorgehoben sind (Quelle Karte: Swisstopo).

4.4 Untersuchungszeitraum

Im Juli und August 2019 wurden bereits 18 Testfische markiert. Da aufgrund des noch nicht verdichteten Hydrophonnetzes keine brauchbaren Schwimmpfade berechnet werden konnten (Kapitel 4.3.4), wurden diese Vorversuche nicht zum Hauptuntersuchungszeitraum gezählt.

Am 19.05.2020 wurden die ersten Fische markiert, welche mit dem verdichteten Hydrophonnetz ausgewertet werden konnten. Dies ist somit der Start des Hauptuntersuchungszeitraums. Die Datenaufzeichnung wurde am 24.05.2022 beendet, was dem Ende des Hauptuntersuchungszeitraums entspricht. Die Periode vom 19.05.2020 bis zum 24.05.2022 wird nachfolgend als Untersuchungszeitraum bezeichnet.

4.5 Datenvalidierung und Datenanalyse Hydrophonnetz

4.5.1 Datenvalidierung

Die ersten Tests zur Datenvalidierung wurden im Juni und Juli 2019 im aus nur acht Hydrophonen bestehenden Hydrophonnetz durchgeführt. Dafür wurde ein Seil quer über den Oberwasserkanal gespannt (Abb. 4.10a) und ein Test-Tag (Abb. 4.10b) quer über den Oberwasserkanal gezogen. Die Haupteckenerkenntnis dieser ersten Validierungsphase war – wie in Kapitel 4.3.4 beschrieben – dass das Hydrophonnetz verdichtet werden musste.

Das verdichtete Hydrophonnetz wurde im Mai 2020 getestet. Diese Daten wurden mit den beiden Programmen «MarkTags» und «AcousticTag» des Herstellers HTI ausgewertet (Abb. 4.11). Abb. 4.11a,b zeigen ein Standbild dieser Datenvalidierung im Grundriss, wobei die einzelnen Hydrophone als farbige Punkte und der Pfad des Test-Tags als rote bzw. gelbe Linie dargestellt ist. Abb. 4.11c zeigt einen Längsschnitt der gleichen Daten, woraus die Tiefe der Hydrophone und die des Pfades des Test-Tags zu sehen sind.



Abb. 4.10 (a) Über den Oberwasserkanal gespanntes Seil und (b) der Test-Tag, welcher durch einen mit Steinen befüllten Sack beschwert wurde.

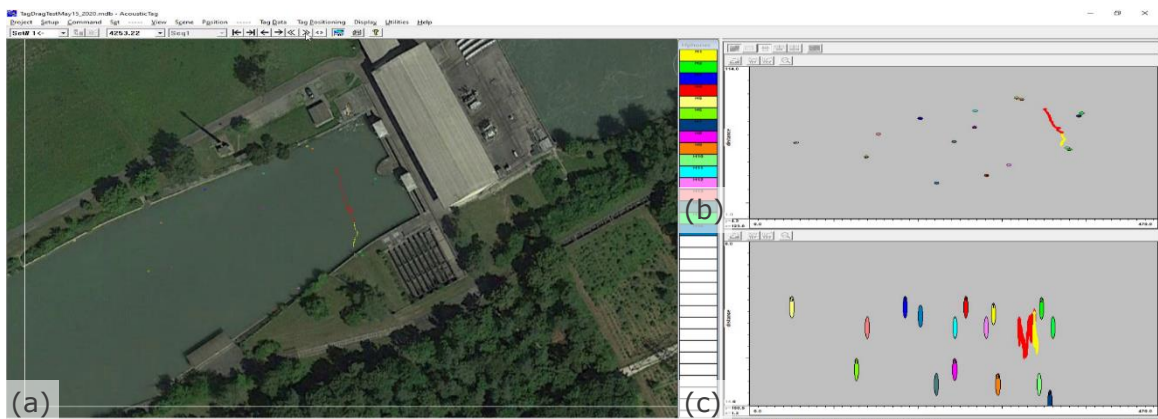


Abb. 4.11 (a) und (b) zeigen die Daten eines Test-Tags im Grundriss und (c) im Längsschnitt.

Die Datenvalidierung hat gezeigt, dass die Pfade der Test-Tags mit dem verdichteten Hydrophonnetz plausibel abgebildet werden können. Aufgrund dieser positiven Resultate wurden weitere Fische markiert und im Hydrophonnetz vor dem MH des KWWB ausgesetzt. Die aufgezeichneten Daten wurden mit den beiden Programmen «MarkTags» und «AcousticTag» des Herstellers HTI bearbeitet. Trotz intensiver Bemühungen und Abstimmung mit dem Hersteller konnten damit keine zufriedenstellenden Resultate erzielt werden. Die Hauptprobleme waren, dass die in 3D ermittelten Schwimmpfade im Grundriss nicht mit den in 2D ermittelten Schwimmpfaden übereinstimmten, dass für gewisse Fische zwar 2D-Tracks jedoch keine 3D-Tracks ausgegeben wurden und dass teilweise die Abstände zwischen zwei Datenpunkten sehr gross waren. Letzteres führte zu unplausiblen Schwimmpfaden wie beispielsweise geraden Linien.

Aufgrund der geschilderten Erfahrungen mit der Software des Herstellers HTI wurde eine Kooperation mit der Technischen Universität Dänemark (DTU) gestartet. Die Datenanalyse erfolgte mit dem von der DTU selbst entwickelten Algorithmus YAPS (*Yet Another Positioning Solver*), welcher in Kapitel 4.5.2 beschrieben wird. Abb. 4.12 zeigt eine Auswahl an Schwimmpfaden von während dieses Projekts markierten

Fischen, wobei die Auswertung sowohl mit der HTI-Software (Abb. 4.12a) als auch mit YAPS (Abb. 4.12b) erfolgte. Beide Auswertungen beruhen auf den identischen Rohdaten.

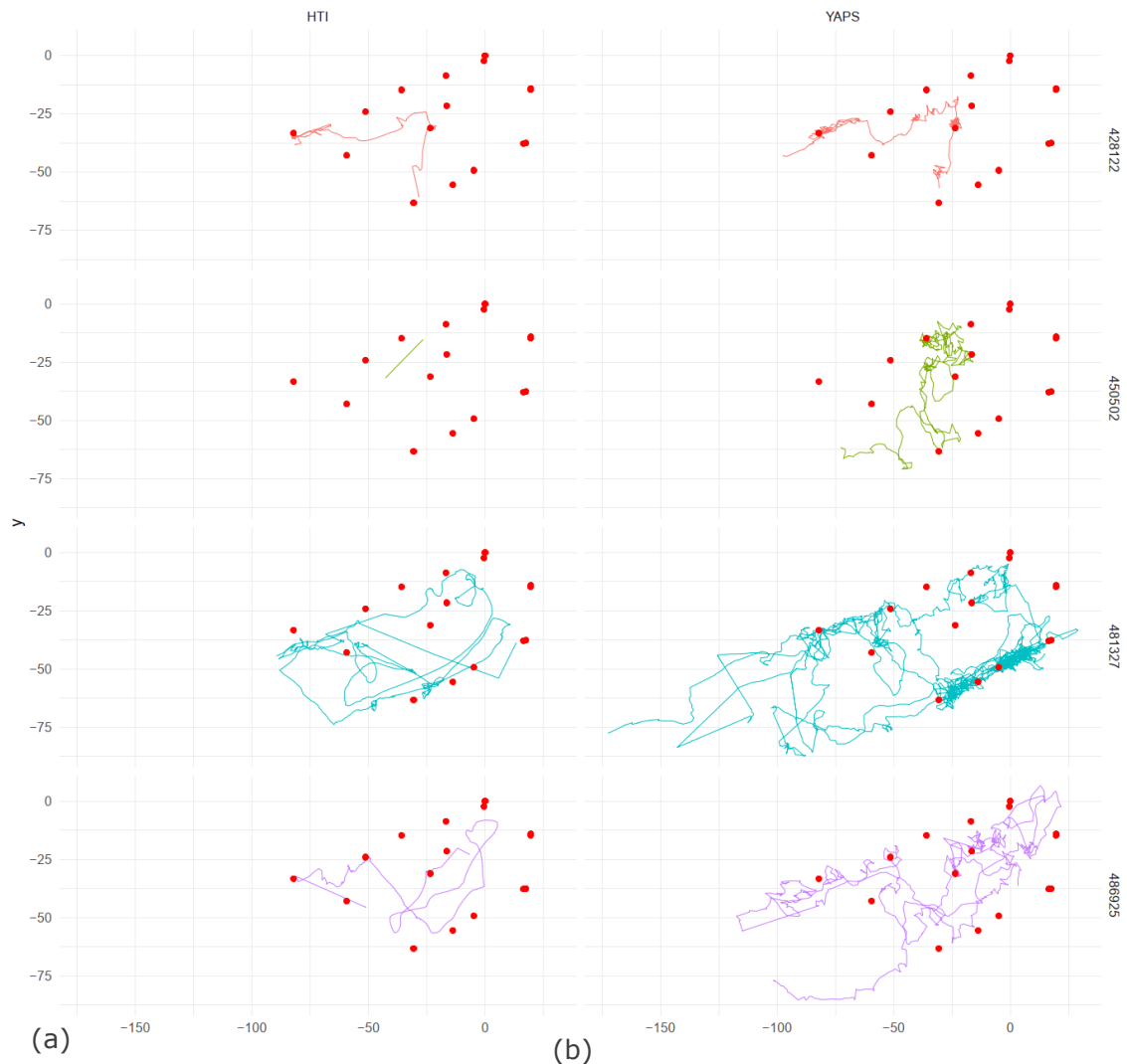


Abb. 4.12 Beispiel von (a) mit der HTI-Software und (b) mit YAPS ausgewerteten 2D-Schwimmpfaden im Grundriss, wobei die roten Punkte den Hydrophonpositionen entsprechen (Quelle: Henrik Baktoft).

Ein Vergleich von Abb. 4.12a und Abb. 4.12b zeigt, dass die mit YAPS ausgewerteten Schwimmpfade plausibler und deutlich detailreicher als die mit der HTI-Software ausgewerteten Schwimmpfade sind. Gründe für diese Unterschiede werden in Kapitel 4.5.2 diskutiert.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit dem verdichteten Hydrophonnetz und der Datenauswertung mit YAPS plausible Schwimmpfade ermittelt werden konnten. Mit der HTI-Software konnten jedoch weder mit dem nur aus acht Hydrophonen bestehenden Hydrophonnetz noch mit dem verdichteten Hydrophonnetz zufriedenstellende Resultate erreicht werden.

4.5.2 Datenanalyse

Durch die Integration des Datenauswertealgorithmus YAPS erfolgte die Analyse der im Hydrophonnetz vor dem MH aufgezeichneten Daten in den folgenden vier Schritten:

Schritt 1: HTI Software MarkTags: Markierung und Zuordnung der Signale zu den Tags (Umwandlung der Roh-Dateien (.rat) zu Tag-Dateien (.tat))

Das verwendete Aufzeichnungssystem gibt akustische Roh-Dateien (.rat) aus. Diese Rohdaten enthalten die aufgezeichneten akustische Signale von allen Hydrophonen. Die Software MarkTags durchsucht die Rohdaten nach Signalen und versucht diese mithilfe von speziellen Signalfiltern und dazugehörigen Parametern entsprechend den gesuchten Tags zuzuordnen. Bei diesem Bearbeitungsschritt werden sogenannte akustische Tag-Dateien (.tat) ausgegeben. Für die Zuordnung der Signale zu den Tags kann MarkTags in einem automatischen oder manuellen Modus operieren. Im manuellen Modus müssen alle Signale von einem einzelnen Tag bei einem einzelnen Hydrophon durch den User selbst manuell gekennzeichnet werden. Aufgrund der grossen Menge an Daten und dem damit verbunden Aufwand kam eine manuelle Bearbeitung der Daten aber nicht in Frage. Im automatischen Modus versucht MarkTags, diese Zuordnung automatisiert durchzuführen. Der automatische Algorithmus basiert auf einem Set von Parametern, hier "Filterkriterien" genannt. Bei der Wahl der Filterkriterien gab es keine Einstellung, welche eine eindeutige Signalzuordnung erlaubte. Entweder wurden zu viele «reale» Signale (=Detektionen) verworfen oder zu viele Störsignale als «reale» Detektionen eines Tags eingestuft («false positives»). Damit die Bestimmung eines Schwimmpfades im YAPS Auswertealgorithmus (Schritt 3) von möglichst allen Detektionen eines Tags profitiert, mussten die Filterkriterien bewusst «locker» gewählt werden, so dass zwar viele Störsignale («false positives») vorhanden waren, aber die Anzahl von verworfenen «realen» Detektionen möglichst klein war. Die durch dieses Vorgehen entstehenden, häufigen «false positive» Detektionen werden nachfolgend als «Hintergrundrauschen» bezeichnet. Das «Hintergrundrauschen» wurde durch einen zusätzlichen Bearbeitungsschritt weiter behandelt und minimiert.

Schritt 2: Herausfiltern des Hintergrundrauschens

Die Berechnung eines Schwimmpfades kann im YAPS Algorithmus durch das Hintergrundrauschen beeinträchtigt werden. Weiter nimmt auch die Zeitdauer für die Ausführung der Berechnungen bei erhöhtem Datenvolumen schnell zu. Es empfiehlt sich also, das Hintergrundrauschen, bzw. die Anzahl von «false positive» Detektionen, durch eine andere Prozedur zu entfernen bzw. zu minimieren. Die Detektionen wurden durch eine einfache Klassifizierung bearbeitet: Pro 5 Minuten wurde die Anzahl Detektionen gezählt, und falls die Anzahl von Detektionen kleiner als 35 war, wurden die Detektionen dieses Intervalls verworfen. Die Klassifikation erwies sich als effektiv, anhand von Stichproben konnte sichergestellt werden, dass nur sehr wenige «reale» Detektionen erneut herausgefiltert wurden. Durch diesen Klassifikationsfilter wurden prinzipiell auch nur Zeitbereiche verändert, in welchen die Anzahl von Detektionen für die Ermittlung eines Schwimmpfades im Schritt 3 sowieso zu gering gewesen wäre.

Schritt 3: YAPS Auswertealgorithmus

Wie bereits in Kapitel 4.5.1 erwähnt, wurden die Daten mit dem YAPS-Algorithmus ausgewertet. Dieser Algorithmus umfasst eine *Maximum Likelihood* Analyse eines Zustandsraummodells (engl. *state-space model*), welches in Kombination mit einem Bewegungsmodell direkt auf die Ankunftszeitdaten (engl. *time of arrival data*)

angewandt wird. Im Gegensatz zu vielen anderen Algorithmen basiert YAPS nicht auf einem sequenziellen Positionsfilteransatz. Stattdessen werden alle verfügbaren Daten in einem einzigen Modell ausgewertet, was zu einer deutlich besseren Datengenauigkeit und Fehlerkontrolle führt. Mit YAPS können auch Datenpunkte in die Berechnung der Schwimmpfade miteinbezogen werden, wenn zu einem Zeitpunkt ein Fisch im Extremfall nur von einem Hydrophon registriert wurde. Im Unterschied dazu kann die HTI-Software die Position eines Fisches nur ermitteln, wenn dieser zu einem bestimmten Zeitpunkt von drei Hydrophonen gleichzeitig registriert wird. Falls ein Fisch zu einem Zeitpunkt von mehr als drei Hydrophonen registriert wird, nutzt die HTI-Software dennoch nur die Detektionen von drei Hydrophonen. Die Wahl der drei Hydrophone, welche in diesem Fall in die Datenauswertung einfließen, wird dabei von der Software selbst getroffen. Es ist mehrfach vorgekommen, dass die HTI-Software nur die Signale von drei oberflächennahen Hydrophonen nutzte, obwohl das relevante Tag zu diesem Zeitpunkt auch von einem sohlennahen Hydrophon detektiert wurde. Für die Ermittlung der Tiefe des Tags wäre aber insbesondere diese sohlennahe Detektion relevant. Somit kann gesagt werden, dass die HTI-Software im Unterschied zu YAPS viele vorhandene Informationen bei der Berechnung der Positionen gar nicht berücksichtigt. Die Art und Weise, wie die HTI-Software AcousticTag die ermittelten Positionen zu einem Schwimmpfad verknüpft, basiert auf nicht näher bekannten unternehmenseigenen Prozeduren.

Dies erklärt mehrheitlich die grossen Unterschiede der mit den beiden Algorithmen (HTI vs. YAPS) ermittelten Schwimmpfade, welche mit Abb. 4.12 in Kapitel 4.5.1 verdeutlicht wurden. YAPS gibt als Ergebnis für jeden im Hydrophonnetz detektierten Fisch den dreidimensionalen Schwimmpfad inklusive der Zeitstempel und Genauigkeitsangaben aus. Weitere Details zu YAPS können Baktoft et. al (2017) [14] entnommen werden.

Schritt 4: Zusätzliche Filter

Trotz der guten Datenqualität von YAPS waren nicht alle im Schritt 3 ermittelten Schwimmpfade durchwegs plausibel. Der Hauptgrund für unplausible Schwimmpfade war dabei eine geringe Datendichte. Der Grossteil der unplausiblen Datenpunkte bzw. Pfadstücke wurde mit mehreren Filtern herausgefiltert. Die Filter wurden so gewählt, dass dadurch im Zweifelsfall keine plausiblen Daten verloren gingen. Dies wurde mittels einer manuellen, visuellen Prüfung aller herausgefilterten Daten überprüft. Dabei wurden die folgenden Filter verwendet.

1. Punktefilter: Datenpunkte mit identischer x- und y-Koordinate wurden herausgefiltert. Dieser Filter wurde benötigt, da es bei YAPS teilweise vorkam, dass für einen Tag (Sender) über einen längeren Zeitraum die exakt gleichen x- und y-Koordinaten ausgegeben werden. Dies ist jedoch nicht plausibel, da auf Zentimeter genaue Koordinaten verwendet wurden. Selbst wenn sich ein Fisch über einen längeren Zeitraum nicht bewegt, sind die Koordinaten nur schon aufgrund von unterschiedlich stark ausgeprägten Störgeräuschen nicht identisch. Somit wurden durch diesen Filter Fische, welche sich über einen längeren Zeitraum nicht bewegten, nicht herausgefiltert.
2. Interpolationsfilter: Kurze Datenlücken wurden durch YAPS interpoliert. Vereinzelt wurden jedoch auch Datenlücken interpoliert, welche länger als 5 Minuten dauerten. Mit dem Interpolationsfilter wurden diese Daten mit einer Interpolationsdauer von über 5 Minuten herausgefiltert.
3. Kanalabstandsfilter: Die von YAPS ausgegebenen Daten enthielten auch Punkte ausserhalb des Oberwasserkanaals. Diese Daten, welche häufig anhand einer geringen Anzahl Detektionen von wenigen Hydrophonen

berechnet wurden, sind offensichtlich sehr ungenau. Mit dem Kanalabstandsfilter wurden alle mehr als 10 m vom Kanal entfernten Datenpunkte herausgefiltert. Die 10 m dienen dabei als Pufferzone, damit Schwimmpfade, die sich aufgrund von Ungenauigkeiten zeitweise ausserhalb des Kanals befinden, nicht unterbrochen werden.

4. Geschwindigkeitsfilter: Über die Distanz zwischen zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Detektionen kann die Geschwindigkeit berechnet werden, mit welcher ein Fisch vom ersten zum zweiten Punkt geschwommen sein muss. Da Geschwindigkeiten von über 3 m/s unplausibel waren, wurden diese bereinigt: Bewegte sich ein Fisch gemäss der Auswertung mit einer Geschwindigkeit von über 3 m/s zwischen zwei Punkten, so wurde der «Ankunftspunkt» gelöscht. Diese Prozedur wurde so lange wiederholt, bis die Geschwindigkeit von 3 m/s wieder unterschritten wurde. Generell wurden bei diesem Filter nicht viele Positionen herausgelöscht.
5. Datenpunktfilter: In Kapitel 5.11 wird im Detail erklärt, dass die Schwimmpfade für gewisse Darstellungen bzw. Auswertungen in sogenannte Tracks unterteilt wurden. Ein Schwimmpfad wurde dabei in mehrere Tracks unterteilt, wenn der entsprechende Fisch für mehr als 5 Minuten nicht im Hydrophonnetz detektiert wurde. Mit diesem Filter wurden alle Tracks herausgefiltert, welche sich aus weniger als 30 Positionen zusammensetzten. Bei den so herausgefilterten Daten handelte es sich nicht um plausible Tracks, sondern hauptsächlich um einzelne Datenpunkte, welche vermutlich primär durch Fehldetektionen entstanden sind.
6. Hydrophone pro Datenpunkt Filter: Nach der Anwendung der bisher aufgeführten Filter enthielt der Datensatz immer noch einzelne Schwimmpfade, welche optisch klar als unplausibel eingestuft wurden. Häufig handelte es sich dabei um kurze Schwimmpfade, welche mitten im Hydrophonnetz starteten und endeten. Diese Schwimmpfade hatten gemeinsam, dass sie auf sehr wenigen Hydrophondetektionen beruhten. Durch diesen Filter wurden alle Schwimmpfade herausgefiltert, welche im Mittel auf weniger als 0.3 Hydrophondetektionen pro Datenpunkt basierten. Typische Datenpunkte basieren auf mehreren Hydrophondetektionen. Durch die von YAPS durchgeführten Interpolationen ist es jedoch auch möglich, dass ein Schwimmpfad im Mittel auf weniger als einer Hydrophondetektion pro Datenpunkt basiert. Durch diesen Filter wurden somit v.a. Schwimmpfade mit einem sehr hohen Anteil an interpolierten Daten herausgefiltert. Der verwendete Grenzwert wurde möglichst hoch gewählt, jedoch so gering, dass optisch keine plausiblen Schwimmpfade herausgefiltert wurden.
7. Verwechslungsfilter: In Kapitel 7.3.2 wird auf die Problematik eingegangen, dass es bei gewissen Fischen mit ähnlichen Tagnummern zu Verwechslungen kam. Dieses Problem trat primär bei den Aussenstationen auf, teilweise jedoch auch im Hydrophonnetz vor dem MH. Bei einzelnen Schwimmpfaden, welche nach der Anwendung der Filter 1–6 optisch als unplausibel eingestuft wurden, wurde festgestellt, dass zeitgleich ein Fisch mit einer ähnlichen Tagnummer im Hydrophonnetz vor dem MH detektiert wurde. Welcher der beiden Fische effektiv vor dem MH war lässt sich daran erkennen, dass die Datendichte des korrekt detektieren Fisches deutlich höher ist als die des fälschlicherweise detektierten Fisches. Mit dem Verwechslungsfilter wurden Tracks manuell herausgefiltert, welche optisch als unplausible eingestuft wurden und welche zudem aller Voraussicht nach auf eine Verwechslung zurückzuführen sind.

Alle in diesem Bericht gezeigten Analysen der im Hydrophonnetz vor dem MH aufgezeichneten Daten basieren auf der oben beschriebenen Datenauswertung und Datenfilterung. Die so ermittelten Schwimmpfade wurden mittels diverser Analysen ausgewertet. Dazu gehören u.a. Heatmaps, welche zur Darstellung der Aufenthaltspräferenzen der Fische dienen und Plots von Durchstosspunkten, mit welchen gezeigt wird, wo Fische eine definierte Linie kreuzten. Zur Verbesserung der Lesbarkeit werden in diesem Methodenkapitel jedoch nicht alle Analysen erläutert. Stattdessen wird in Kapitel 5 vor der Darstellung eines Resultats jeweils kurz erklärt, welche Daten die entsprechende Abbildung zeigt und wie diese Daten ermittelt wurden. Nachfolgend wird deshalb nur auf die Ermittlung der Rheotaxis genauer eingegangen, da zum Verständnis der Berechnung der Rheotaxis ausführlichere methodische Erklärungen notwendig sind.

Sofern nicht explizit erwähnt, basieren alle in diesem Bericht gezeigten Auswertungen auf allen während der Hauptuntersuchungsperiode aufgezeichneten Datenpunkten. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich Fische während der ersten Tage nach dem Markiervorgang nicht natürlich verhielten. Um ausschliessen zu können, dass die Resultate durch dieses gegebenenfalls unnatürliche Verhalten wesentlich beeinflusst wurden, wurden alle auf Schwimmpfaden basierenden Auswertungen in diesem Bericht auch unter Ausschluss der Datenpunkte der ersten 5 Tage nach dem Aussetzzeitpunkt durchgeführt. Da jedoch keine wesentlichen Unterschiede zu den Auswertungen mit allen Datenpunkten festgestellt wurden, werden in diesem Bericht nur die Auswertungen mit allen Datenpunkten gezeigt.

Ermittlung der Rheotaxis

Die Rheotaxis beschreibt die Orientierung von Lebewesen in fliessenden Gewässern. Eine positive Rheotaxis eines Fisches bedeutet dabei, dass der Fisch mit dem Kopf gegen die Strömung ausgerichtet war. Eine negative Rheotaxis entspricht somit einer Orientierung mit dem Kopf in Fliessrichtung. Wenn an einem bestimmten Ort zu einer gewissen Zeit sowohl die Fliessgeschwindigkeit als auch die Geschwindigkeit eines Schwimmpfades bekannt ist, kann die Rheotaxis aus einer Kombination dieser beiden Geschwindigkeiten berechnet werden. Beispielsweise ist klar, dass ein Fisch mit positiver Rheotaxis ausgerichtet war, wenn sich sein Schwimmpfad gegen die Fliessrichtung bewegt. Wenn sich der Schwimmpfad hingegen schneller als die Fliessgeschwindigkeit in Fliessrichtung bewegt, war der Fisch zwangsläufig rheotaktisch negativ ausgerichtet. Neben diesen beiden Fällen gibt es noch weitere Geschwindigkeitskombinationen, welche jedoch in diesem Bericht nicht beschrieben werden, da diese in der Fachliteratur wie [15] und [16] nachgelesen werden können.

Wie bereits bei den Filterkriterien beschrieben, kann die Geschwindigkeit des Schwimmpfades über die Distanz zweier zeitlich aufeinanderfolgender Punkte berechnet werden. Die effektiven Fliessgeschwindigkeiten sind hingegen nicht bekannt. Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurde die Rheotaxis jedoch basierend auf den in Kapitel 3.3 gezeigten numerisch berechneten Geschwindigkeitsfeldern abgeschätzt. Es handelt sich hierbei deshalb nur um eine Abschätzung der Rheotaxis, da die tiefengemittelten Geschwindigkeiten verwendet wurden und zudem die Fliessgeschwindigkeiten aus der Numerik nur für drei Lastfälle vorhanden waren. Für den Lastfall, dass beide Turbinen in Betrieb waren, wurden die Geschwindigkeiten aus Abb. 3.3a verwendet, wobei die Geschwindigkeiten linear mit dem Abfluss skaliert wurden. Für die beiden anderen Lastfällen, bei welchen primär eine der beiden Turbinen in Betrieb war, wurden die Fliessgeschwindigkeiten aus Abb. 3.3b,c genutzt, wobei die Abflüsse ebenfalls entsprechend linear skaliert wurden.

4.6 Datenvalidierung und Datenanalyse Aussenstation und mobiles Tracking

4.6.1 Datenvalidierung

Bei den Aussenstationen kann – wie in Kapitel 4.3.1 beschrieben – nur festgestellt werden, ob sich ein Fisch in der Nähe einer Station aufgehalten hat oder nicht. Zur Datenvalidierung wurden aktivierte Tags im Nahbereich der Hydrophone im Wasser platziert und überprüft, ob diese detektiert wurden. Diese Tests wurden jeweils von beiden Ufern aus durchgeführt. Bei der Wartung der Aussenstation wurden diese Tests wiederholt. Auch beim mobilen Tracking wurden Test-Tags zur Überprüfung der Funktionstüchtigkeit des Systems eingesetzt.

4.6.2 Datenanalyse

Wie bei der in Kapitel 4.5.2 beschriebenen Analyse der Daten im Hydrophonnetz vor dem MH wurden auch bei den Aussenstationen und beim mobilen Tracking Roh-Dateien (.rat) aufgezeichnet, welche im ersten Schritt mit der HTI Software MarkTags zu Tag-Dateien (.tat) umgewandelt werden mussten. Für diesen Schritt mussten jedoch strengere Filterkriterien gewählt werden als für die Daten aus dem Hydrophonnetz vor dem MH. Der Grund dafür ist, dass einzelne falsch positive Fehldetektionen bei den Daten des Hydrophonnetzes vor dem MH im Vergleich zu den Daten bei den Aussenstationen einen vernachlässigbaren Einfluss auf das Resultat haben. Dies liegt daran, dass falsch positive Datenpunkte im Hydrophonnetz vor dem MH entweder in einem der nachfolgenden Filterschritte herausgefiltert wurden oder dass die Datendichte für die Berechnung eines Schwimmpfades für YAPS zu gering war. Im Unterschied dazu wirkt sich bei den Aussenstationen schon eine einzelne falsch positive Fehldetektion direkt auf das Resultat aus. Eine falsch positive Detektion im Unterwasser des Kraftwerks führt nämlich dazu, dass fälschlicherweise davon ausgegangen wird, dass ein Fisch über das Kraftwerk abgestiegen ist. Die Filterkriterien wurden in Zusammenarbeit mit HTI nach bestem Wissen und Gewissen so gewählt, dass die Fehlerquote möglichst gering war.

Wie in Kapitel 4.5.2 für die Daten des Hydrophonnetzes beim MH beschrieben, wurde auch bei den Daten der Aussenstationen mit einem manuellen Verwechslungsfilter gearbeitet. Bei einem typischen Fall einer Verwechslung wurden von einem Tag (Sender) nur einzelne Signale registriert, während zeitgleich von einem Tag mit einer sehr ähnlichen Tagnummer mehrere hundert Datenpunkte aufgezeichnet wurden.

4.7 Fang und Markierung der Fische

Dieses Kapitel wurde von der FishConsulting GmbH in Zusammenarbeit mit Axpo verfasst.

4.7.1 Fischbeschaffung und Hälterung

Das ursprüngliche Ziel dieses Projekts war es, 1'000 Fische zu markieren. Es war geplant, dass die Fische mittels Elektrofischerei vom Boot aus unter- und oberstrom des KWWB und mittels einer in der FAH des KWWB installierten Reuse gefangen werden. Die Fischbeschaffung gestaltete sich jedoch als äusserst schwierig, da mit den vorgesehenen Methoden nur wenige Fische gefangen werden konnten, welche gross genug waren, um sie zu markieren (markierfähig, Details in Kapitel 4.7.2). Mittels Elektrofischerei vom Boot aus wurden der Unterwasser-, der Oberwasserkanal und die Staustrecke des KWWB sowie der Unterwasserkanal des KRA befischt. Abb. 4.13 gibt einen Überblick über diese Befischungstrecken. Trotz des hohen Aufwands konnten mit der Elektrobefischung vom Boot aus nur einzelne markierfähige Fische

gefangen werden. Im Unterwasserkanal des KWWB wurde kein einziger markierfähiger Fisch gefangen.

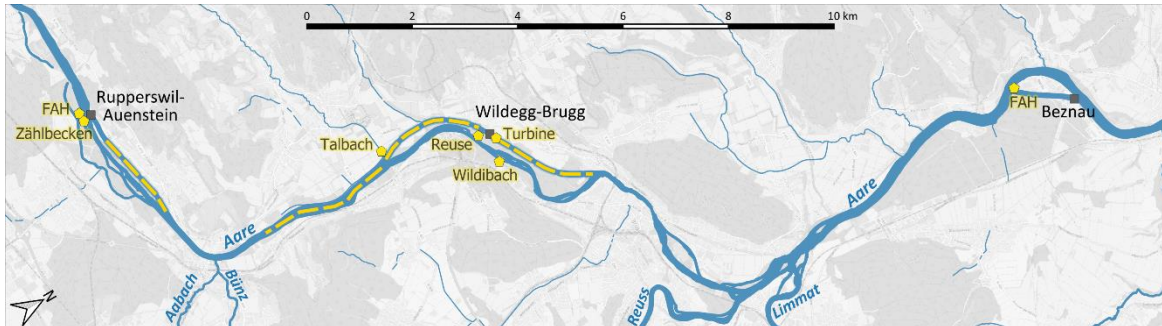


Abb. 4.13 Aare zwischen Rapperswil-Auenstein und Beznau mit den Fangorten der markierten Fische (gelb). Gestrichelte Linien entsprechen der ungefähren Befischungsstrecken mit dem Elektrofangboot (im Unterwasserkanal des KWWB wurden keine Fische gefangen; Quelle Karte: Swisstopo).

Als Alternative für die Fischbeschaffung bot sich das Zählbecken bei der FAH in der Restwasserstrecke des KRA an. Entsprechend wurden weitere Fische mithilfe dieses Zählbeckens gefangen, wobei zur Verbesserung der Fängigkeit bei den Einstiegsöffnungen in das Zählbecken des KRA und auch in die Reuse des KWWB Netzkehlen gemäss Wilmsmeier et al. (2020) [17] installiert wurden. Die Reuse wurde in der Regel ein bis drei Tage vor einer Markieraktion von den Werksmitarbeitern gesetzt und täglich geleert. Die Fische wurden in die Hälterungsanlage vor Ort, bestehend aus drei grossen, abgedeckten Wassertanks, gesetzt. Über eine Pumpe wurden die Tanks ständig mit Frischwasser aus der Aare versorgt. Am Tag vor der Markierung wurde zusätzlich das Zählbecken des KRA durch die Werksmitarbeiter in Betrieb genommen. Am Markiertag wurde das Zählbecken geleert, die für die Markierung geeigneten Fische in belüftete Transportbehälter überführt und zum KWWB transportiert.

Ursprünglich war geplant, dass in diesem Projekt nur natürlicherweise aufsteigende Fische markiert werden, welche dann bei ihrem natürlichen Abstieg untersucht werden können. Da mit allen bisher aufgeführten Fangmethoden nicht genügend markierfähige Fische gefangen werden konnten, mussten jedoch nach und nach verschiedene weitere Fangmethoden verwendet werden. Dazu gehört die zu Fuss durchgeführte elektrische Befischung des Umgehungsgewässers des KRA, die durch eine Revision ermöglichte manuelle Entnahme von Fischen aus dem Pumpenschacht des KWWB und die manuelle Entnahme von Fischen aus der teilweise abgelassenen FAH beim Wehr des HKB. Da trotz grossem personellen Aufwand noch immer nicht genügend markierfähige Fische zur Verfügung standen, wurden die restlichen Fische schliesslich per Elektrofischerei in den Aare-Seitengewässern Talbach und Wildibach gefangen. Der Talbach bzw. der Binnenkanal sind mit einem Düker unter dem Oberwasserkanal mit der Restwasserstrecke des KWWB verbunden. Bei den dort gefangenen Fischen handelt es sich somit wahrscheinlich um in der Aare lebende Fische, welche den Talbach als Winterhabitat nutzten. Der Wildibach mündet in die Restwasserstrecke des KWWB. Auch bei den im Wildibach gefangenen Fischen wird davon ausgegangen, dass es sich um in der Aare lebende Fische handelt, welche den Wildibach als Winterhabitat aufsuchten. Da nicht klar war, ob diese Fische nach der Translation ein natürliches Wanderverhalten zeigen, sollte ursprünglich auf diese Fische verzichtet werden. Aufgrund der geringen Fangzahlen mit den anderen Methoden, musste jedoch auf diese Fische zurückgegriffen werden.

Tab. 4.1 gibt einen Überblick über die Anzahl der gefangenen Fische pro Fangmethode, -ort und -jahr. Wie in Kapitel 4.4 beschrieben, wurden die 18 im Jahr 2019 markierten Fische bei der Datenanalyse nicht berücksichtigt, da zu diesem Zeitpunkt das Hydrophonnetz noch nicht verdichtet war. Somit sind nur die Daten der 681 Fische, welche während des Hauptuntersuchungszeitraums markiert wurden, in die Datenauswertung eingeflossen. Da an gewissen Orten nur sehr wenige Fische gefangen wurden, wurden diese für gewisse Datenanalysen nach Fangort gemäss Tab. 4.1 zusammengefasst. Bei acht Fischen konnte der Fangort aufgrund der Hälterung nicht mehr zweifelsfrei rückverfolgt werden. Diese Fische wurden gemäss Tab. 4.1 gemeinsam mit den Fischen aus der FAH des KWWB ausgewertet.

Fangmethode	Fangort	Gruppe Ausw.	2019	2020	2021	Total
Zählreuse	KWWB FAH	1	15	159	31	205
Zählbecken	KRA FAH	2	3	177	15	195
Manuell	Pumpenschacht KWWB	3		12	20	32
	HKB Wehr FAH	4		19		19
Elektrofang	Oberwasserkanal KWWB	5		1		1
	Staustrecke KWWB	5		7		7
	Unterwasserkanal FAH KRA	5		4		4
	KRA FAH	2		1		1
	Talbach	6		24		24
	Wildibach	7			203	203
Elektrofang oder Reuse ¹	FAH KRA oder FAH KWWB ¹	1		8		8
Total			18	412	269	<u>699</u>

¹ Aufgrund der Hälterung liess sich die Herkunft dieser Fische nicht mehr zweifelsfrei rückverfolgen

Tab. 4.1 Übersicht über die Anzahl gefangener Fische pro Fangmethode, -ort und -jahr.

Abb. 4.14 und Abb. 4.15 geben einen Überblick über die Totallänge, das Gewicht und die Art der während der Hauptuntersuchungsperiode markierten Fische. Daraus wird ersichtlich, dass grösstenteils die in Kapitel 3.5 definierten primären Zielfischarten Alet (319) und Barben (260) markiert wurden. Am dritthäufigsten wurden Egli (48) markiert. Von allen anderen Fischarten konnten hingegen insgesamt nur 54 Individuen markiert werden.

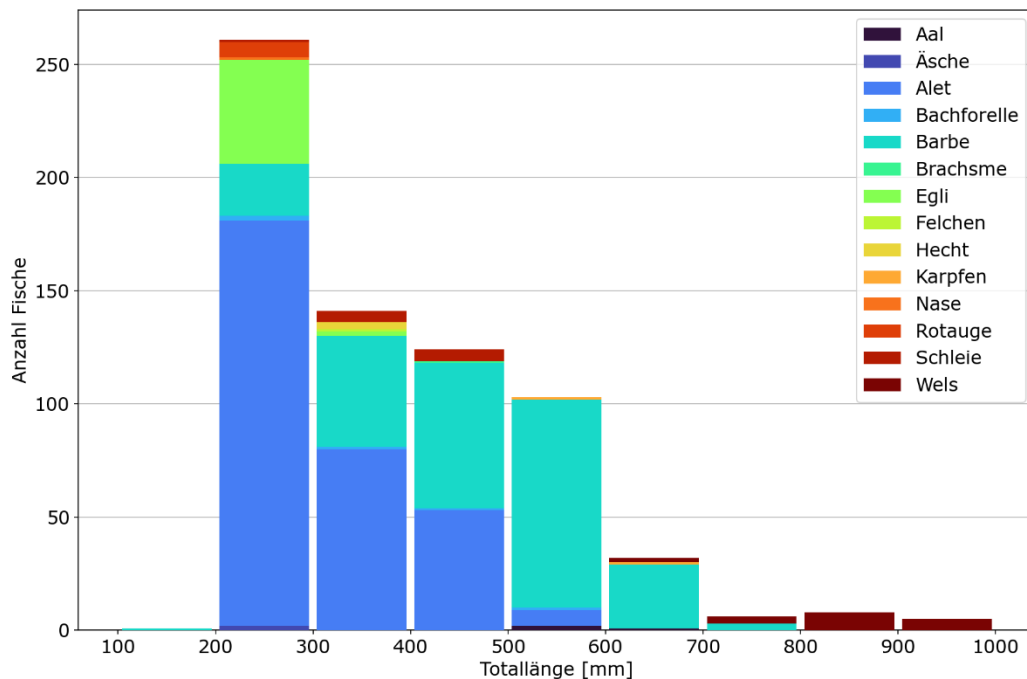


Abb. 4.14 Nach Totallänge und Fischart aufgeschlüsselte Anzahl der während der Hauptuntersuchungsperiode markierten Fische.

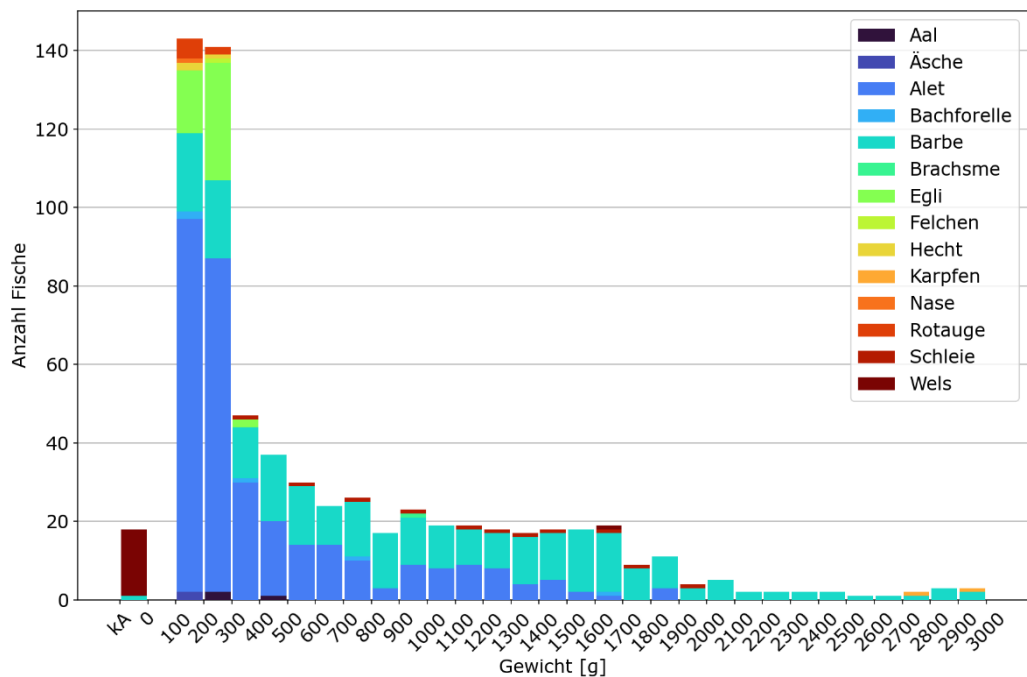


Abb. 4.15 Nach Gewicht und Fischart aufgeschlüsselte Anzahl der während der Hauptuntersuchungsperiode markierten Fische. Das Gewicht von 17 Welsen und einer Barbe konnte nicht erfasst werden, da diese Fische für die vorhandene Waage zu gross waren.

4.7.2 Fischmarkierung

Die Fische wurden von den Fangstationen in gut belüfteten Behältern zur Markierstation beim KWWB gebracht. Hier wurden sie bis zur Markierung gehältert. Für die

Markierung wurden – wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben – zwei unterschiedlich grosse Tags verwendet, wobei die kleinen Tags 3.00 g und die grossen Tags 4.47 g schwer waren. Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden nur Fische markiert, die so schwer waren, dass der Tag maximal 2% des Körpergewichts des Fisches betrug. Somit betrug das Mindestgewicht für mit kleinen Tags markierten Fischen 150 g und mit grossen Tags 223.5 g. Für die Erfassung der Biometrie und die Markierung wurden die Fische mit Nelkenöl betäubt (0.04–0.05 ml/l). Bis zur Erreichung der Anästhesiestufe 5, d.h. bis zum Verlust der Reflexreaktionsfähigkeit, dauerte es ungefähr 4–5 Minuten. Danach wurden die Fische gemessen, gewogen und fotografiert. Anschliessend wurde der jeweils zu markierende Fisch mit dem Rücken nach unten auf den U-förmigen Operationstisch gelegt. Für die Dauer der Operation wurden die Kiemen über einen Schlauch durch den Mund mit Frischwasser versorgt. Die Bauchhöhle wurde je nach Grösse des Tags mit einem rund 10–20 mm langem Schnitt mit einem Skalpell auf der medioventralen Linie zwischen den Brust- und Bauchflossen geöffnet. Anschliessend wurden der akustische Telemetriesender (Tag) sowie der PIT-Tag (23 mm) in die Bauchhöhle des Fisches geschoben. Der Schnitt wurde mit 2–3 Stichen und einem sterilen Seidenfaden (engl. *braided silk sutures*) zugenäht. Die Operation dauerte rund 2–3 Minuten. Während der ganzen Operationsdauer wurden die Fische regelmässig mit Wasser besprüht und anschliessend in einen gut belüfteten Tank gebracht. Dort wurden sie bis zur vollständigen Erholung überwacht, bevor sie 2–4 Stunden später im Oberwasserkanal ausgesetzt wurden. Abb. 4.16a zeigt die für die Markierung verwendeten Installationen und Abb. 4.16b vier gerade markierte Barben in einem gut belüfteten Tank. Für die Studie war eine Tierversuchsbewilligung nötig, die unter der Nr. AG 75727 am 01.05.2019 vom kantonalen Veterinär-dienst des Kantons Aargau erteilt wurde.



Abb. 4.16 (a) Installationen der FishConsulting GmbH für das Markieren der Fische und (b) vier gerade markierte Barben kurz bevor diese im Oberwasserkanal ausgesetzt wurden.

4.7.3 Aussetzort und -zeitpunkt

Alle markierten Fische wurden am jeweiligen Markiertag im Oberwasserkanal des KWWB ausgesetzt. Der genaue Aussetzort variierte im Laufe der Studie. Zu Beginn der Untersuchung wurden die markierten Fische zum Testen der Hydrophone direkt im Hydrophonnetz ausgesetzt (links- und rechtsufrig 20 m oberstrom des Rechs, 35 Individuen). Später wurden die Fische beim Bootshaus (rechtsufrig, 368 Individuen) und der FAH (linksufrig, 3 Individuen), beide ca. 100 m oberstrom des

Rechens ausgesetzt. Ab November 2020 wurden die markierten Fische (293 Individuen) bei der Brücke oberstrom des KWWB ausgesetzt, um Detektionen im Hydrophonnetz während des Aussetzvorgangs zu vermeiden. Wie viele Fische in welchem Jahr markiert wurden, kann Tab. 4.1 entnommen werden und das genauer Aussetzdatum aller in der Hauptuntersuchungsperiode markierten Fische dem Anhang 2.

4.7.4 Beurteilung der Auswirkung der Markierung

Die Auswirkung der Markierung auf die Fische konnte bis zu einem gewissen Grad beurteilt werden, da 14 Fische wiedergefangen und die Wunden inspiziert werden konnten. Die Wiederfänge wurden mit einer Ausnahme im Zählbecken des KRA getätigt. Die Fische sind also vom Aussetzort vor dem KWWB wieder bis zur Aufstiegshilfe KRA aufgestiegen. Die Naht war in der Regel gut verheilt, manchmal lagen noch Rötungen der Haut vor, besonders wenige Tage nach der Markierung. Aus diesen Beobachtungen lässt sich schliessen, dass die Fische sich rasch von der Operation erholten. Gesamthaft lässt sich die Auswirkung der Markierung auf die Fische als gering beurteilen.

5. Resultate und Diskussion

5.1 Lebensdauer der verwendeten Tags

Die effektive Tag-Lebensdauer, welche für viele Auswertungen relevant ist, kann von den Herstellerangaben abweichen. Da die Zuverlässigkeit der YAPS-Positionen beim MH höchsten war, wurde analysiert, wie viele Tage nach dem Aussetztag alle beim MH registrierten Fische das letzte Mal beim MH detektiert wurden. Abb. 5.1 zeigt das entsprechende Histogramm der Auswertung.

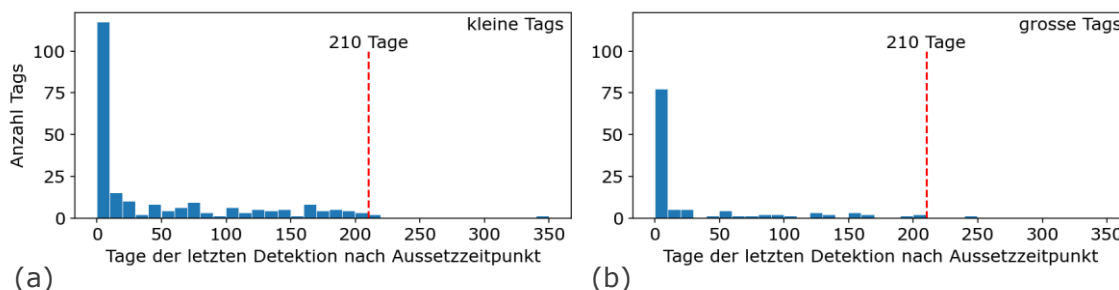


Abb. 5.1 Histogramme, welche angeben nach wie vielen Tagen nach dem Aussetztag die markierten Fische das letzte Mal beim MH detektiert wurden: (a) für die kleinen Tags und (b) für die grossen Tags.

Aus Abb. 5.1 wird ersichtlich, dass sowohl für kleine als auch für grosse Tags nur sehr vereinzelte Fische mehr als 210 Tage nach dem Aussetztag beim MH detektiert wurden. Die in Abb. 5.1 dargestellte Dauer zwischen dem Aussetzzeitpunkt und der letzten Detektionen eines Fisches entspricht zwar nicht direkt der Tag-Lebensdauer, da es möglich bzw. auch wahrscheinlich ist, dass sich die Fische zu dem Zeitpunkt, an welchem der Tag das Ende der Lebensdauer erreichte, nicht vor dem MH des KWWB aufhielten. Durch die Vielzahl an markierten Fischen wird jedoch davon ausgegangen, dass zumindest einige Fische kurz vor Ablauf der Tag-Lebensdauer vor dem MH detektiert wurden.

In Kapitel 4.1.2 wurde erklärt, für welche Bedingungen der Hersteller die Lebensdauer der kleinen Tags mit 170 Tagen und die der grossen Tags mit 365 Tagen angibt. Aufgrund der abweichenden Bedingungen ist es auch plausibel, dass die effektiv beobachteten Werte von diesen Herstellerangaben abweichen. Überraschend ist

hingegen, dass bei der Tag-Lebensdauer zwischen den kleinen und grossen Tags gemäss Abb. 5.1 kein nennenswerter Unterschied festgestellt wurde.

Die Lebensdauer der Tags hängt unter anderem von der Wassertemperatur ab. Aufgrund der unterschiedlichen Aussetzzeitpunkte muss davon ausgegangen werden, dass die effektive Tag-Lebensdauer nicht für alle Tags genau gleich lang war. Vereinfachend wird in diesem Bericht aufgrund der bisherigen Erläuterungen unabhängig von der Taggrösse für die Ermittlung der zu jedem Zeitpunkt im System befindlichen aktiven Tags (siehe Abb. 5.2b) von einer effektiven Tag-Lebensdauer von 210 Tagen ausgegangen. Um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass die Lebensdauer einzelner Tags wahrscheinlich auch länger war, wurden für die Auswertung der Fischwanderpfade hingegen alle Detektionen bis zu 360 Tage nach dem Aussetzzeitpunkt berücksichtigt. Noch später auftretende Detektionen wurden als unplausibel eingestuft und aus den Daten herausgelöscht.

5.2 Überblick über die vorhandenen Daten

5.2.1 Daten beim Maschinenhaus

Abb. 5.2 gibt einen Überblick über die verfügbaren Daten beim MH des KWWB während des gesamten Untersuchungszeitraums (19.05.2020–24.05.2022).

Die Linien in Abb. 5.2a zeigen dabei die Abflüsse durch die linke und rechte Turbine, sowie den gesamten Turbinenabfluss und den Wehrabfluss. Die unterschiedlichen Farben des Hintergrunds verdeutlichen dabei die unterschiedlichen Lastfälle. Während der grün dargestellten Perioden war primär die linke (Lastfall L1) und während der orange dargestellten Perioden primär die rechte Turbine in Betrieb (Lastfall L2). Rot dargestellt sind Zeiträume, während welcher beide Turbinen in Betrieb waren (Lastfall L3). Die rot gepunktete Linie, welche sich auf die rechte y-Achse bezieht, zeigt den Verlauf der Wassertemperatur. Hierbei handelt es sich um Daten der BAFU-Messstation «Aare - Brugg 2016». Die Daten der Zeiträume 28.08.2021–06.09.2021 und 05.12.2021–22.12.2021 wurden dabei aufgrund von Datenlücken interpoliert. Mit den Messdaten der BAFU-Messstation «Aare - Brugg, Aegerten 2029» wurde die Plausibilität der interpolierten Daten überprüft und zudem verifiziert, dass während dieser Zeiträume keine grösseren Temperatursprünge auftraten.

Die grünen Balken in Abb. 5.2b geben die Anzahl der Fische an, welche zu den entsprechenden Zeitpunkten markiert und im Oberwasserkanal des KWWB ausgesetzt wurden. Die durchgezogene Linie auf der rechten y-Achse gibt an, wie viele Tags jeweils aktiv waren, wobei bei dieser Darstellung gemäss Kapitel 5.1 unabhängig von der Tag-Grösse von einer Tag-Lebensdauer von 210 Tagen ausgegangen wurde.

Die Balken in Abb. 5.2c geben die Anzahl Positionen pro Tag an, welche mittels des in Kapitel 4.5.2 beschriebenen YAPS-Algorithmus im Bereich des MH ermittelt wurden. Eine Position entspricht dabei einem Datenpunkt eines Fisches zu einem gegebenen Zeitpunkt. Blau dargestellt sind dabei alle Datenpunkte, welche innerhalb von 5 Tagen nach dem Aussetzzeitpunkt registriert wurden. Dadurch wird ersichtlich, welche Datenpunkte von gerade markierten Fischen stammen, deren Verhalten wahrscheinlich durch den Markiervorgang beeinflusst wurde. Alle anderen Datenpunkte sind orange dargestellt. Die grauen Balken geben die Zeiträume an, während welcher die Datenaufzeichnung beim MH funktionierte, d.h. während welcher Rohdaten aufgezeichnet wurden. Bei Abb. 5.2d handelt es sich um eine ähnliche Darstellung wie Abb. 5.2c, wobei nicht die Anzahl Positionen, sondern die Anzahl Fische dargestellt ist. Im Unterschied zu Abb. 5.2c kann ein Fisch in Abb. 5.2d somit maximal

einen Datenpunkt pro Tag generieren. Die gepunkteten Linien geben den Prozentsatz aller Fische an, welche beim MH detektiert wurden. Der Prozentsatz bezieht sich dabei auf die in Abb. 5.2b dargestellten aktiven Tags.

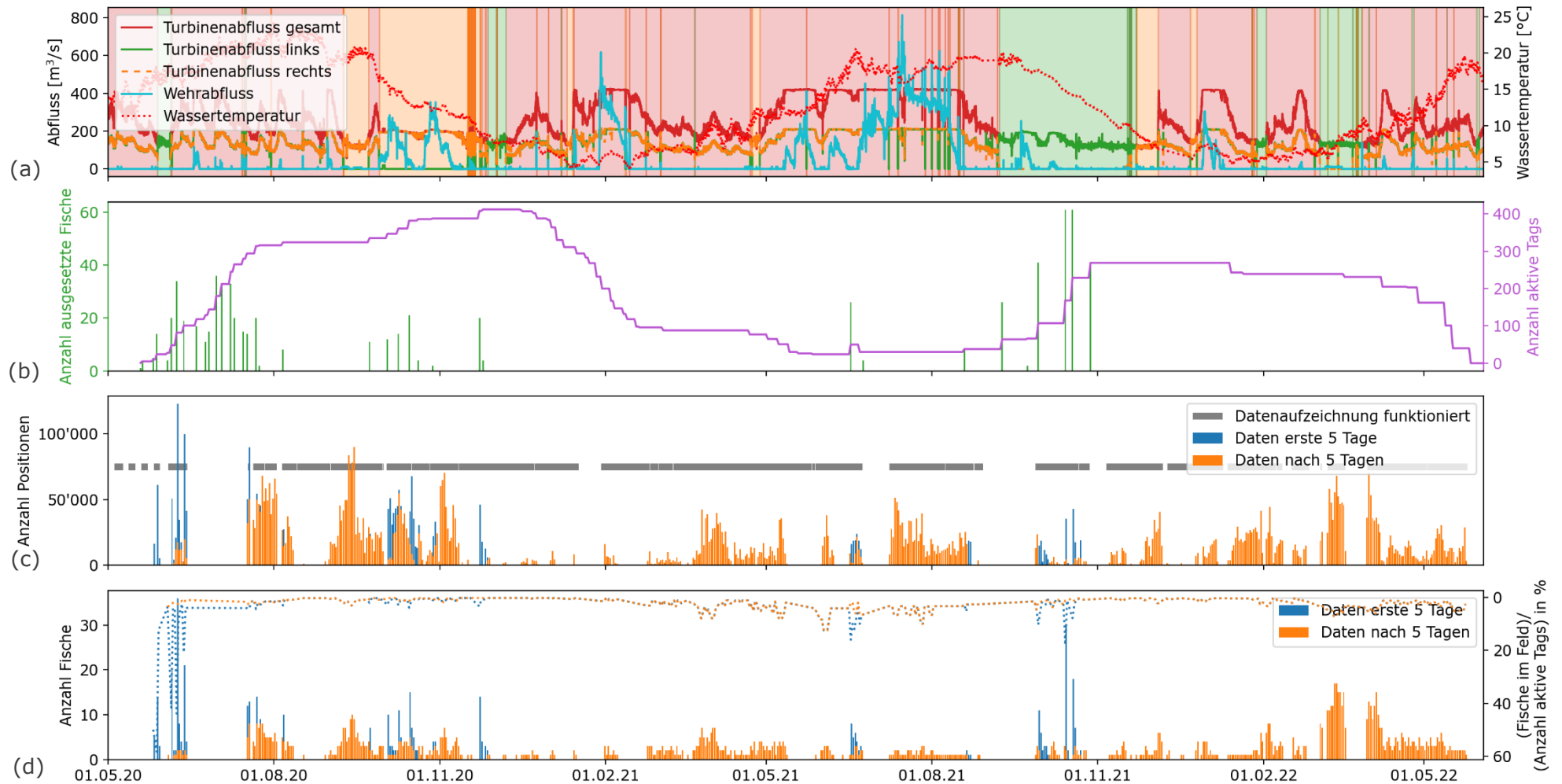


Abb. 5.2 Überblick der verfügbaren Daten: (a) Abflüsse (Betriebsdaten KWWB) und Wassertemperatur (Quelle: BAFU), (b) Anzahl ausgesetzte Fische und aktive Tags, (c) Anzahl registrierte Positionen und Zeiträume mit funktionierender Datenaufzeichnung und (d) Anzahl der beim MH detektierten Fische.

Aus Abb. 5.2a wird ersichtlich, dass während der Untersuchungsperiode häufig beide Turbinen in Betrieb waren. Im Herbst 2020 war jedoch über mehrere Monate nur die rechte und im Herbst 2021 nur die linke Turbine in Betrieb. Dies ist auf die während dieser Zeiträume durchgeführten Turbinenrevisionen zurückzuführen. In Phasen, während welcher nur eine Turbine in Betrieb war, wurde diese Turbine meistens im Volllastbetrieb oder nahe des Volllastbetriebs betrieben. Grund dafür ist, dass die Abflüsse in der Aare den Ausbaudurchfluss einer Turbine nur selten unterschreiten. Im Gegensatz dazu wurden die Turbinen häufig im Teillastbetrieb betrieben, wenn beide Turbinen in Betrieb waren. Abb. 5.2a zeigt auch, dass das Wehr im Sommer 2020 aufgrund der geringen Abflüsse im Unterschied zum sehr nassen Sommer 2021 nur selten geöffnet war.

Abb. 5.2b zeigt, dass der Grossteil der Fische im Sommer 2020 und im Herbst 2021 ausgesetzt wurde. Dadurch waren im Winter 2020/21 mit bis zu rund 400 Fischen die meisten aktiven Tags im System. Insbesondere im Sommer 2021, während welchem gemäss Abb. 5.2a die grössten Abflüsse auftraten, waren hingegen nur sehr wenige aktive Tags im System. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass im Frühling/Sommer 2021 trotz grosser Anstrengungen kaum markierfähige Fisch beschafft werden konnten (Kapitel 4.7.1). Der Untersuchungszeitraum endete im Mai 2022, da zu diesem Zeitpunkt kaum mehr aktive Tags im System waren.

Aus Abb. 5.2c wird ersichtlich, dass während der vorliegenden Studie Datenlücken auftraten. Diese Datenlücken sind auf diverse Probleme zurückzuführen, welche in Kapitel 7 beschrieben werden. Gemäss Abb. 5.2c wurden pro Tag bis zu 120'000 Positionen ermittelt. Dieses Maximum wurde zu Beginn des Untersuchungszeitraums festgestellt, als viele markierte Fische gleichzeitig ausgesetzt wurden. Dass diese Positionen primär auf gerade markierte Fische und nicht einen natürlich Abwanderungspeak zurückzuführen sind, wird durch die blaue Farbe der Balken ersichtlich.

Abb. 5.2d ermöglicht Aussagen darüber zu treffen, ob die in Abb. 5.2c gezeigten Datenpunkte auf einzelne Fische zurückzuführen sind, welche sich sehr lange vor dem MH aufgehalten haben oder ob viele Fische kurz vor dem MH aufgetaucht sind. Beispielsweise wurden im August 2021 relativ viele Positionen ermittelt (Abb. 5.2c), welche jedoch nur auf einzelne Fische zurückzuführen sind (Abb. 5.2d). Im Vergleich dazu sind im Mai 2022 generell weniger Positionen vorhanden, diese sind jedoch auf mehrere Fische zurückzuführen.

5.2.2 Daten bei den Aussenstationen

Die grauen horizontalen Balken in Abb. 5.3 geben die Zeiträume an, während welcher die entsprechenden Hydrophone Daten aufzeichneten. Wie in Kapitel 4.3.5 beschrieben, wurden pro Aussenstation bis zu drei Hydrophone installiert. Jeder horizontale Balken in Abb. 5.3 repräsentiert dabei ein Hydrophon.

Die farbigen vertikalen Balken in Abb. 5.3 zeigen die Anzahl der Detektionen bei den Aussenstation und beim MH. Diese wurden dabei nach stromaufwärts (Abb. 5.3a) und stromabwärts (Abb. 5.3b) gerichteten Wanderungen unterschieden. Ein roter Datenpunkt in Abb. 5.3a bedeutet somit beispielsweise, dass ein Fisch vor der Detektion beim Wehr an einer der stromabwärts vom Wehr liegenden Stationen detektiert wurde. Umgekehrt bedeutet ein roter Datenpunkt in Abb. 5.3b, dass ein Fisch vor der Detektion beim Wehr des KWWB weiter oberstrom detektiert wurde. Wenn ein Fisch innerhalb von wenigen Minuten mehrmals abwechselnd bei verschiedenen Stationen detektiert wurde, wurde die entsprechende Fischbewegung in Abb. 5.3 nur einmal gezählt. Diese abwechselnden Detektionen sind v.a. beim MH und dem Wehr

aufgetreten: Da die Hydrophone einzelne Signale auch über relativ grosse Distanzen empfangen können, konnte bereits bei einer kleinen Wanderbewegung ein Detektionswechsel zwischen dem MH und Wehr KWWB registriert werden.

Im Anhang 3 werden ergänzend zu Abb. 5.3 die bei den einzelnen Aussenstationen aufgezeichneten Rohdaten und die jeweiligen Datenlücken gezeigt.

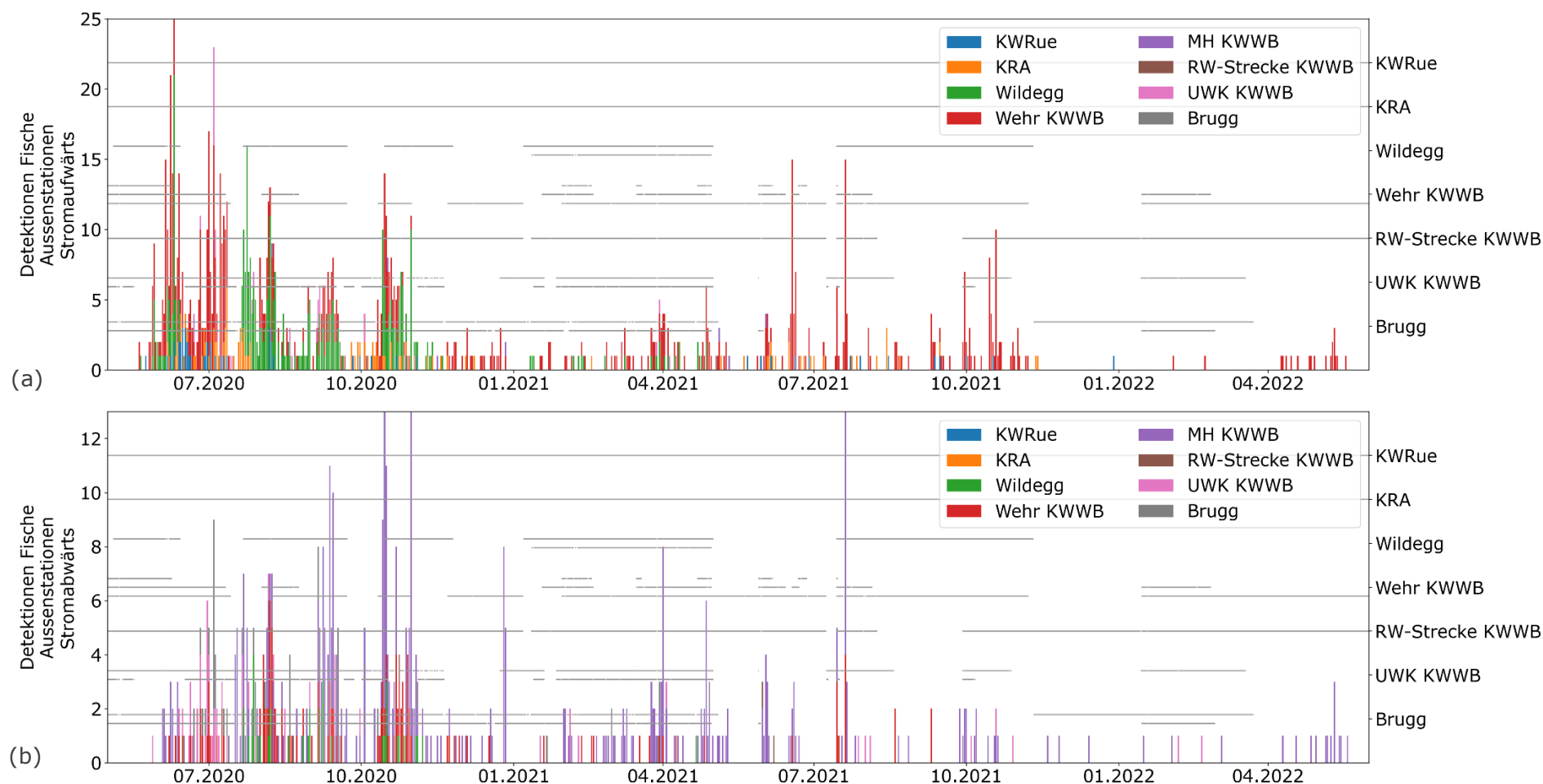


Abb. 5.3 Detektionen bei den Aussenstationen und dem MH, welche nach (a) Aufstiegen und (b) Abstiegen unterteilt sind. Die grauen horizontalen Balken markieren die Zeiträume, während welcher das jeweilige Hydrophon der Aussenstation Daten aufzeichnete (KWRü: Kraftwerk Rüchlig, KRA: Kraftwerk Rapperswil-Auenstein, KWWB: Kraftwerk Wildegg-Brugg, RW-Strecke: Restwasserstrecke, UWK: Unterwasserkanal).

Aus Abb. 5.3 wird ersichtlich, dass die bei den Kraftwerken Rüchlig und Rapperswil-Auenstein installierten PIT-Anlagen nahezu lückenlos funktionierten. Im Gegensatz dazu traten bei den mit Hydrophonen ausgestatteten Aussenstationen viele und teilweise auch lange Datenlücken auf. Die für diese Datenlücken verantwortlichen Probleme werden in Kapitel 7 beschrieben. Aufgrund des sehr grossen Aufwands für die Instandhaltung der Aussenstationen und da mit fortschreitender Projektdauer immer weitere Hydrophone und Datenlogger kaputt gingen, konnten während der zweiten Hälfte der Untersuchungsperiode nicht mehr alle Aussenstationen instandgehalten werden.

Abb. 5.3 zeigt, dass die meisten Fische bei den Aussenstationen in der ersten Hälfte der Untersuchungsperiode detektiert wurden. Dies ist jedoch wahrscheinlich primär auf die schlechtere Verfügbarkeit der Aussenstationen und geringeren Anzahl an aktiven Tags (Abb. 5.2b) während der zweiten Hälfte der Untersuchungsperiode zurückzuführen. Dieser Aspekt muss bei der Interpretation der Daten berücksichtigt werden. Ebenfalls berücksichtigt werden muss, dass bei den Aussenstationen bei den Kraftwerken Rüchlig und Rapperswil-Auenstein keine Hydrophone installiert waren und mit den PIT-tagging Antennen nur über die FAH auf- oder abgestiegene Fische detektiert werden konnten (Kapitel 4.3.2). Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass der Grossteil der aufsteigenden Fische detektiert wurde, während die meisten absteigenden Fische wahrscheinlich einen anderen Korridor nutzten und somit nicht registriert wurden.

5.3 Grossräumige Wanderung und Abstiegskorridore

5.3.1 Überblick grossräumige Wanderung

Abb. 5.4 gibt einen Überblick über den Untersuchungsperimeter. Die Grösse der bei jeder Station gezeigten Punkte ist dabei proportional zur Anzahl an registrierten Fischen. Der rote Punkt entspricht dabei der Station beim MH und die blauen Punkte den Aussenstationen. Die Pfeile zeigen dabei die unterschiedlichen Wanderkorridore an, wobei deren Dicke die jeweilige Nutzungsfrequenz andeutet.

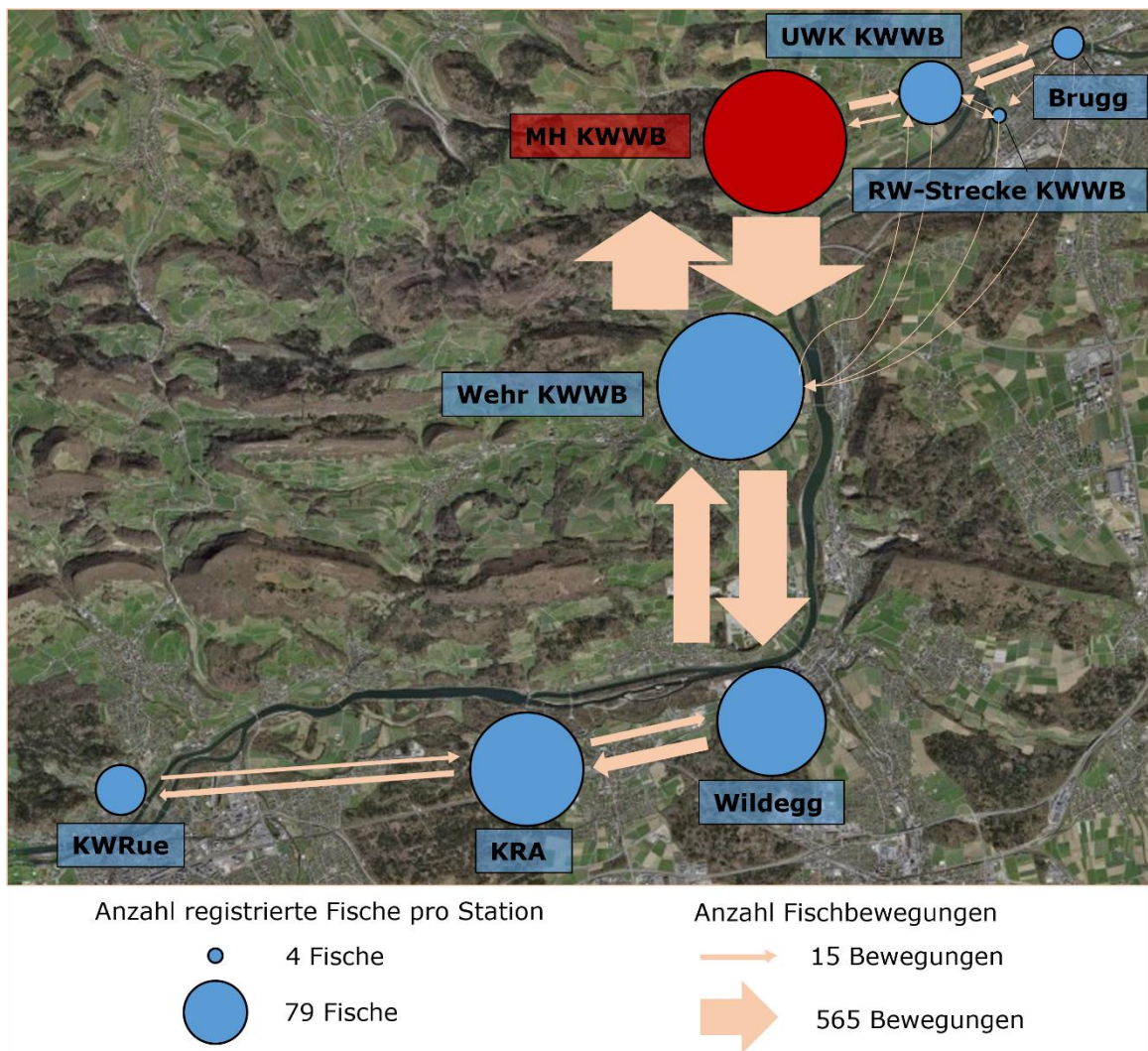


Abb. 5.4 Visualisierung der Anzahl detektierter Fische pro Station und der entsprechenden Wanderkorridore; Fliessrichtung von links unten nach rechts oben (Quelle Orthofoto: Swisstopo)

Bei der Aussenstation beim Wehr und beim MH wurden am meisten Fische detektiert, wobei die Anzahl der Detektionen beim Wehr minimal höher war. Generell wird aus Abb. 5.4 auch ersichtlich, dass deutlich mehr Fische auf- als abgestiegen sind und dass die Anzahl detektierter Fische mit zunehmender Entfernung vom MH in Richtung unter- und oberstrom abnimmt. Abb. 5.4 zeigt auch, dass in der Restwasserstrecke des KWWB nur sehr wenige Fische detektiert wurden und dass im Rahmen dieser Studie kein Abstieg über die Restwasserstrecke nachgewiesen werden konnte. Auf diese Punkte wird in Kapitel 5.3.3 genauer eingegangen.

5.3.2 Gruppierung grossräumiger Wanderpfade

Zur detaillierten Analyse der grossräumigen Wanderpfade wurden die Fische in die folgenden 6 Gruppen unterteilt:

Gruppe 0: Diese Fische wurden bei keiner Station detektiert.

Gruppe 1: Nachdem diese Fische ausgesetzt wurden, sind sie direkt aufgestiegen und nicht mehr abgestiegen. Dies bedeutet, dass diese Fische nie bei einer unterstrom des MH gelegenen Station detektiert wurden und dass deren Schwimmpfad nicht vor den Turbinen oder dem FAH-Einlauf aufhört (Details in Kapitel 5.3.3 zur Bestimmung der Fischabstiege). Zudem wurden diese Fische bei einer oberstrom des MH gelegenen Station detektiert und sind daraufhin nicht mehr beim MH aufgetaucht.

Gruppe 2: Die in diese Gruppe eingeordneten Fische haben sich ähnlich wie die Fische der Gruppe 1 verhalten. Der einzige Unterschied ist, dass diese Fische nach der Detektion bei einer stromaufwärts des MH gelegenen Station wieder beim MH detektiert wurden. Diese Fische sind jedoch im Oberwasser verblieben und nicht abgestiegen.

Gruppe 3: Die Fische dieser Gruppe sind direkt abgestiegen. Damit ist gemeint, dass diese Fische bei keiner Station oberstrom des MH detektiert wurden, diese jedoch aufgrund des Schwimmpfades oder aufgrund einer Detektion bei einer unterstrom des MH gelegenen Station als abgestiegene Fische klassifiziert wurden.

Gruppe 4: Auch die Fische der Gruppe 4 sind abgestiegen. Im Unterschied zu den Fischen der Gruppe 3 wurden diese Fische vor dem Abstieg jedoch zumindest bei einer stromaufwärts des MH gelegenen Station detektiert. Dadurch ist es wahrscheinlich, dass diese Fische ein natürliches Abstiegsverhalten gezeigt haben.

Gruppe 5: Die Fische dieser Gruppe wurden ausschliesslich beim MH detektiert und die Schwimmpfade deuten nicht auf einen Abstieg hin. Es ist somit naheliegend, dass diese Fische im Oberwasser verblieben.

Da der Fokus dieses Projekts auf dem Fischabstieg liegt, sind für dieses Projekt vor allem die abgestiegenen Fische, d.h. die Gruppen 3 und 4, relevant. Diese sind in Abb. 5.4, Abb. 5.5 und Abb. 5.6 für Alet, Barben und alle weiteren Fischarten dargestellt. Die vertikalen roten Linien deuten dabei Turbinenpassagen an, welche nur aufgrund der Schwimmpfade ermittelt wurden, d.h. bei welchen der entsprechende Fisch nach der Turbinenpassage nicht unterstrom des MH detektiert wurde. Bei diesen Darstellungen kommt es teilweise vor, dass Fische bei einer Station nicht detektiert wurden, obwohl dies aufgrund der vorherigen und nachfolgenden Detektion der Fall hätte sein müssen. Wenn beispielsweise ein Fisch nach einer Detektion beim MH des KWWB bei der Aussenstation Auenstein detektiert wurde, muss dieser Fisch über den Oberwasserkanal aufgestiegen sein. Somit hätte er auch beim Wehr des KWWB detektiert werden müssen. In vielen Fällen können diese Situationen auf die in Kapitel 5.2.2 beschriebenen Datenlücken bei den Aussenstationen zurückgeführt werden. Möglich ist jedoch auch, dass insbesondere bei der Station in der Restwasserstrecke des KWWB nicht alle Fische registriert wurden (Kapitel 7.1.1). Schlussendlich können auch trotz sorgfältiger Datenanalyse auch einzelne Verwechslungen von Tags und Fehldetektionen (Kapitel 7.3.2) nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Die Abbildungen der Gruppen 1, 2 und 5 können dem Anhang 4 entnommen werden. Interessant sind dabei insbesondere die Fische der Gruppe 2, da auch diese Fische wahrscheinlich grösstenteils ein natürliches Abstiegsverhalten zeigten, das Kraftwerk jedoch als Barriere wirkte. Von diesen Fischen ist jedoch v.a. das Schwimmverhalten im Hydrophonnetz interessant, auf welches in den nachfolgenden Kapiteln eingegangen wird.

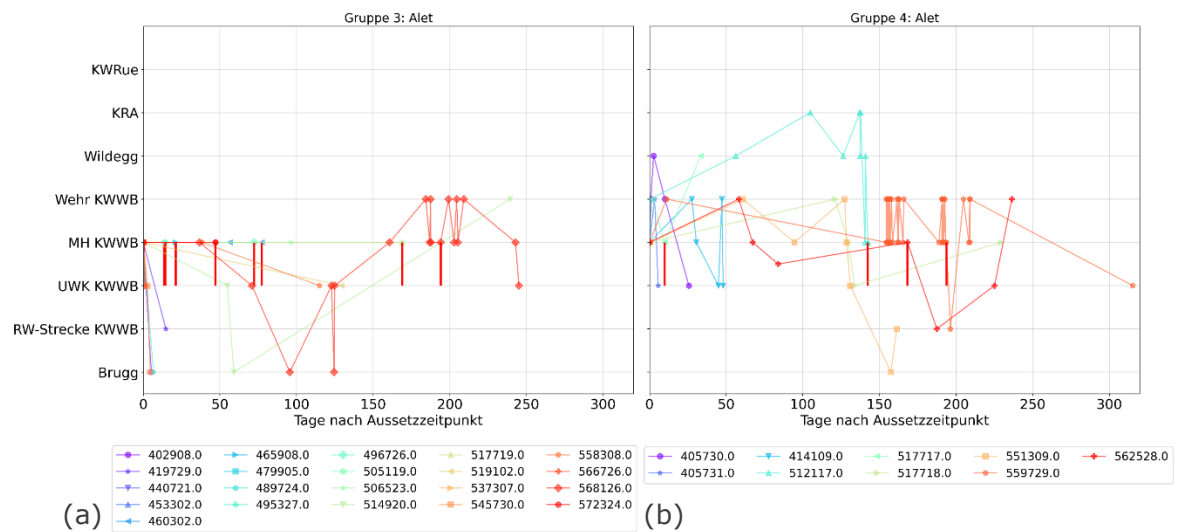


Abb. 5.5 Grossräumige Wanderpfade aller Alet, welche (a) direkt abgestiegen sind (Gruppe 3) und (b) zuerst auf- und dann abgestiegen sind (Gruppe 4).

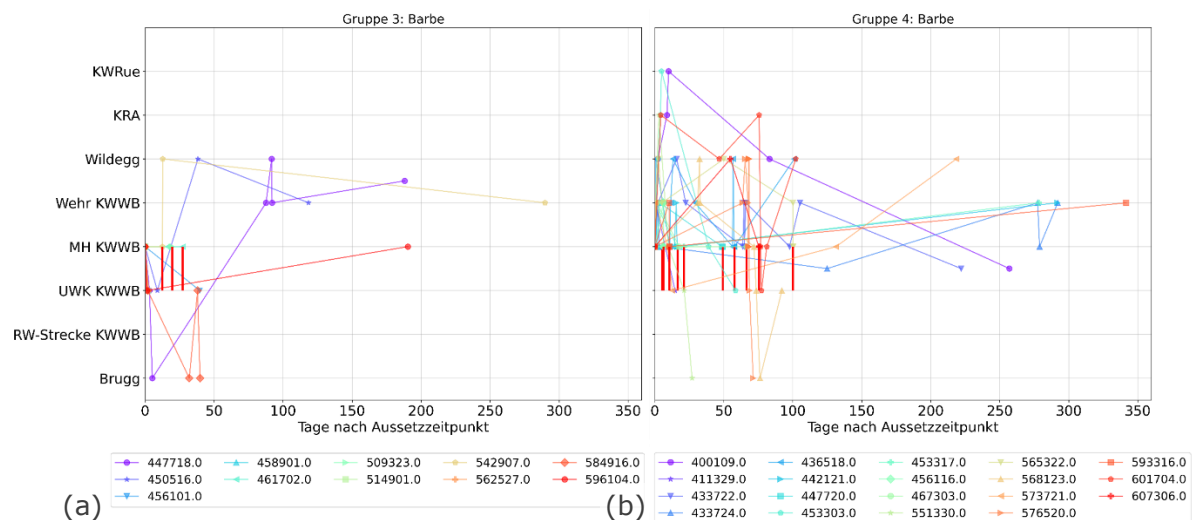


Abb. 5.6 Grossräumige Wanderpfade aller Barben, welche (a) direkt abgestiegen sind (Gruppe 3) und (b) zuerst auf- und dann abgestiegen sind (Gruppe 4).

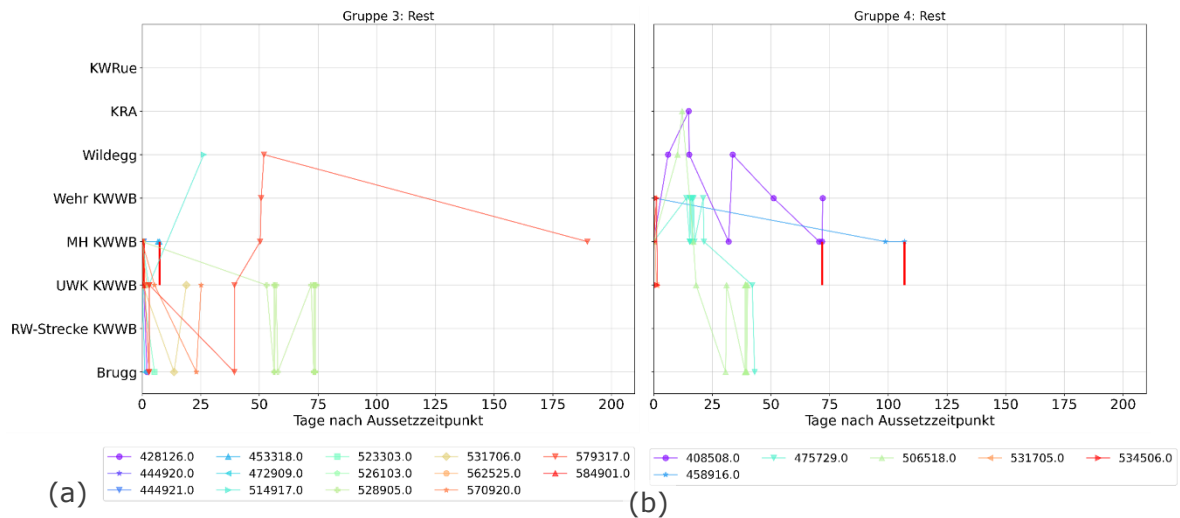


Abb. 5.7 Grossräumige Wanderpfade aller weiteren Fischarten, welche (a) direkt abgestiegen sind (Gruppe 3) und (b) zuerst auf- und dann abgestiegen sind (Gruppe 4).

Insgesamt stiegen 21 Alet direkt ab (Gruppe 3, Abb. 5.5a). Viele dieser Abstiege fanden wenige Tage nach dem Aussetzzeitpunkt statt, was auf ein durch den Aussetzzeitpunkt verursachtes und somit unnatürliches Verhalten hindeutet. Bei den Alet mit den Tagnummern 514920 und 568126 wurde nach dem Abstieg wieder ein Aufstieg beobachtet, wodurch klar ist, dass diese Alet die Turbinenpassage überlebten. Der Alet mit der Tagnummer 568126 ist im späteren Verlauf sogar noch zwei Mal unterhalb des Maschinenhauses abgestiegen. Neun Alet stiegen zuerst auf und anschliessend ab (Gruppe 4, Abb. 5.5b). Viele dieser Abstiege fanden erst mehrere bzw. dutzende Tage nach dem Aussetzzeitpunkt statt, sodass davon ausgegangen werden kann, dass das Verhalten dieser Fische durch den Fang- und Markierprozess nicht oder nur geringfügig beeinflusst wurde. Beim Fisch mit der Tagnummer 562528 konnten zwei Abstiege registriert werden. Das erste Mal wurde der Fisch mittels Handtracking im Unterwasser detektiert. Nach einer Weile ist er wieder beim MH aufgetaucht, wobei der Wanderpfad vor dem MH auf einen erneuten Abstieg hindeutete.

Auch bei den Barben fanden viele der elf direkten Abstiege wenige Tage nach dem Aussetzzeitpunkt statt (Gruppe 3, Abb. 5.6a). Interessant ist dabei unter anderem, dass drei dieser elf Barben nach der Turbinenpassage wieder stromaufwärts bis zur Station in Wildegg schwammen. Insgesamt 20 Barben stiegen zuerst auf und dann ab (Gruppe 4, Abb. 5.6b). Drei dieser Barben wurden nach der Turbinenpassage beim KWWB zuerst im Unterwasserkanal und kurze Zeit später in Brugg detektiert. Somit liegt die Vermutung nahe, dass sich diese Barben auf einer längeren, natürlichen Abwärtswanderung befanden.

Von den neben Alet und Barben weiteren markierten Fischen stiegen insgesamt 14 Individuen direkt ab (Gruppe 3, Abb. 5.7a). Interessant ist dabei v.a., dass viele dieser Fische direkt am Aussetztag abstiegen, wobei auf diese Thematik in Kapitel 5.3.3 genauer eingegangen wird. Nur sechs der weiteren markierten Fische stiegen nach einer Detektion oberstrom des KWWB über das MH ab (Gruppe 4, Abb. 5.7b). Zwei dieser Fische stiegen unmittelbar nach dem Aussetzzeitpunkt ab, zwei Fische wurden nur aufgrund des Schwimmpfades als über die Turbine abgestiegen klassifiziert (Details in Kapitel 5.3.3) und zwei Fische wurden zuerst im Unterwasserkanal und wenige Tage später in Brugg detektiert.

5.3.3 Abstiegskorridore

In Kapitel 3.4 wurden anhand von Abb. 3.4 alle potenziellen Abstiegskorridore beim KWWB beschrieben. Nachfolgend wird auf die Nutzungsfrequenz der einzelnen Abstiegskorridore eingegangen.

Wehrabstieg bzw. Abstieg über die Restwasserstrecke

Genau genommen gibt es drei Korridore, über welche Fische vom Oberwasser direkt in die Restwasserstrecke des KWWB gelangen können. Dazu zählen das Hauptwehr, die Turbinen des Dotierkraftwerks und die FAH beim Hauptwehr. Ziel der vorliegenden Studie war es nicht, nachweisen zu können, über welchen dieser Korridore die Fische in die Restwasserstrecke gelangen. Mit der Station in der Restwasserstrecke sollte jedoch nachgewiesen werden, wenn Fische die Restwasserstrecke als Wanderkorridor nutzten. Effektiv wurden jedoch während der gesamten Untersuchungsperiode lediglich vier Fische in der Restwasserstrecke detektiert. Aufgrund der vorherigen Detektionen dieser Fische wird davon ausgegangen, dass diese Fische vom Unterwasser her in die Restwasserstrecke eingeschwommen sind. Dies wird in Kapitel 5.11.6 anhand des Alets mit der Tagnummer 551309 genauer beschrieben.

In dieser Studie konnte somit kein Wehrabstieg nachgewiesen werden. Gemäss Abb. 5.3 zeichnete die Station in der Restwasserstrecke im Vergleich zu den meisten anderen Stationen verhältnismässig zuverlässig Daten auf. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass während der Untersuchungsperiode markierte und über die Restwasserstrecke abgestiegene Fische von der Station in der Restwasserstrecke nicht zuverlässig detektiert wurden, da das Hydrophon mutmasslich von Sedimenten überdeckt wurde. Dieses Problem wird in Kapitel 7.1.1 detaillierter erläutert. Es wird daher davon ausgegangen, dass Fische über die Restwasserstrecke abgestiegen sind, dass dies in diesem Projekt jedoch nicht nachgewiesen werden konnte. Bestätigt oder widerlegt werden kann diese Vermutung jedoch nicht, da in der Restwasserstrecke nur ein einziges Hydrophon installiert war.

Abstieg FAH beim MH

Bei einem Fisch wurde davon ausgegangen, dass dieser über die FAH abstieg, wenn sein Schwimmpfad im Nahbereich des Einlaufs in die FAH endete. Einer der nachweislich über die FAH abgestiegenen Fische ist der Alet mit der Tagnummer 437926, welcher in Kapitel 5.11.4 im Detail beschrieben wird.

Insgesamt stiegen nur drei Fische nachweislich über die FAH ab. Weitere Fische schwammen zwar teilweise auch mehrmals in die FAH hinein, sie verliessen die FAH dann wenige Stunden später jedoch wieder Richtung Oberwasser. Somit wurden diese Fische nicht als über die FAH abgestiegene Fische gezählt. Durch die Schwimmpfade konnte nicht nur nachgewiesen werden, dass Fische die FAH für den Abstieg, sondern auch für den Aufstieg nutzen. Ein Beispiel dafür ist der in Kapitel 5.11.5 beschriebene Alet mit der Tagnummer 568126.

Abstieg über die Turbinen

Wenn sowohl das Hydrophonnetz beim MH als auch die Station im Unterwasserkanal immer zuverlässig funktioniert hätten, hätte von jedem über die Turbinen abgestiegenen Fisch ein Schwimmpfad aufgezeichnet werden müssen, welcher unmittelbar vor den Turbinen aufhört. Zudem müsste jeder Fisch im Unterwasserkanal detektiert werden, ausser wenn dieser die Turbinenpassage nicht überlebte und der Fisch bzw. der Tag auf den Gewässergrund absank oder der Fisch den Unterwasserkanal bis zum Erreichen der Tag-Lebensdauer nicht verliess. Aufgrund der in den

Kapiteln 5.2.1 und 5.2.2 beschriebenen Datenlücken muss jedoch davon ausgegangen werden, dass weder im Hydrophonnetz beim MH noch bei der Station im Unterwasserkanal alle Turbinenpassagen aufgezeichnet wurden.

Ganz klar um Turbinenpassagen handelte es sich bei Fällen, bei welchen der Schwimmpfad unmittelbar vor den Turbinen aufhört und der Fisch anschliessend im Unterwasserkanal detektiert wurde. Ein Beispiel für einen solchen Fisch ist die Barbe mit der Tagnummer 568123, deren Schwimmverhalten in Kapitel 5.11.2 im Detail beschrieben wird. Es gab aber auch Fälle, bei welchen nur der grossräumige Wanderpfad oder nur der Schwimmpfad beim MH auf eine Turbinenpassage hindeutete. Da es sich bei den Turbinen um den wahrscheinlichsten Abstiegskorridor handelt, wurde auch bei diesen Fischen von einer Turbinenpassage ausgegangen. Gleiches gilt für Schwimmpfade, welche nicht unmittelbar vor den Turbinen, aber im Nahbereich der Turbinen aufhören. Auch diese Fische wurden im Zweifelsfall als Turbinenpassagen gezählt.

Gemäss dieser Auswertung stiegen 80 Fische über die Turbinen ins Unterwasser ab, wobei davon jeweils ein Fisch mutmasslich 2-mal und ein Fisch mutmasslich 3-mal über die Turbine abstieg. Letzterer wird in Kapitel 5.11.5 im Detail beschrieben. Abb. 5.8 zeigt, wie viele Tage nach dem Aussetzzeitpunkt die Turbinenpassagen registriert wurden. Bei Fischen, welche nicht aufgrund des Schwimmpfades, sondern nur aufgrund einer Detektion im Unterwasser als Turbinenpassage klassifiziert wurden, wurde vereinfachend davon ausgegangen, dass die erste Detektion im Unterwasser dem Abstiegszeitpunkt entspricht. Die Datenpunkte der ersten 10 Tage nach dem Aussetzzeitpunkt sind in Abb. 5.8 einzeln dargestellt und alle weiteren Datenpunkten wurden jeweils in Gruppen von 20 Tagen zusammengefasst.

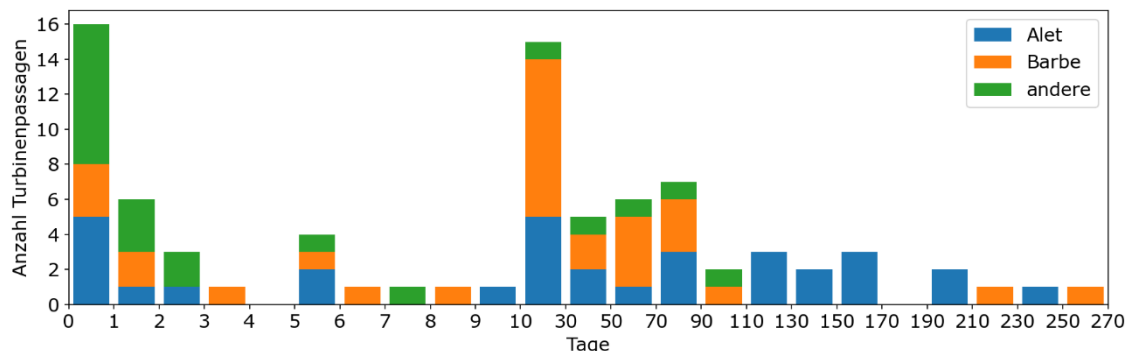


Abb. 5.8 Zeitpunkt aller Turbinenpassagen relativ zum entsprechenden Aussetzzeitpunkt.

Aus Abb. 5.8 wird ersichtlich, dass bereits 16 Fische innerhalb der ersten 24 Stunden nach dem Aussetzzeitpunkt abstiegen. Weitere zehn Fische stiegen zwischen einem und fünf Tagen nach dem Aussetzzeitpunkt ab. Eine artspezifische Betrachtung von Abb. 5.8 zeigt, dass im Vergleich zu Barbe und Alet die anderen Fischarten anteilmässig häufig innerhalb der ersten Tage nach dem Aussetzzeitpunkt abstiegen. Bei den anderen Fischarten handelte es sich bei den innerhalb von 24 Stunden nach dem Aussetzzeitpunkt um fünf Egli und jeweils eine Bachforelle, ein Rotaugen und einen Wels. Bei den zwischen einem und zwei Tagen abgestiegenen Fischen handelte es sich um zwei Egli und eine Schleie und bei den zwischen zwei und drei Tagen abgestiegenen Fischen um ein Egli und eine Bachforelle. Insgesamt stiegen somit acht Egli innerhalb der ersten drei Tage nach dem Aussetzzeitpunkt ab. Dies entspricht 17% aller während der Hauptuntersuchungsperiode markierten Egli. Im Vergleich dazu beträgt dieser Prozentsatz bei Alet und Barben jeweils nur rund 2%. Insbesondere bei den am Aussetztag abgestiegenen Fischen muss davon ausgegangen werden, dass deren Verhalten durch den Markiervorgang oder die Translokation beeinflusst war.

Als Beispiel für einen direkt am Aussetztag abgestiegenen Fisch wird in Kapitel 5.11.8 das Schwimm- und Wanderverhalten eines Eglis gezeigt, welcher innerhalb von 1.5 Stunden nach dem Aussetzzeitpunkt über die Turbine abstieg.

5.4 Überlebensraten bei der Turbinenpassage

Der Hauptfokus dieses Projekts lag nicht auf der Ermittlung der Überlebensraten bei der Turbinenpassage. Im Pflichtenheft wurde jedoch davon ausgegangen, dass die Überlebensraten durch Bewegungsmuster bei den Aussenstationen ermittelt werden können. Aufgrund der vielen Ausfälle der Aussenstationen und aufgrund der geringen Anzahl an Aussenstationen und mobilen Trackings im Unterwasser muss jedoch davon ausgegangen werden, dass viele der im Unterwasser des Kraftwerks stattgefundenen Fischbewegungen nicht aufgezeichnet wurden. Bei der nachfolgenden Auswertung wird davon ausgegangen, dass ein Fisch die Turbinenpassage überlebte, wenn nach der Turbinenpassage eine stromaufwärts gerichtete Bewegung registriert wurde. Bei allen anderen Fischen ist hingegen keine Aussage möglich. Wenn ein Fisch durch die Turbinenpassage verendete, kann es sein, dass der Tag (Sender) auf den Gewässergrund absank und der Fisch nicht mehr detektiert wurde. Es kann aber auch sein, dass der Tag des verendeten Fisches mit der Strömung bis zur Station im Unterwasserkanal transportiert wurde. Wenn ein Fisch die Turbinenpassage überlebte, ist es möglich, dass dieser zielgerichtet stromabwärts schwamm und somit keine Aufwärtsbewegung mehr registriert wurde. Aus diesen Gründen kann mit den Daten dieses Projekts nur eine Mindestüberlebensrate berechnet werden. Eine Ermittlung der effektiven Überlebensrate ist nicht möglich, da bei vielen Fischen nicht beurteilt werden kann, ob diese die Turbinenpassage überlebten oder nicht.

Gemäss Kapitel 5.3.3 wird in diesem Projekt von 83 Turbinenpassagen von 80 Individuen ausgegangen. Nach 31 dieser 83 Turbinenpassagen konnte entweder durch die Aussenstationen oder durch das mobile Tracking eine stromaufwärts gerichtete Fischbewegung festgestellt werden. Entsprechend beträgt die Mindestüberlebensrate rund 38%. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die effektive Überlebensrate deutlich höher war, da methodisch bedingt nicht bei allen über die Turbinen abgestiegenen Fischen, welche die Turbinenpassage überlebten, eine stromaufwärts gerichtete Bewegung festgestellt wurde.

Im technischen Vorprojekt werden die Überlebensraten bei den Turbinen des KWWB mit etablierten physikalischen und empirischen Modellen aufgezeigt. Die während der Hauptuntersuchungsperiode dieses Projekts markierten Fische waren im Mittel rund 40 cm lang. Die mit den artunspezifischen Modellen Monten (1985) 1. Fassung, von Raben (1957) 1. Fassung und Larinier & Dartiguelongue (1989) berechneten Überlebensraten für den Vollastbetrieb des KWWB betragen gemäss dem technischen Vorprojekt für 40 cm lange Fische zwischen 70% und 85%. Dass die berechneten Überlebensraten deutlich höher als die in diesem Projekt ermittelte Mindestüberlebensrate ist, bestätigt die oben beschriebene Vermutung, dass nicht bei allen Fischen, welche die Turbinenpassage überlebten, eine stromaufwärts gerichtete Fischbewegung registriert wurde. Somit ist die berechnete Mindestüberlebensrate nur sehr bedingt aussagekräftig. Aus diesem Grund wird auch auf eine genauere Aufschlüsselung der Mindestüberlebensrate nach Art, Grössenklasse und Lastfall verzichtet.

Für zukünftige Projekte, bei welchen die Überlebensraten im Fokus stehen, wird die Verwendung von Tags mit eingebauten Aktivitätssensoren empfohlen. Wenn diese Tags von Hydrophonen detektiert werden, können über die in x-, y- und z-Richtung gemessenen Beschleunigungen Informationen über die Aktivität des markierten Fisches übermittelt werden. Diese Informationen können genutzt werden, um zu

beurteilen, ob der markierte Fisch die Turbinenpassage überlebte oder nicht. Falls der Einsatz von Tags mit Aktivitätssensoren nicht möglich ist, wird empfohlen, dass im Unterwasser deutlich mehr Aussenstationen installiert werden und/oder möglichst viele mobile Trackings durchgeführt werden. Gegebenenfalls ist für solche Projekte jedoch die Radiotelemetrie besser geeignet als die akustische Telemetrie.

5.5 Anzahl, Dauer und Rheotaxis von Annäherungen an das Maschinenhaus

5.5.1 Anzahl und Dauer der Annäherungen

Sobald ein Fisch im Hydrophonnetz vor dem MH detektiert wurde und die Anzahl der Detektionen für die Ermittlung eines Schwimmpfades ausreichte, wurde dies als erste Annäherung gezählt. Wenn ein Fisch dann für mindestens eine Stunde nicht vor dem MH detektiert wurde und dann erneut im Hydrophonnetz auftauchte, wurde dies als eine neue Annäherung gezählt. Mit dieser Methodik wurde für jeden Fisch ermittelt, wie häufig er sich dem MH des KWWB annäherte. Die Anzahl Annäherungen pro Fisch ist in Abb. 5.9a für Alet und in Abb. 5.9b für Barben dargestellt, wobei zwischen über die Turbinen abgestiegenen Fischen und nicht abgestiegenen Fischen unterschieden wurde.

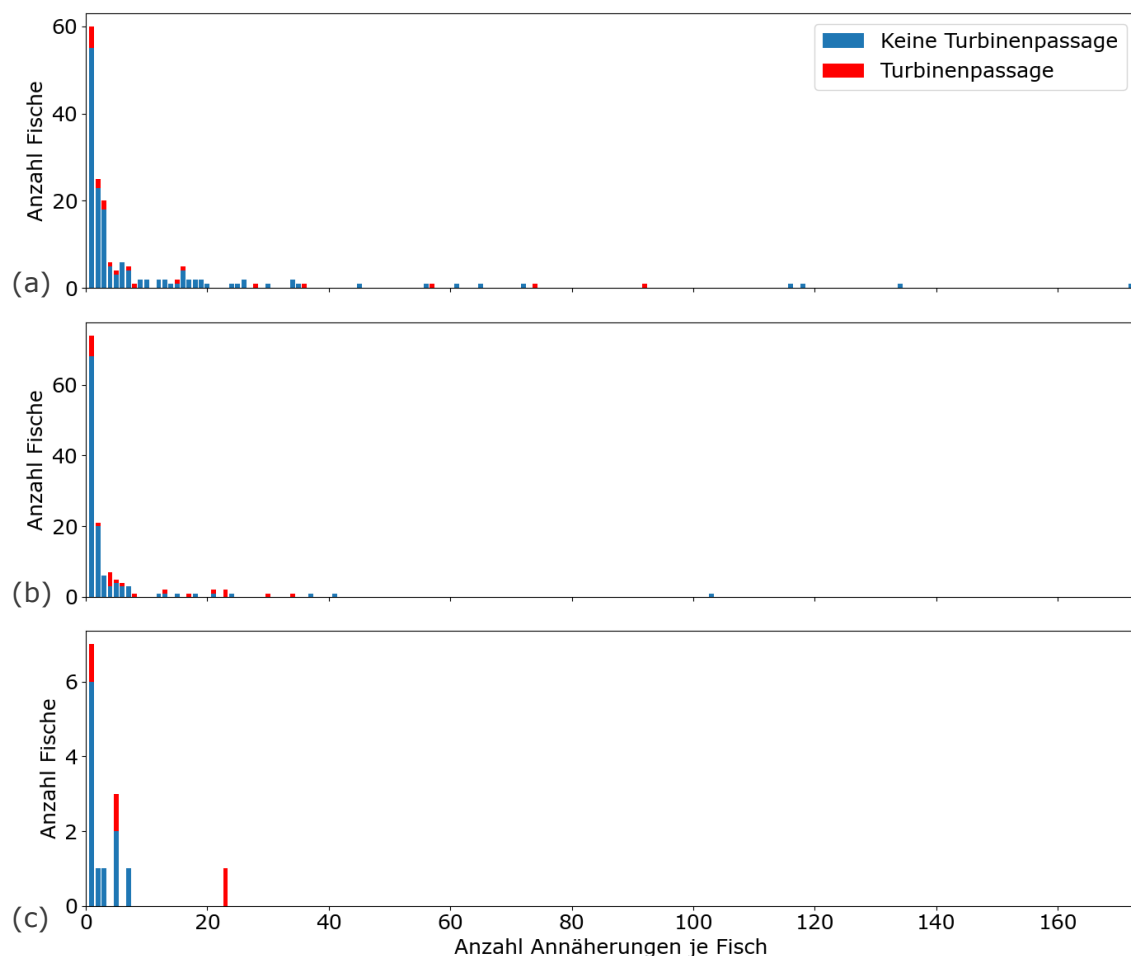


Abb. 5.9 Anzahl Annäherungen an das Maschinenhaus aller (a) Alet, (b) Barben und (c) Egli.

Aus Abb. 5.9a,b wird ersichtlich, dass sich sowohl der Grossteil der Alet als auch der Barben dem MH des KWWB nur einmal oder wenige Male annäherte. Teilweise

erfolgte die Turbinenpassage schon bei dieser ersten Annäherung. Abb. 5.9a,b zeigt jedoch auch, dass sich einzelne Fische dem Kraftwerk sehr oft, d.h. teilweise sogar über 100 Mal, annäherten. Ein Egli, welcher sich dem Kraftwerk so häufig näherte, wurde hingegen nicht beobachtet (Abb. 5.9c), was jedoch auch am geringeren Stichprobenumfang liegen kann. Aus Abb. 5.9c wird ersichtlich, dass im Vergleich zu Alet und Barben verhältnismässig viele Egli direkt bei der ersten Annäherung abstiegen. Dies stimmt gut mit der in Kapitel 5.3.3 gezeigten Beobachtung überein, dass verhältnismässig viele Alet innerhalb der ersten Tage nach dem Aussetzzeitpunkt abstiegen.

In Abb. 5.10 ist die Annäherungsdauer der 1. bis zur 5. Annäherung aller Fische zu sehen. Die Mediane sind dabei als orange gepunktete bzw. gestrichelte Linien hervorgehoben. Die Annäherungsdauer von über die Turbinen abgestiegenen Fischen konnte nur für Individuen ermittelt werden, welche aufgrund ihres Schwimmpfades als über die Turbinen abgestiegen klassifiziert wurden. Fische, welche nur aufgrund der grossräumigen Auswertung als über die Turbinen abgestiegen klassifiziert wurden, sind in die Darstellung in Abb. 5.10 nicht eingeflossen. Auf eine artspezifische Analyse wurde in Abb. 5.10 verzichtet, da diese aufgrund der geringen Anzahl an Turbinenpassagen nicht aussagekräftig wäre.

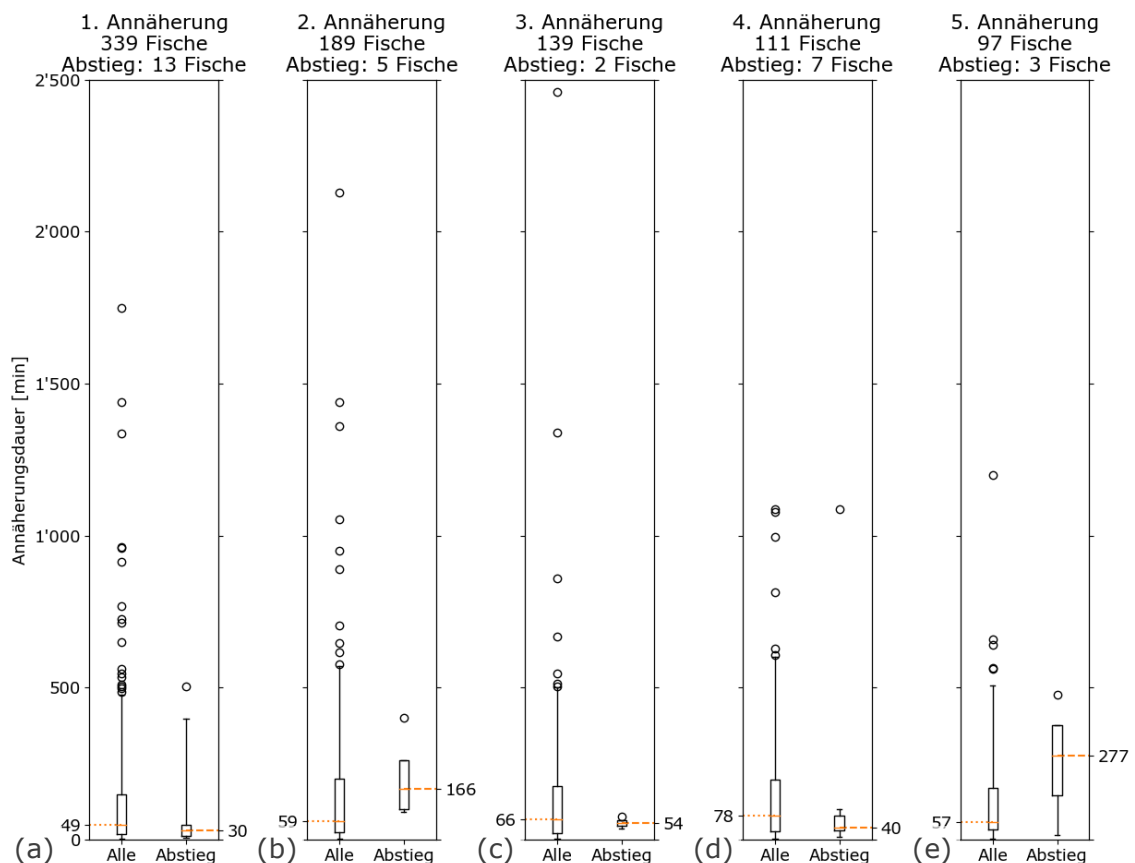


Abb. 5.10 Dauer der 1.-5. Annäherung aller vor dem MH des KWVB detektierten Fische.

Aus Abb. 5.10 wird ersichtlich, dass die Dauer der Annäherungen stark variiert. Die kürzeste beobachtete Annäherung dauerte nur wenige Sekunden und die längste Annäherung dauerte 2'460 Minuten und somit 41 Stunden. Bei den Medianen der Annäherungsdauer und der Verteilung der Annäherungsdauern wurden zwischen der 1.

bis 5. Annäherung nur geringe Unterschiede festgestellt. Die Annäherungsdauer nahm mit zunehmender Annäherung weder zu noch ab. Der Median der Annäherungsdauer betrug zwischen 49 Minuten (1. Annäherung) und 78 Minuten (4. Annäherung). Eine typische Annäherung an das Kraftwerk dauerte somit ungefähr 1 Stunde. Bei der Dauer der Annäherung von über die Turbinen abgestiegenen Fischen ist kein klarer Trend ersichtlich, was jedoch sicher zumindest teilweise an der geringen Anzahl an Beobachtungen liegt.

5.5.2 Rheotaxis bei der Annäherung

Abb. 5.11 zeigt die mit der in Kapitel 4.5.2 beschriebenen Methodik abgeschätzte Rheotaxis der Alet und Barben bei der Annäherung an das MH für die Lastfälle L1, L2 und L3 (Kapitel 5.2.1). Der jeweilige Lastfall ist dabei durch ein Dreieck für eine geöffnete und ein Kreuz für eine geschlossene Turbine ersichtlich. Für diese Analyse und auch für die in den nachfolgenden Kapiteln gezeigten Darstellungen zu den Umkehrpunkten und Heatmaps wurde der Kanal in ein Raster von 1 x 1 m unterteilt.

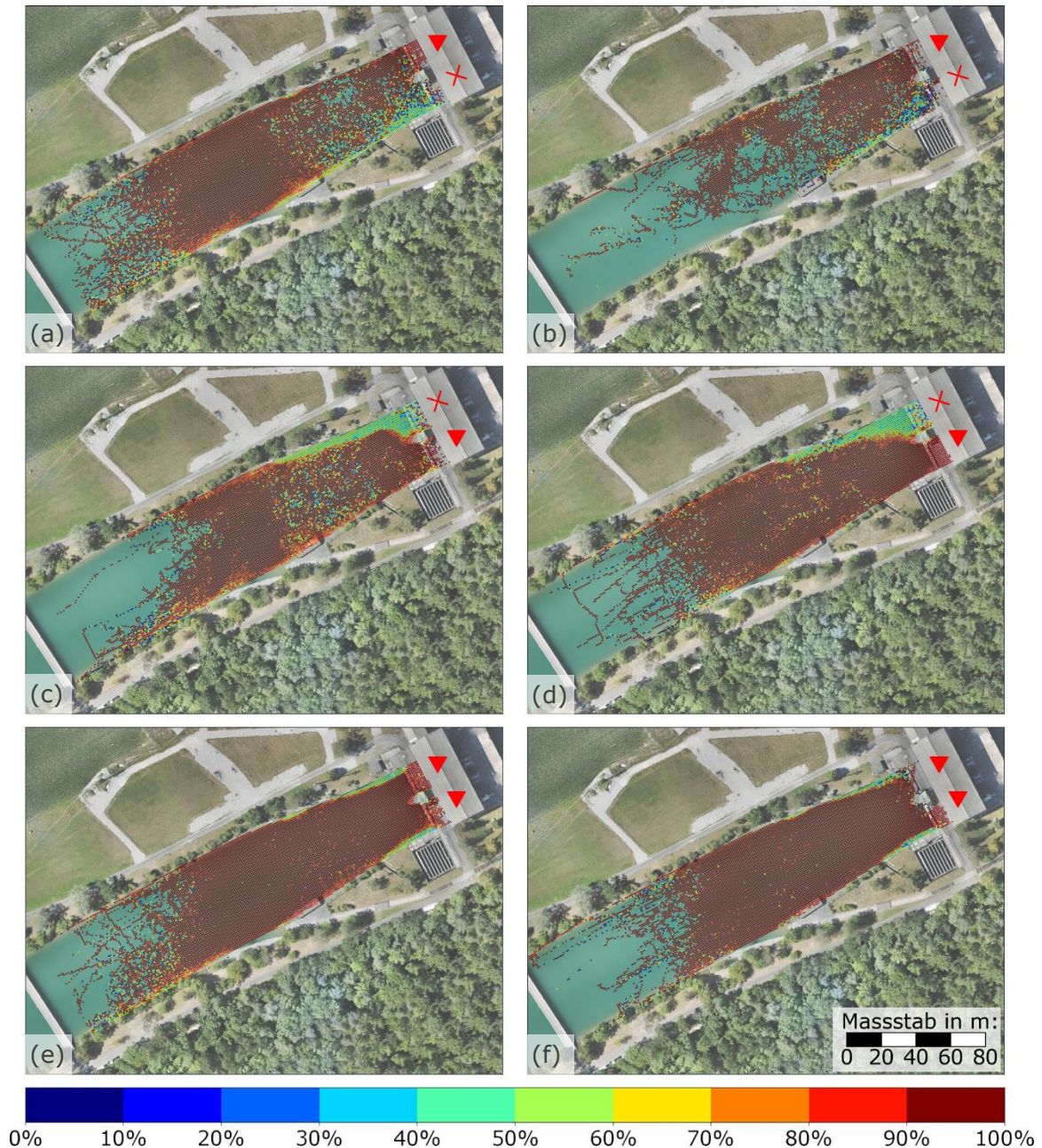


Abb. 5.11 Zeitliche Häufigkeit der positiven Rheotaxis der im Hydrophonnetz detektierten Fische (z.B. ein Wert von 75% gibt an, dass sich die Fische an diesem Punkt zu 75% der Zeit in einer positiven Rheotaxis befanden). Die Darstellungen sind für den Lastfall L1 (primär linke Turbine in Betrieb) für (a) Alet und (b) Barben den Lastfall L2 (primär rechte Turbine in Betrieb) für (c) Alet und (d) Barben sowie L3 (beide Turbinen in Betrieb) für (e) Alet und (f) Barben.

In Kapitel 3.3 wurde gezeigt, dass die Fließgeschwindigkeiten oberstrom des Bootshauses weitgehend unabhängig davon sind, ob nur die linke oder nur die rechte Turbine in Betrieb ist. Aus Abb. 5.11 wird ersichtlich, dass sich in diesem Bereich oberstrom des Bootshauses, unabhängig von der Fischart und vom Lastfall, nahezu alle Fische mit positiver Rheotaxis ausrichteten. Ausnahmen kommen hauptsächlich in den Uferbereichen vor. Hierbei muss jedoch erwähnt werden, dass die Fließgeschwindigkeiten im Uferbereich gemäss Abb. 3.3 stark vom genauen Standort abhängen. Entsprechend können in diesem Bereich geringe Ungenauigkeiten eines

Schwimmpfades auch zu Ungenauigkeiten bei der Berechnung der Rheotaxis führen. Es kann jedoch gesagt werden, dass sich die überwiegende Mehrheit der Fische oberstrom des Bootshauses mit positiver Rheotaxis ausrichtete und sich somit dem MH auch mit positiver Rheotaxis annäherte.

Aus Abb. 5.11a–d wird zudem ersichtlich, dass sich die Fische auch im Nahbereich der geöffneten Turbine primär rheotaktisch positiv ausrichteten. Im Unterschied dazu betrug der Anteil der positiven Rheotaxis vor der jeweils geschlossenen Turbine weniger als 60%. Da die Fliessgeschwindigkeiten direkt vor der jeweils geschlossenen Turbine sehr klein sind (Abb. 3.3b,c), ist die Rheotaxis in diesem Bereich jedoch nur bedingt aussagekräftig.

Abb. 5.11e,f zeigen, dass sich die Fische auch während des Lastfalls L3 überwiegend rheotaktisch positiv ausrichteten. Nur in den Randbereichen unmittelbar oberstrom der Turbinen sieht es gemäss Abb. 5.11e,f danach aus, dass sich Fische vermehrt rheotaktisch negativ ausrichteten. Dies ist jedoch nicht darauf zurückzuführen, dass die Fische in diesem Bereich Kopf voran in Richtung der Turbinen schwammen, sondern darauf, dass die Fliessgeschwindigkeiten in diesem Bereich gemäss Abb. 3.3a sehr klein sind. Dementsprechend ist die Berechnung der Rheotaxis in diesen Bereichen mit sehr tiefen Fliessgeschwindigkeiten ungenau und nur bedingt aussagekräftig.

Die wichtigste Erkenntnis der Analyse der Rheotaxis ist, dass sich die markierten Fische dem Kraftwerk überwiegend mit positiver Rheotaxis annäherten. Dies wurde nicht nur anhand von Abb. 5.11 analysiert, sondern auch anhand von Rheotaxis-Plots der einzelnen Fische.

5.6 Umkehrpunkte

In den vorherigen Kapiteln wurde gezeigt, dass die markierten Fische nicht geradlinig und mit rheotaktisch negativer Ausrichtung in das Hydrophonnetz hinein schwimmen und verzögerungsfrei direkt über die Turbine absteigen. Stattdessen schwimmen die Fische in das Hydrophonnetz hinein, nehmen das Kraftwerk als Hindernis wahr, kehren um und führen Suchbewegungen aus oder verlassen das Hydrophonnetz direkt wieder in Richtung oberstrom. Hierbei stellt sich die Frage, ob Fische erst unmittelbar vor den Turbinen umkehren oder ob diese das Kraftwerk schon weiter oberstrom wahrnehmen und nie in den Nahbereich der Turbinen schwimmen. Diese Fragestellung wird anhand der sogenannten Umkehrpunkte beantwortet. Ein Umkehrpunkt entspricht dabei für jeden Schwimmpfad, bzw. für jeden in Kapitel 5.11 definierten Fischpfad demjenigen Punkt, welcher sich am nächsten bei den Turbinen befindet. Abb. 5.12 zeigt für die unterschiedlichen Lastfälle alle Umkehrpunkte für Alet (Abb. 5.12a,c,e) und Barben (Abb. 5.12b,d,f).

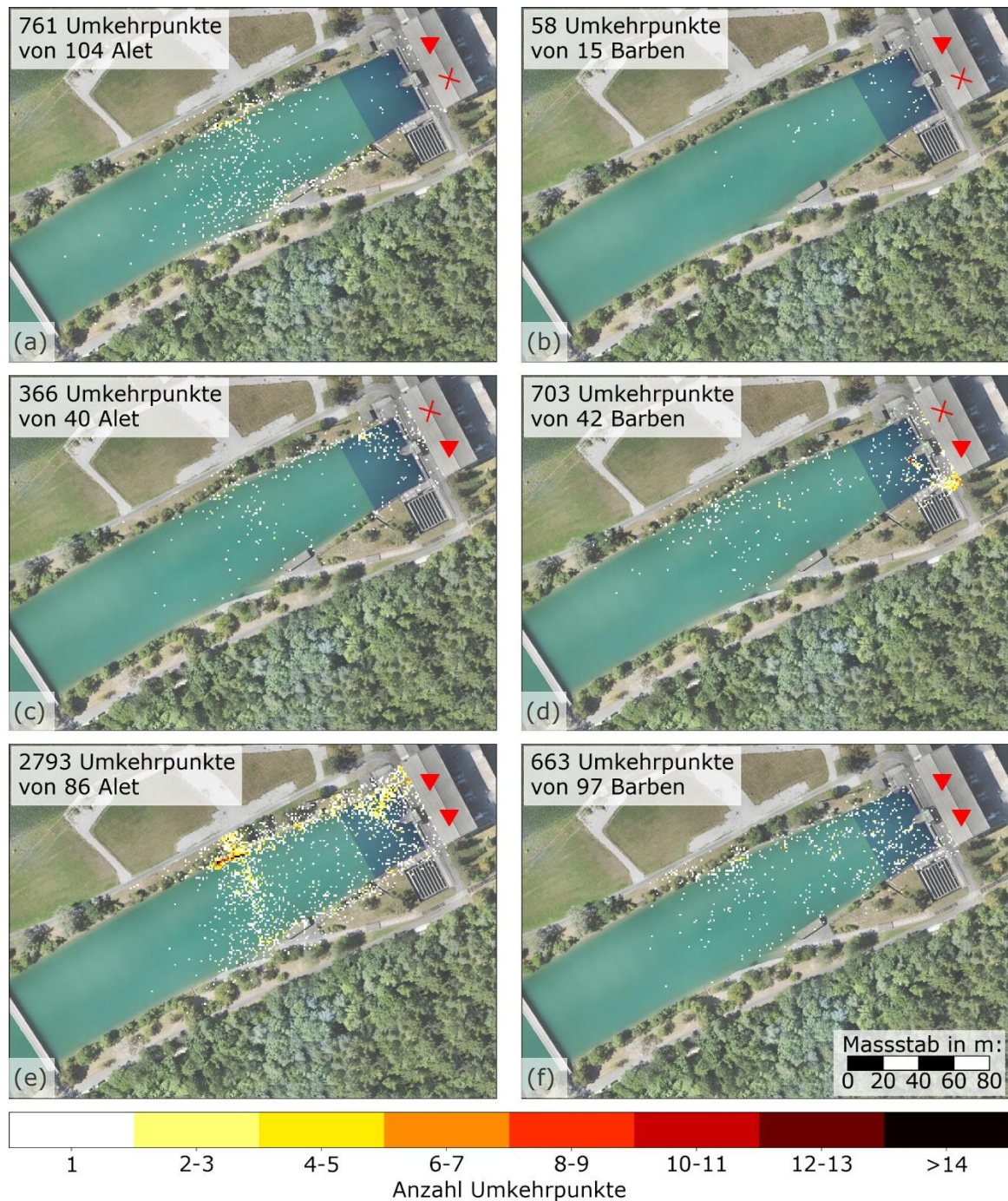


Abb. 5.12 Umkehrpunkte für den Lastfall L1 (primär linke Turbine in Betrieb) für (a) Alet und (b) Barben und L2 (primär rechte Turbine in Betrieb) für (c) Alet und (d) Barben und für L3 (beide Turbinen in Betrieb) für (e) Alet und (f) Barben.

Aus Abb. 5.12a wird ersichtlich, dass die überwiegende Mehrheit der Umkehrpunkte der Alet für den Lastfall L1 nicht im unmittelbaren Nahbereich der Turbinen liegt. Während des Lastfalls L2 wurden zwar gemäss Abb. 5.12c vermehrt Umkehrpunkte im Nahbereich der Turbinen registriert, jedoch primär vor der linken, d.h. vor der geschlossenen Turbine. Während des Lastfalls L3, bei welchem beide Turbinen geöffnet sind, wurden viele Umkehrpunkte vor der linken Turbine aufgezeichnet (Abb. 5.12e). Dabei muss beachtet werden, dass die Geschwindigkeiten bei den Lastfällen L1 und

L2 im Nahbereich der geöffneten Turbine nahezu immer hoch sind, da die entsprechende Turbine während dieser Lastfälle häufig mit Volllast betrieben wurde (Abb. 5.2 in Kapitel 5.2.1). Im Gegensatz dazu ist die Variation der Fliessgeschwindigkeiten im Bereich des Turbineneinlaufs bei L3 grösser, da häufig beide Turbinen im Teillastbetrieb betrieben wurden (Kapitel 5.2.1). Viele der turbinennahen Umkehrpunkte in Abb. 5.12e sind jedoch auf Phasen im Teillastbetrieb zurückzuführen. Entsprechend waren die Fliessgeschwindigkeiten häufig deutlich geringer als in Abb. 3.3a angegeben. Aus Abb. 5.12e wird zudem ersichtlich, dass sich die Umkehrpunkte der Alet während des Lastfalls L3 im Unterschied zu den Lastfällen L1 und L2 auch auf die Randbereiche konzentrieren. Dies zeigt, dass Alet während des Lastfalls mit tendenziell höheren Fliessgeschwindigkeiten oft die strömungsberuhigteren Uferbereiche aufsuchten.

Im Gegensatz zu Alet ist bei den Umkehrpunkten der Barben kein klares Muster erkennbar. Abb. 5.12b,d zeigen, dass Barben im Gegensatz zu Alet häufig erst relativ knapp vor den Turbinen umkehrten. Die Umkehrpunkte der Barben für den Lastfall L3 sind über das ganze Hydrophonnnetz vor dem MH verteilt (Abb. 5.12f). Das Umkehrverhalten der Barben ist somit sehr fall- und individuenspezifisch. Für Barben konnte kein Punkt identifiziert werden, an welchem der Grossteil der Individuen aufgrund der Hydraulik oder anderer Faktoren vermehrt umkehrte.

5.7 Durchstosspunkte: Räumliche Verteilung der Annäherungen und Suchbewegungen

Eine der Hauptfragestellungen dieses Projekts war es, herauszufinden, wo sich absteigende Fische dem MH des KWWB nähern und wo sie nach einem Abstiegskorridor suchen. Diese Fragestellung bezieht sich dabei sowohl auf die vertikale Verteilung (Wassertiefe) als auch über die Verteilung quer zur Kanalachse (Kanalbreite). Diese Fragestellungen werden nachfolgend anhand der in Abb. 4.7 blau eingezeichneten Linie, welche im oberstromigen Bereich des Hydrophonnnetzes beim MH rechtwinklig zu den Ufern verläuft, analysiert.

Abb. 5.13a zeigt einen Querschnitt des Oberwasserkanals entlang der beschriebenen Linie, wobei die blaue horizontale Linie dem Wasserspiegel beim Stauziel entspricht. Zudem ist in Abb. 5.13a der erste stromabwärts gerichtete Durchstosspunkte pro Fisch dargestellt. Ein Durchstosspunkt wurde dabei als Schnittpunkt des Schwimmpfades mit der Ebene definiert, in welcher sich der in Abb. 5.13a gezeigte Kanalquerschnitt befindet. Insgesamt konnte von 339 Fischen ein Schwimmpfad vor dem MH ermittelt werden, wobei 222 dieser 339 Fische die definierte Ebene von ober- nach unterstrom kreuzten. Entsprechend müsste Abb. 5.13a 222 Durchstosspunkte enthalten. Der Übersichtlichkeit halber zeigt Abb. 5.13a jedoch nur die Daten zwischen $y = -12$ m und $y = 15$ m. Dadurch sind ein Datenpunkt bei $y = -23$ m und fünf Datenpunkte zwischen $y = 16$ m und $y = 29$ m in Abb. 5.13a abgeschnitten.

Abb. 5.13b zeigt die zu Abb. 5.13a dazugehörige Häufigkeitsverteilung aller stromabwärts gerichteten Durchstosspunkte. Bei links oder rechts ausserhalb des Kanals gelegenen Durchstosspunkten wurde angenommen, dass diese Durchstosspunkte aufgrund der Ungenauigkeit des Telemetriesystems ausserhalb des Kanals zu liegen kamen und diese Fische die definierte Ebene somit effektiv im Nahbereich des linken oder rechten Ufers kreuzten.

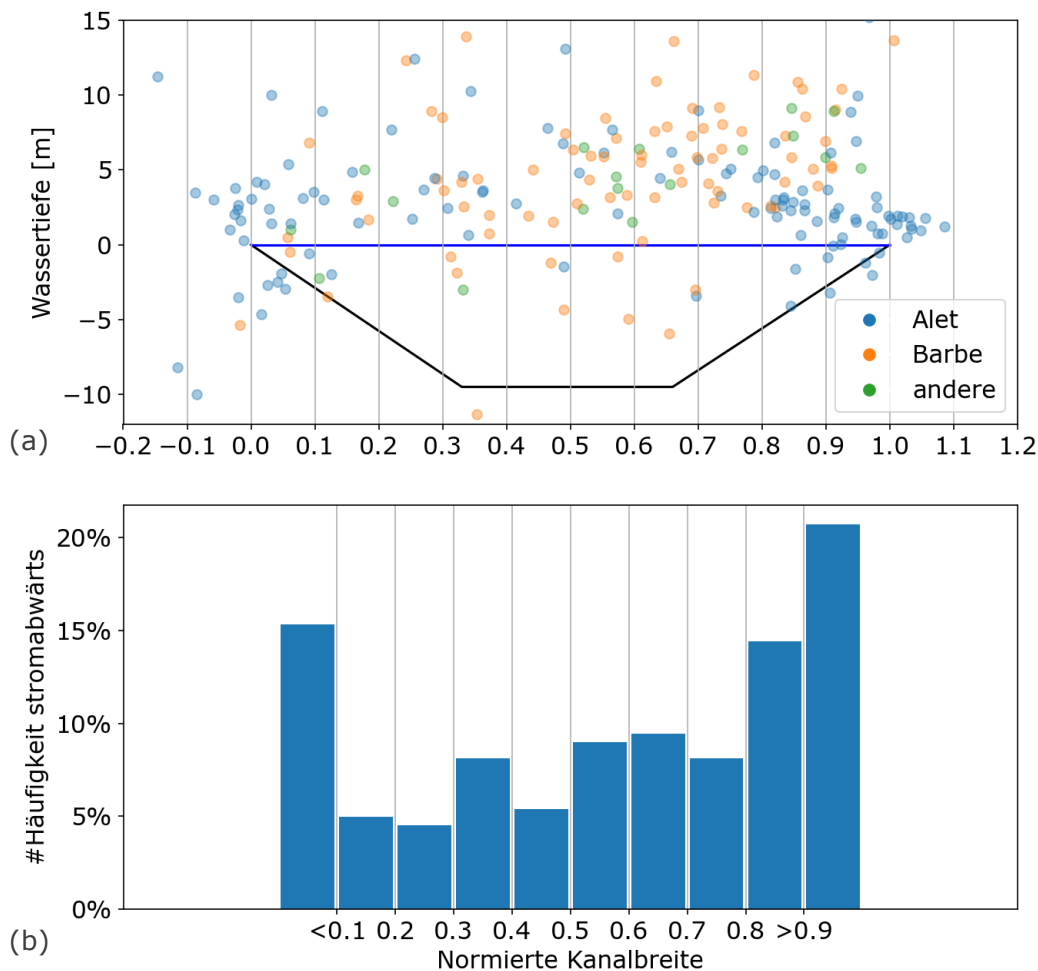


Abb. 5.13 (a) Querschnitt des Oberwasserkanals vor dem MH des KWWB inklusive aller 222 ersten stromabwärts gerichteten Durststosspunkte pro Fisch und (b) die dazugehörige Häufigkeitsverteilung.

Auf den ersten Blick wird aus Abb. 5.13a ersichtlich, dass die Schwimmtiefen der Fische sehr ungenau sind. Gemäss Abb. 5.13a näherten sich sehr viele Fische dem Kraftwerk über dem als blaue Linie dargestellten Wasserspiegel, was offensichtlich unplausibel ist. Gemäss den Schwimmpfaden näherten sich einige Fische dem Kraftwerk auch unterhalb der Sohle, was ebenso unplausibel ist. Die Ungenauigkeit der Schwimmtiefe ist darauf zurückzuführen, dass diese trigonometrisch und nicht mittels Drucksensoren ermittelt wurde, was bei relativ geringen Wassertiefen des Stauraums des KWWB ungenau ist. Hinzu kommt, dass insbesondere die Installationstiefe der Hydrophone nicht genau ermittelt werden konnte (Kapitel 4.3.4). Die Problematik der ungenauen Schwimmtiefen wird in Kapitel 7.4.3 genauer beschrieben. An dieser Stelle muss jedoch festgehalten werden, dass es mit dem in dieser Studie verwendeten Versuchsaufbau nicht möglich war, die Schwimmtiefe korrekt bzw. mit zufriedenstellender Genauigkeit zu ermitteln. Aus diesem Grund wird in diesem Bericht auf eine detaillierte Darstellung und Analyse der Schwimmtiefen verzichtet. Dass diese Ungenauigkeit nur die Schwimmtiefen und nicht die Positionsbestimmung in der x-y-Ebene betrifft, wurde u.a. mittels der in Kapitel 4.5.1 beschriebenen Validierungsversuche überprüft.

Abb. 5.13a,b zeigen, dass sich die Fische über die gesamte Breite verteilt dem Kraftwerk annäherten, wobei Alet im Unterschied zu Barben und den anderen

Fischarten die ufernahen Bereiche bevorzugten. Gemäss Abb. 5.13b wurde artübergreifend nur eine schwache Tendenz zu einer vermehrten Annäherung in Ufernähe beobachtet.

Abb. 5.14a zeigt die Häufigkeitsverteilung aller stromabwärts und Abb. 5.14b aller stromaufwärts gerichteten Durchstosspunkte in der definierten Ebene. Im Unterschied zu Abb. 5.13 enthält Abb. 5.14 jedoch nicht nur den ersten Durchstosspunkt pro Fisch, sondern alle Durchstosspunkte aller Fische. Dadurch können mehrere Datenpunkte in Abb. 5.14 auf das gleiche Individuum zurückgeführt werden. Insgesamt basiert Abb. 5.14 auf 5'759 stromabwärts und 5'801 stromaufwärts gerichteten Durchstosspunkten von 259 verschiedenen Individuen. Jeder dieser 259 Fische kreuzte die definierte Linie somit im Durchschnitt rund 22 Mal pro Richtung.

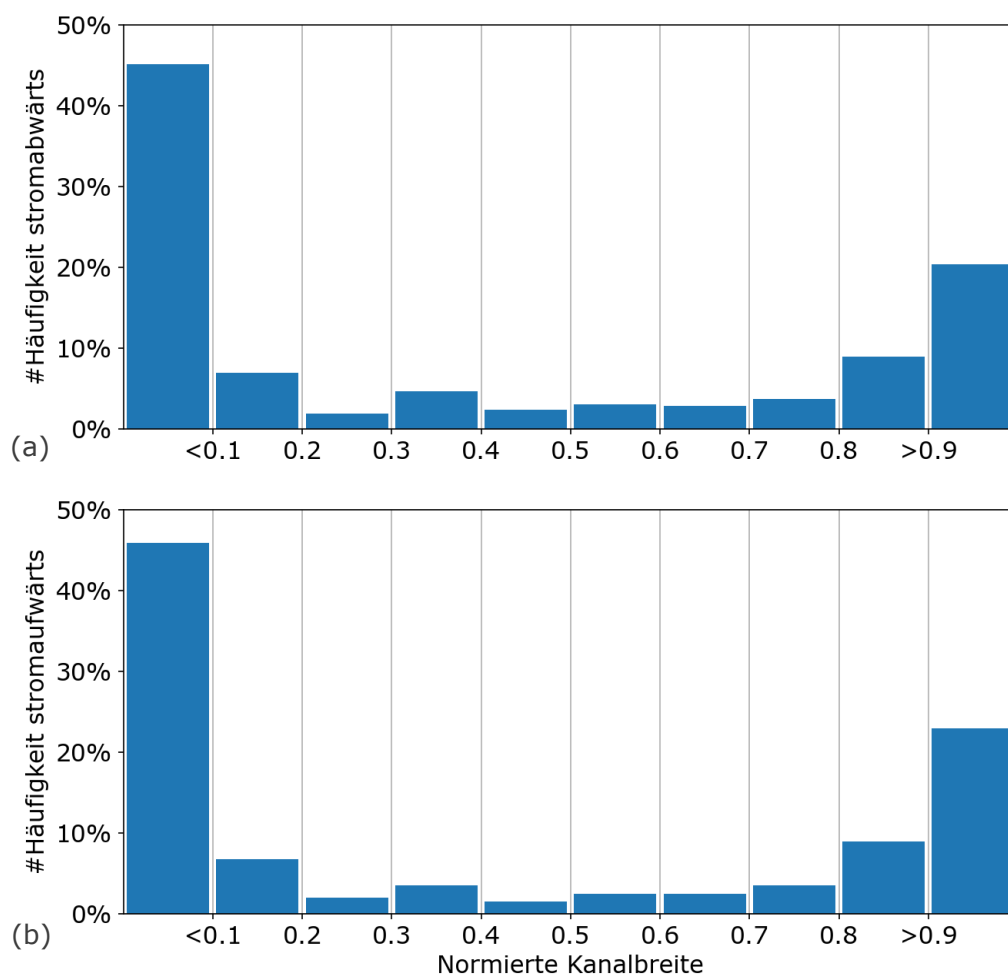


Abb. 5.14 Alle Durchstosspunkte aller Fische vor dem MH des KWWB, wobei (a) die stromabwärts gerichteten Durchstosspunkte (5'759) und (b) die stromaufwärts gerichteten Durchstosspunkte (5'801) zeigt.

Sowohl die stromabwärts, als auch die stromaufwärts gerichteten Durchstosspunkte konzentrieren sich sehr stark auf die ufernahen Bereiche (Abb. 5.14). In beide Richtungen wurden rund 45% der Durchstosspunkte in den linken 10% des Kanals und knapp über 20% in den rechten 10% des Kanals beobachtet.

Ein Vergleich von Abb. 5.14a mit Abb. 5.13b zeigt, dass die Tendenz zu den ufernahen Bereichen bei allen Durchstosspunkten deutlich ausgeprägter ist als bei den

ersten Durchstosspunkten pro Fisch. Dies bedeutet, dass sich Fische bei der ersten Annäherung zwar über die gesamte Kanalbreite verteilt dem Kraftwerk annähernten, dann das Kraftwerk jedoch als Hindernis wahrnahmen und dann vermehrt in den Uferbereichen stromauf und -abwärts schwammen.

Abb. 5.15a,b zeigen wie Abb. 5.13b jeweils den ersten stromabwärts gerichteten Durchstosspunkt pro Fisch, wobei Abb. 5.15a alle Durchstosspunkte von Alet und Abb. 5.15b alle Durchstosspunkte Barben zeigt. In Abb. 5.15c,d sind wie in Abb. 5.14a alle stromabwärts gerichteten Durchstosspunkte dargestellt, wobei Abb. 5.15c die Daten aller Alet und Abb. 5.15d die Daten aller Barben zeigt.

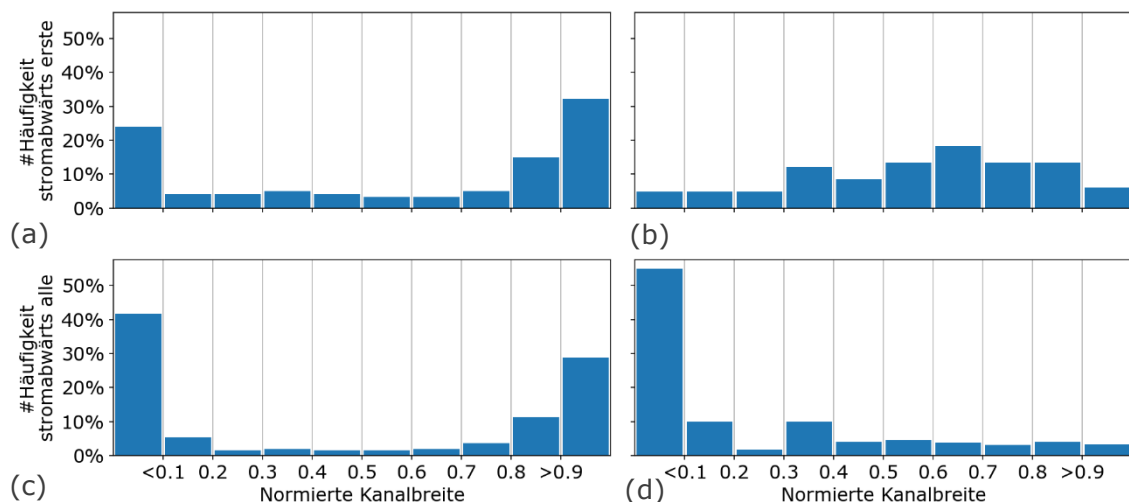


Abb. 5.15 Jeweils erster Durchstosspunkt pro Fisch für (a) Alet (121) und (b) Barben (82) und alle Durchstosspunkte von (c) Alet (3'750) und (d) Barben (1'863).

Aus Abb. 5.15 werden grosse artspezifische Unterschiede zwischen Alet und Barben ersichtlich. Während Alet schon bei der ersten Annäherung an das Kraftwerk die Randbereiche stark bevorzugten (Abb. 5.15a), näherten sich die Barben dem Kraftwerk bevorzugt in der Kanalmitte (Abb. 5.15b). Die nach der ersten Annäherung durchgeführten Suchbewegungen konzentrieren sich bei Alet sehr stark auf den linken und rechten Uferbereich (Abb. 5.15c). Bei Barben wurden primär im Nahbereich des linken Ufers Suchbewegungen beobachtet (Abb. 5.15d).

5.8 Heatmaps: Analyse der Aufenthaltsorte

Um herauszufinden, wo sich Fische vor dem MH des KWWB vermehrt aufhielten, wurden sogenannten Heatmaps erstellt. Diese Heatmaps zeigen, wie häufig sich Fische an gewissen Orten aufhielten. Die Heatmap in Abb. 5.16 zeigt dabei die Daten aller 339 Fische, von welchen vor dem MH des KWWB ein Schwimmpfad ermittelt werden konnte. Insgesamt flossen in die Darstellung in Abb. 5.16 über 8.5 Mio. Datenpunkte ein. Für die Darstellung in Abb. 5.16 und für alle nachfolgenden Heatmaps wurde der Viererlogarithmus verwendet. Dadurch sind sowohl Bereiche erkennbare, wo sich Fische nur sehr selten aufhielten, aber auch die sehr stark frequentierten Bereiche. Die dunkelblaue Farbe bedeutet dabei, dass sich in dem entsprechenden Kästchen nur 1–4 (4^0 – 4^1) Datenpunkte befinden, während es bei der dunkelroten Farbe 16'384–65'536 (4^7 – 4^8) Datenpunkte sind.

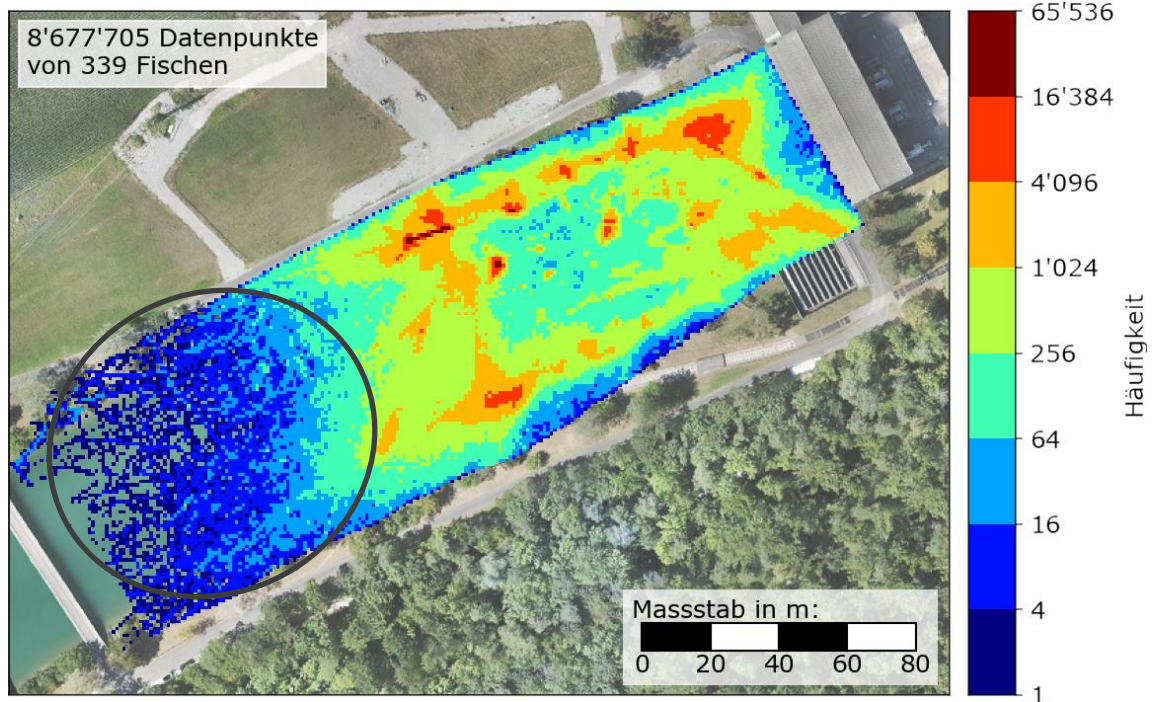


Abb. 5.16 Heatmap aller beim MH des KWWB aufgezeichneten Datenpunkte.

Gemäss Abb. 5.16 gibt es praktisch keinen Ort vor dem MH des KWWB, an welchem während der gesamten Untersuchungsperiode kein einziger Fisch detektiert wurde. Generell ist eine Tendenz zu einer höheren Aufenthaltswahrscheinlichkeit in den Uferbereichen zu sehen. Auch vor der linken Turbine wurden häufig Fische detektiert. In dem in Abb. 5.16 grau eingekreisten Bereich wurden hingegen nur relativ wenige Fische registriert. Dies liegt jedoch nicht daran, dass sich in diesem Bereich kaum Fische aufhielten, sondern daran, dass sich dieser Bereich oberstrom aller installierten Hydrophone befindet. In diesem Bereich konnten einzelne Fische zwar detektiert werden, eine zuverlässige Detektion aller Fische war in diesem Bereich hingegen nicht möglich. Der Ausschnitt der Heatmaps wurde jedoch so gewählt, dass alle aufgezeichneten Datenpunkte sichtbar sind. Abb. 5.16 basiert auf allen während der zweijährigen Untersuchungsperiode aufgezeichneten Datenpunkte und somit auf Datenpunkte unterschiedlichster Fischarten bei diversen Lastfällen. Daher können aus Abb. 5.16 auch nur bedingt konkrete Schlüsse gezogen werden. Nachfolgend werden deshalb nach Lastfall und Fischart aufgeschlüsselte Heatmaps gezeigt.

Abb. 5.17 zeigt die Heatmaps von Alet und Barben für die drei Lastfälle L1, L2 und L3.

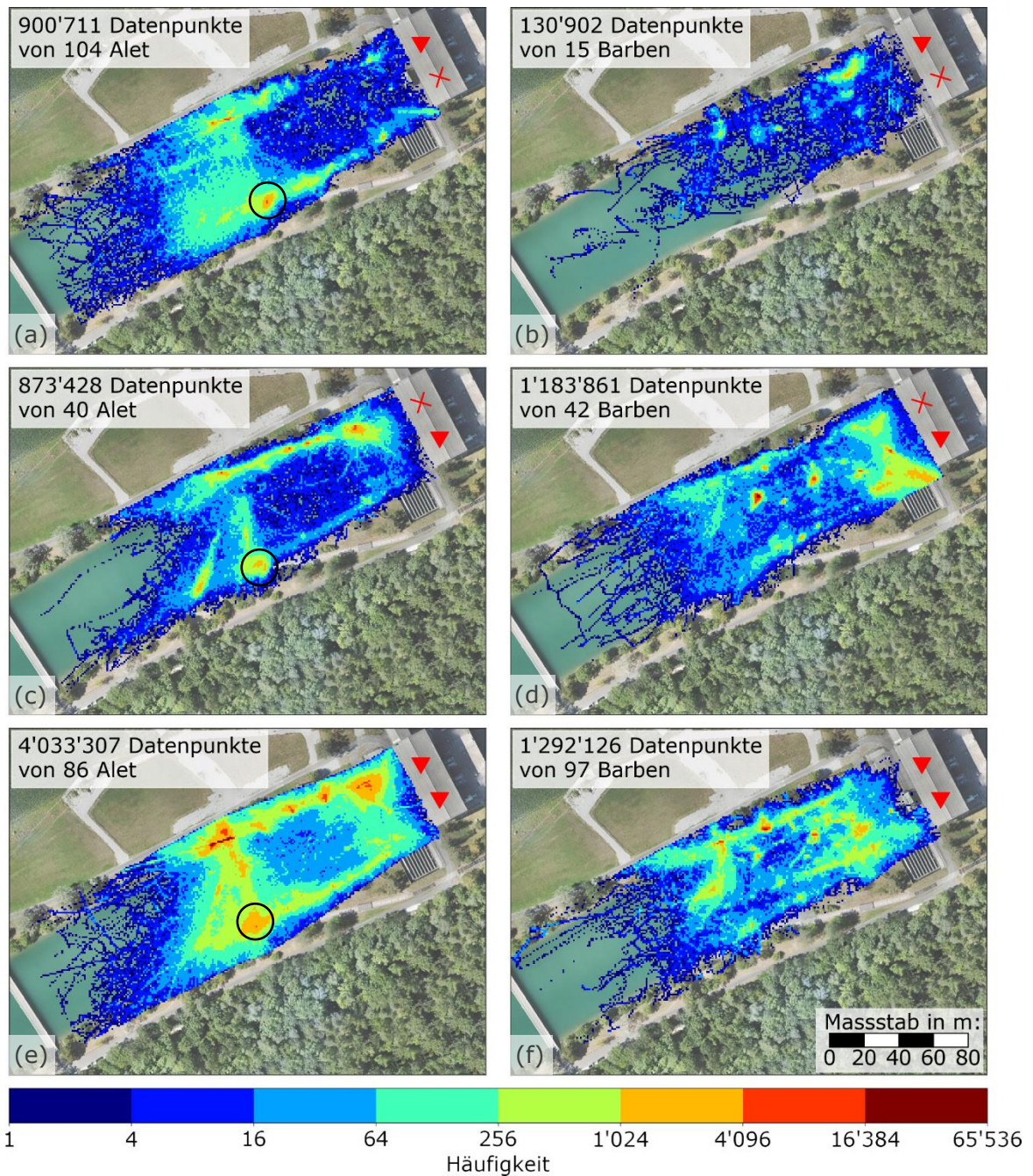


Abb. 5.17 Heatmap des Lastfalls L1 (primär linke Turbine in Betrieb) für (a) Alet und (b) Barben, des Lastfalls L2 (primär rechte Turbine in Betrieb) für (c) Alet und (d) Barben und des Lastfalls L3 (beide Turbinen in Betrieb) für (e) Alet und (f) Barben.

Obwohl während des Lastfalls L1 über hundert Alet vor dem MH des KWWB detektiert wurden, hielt sich kaum ein Alet im Nahbereich der Turbinen auf (Abb. 5.17a). Bei diesem Lastfall näherten sich hingegen nur 15 markierte Barben dem MH des KWWB, wobei die Barben vermehrt vor der linken Turbine, d.h. vor der geöffneten Turbine, detektiert wurden (Abb. 5.17b).

Die Auswertung des Lastfalls L2 zeigt, dass sich Alet primär in den Randbereichen und vor der geschlossenen linken Turbine aufhielten (Abb. 5.17c). Im Gegensatz dazu wurden die Barben bei diesem Lastfall vermehrt im Nahbereich beider

Turbinen detektiert, häufiger jedoch vor der rechten, d.h. vor der geöffneten Turbine (Abb. 5.17d).

Auch während des Lastfalls L3 bevorzugten Alet die Randbereiche (Abb. 5.17e), sie hielten sich jedoch häufiger auch im Nahbereich der Turbinen auf, welche jedoch bei diesem Lastfall, wie in Kapitel 5.2.1 beschrieben, auch häufiger unter Teillast betrieben wurden. Wie bei den anderen Lastfällen auch, hielten sich Barben während des Lastfalls L3 auch häufig vor den Turbinen auf (Abb. 5.17f). Auffällig ist, dass sich die Barben während des Lastfalls L3 im Unterschied zu L1 und L2 häufig auch im Nahbereich des linken Ufers aufhielten.

Die Abb. 5.17a,c,e zeigen, dass sich Alet unabhängig vom Lastfall bevorzugt ufernah aufhielten, während sie die Kanalmitte grösstenteils mieden. Bei allen Lastfällen wurde an dem in Abb. 5.17a,c,e schwarz umrandeten Punkt vermehrt Alet detektiert. Genau an diesem Ort befindet sich die Bootsrampe, für welche sich der Oberwasserkanal lokal leicht aufweitet. Dies ist auf dem Orthofoto in Abb. 4.7 erkennbar. Durch diese lokale Aufweitung sind die Fliessgeschwindigkeiten an diesem Ort im Vergleich zum sonst sehr monotonen Oberwasserkanal deutlich geringer. Es wird davon ausgegangen, dass sich Alet daher primär aufgrund der geringeren Fliessgeschwindigkeiten häufig an diesem Ort aufhielten. Da ein Teil der markierten Fische genau an dieser Stelle ausgesetzt wurde, liegt auch die Vermutung nahe, dass der erwähnte Hotspot durch den Aussetzort beeinflusst wurde. Ein grosser Einfluss konnte jedoch ausgeschlossen werden, da der erwähnte Hotspot auch auf Heatmaps vorhanden ist, in welchen die Daten der ersten 5 Tage nach dem Aussetzzeitpunkt nicht berücksichtigt wurden. Es wurde zwar erwähnt, dass Alet generell die Kanalmitte mieden, auf Höhe des erwähnten Hotspots bei der Bootsrampe trifft diese Aussage jedoch nicht zu (Abb. 5.17a,c,e). Daraus kann geschlossen werden, dass sich Alet bevorzugt im strömungsberuhigten Bereich vor der Bootsrampe aufhielten und dass sie von dort aus häufig den Oberwasserkanal querten.

Aus Abb. 5.17b,d,f wird ersichtlich, dass sich Barben unabhängig vom Lastfall häufig vor den Turbinen, und insbesondere auch vor der jeweils geöffneten Turbine, aufhielten. Dies deutet einerseits darauf hin, dass Barben hohe Fliessgeschwindigkeiten nicht meiden und andererseits, dass sich Barben vermehrt vor den Turbinen ansammeln bzw. länger aufhalten. Dies lässt darauf schliessen, dass die Barben das Kraftwerk als Hindernis wahrnehmen und dass sie nicht direkt bzw. nicht verzögerungsfrei über die Turbinen absteigen.

Sowohl bei den Alet als auch bei den Barben kam es dabei vor, dass sich einzelne Fische sehr lange und häufig vor dem MH des KWWB aufhielten. Es ist somit naheliegend, dass diese Fische den Bereich des Hydrophonnnetzes als Lebensraum nutzten und dass diese nicht primär auf der Suche nach einem Abstiegskorridor waren. Um eine wesentliche Beeinflussung der Resultate durch diese einzelnen Fische ausschliessen zu können, wurden die in Abb. 5.17 gezeigten Heatmaps auch unter Ausschluss der Fische, welche für jeweils mehr als 10% der Datenpunkte verantwortlich waren, analysiert. Beispielsweise wurde der Alet mit der Tagnummer 433725 aus der Analyse in Abb. 5.17e ausgeschlossen, da über 13% aller während dieses Lastfalls aufgezeichneten Datenpunkte auf diesen Alet zurückzuführen waren. Durch diese Analysen konnte sichergestellt werden, dass alle bisher getroffenen Aussagen auch unter Ausschluss der Fische mit besonders vielen Datenpunkten gültig sind.

Neben Alet und Barben wurden im Vergleich zu den anderen Fischarten verhältnismässig viele Egli bei unterschiedlichen Lastfällen vor dem MH des KWWB detektiert. Daher sind in Abb. 5.18 die Heatmaps der Egli für die drei unterschiedenen Lastfälle

dargestellt. Die Heatmaps der anderen Fischarten werden nicht gezeigt, da diese aufgrund der geringen Anzahl an Detektionen nicht aussagekräftig sind.

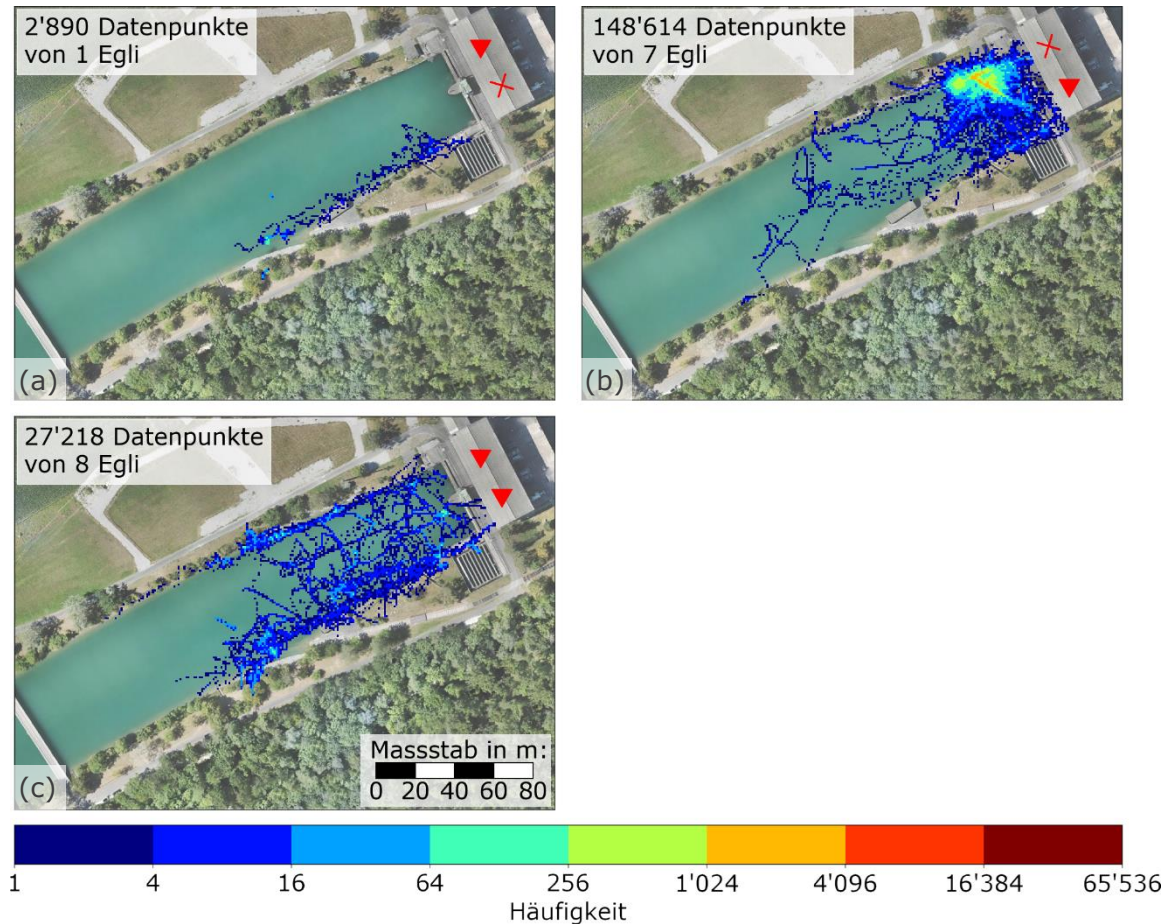


Abb. 5.18 Heatmaps aller vor dem MH des KWWB detektierten Egli für den Lastfalls (a) L1 (primär linke Turbine geöffnet), L2 (primär rechte Turbine geöffnet) und L3 (beide Turbinen geöffnet).

Während des Lastfalls L1 tauchte nur ein einziges Egli vor dem MH des KWWB auf, welcher entlang des rechten Ufers schwamm (Abb. 5.18a). Während des Lastfalls L2 wurden immerhin sieben Egli detektiert, welche sich vermehrt vor der linken Turbine, d.h. vor der geschlossenen Turbine, aufhielten (Abb. 5.18b). Acht Egli wurden während des Lastfalls L3 detektiert (Abb. 5.18c). Bezüglich des präferierten Aufenthaltsorts ist für diesen Lastfall jedoch keine klare Präferenz erkennbar.

Insgesamt wurden während der Hauptuntersuchungsperiode des vorliegenden Projekts immerhin 48 Egli markiert. Nach Alet und Barben waren Egli somit die dritthäufigste markierte Fischart. Trotzdem zeigt die Auswertung in Abb. 5.18, dass die Stichprobe zu gering war, um aussagekräftige Resultate zu erzielen. Dies liegt insbesondere daran, dass nur ein Teil der markierten Egli überhaupt beim MH des detektiert wurde und dass für eine aussagekräftige Auswertung nach Lastfall unterschieden werden muss. Dadurch stehen pro Lastfall nur verhältnismässig wenige Daten zur Verfügung.

5.9 Einfluss abiotischer Faktoren

Aus der Literatur ist bekannt, dass das Fischverhalten durch diverse abiotische Faktoren beeinflusst wird. Es ist auch bekannt, dass das Fischverhalten nicht durch einen einzigen abiotischen Faktor beeinflusst wird, dass gewisse abiotische Faktoren nicht unabhängig voneinander sind, dass der Einfluss der abiotischen Faktoren auf das Fischverhalten artspezifisch ist und dass der Einfluss abiotischer Faktoren auf das Fischverhalten sehr komplex ist. Auf eine Literaturrecherche zum Einfluss verschiedener abiotischer Faktoren auf das Fischverhalten wird in vorliegendem Bericht verzichtet, da beispielsweise Ebel (2016) [18] eine gute Zusammenfassung und einen guten Überblick über die entsprechende Fachliteratur gibt. Speziell erwähnt wird an dieser Stelle nur, dass bei mehreren Untersuchungen zum Fischabstieg an Schweizer Mittellandflüssen beobachtet wurde, dass im Herbst bei gewissen Umweltbedingungen Massenabstiege von kleinen Cypriniden stattfinden (z.B. [19] und [20]). Bezüglich des Abstiegsverhaltens von grossen Cypriniden in Schweizer Mittellandflüssen ist bisher hingegen nur sehr wenig bekannt.

In den nachfolgenden Kapiteln wird der Einfluss der Tageszeit, Jahreszeit, Abflüsse, Wassertemperatur, Luftdruck und der Mondphase auf die im Rahmen dieses Projekts markierten Fische, analysiert. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass die beschriebenen Zusammenhänge nur bedingt verallgemeinert werden können. Gründe dafür sind, dass alle in diesem Bericht gezeigten Daten auf einer zweijährigen Studie mit einer limitierten Anzahl an Fischen beruhen. Es ist möglich, dass sich Fische während anderer Jahre mit anderen Umweltbedingungen entsprechend anders verhalten. Es muss auch davon ausgegangen werden, dass sich Fische in anderen Gewässersystemen anders verhalten. Zudem kann bei Telemetriestudien im Freiland nicht ausgeschlossen werden, dass die entsprechenden Zusammenhänge auch vom Aussetzzeitpunkt und der Tag-Lebensdauer beeinflusst wurden. Während dieser Studie wurden Fische zu möglichst vielen unterschiedlichen Zeitpunkten ausgesetzt, um diesen Einfluss zu minimieren. Bei den nachfolgenden Boxplots (Abb. 5.25 bis Abb. 5.28, Abb. 5.30 und Abb. 5.31) wurde mittels der gewichteten Referenz (genauere Erklärung in Kapitel 5.3.3) zudem berücksichtigt, dass nicht zu allen Zeitpunkten mit bestimmten Umweltbedingungen gleich viele Fische mit aktiven Tags im System waren. Trotzdem lassen sich diese Einflüsse nicht gänzlich vermeiden. Entsprechend sollten Aussagen erst verallgemeinert werden, wenn ein bestimmter Zusammenhang in mehreren, voneinander unabhängigen Studien, beobachtet wird.

5.9.1 Tagesverlauf

Der Tagesverlauf ist einer der wichtigsten abiotischen Faktoren. In der Literatur wird häufig beschrieben, dass viele Fischarten und -grössenklassen bevorzugt in der Dämmerung bzw. nachts flussabwärts wandern [18]. Es wird davon ausgegangen, dass für den Einfluss des Tagesverlaufs auf das Fischverhalten nicht die Uhrzeit entscheidend ist, sondern die Zeit relativ zum Sonnenauf- und/oder -untergang. Darum bezieht sich die nachfolgende Auswertung auf den Sonnenuntergang. Abb. 5.19 zeigt den Tagesverlauf der Anzahl der beim MH ermittelten Positionsdaten. Die Positionsdaten entsprechen dabei dem Output von YAPS, wobei für jeden im Hydrophonnetz vor dem MH detektierten Fisch im Durchschnitt ungefähr alle zwei Sekunden ein Positionsdatenpunkt generiert wurde. Bei dieser Analyse wurden alle beim MH des KWWB detektierten Fische berücksichtigt, unabhängig davon, ob sich diese Fische aktiv dem Kraftwerk näherten oder relativ passiv an einem Ort verharren. Abb. 5.20 zeigt dieselben Daten für Alet, Barben und Egli wie Abb. 5.19, wobei in dieser Darstellung zwischen Morgendämmerung, Tag, Nacht und Abenddämmerung unterschieden wurde. Die Dauer der Dämmerung variiert im Jahresverlauf und hängt

auch von der verwendeten Definition ab. Die nachfolgende Auswertung bezieht sich auf die bürgerliche Dämmerung, welche im Jahresverlauf zwischen rund 31 und 41 variiert. Dies entspricht der Zeit direkt vor dem Sonnenaufgang bzw. nach dem Sonnenuntergang, in der die Sonne maximal 6° unter dem Horizont steht. Auf eine Analyse der Daten anderer Fischarten wurde verzichtet, da der geringe Stichprobenumfang keine aussagekräftigen Analysen erlaubt.

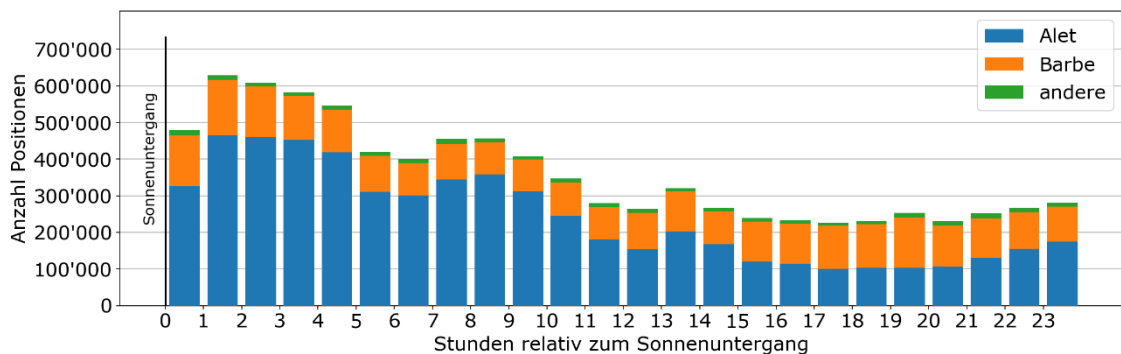


Abb. 5.19 Relativ zum Sonnenuntergang bezogene Anzahl an Positionsdaten vor dem MH des KWVB.

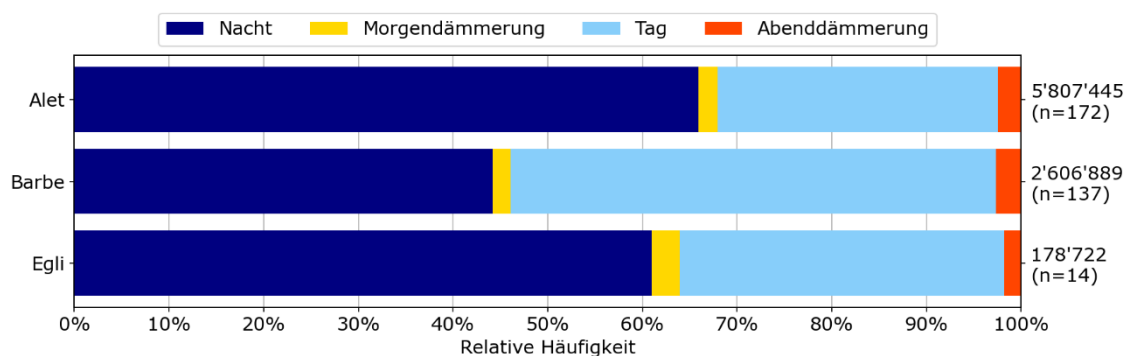


Abb. 5.20 Anteil der Positionsdaten, welche während der Morgendämmerung, tagsüber, während der Abenddämmerung und in der Nacht registriert wurden.

Aus Abb. 5.19 wird ersichtlich, dass Alet in den ersten 5 Stunden nach Sonnenuntergang besonders häufig vor dem MH des KWVB detektiert wurden. Auch 5–12 Stunden nach dem Sonnenuntergang wurden Alet noch deutlich häufiger detektiert als zwischen 12–24 Stunden nach Sonnenuntergang. Auffällig ist zudem der grosse Sprung zwischen 23–24 Stunden nach Sonnenuntergang zu 0–1 Stunden nach Sonnenuntergang. Im Unterschied zu Alet wird aus Abb. 5.19 für Barben kein klarer Trend ersichtlich. Barben wurden unabhängig vom Sonnenuntergang zu jeder Stunde nahezu gleich häufig detektiert.

Anhand von Abb. 5.19 wurde gezeigt, dass die Anzahl Positionsdaten in der Dämmerung zunahm. Bei der Interpretation von Abb. 5.20 muss berücksichtigt werden, dass die Morgen- und die Abenddämmerung deutlich kürzer sind als der Tag und die Nacht. Dennoch wird aus Abb. 5.20 ersichtlich, dass in dieser Untersuchung die während der Dämmerung aufgezeichneten Positionsdaten nur einen kleinen Anteil der gesamten Daten ausmachten. Abb. 5.20 verdeutlicht, dass Alet rund doppelt so häufig in der Nacht als tagsüber vor dem MH des KWVB detektiert wurden, während für Barben kein klarer Trend ersichtlich ist. Egli wurden ähnlich wie Alet in der Nacht rund doppelt so häufig detektiert wie tagsüber.

Gemäss Abb. 5.19 und Abb. 5.20 wurden auch tagsüber viele Barben vor dem MH des KWWB detektiert. Dies widerspricht zumindest auf den ersten Blick der Aussage in Kapitel 3.5.1, dass Barben generell nachtaktiv sind. Aus der in diesem Kapitel gezeigten Analysen können jedoch keine Aussagen bezüglich der Aktivität gemacht werden, da bei diesen Analysen unabhängig von der Aktivität die Datenpunkte aller detektierten Fische berücksichtigt wurden. Zu welcher Uhrzeit Barben vermehrt über die Turbinen des KWWB abstiegen, wird in Kapitel 5.9.3 beschrieben.

5.9.2 Jahreszeit

In diesem Kapitel wird der Einfluss der Jahreszeit anhand des grossräumigen Wanderverhaltens und anhand der Heatmaps der markierten Alet und Barben analysiert. Die Auswertung bezieht sich dabei auf die astronomischen und nicht die meteorologischen Jahreszeiten. Insgesamt wurden im Rahmen dieses Projekts 1'155 stromaufwärts und 601 stromabwärts gerichtete Fischbewegungen registriert. Eine stromaufwärts bzw. stromabwärts gerichtete Fischbewegung wurde dabei so definiert, dass ein Fisch nach der Detektion bei einer Station bei einer stromaufwärts bzw. stromabwärts gelegenen Station detektiert wurde. Die der linken y-Achse zugeordneten Balken in Abb. 5.21a zeigen den artspezifischen Jahresverlauf der stromaufwärts gerichteten Fischbewegungen und Abb. 5.21b entsprechend den Jahresverlauf der stromabwärts gerichteten Fischbewegungen. Die Punkte, welche sich auf die rechte y-Achse beziehen, geben dabei an, wie viele aktive Tags der jeweiligen Fischart unter der Annahme einer Tag-Lebensdauer von 210 Tagen (Kapitel 5.1) im entsprechenden Monat im Durchschnitt im System waren.

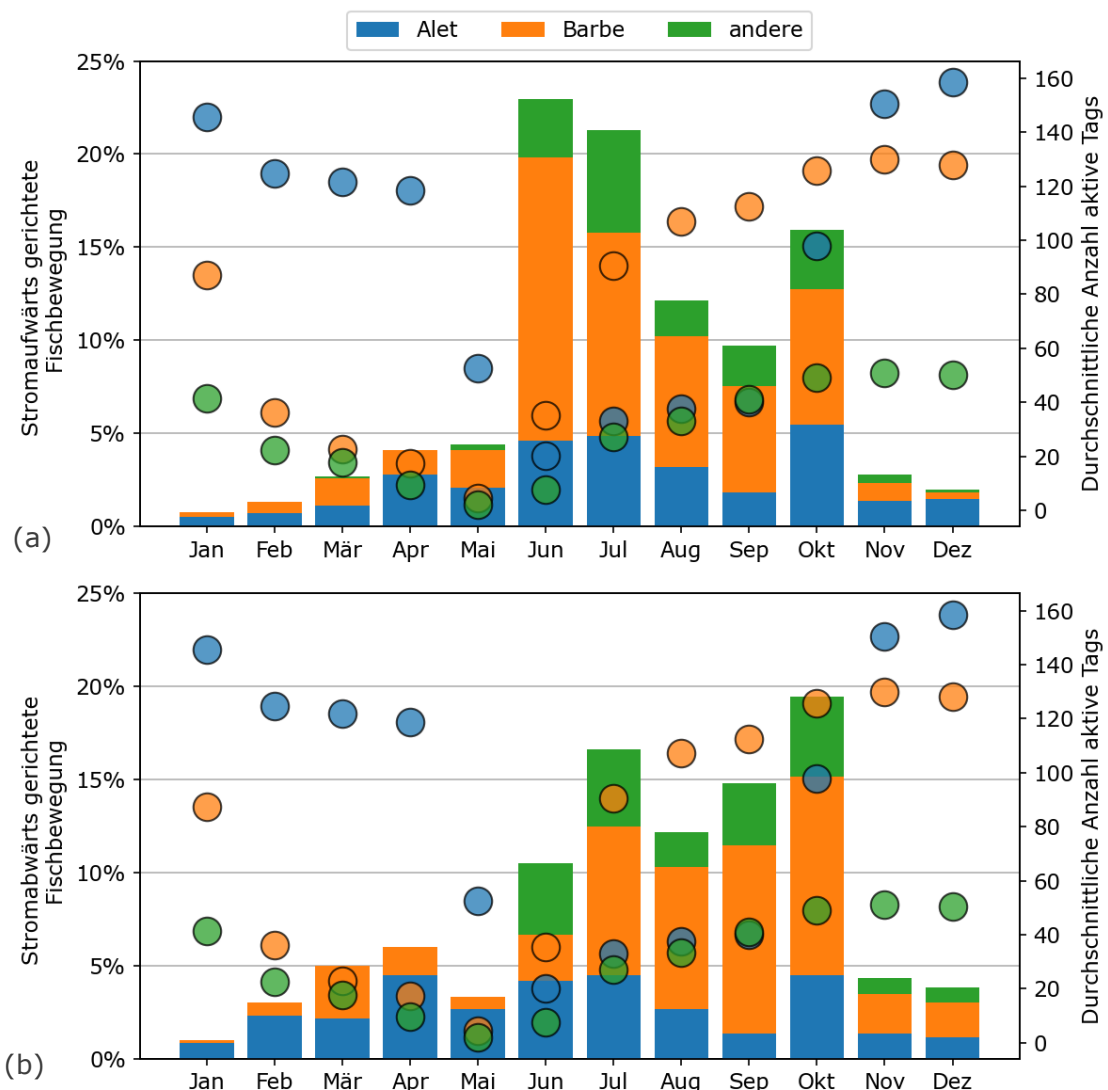


Abb. 5.21 Der jahreszeitliche Verlauf aller (a) stromaufwärts (1'155) und (b) stromabwärts (601) gerichteten Fischbewegungen.

Aus Abb. 5.21a,b wird ersichtlich, dass sowohl Alet, Barben als auch die weiteren markierten Fische vermehrt zwischen den Monaten Juni und Oktober wanderten. Dies obwohl auch während der meisten Wintermonate viele aktive Tags im System waren. Nur während der Monate Februar bis Mai waren relativ wenige Tags von Barben und anderen Fischarten aktiv und deren Anzahl nahm über diese Monate sukzessive ab. Fischartübergreifend wurden rund 82% aller stromaufwärts und 74% aller stromabwärts gerichteten Fischbewegungen zwischen Juni und Oktober registriert. Der Einfluss der Jahreszeit auf das Wanderverhalten von Barben und den weiteren markierten Fischen ist dabei deutlich stärker ausgeprägt als von Alet. Interessant ist dabei auch, dass Barben im Juni und Juli deutlich häufiger aufstiegen und im September und Oktober häufiger abstiegen.

Neben der Frage, während welcher Monate die markierten Fische vermehrt wanderten, ist auch die Frage interessant, ob sich die Fische im Jahresverlauf vor dem MH des KWWB unterschiedlich verhielten bzw. ob sie unterschiedliche Orte präferierten. Dieser Frage wird mit den jahreszeitlichen Heatmaps für Alet und Barben in Abb. 5.22 und Abb. 5.23 nachgegangen.

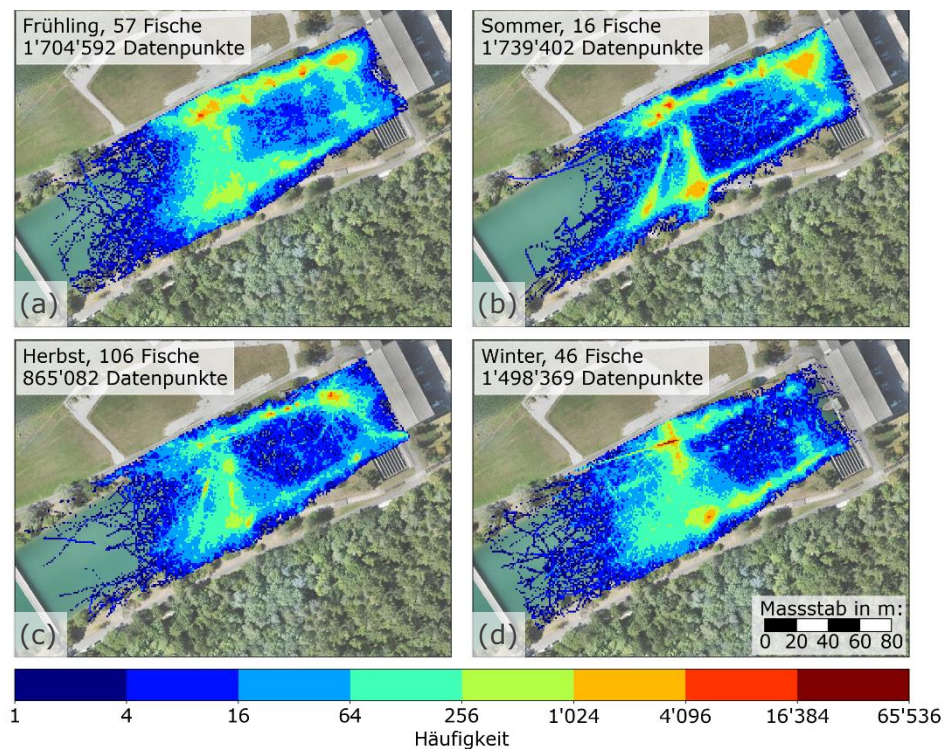


Abb. 5.22 Heatmaps aller Alet in Abhängigkeit der Jahreszeit: (a) Frühling, (b) Sommer, (c) Herbst und (d) Winter.

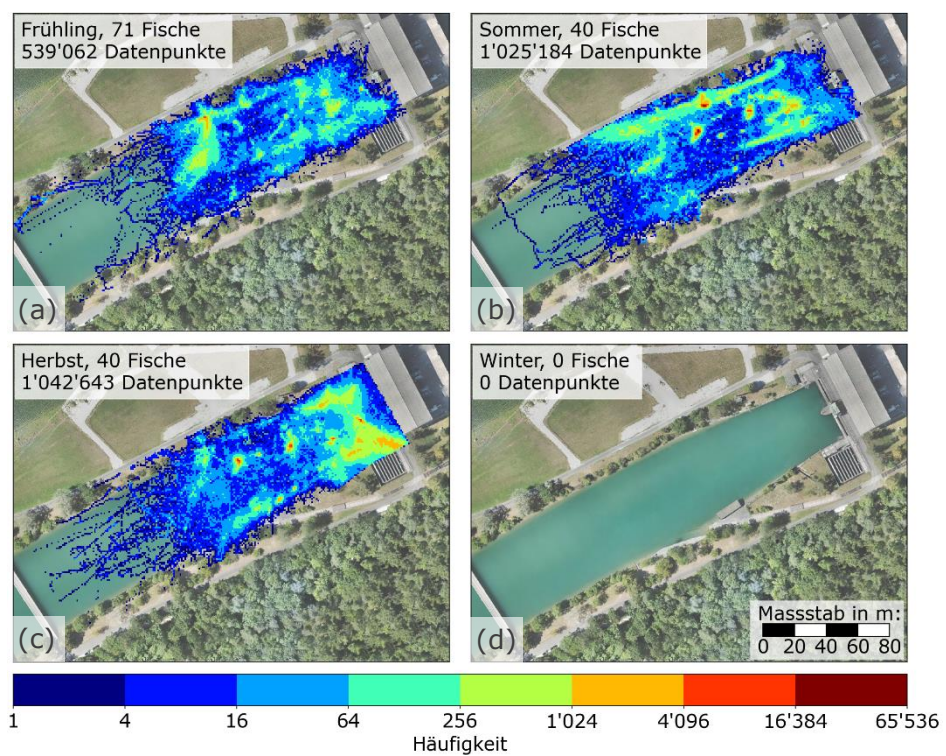


Abb. 5.23 Heatmaps aller Barben in Abhängigkeit der Jahreszeit: (a) Frühling, (b) Sommer, (c) Herbst und (d) Winter.

Aus Abb. 5.22 wird ersichtlich, dass während aller Jahreszeiten Alet vor dem MH des KWWB detektiert wurden. Die präferierten Aufenthaltsorte unterscheiden sich nur geringfügig zwischen den vier Jahreszeiten. Alet mieden die Kanalmitte mit Ausnahme der in Kapitel 5.8 beschriebenen Stelle ganzjährig und hielten sich bevorzugt in den Randbereichen auf. Im Unterschied zu allen anderen Jahreszeiten schwammen Alet im Winter jedoch nur sehr selten in den Nahbereich der Turbinen. Dies, obwohl im Winter gemäss Abb. 5.2 häufig nur eine Turbine in Betrieb war und somit vor der geschlossenen Turbine strömungsberuhigte Zonen vorhanden waren.

Im Frühling gibt es gemäss Abb. 5.23a kaum Orte, an welchen sich Barben sehr häufig aufhielten. Stattdessen wurden die Barben praktisch im ganzen Hydrophonnetz vor dem MH des KWWB detektiert. Im Sommer wurde eine sehr ausgeprägte Tendenz zum linken Uferbereich beobachtet (Abb. 5.23b). Im Vergleich zum Frühling und Sommer hielten sich die Barben im Herbst vermehrt im Nahbereich der Turbinen auf (Abb. 5.23c). Zu dieser Zeit wurden auch die meisten stromabwärts gerichteten Fischbewegungen von Barben beobachtet (Abb. 5.21b). Die Frage, ob im Herbst auch vermehrt Turbinenpassagen beobachtet wurden, wird in Kapitel 5.9.3 beantwortet. Im Winter wurde keine einzige Barbe vor dem MH des KWWB detektiert (Abb. 5.23d). Diese Beobachtungen lassen vermuten, dass die Barben nach dem Laichvorgang im Sommer bzw. vermehrt abstiegen und den Winter in Wintereinständen verbrachten. Dass im Winter keine einzige Barbe vor dem MH des KWWB detektiert wurde, kann nicht darauf zurückgeführt werden, dass im Winter nur wenige Barben mit aktiven Tags im System waren. Gemäss Abb. 5.21a,b waren im Dezember und Januar nämlich durchaus viele Barben mit aktiven Tags im System. Diese Beobachtungen stimmen gut mit der in Kapitel 3.5.1 beschriebenen Literatur überein, gemäss welcher Barben ihre Wanderungen im Winter einstellen und entsprechende Wintereinstände aufsuchen.

5.9.3 Einfluss der Tages- und Jahreszeit auf die Turbinenpassagen

In den Kapiteln 5.9.1 und 5.9.2 wurde der Einfluss der Tages- und Jahreszeit auf das Wander- und Schwimmverhalten der markierten Fische beschrieben. In diesem Kapitel wird hingegen anhand von Abb. 5.24 der Einfluss der Tages- und Jahreszeit auf die Turbinenpassagen analysiert. Der gelb dargestellte Bereich in Abb. 5.24 entspricht dabei der Zeit von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang. Die Symbole in Abb. 5.24 geben an, ob die entsprechende Turbinenpassage auf den Schwimmpfad vor dem MH des KWWB, die grossräumige Auswertung oder das mobile Tracking zurückzuführen ist. Dies ist insbesondere deshalb wichtig, da der Abstiegszeitpunkt mittels der Schwimmpfade sehr genau ermittelt werden konnte. Bei den nur durch die grossräumige Auswertung ermittelten Abstiegen entspricht der Abstiegszeitpunkt vereinfachend der ersten Detektion im Unterwasser (Kapitel 5.3.3). Dieser Zeitpunkt ist entsprechend ungenauer, da es möglich ist, dass der Fisch schon früher abstieg, sich jedoch vor der Detektion bei einer Station im Unterwasser längere Zeit im Unterwasser des KWWB aufhielt. Noch ungenauer sind die nur durch das mobile Tracking festgestellten Abstiege. Diese wurden der Vollständigkeit halber in Abb. 5.24

jedoch ebenfalls dargestellt.

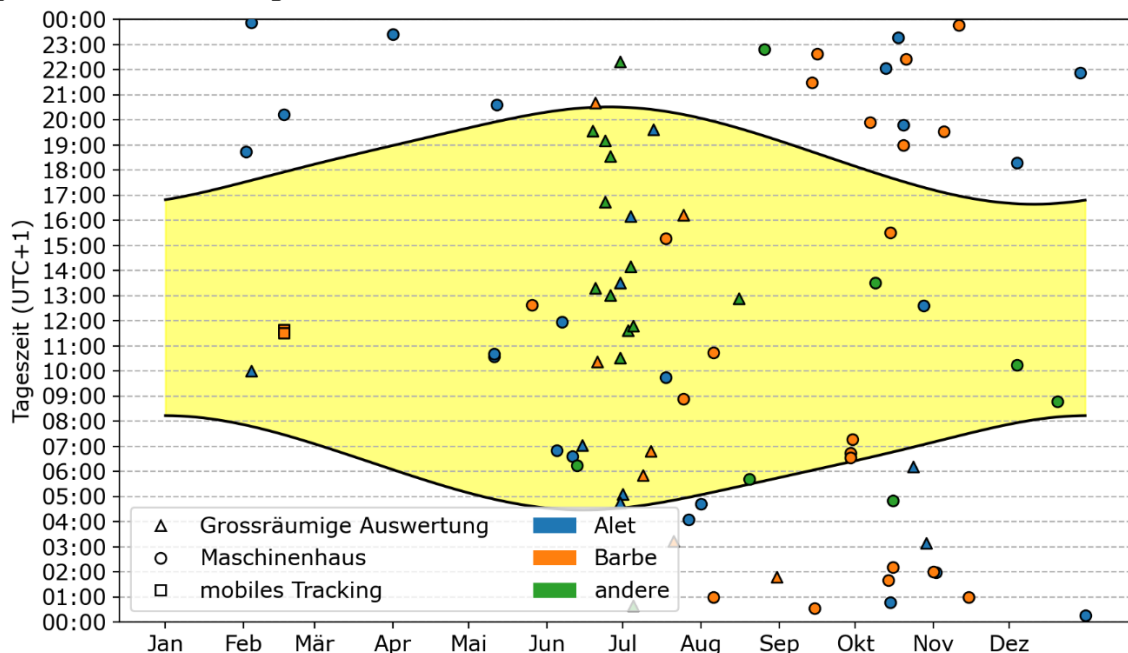


Abb. 5.24 Darstellung der Turbinenpassagen in Abhängigkeit der Tages- und Jahreszeit.

Aus Abb. 5.24 wird ersichtlich, dass zu beinahe jeder Tages- und Jahreszeit zumindest vereinzelte Turbinenpassagen beobachtet wurden. Generell fanden die meisten Turbinenpassagen während der Sommermonate Juni, Juli und August tagsüber statt. In den Herbstmonaten September, Oktober und November wurden die meisten Turbinenpassagen hingegen in den Nachtstunden beobachtet. Im Winter und Frühling fanden generell relativ wenige Turbinenpassagen statt.

Eine artspezifische Betrachtung von Abb. 5.24 zeigt, dass die Aussage, dass die Turbinenpassagen im Sommer primär tagsüber und im Winter primär in der Nacht stattfanden, sowohl für Alet als auch für Barben zutrifft. Interessant ist auch, dass zwischen Dezember und Mai mit Ausnahme der durch das mobile Tracking festgestellten Abstiege, welche vom Zeitpunkt her sehr ungenau sind, während dieser Monate keine Turbinenpassage von Barben registriert wurde. Insbesondere während der Monate November bis Januar waren gemäss Abb. 5.21 jedoch durchaus viele Barben mit aktiven Tags im System, welche über die Turbinen hätten absteigen können. Dies deckt sich mit den in Kapitel 3.5.1 beschriebenen Literaturangaben, dass Barben im Winter generell nicht wandern.

5.9.4 Abflüsse

Der Abfluss ist einer der bedeutendsten abiotischen Faktoren. Häufig wird dabei in der Literatur von einer positiven Korrelation zwischen der Abwanderungsintensität und dem Abfluss ausgegangen. Der Grossteil der Literatur, auf welchem diese Aussage beruht, bezieht sich dabei jedoch auf diadrome Fischarten, während für potamodrome Arten nur sehr wenig bekannt ist [18].

Der Einfluss des Abflusses auf die Fischwanderung wird anhand der Boxplots in Abb. 5.25 und Abb. 5.26 analysiert. Diese zeigen, bei welchen Abflüssen stromaufwärts bzw. stromabwärts gerichtete Fischbewegungen und Turbinenpassagen registriert wurden, wobei die Zahlen angeben, wie viele Datenpunkte in den

entsprechenden Boxplot eingeflossen sind. Bei den Abflussdaten handelt es sich um Tagesmittelwerte der BAFU-Messstation «Aare - Brugg 2016». Zur Einordnung der Abflüsse sind in nachfolgenden Abbildungen die Referenz und die gewichtete Referenz angegeben. Die Referenz entspricht dabei dem Mittelwert der Abflüsse der Tage, an welchen markierte Fische der entsprechenden Fischart mit aktiven Tags im System waren. Die gewichtete Referenz gewichtet die Abflüsse jedes Tages direkt proportional zur Anzahl der aktiven Tags im System. Dadurch wird dem Umstand Rechnung getragen, dass nicht bei allen Abflüssen gleich viele markierte Fische mit aktiven Tags im System waren.

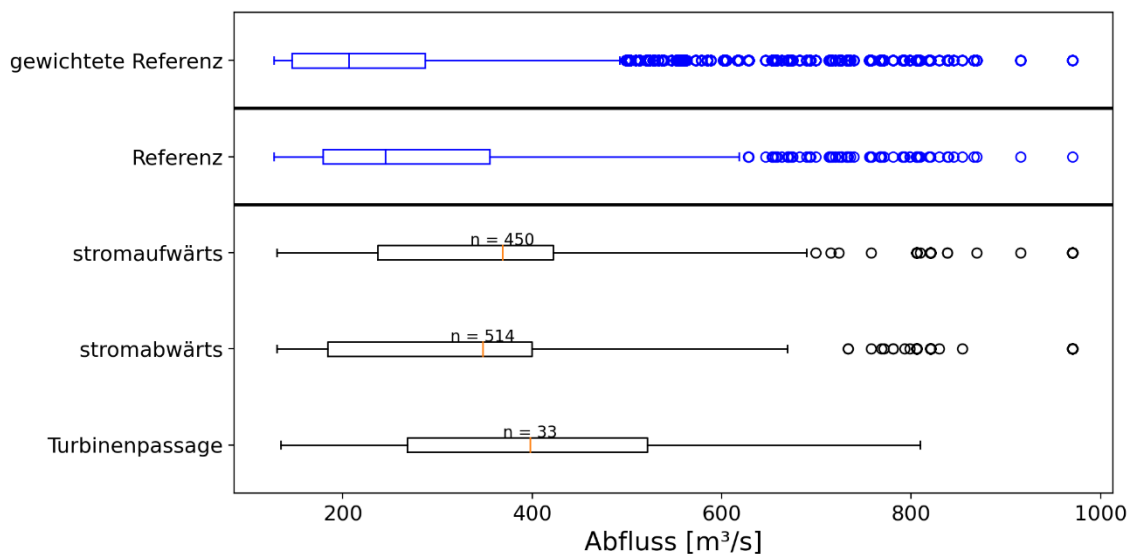


Abb. 5.25 Abflüsse, bei welchen stromauf- und abwärts gerichtete Fischbewegungen sowie Turbinenpassagen von Alet beobachtet wurden (Datengrundlage Abflüsse: BAFU).

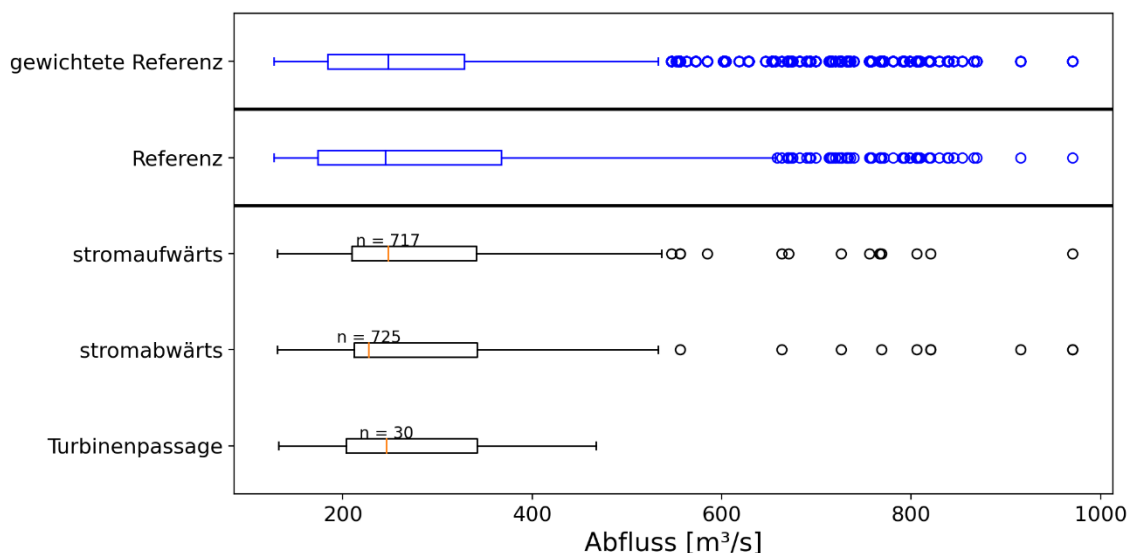


Abb. 5.26 Abflüsse, bei welchen stromauf- und abwärts gerichtete Fischbewegungen sowie Turbinenpassagen von Barben beobachtet wurden (Datengrundlage Abflüsse: BAFU).

Während die Mediane der Referenz und der gewichteten Referenz von Alet im Bereich von $Q_{Aare} = 200\text{--}250 \text{ m}^3/\text{s}$ liegen, betragen die orange dargestellten Mediane für stromaufwärts und stromabwärts gerichtete Fischbewegungen und für

Turbinenpassagen knapp unter $Q_{Aare} = 400 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies zeigt, dass Alet tendenziell bei erhöhten Abflüssen wanderten. Die Unterschiede des Abflusses zwischen stromaufwärts und stromabwärts gerichteten Fischbewegungen sind hingegen minimal. Trotz des beschriebenen Trends zeigt Abb. 5.26 auch, dass die Streuung der Datenpunkte sehr gross ist. Entgegen dem Trend wurden auch Alet beobachtet, welche bei sehr hohen oder sehr geringen Abflüssen wanderten.

Im Unterschied zu Alet sind die Medianwerte der stromaufwärts und stromabwärts gerichteten Fischbewegungen sowie der Turbinenpassagen der Barben nahezu identisch wie die Medianwerte der Referenz und der gewichteten Referenz. Somit konnte keine Tendenz festgestellt werden, d.h. dass Barben weder bei sehr tiefen noch bei sehr hohen Abflüssen vermehrt wanderten. Interessant ist zudem, dass keine einzige Barbe bei sehr hohen Aareabflüssen, d.h. bei Abflüssen über $500 \text{ m}^3/\text{s}$, durch die Turbinen abstieg, obwohl gemäss der Referenz und gewichteten Referenz auch bei diesen Abflussbedingungen Barben mit aktiven Tags im System waren.

Bisher wurde der Einfluss des Abflusses auf die stromabwärts gerichtete Fischwanderung primär für diadrome Arten untersucht. Häufig wurde dabei eine positive Korrelation zwischen der Abwanderungsaktivität und des Abflusses festgestellt, welches als Minimierung des energetischen Aufwands gedeutet wird [18]. Zudem steigen bei Hochwasserereignissen die Trübung und die Intensität der Turbulenz, wodurch das Prädatationsrisiko für abwandernde Fische reduziert wird [18]. Gleichzeitig spielt die Orientierung für abwandernde diadrome Arten nur eine untergeordnete Rolle, da diese sowieso mit der Strömung flussabwärts in Richtung Meer schwimmen. Bei potamodromen Arten ist das Ziel in vielen Fällen entweder nicht weit weg oder der Abstieg erfolgt zufällig. Daraus lässt sich die Vermutung ableiten, dass adulte potamodrome Arten beim Abstieg im Unterschied zu diadromen Arten nicht auf grössere Abflüsse angewiesen sind. Im Gegensatz dazu ist aus den Wirkungskontrollen der Fischabstiegsanlagen des Kleinwasserkraftwerks Stroppel [19] und des Dotierkraftwerks Rüchlig [20] bekannt, dass juvenile Cypriniden Abflusserhöhungen ohne Hochwasser im Herbst für den Abstieg nutzen. Da diese Beobachtungen auf Hamenfängen an stichprobenartig ausgewählten Tagen beruhen, kann nicht ausgeschlossen werden, dass es auch andere Zeiträume beziehungsweise Bedingungen gibt, während welcher vergleichbare Massenabstiege stattfinden. Diesbezüglich besteht somit weiterer Forschungsbedarf.

5.9.5 Wassertemperatur

Der Einfluss der Wassertemperatur auf das Wanderverhalten der markierten Fische wurde anhand von Abb. 5.27 und Abb. 5.28 analysiert. Bei den Temperaturdaten handelt sich um Daten der BAFU-Messstation «Aare - Brugg 2016».

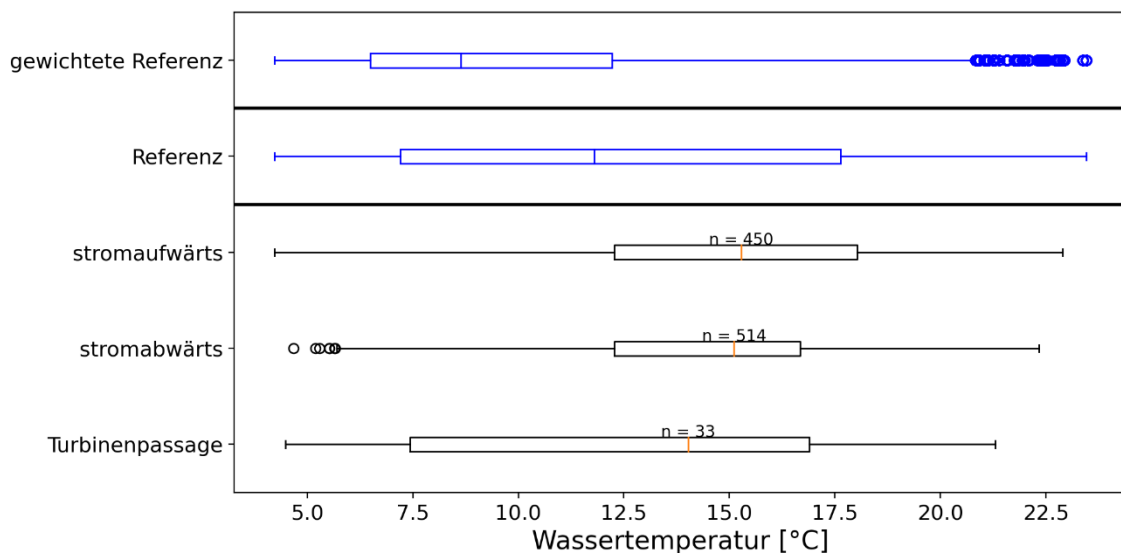


Abb. 5.27 Wassertemperatur, bei welcher stromauf- und abwärts gerichtete Fischbewegungen sowie Turbinenpassagen von Alet beobachtet wurden (Datengrundlage Wassertemperatur: BAFU).

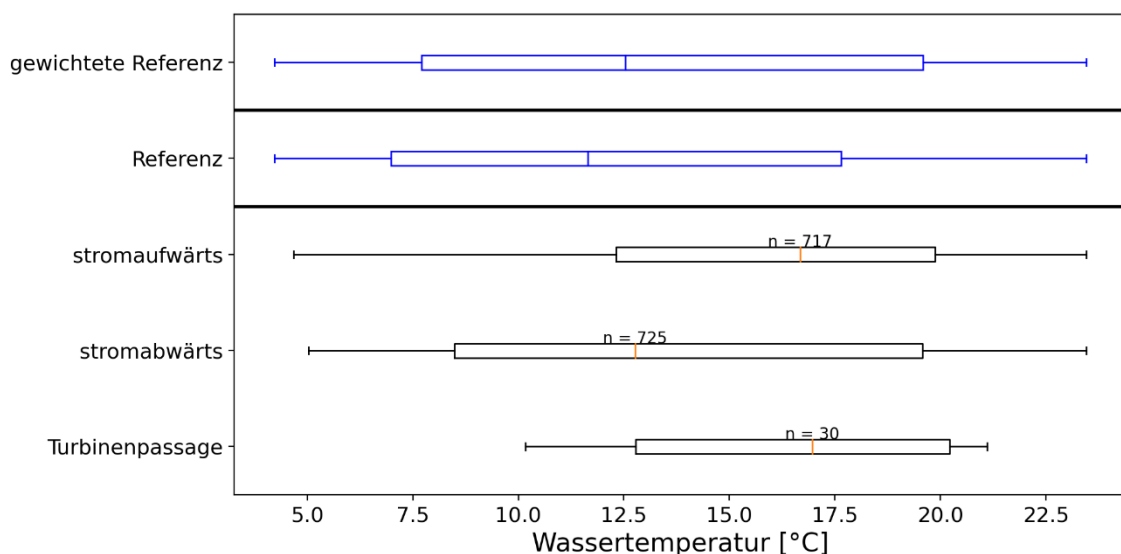


Abb. 5.28 Wassertemperatur, bei welcher stromauf- und abwärts gerichtete Fischbewegungen sowie Turbinenpassagen von Barben beobachtet wurden (Datengrundlage Wassertemperatur: BAFU).

Der Grossteil der stromauf- und stromabwärts gerichteten Fischbewegungen von Alet wurde bei Wassertemperaturen zwischen 12 °C und 18 °C registriert (Abb. 5.27). Die Mediane betragen rund 15 °C, während die Wassertemperaturen der Referenz und der gewichteten Referenz deutlich tiefer sind. Auch die Turbinenpassagen fanden grösstenteils bei höheren Wassertemperaturen statt. Diese Ergebnisse lassen sich auch mit der in Kapitel 5.9.2 beschriebenen Beobachtung erklären, dass Alet vermehrt während der Sommermonate wanderten.

Während bei Alet zwischen stromaufwärts und stromabwärts gerichteten Fischwanderungen bezüglich der Wassertemperatur kein Unterschied festgestellt wurde, zeigt Abb. 5.28, dass die Mediantemperatur des Aufstiegs bei Barben deutlich höher ist

als die Mediantemperatur des Abstiegs und der Referenzen. Interessant ist auch, dass bei Wassertemperaturen unter 10 °C keine Turbinenpassagen beobachtet wurden. Diese Beobachtung deckt sich mit den in den Kapiteln 5.9.2 und 5.9.3 beschriebenen Erkenntnissen, dass Barben im Winter kaum wanderten und nicht über die Turbine abstiegen.

Mit Abb. 5.29 wurde der Einfluss der Temperatur auf das Schwimmverhalten vor dem MH untersucht. Abb. 5.29a,b zeigen dabei alle Datenpunkte, welche bei Wassertemperaturen von $T \leq 15$ °C aufgezeichnet wurden und Abb. 5.29c,d alle während Wassertemperaturen $T > 15$ °C aufgezeichnete Datenpunkte.

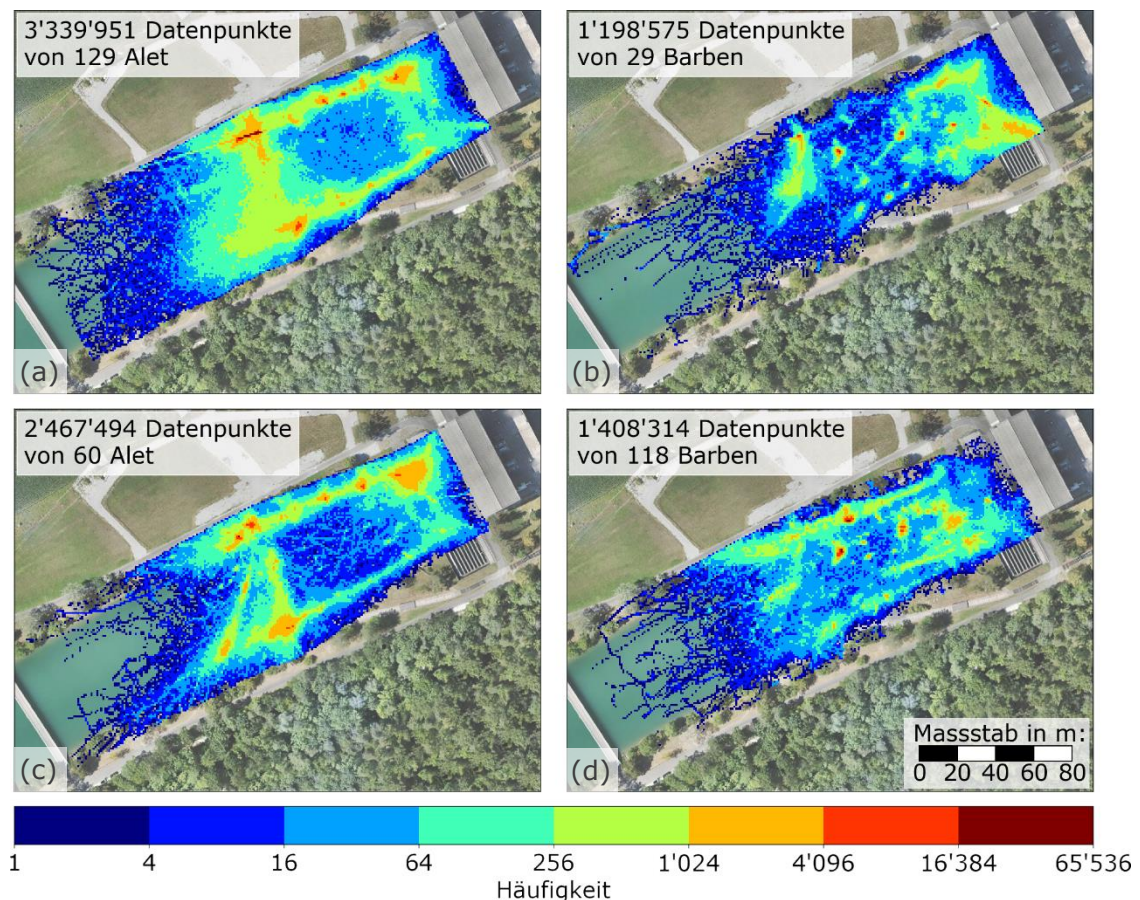


Abb. 5.29 Wassertemperatur $T \leq 15$ °C für (a) Alet und (b) Barben und $T > 15$ °C für (c) Alet und (d) Barben (Datenquelle Wassertemperatur: BAFU).

Abb. 5.29a,c zeigen, dass sich Alet unabhängig von der Wassertemperatur sehr ähnlich verhielten und die Randbereiche des Oberwasserkanals bevorzugten. Bei Barben konnte hingegen nur bei höheren Wassertemperaturen eine Präferenz zum linken Uferbereich beobachtet werden (Abb. 5.29d), während sich die Barben bei tieferen Temperaturen häufig im Nahbereich der rechten Turbine aufhielten (Abb. 5.29b). Dies deckt sich mit den in Kapitel 5.9.2 beschriebenen Beobachtungen, dass sich Barben im Sommer häufig im linken Uferbereich aufhielten, während sie im Herbst vermehrt vor der rechten Turbine detektiert wurden. Um die Sensitivität des gewählten Grenzwerts von $T = 15$ °C zu überprüfen, wurden die gleichen Analysen auch mit Grenzwerten von $T = 14$ °C und $T = 16$ °C durchgeführt. Die getroffenen Aussagen treffen auch mit diesen Grenzwerten zu.

5.9.6 Luftdruck

Beim Luftdruck handelt es sich um einen abiotischen Faktor, welcher das Fischverhalten direkt oder indirekt beeinflussen kann. Mit indirekt ist dabei gemeint, dass bei schönem Wetter ein spezielles Wanderverhalten beobachtet werden kann. Durch die Abhängigkeit des Luftdrucks und des Wetters könnte ein solcher Zusammenhang anhand der Auswertung des Luftdrucks nachgewiesen werden. Abb. 5.30 und Abb. 5.31 zeigen den Einfluss des bei der Wetterstation Buchs (AG) gemessenen Luftdrucks auf das Wanderverhalten der Fische auf.

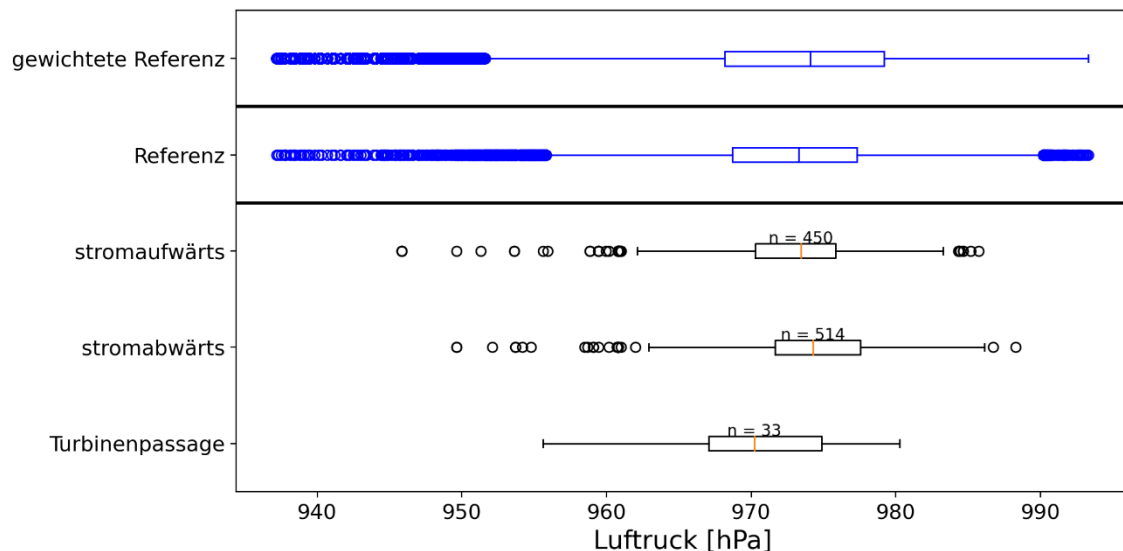


Abb. 5.30 Luftdrücke, bei welchen stromauf- und abwärts gerichtete Fischbewegungen sowie Turbinenpassagen von Alet beobachtet wurden (Datengrundlage Luftdruck: MeteoSchweiz).

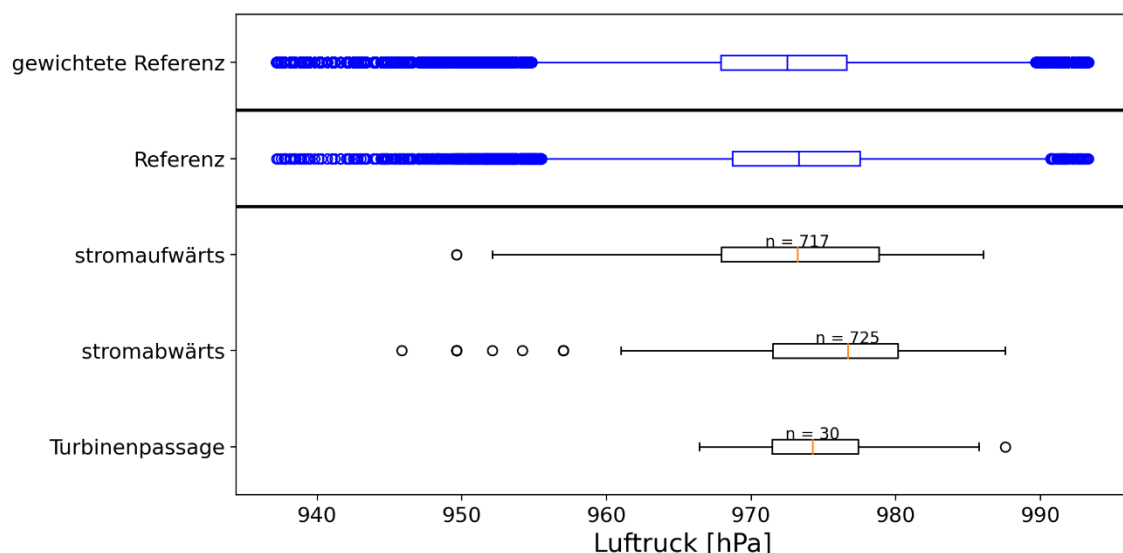


Abb. 5.31 Luftdrücke, bei welchen stromauf- und abwärts gerichtete Fischbewegungen sowie Turbinenpassagen von Barben beobachtet wurden (Datengrundlage Luftdruck: MeteoSchweiz).

Aus Abb. 5.30 und Abb. 5.31 wird weder für Alet noch für Barben ein klarer Zusammenhang zwischen dem Luftdruck und dem Wanderverhalten ersichtlich. Bei nahezu allen während der Untersuchungsperiode aufgetretenen Luftdrücken wurden

zumindest vereinzelte stromaufwärts oder stromabwärts gerichtete Fischbewegungen registriert. Bei sehr tiefen und sehr hohen Luftdrücken (<955 hPa bzw. >990 hPa) wurden keine Turbinenpassagen beobachtet. Daraus lässt sich jedoch nicht schliessen, dass bei diesen Luftdrücken generell keine Turbinenpassagen stattfinden, da diese extremen Luftdrücke nur verhältnismässig selten auftraten und diese Extremwerte durch die relativ geringe Anzahl an Turbinenpassagen somit nicht zuverlässig abgedeckt werden konnten.

5.9.7 Mondphase

In der Literatur wird häufig davon ausgegangen, dass die Mondphase bzw. die lunare Rhythmik das Wanderverhalten von Fischen beeinflusst. Um dies zu analysieren, zeigt Abb. 5.32a mit den auf die linke y-Achse bezogenen Balken für Alet, Barben und alle weiteren Fischarten die bereits in Kapitel 5.7 beschriebenen ersten stromabwärts gerichteten Durchstossunkte pro Fisch, wobei diese nach Mondphase aufgeschlüsselt sind. Die Punkte beziehen sich dabei auf die rechte y-Achse und geben die durchschnittliche Anzahl aktiver Tags während der entsprechenden Mondphase an. Abb. 5.32b zeigt die nach Mondphase und Fischart aufgeschlüsselte Anzahl an Positionsdaten.

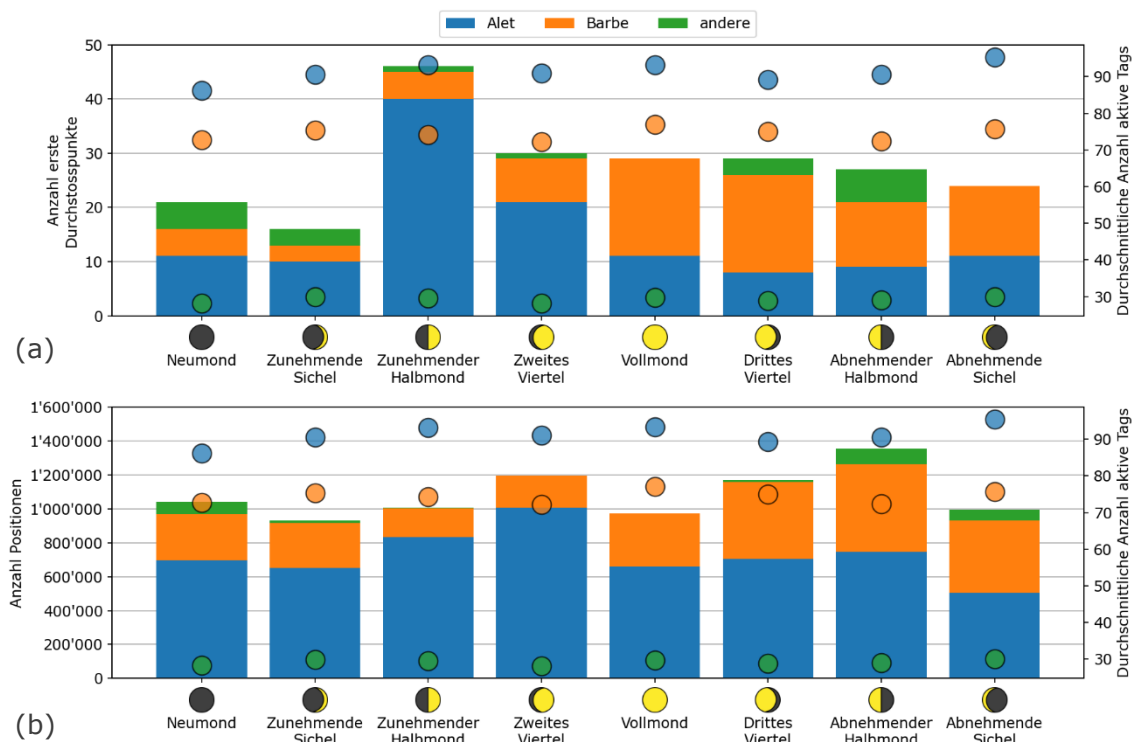


Abb. 5.32 Nach Mondphase aufgeschlüsselte (a) erste Durchstossunkte pro Fisch und (b) Anzahl registrierte Positionen (Datenquelle Symbole im Anhang 6).

Gemäss Abb. 5.32 gibt es weder eine Mondphase, während welcher sich besonders viele oder speziell wenige Fische vor dem MH des KWWB ansammelten. Dies, obwohl während aller Mondphasen nahezu gleich viele aktive Tags im System waren.

5.10 Einfluss des Fangorts und Redektionsrate

Alle Fische wurden, wie in Kapitel 5.3.2 im Detail beschrieben, basierend auf ihrem grossräumigen Wanderverhalten unterschiedlichen Gruppen zugeordnet. Abb. 5.33

zeigt die nach Fangort unterschiedene prozentuale Aufteilung dieser Fische in die Gruppen 0–5. Das grossräumige Wanderverhalten einzelner Individuen kann den Abbildungen im Anhang 5 entnommen werden.

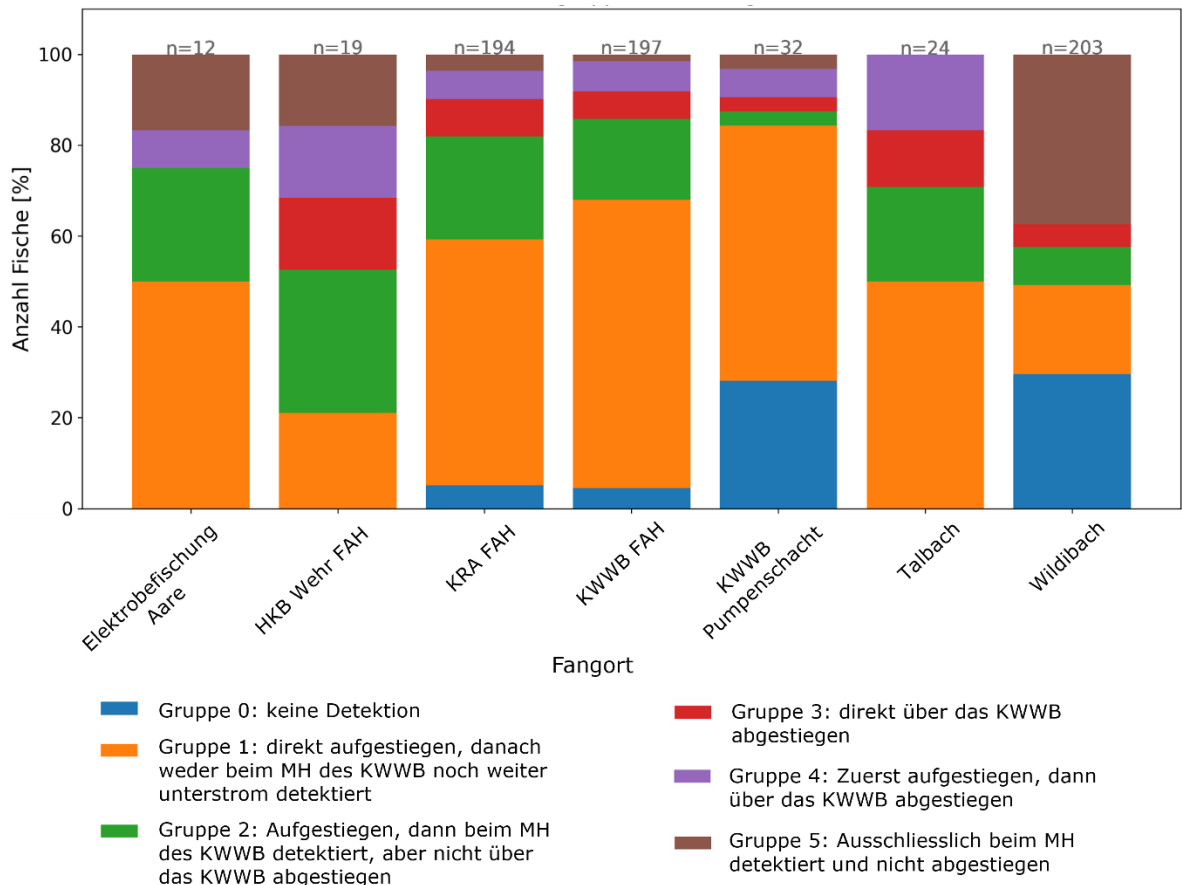


Abb. 5.33 Nach Fangort unterteilte Zuordnung der Fische in die Gruppen 0–5, wobei n der Anzahl markierten Fische je Fangort entspricht.

Mittels der in Abb. 5.33 gezeigten Daten kann die Redetektionsrate ermittelt werden. Diese entspricht dem Anteil aller markierten Fische, welche beim MH oder bei einer Aussenstation detektiert wurden. Insgesamt wurden 593 aller 681 während der Hauptuntersuchungsperiode dieses Projekts markierten Fische bei einer Station detektiert, was der Summe der Gruppen 1–5 in Abb. 5.33 entspricht. Die unabhängig vom Fangort berechnete Redetektionsrate aller Fische beträgt somit 87%. Gemäss Abb. 5.33 variierte die Redetektionsrate zwischen den Fangorten aber relativ stark. Bei den meisten Fangorten war die Redetektionsrate grösser als 94%. Nur bei den aus dem Pumpenschacht und Wildbach entnommenen Fischen war die Redetektionsrate mit 71% und 70% verhältnismässig gering. Aus dem Pumpenschacht wurden insgesamt nur 32 Fische markiert, davon 12 Fische am 3. Oktober 2019 und 20 Fische am 9. September 2021. Interessant ist dabei, dass alle der 2020 ausgesetzten, aber nur 55% der 2021 ausgesetzten Fische wieder detektiert wurden. Alle aus dem Wildbach entnommenen Fische wurden zwischen dem 29. September 2021 und dem 28. Oktober 2021 ausgesetzt. Von allen anderen Fangorten wurden nach dem 17. Juni 2021 hingegen insgesamt nur 18 Fische markiert. Aufgrund zunehmender Beschädigungen und dem hohen Unterhaltsaufwand (Kapitel 7.1), traten bei den Aussenstationen mit fortlaufender Untersuchungsdauer immer längere und grössere Datenlücken auf (Kapitel 5.2.2 und Anhang 3). Im Vergleich zu den Aussenstationen

funktionierte das Hydrophonnetz beim MH zwar verhältnismässig zuverlässig, jedoch häuften sich gegen Ende der Untersuchungsperiode auch dort die Datenlücken (Kapitel 5.2.1). Die tiefen Redetektionsraten der aus dem Pumpenschacht und Wildibach entnommenen Fische können somit über den Versuchsaufbau bzw. den Aussetzzeitpunkt erklärt werden. Diese Analyse zeigt auch, dass ein Grossteil der an den anderen Fangorten gefangenen Fische früher ausgesetzt wurde, und dass diese Fische entsprechend zuverlässig detektiert wurden.

Die Gruppe 5, bei welcher Fische nur beim MH detektiert wurden und nicht abstiegen, war v.a. bei den Fischen aus dem Wildibach häufig vertreten. Auch dies kann – ähnlich wie die tiefe Redetektionsrate – primär auf die schlechtere Verfügbarkeit der Aussenstationen gegen Ende der Untersuchungsperiode zurückgeführt werden. Da die Schwimmpfade der Fische der Gruppe 5 nicht auf einen Abstieg hindeuten, wird davon ausgegangen, dass diese Fische aufgestiegen sind. Auch bei der Elektrofischung aus der Aare und den Fischen aus der FAH beim Wehr des HKB war der Prozentsatz der Gruppe 5 relativ gross. Da an diesen Fangorten nicht viele Fische gefangen wurden, handelt es sich hierbei bei den Fischen in Gruppe 5 um wenige Individuen, sodass diese Zahlen nur bedingt aussagekräftig sind.

Neben dem Wildibach wurden v.a. viele aus den FAH des KWWB und KRA gefangenen Fische markiert. Das ursprüngliche Ziel war es, alle Fische aus diesen FAH zu beschaffen (Kapitel 4.7.1), da davon ausgegangen wird, dass diese Fische nach der Aufwärtswanderung ein natürliches Abstiegsverhalten zeigen. Interessant ist, dass die Aufteilung dieser Fische in die unterschiedlichen Wandergruppen nahezu identisch ist (Abb. 5.33). Über die Hälfte dieser Fische stiegen direkt auf und wurden nie wieder beim MH oder weiter unterstrom detektiert (Gruppe 1). 20% dieser Fische stiegen auf und wurden dann wieder beim MH detektiert, ohne jedoch weiter abzusteigen (Gruppe 2). 7% der Fische stiegen direkt über das MH des KWWB ab (Gruppe 3) und 6% zuerst auf und dann über das MH des KWWB ab (Gruppe 4). In nachfolgenden Vergleichen werden diese in der FAH des KWWB und KRA gefangenen Fische als Referenzfische bezeichnet.

Die Fische aus der Elektrofischung der Aare verhielten sich ähnlich wie die Referenzfische, mit der Ausnahme, dass keiner dieser Fische direkt abstieg (Gruppe 3). Diese Beobachtung ist aber aufgrund der geringen Stichprobengrösse nicht aussagekräftig.

Trotz der kleinen Stichprobe der in der FAH beim Wehr des HKB gefangenen Fische, wird aus Abb. 5.33 ersichtlich, dass diese Fische im Vergleich zu den Referenzfischen deutlich seltener aufstiegen ohne anschliessend wieder abzusteigen (Gruppe 1). Gleichzeitig stiegen diese Fische deutlich häufiger ab (Gruppe 3 und 4) und näherten sich dem MH nach einem Aufstieg auch wieder häufiger (Gruppe 2) als die Referenzfische. Aus diesen Beobachtungen kann vermutet werden, dass viele der beim HKB gefangenen und anschliessend translozierten Fische wussten, dass sich ihr ursprüngliches Habitat weiter stromabwärts befindet. Die beobachtete erhöhte Abwanderungswahrscheinlichkeit ist voraussichtlich darauf zurückzuführen, dass diese Fische wieder zu ihrem ursprünglichen Habitat zurückkehren wollten.

Die Fische aus der Elektrofischung der Aare verhielten sich ähnlich wie die Referenzfische mit der Ausnahme, dass keiner dieser Fische direkt abstieg (Gruppe 3). Diese Beobachtung ist aber aufgrund der geringen Stichprobengrösse nur bedingt aussagekräftig.

Relativ viele der im Pumpenschacht gefangenen Fische stiegen direkt auf und wurden nicht mehr beim MH detektiert (Gruppe 1). Unklar ist jedoch, ob diese Fische von ober- oder unterstrom des MH in den Pumpensumpf schwammen, wodurch unklar ist, ob diese Fische versuchten zu ihrem ursprünglichen Habitat zurückzukehren. Beachtet werden muss auch, dass im Pumpensumpf relativ viele Welse gefangen wurden, sodass sich die Artzusammensetzung stark von den anderen Fangorten unterscheidet.

Verhältnismässig viele der im Talbach gefangenen Fische stieg über das MH des KWWB ab (Gruppen 3 und 4). In Kapitel 5.3.3 wurde zudem gezeigt, dass einige dieser Fische von unterstrom in die Restwasserstrecke des KWWB einschwammen. Somit liegt die Vermutung nahe, dass zumindest ein Teil dieser im Talbach gefangenen Fische über den Düker, welcher die Restwasserstrecke des KWWB mit dem Talbach verbindet, zurück in den Talbach schwamm. Ob die aufgestiegenen Fische über das Wehr abstiegen und somit ebenfalls über den Düker in den Talbach schwammen, kann mit dieser Studie hingegen nicht beantwortet werden (Kapitel 5.3.3).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Redetektionsrate in diesem Projekt, mit Ausnahme der gegen Ende der Untersuchungsperiode ausgesetzten Fische, hoch war. Zwischen den an unterschiedlichen Fangorten beschafften Fischen wurden Verhaltensunterschiede festgestellt. Auffällig war, dass Fische mit erhöhter Wahrscheinlichkeit in Richtung ihres ursprünglichen Habitats wanderten. Insbesondere bei den beim KWWB und KRA beschafften Fischen wird von einem natürlichen Wanderverhalten ausgegangen, da diese Fische nicht, bzw. im Falle der beim KRA gefangenen Fische nur über eine kurze Distanz, transloziert wurden.

5.11 Ausgewählte Schwimm- und Wanderpfade

Bei den bisher gezeigten Auswertungen wurde jeweils das Verhalten möglichst vieler Fische gemeinsam analysiert, um zumindest bis zu einem gewissen Grad verallgemeinerbare Aussagen treffen zu können. Im Gegensatz dazu werden in diesem Kapitel ausgewählte Schwimmpfade einzelner Fische gezeigt. Diese sind zwar nicht zwingend repräsentativ für andere Fische, sie geben jedoch interessante Einblicke in das Fischverhalten. Zur besseren Visualisierung der Schwimmpfade wurden diese in sogenannte «Tracks» unterteilt, wobei jeder Track einem Teil des gesamten Schwimmpfades entspricht. Ein Schwimmpfad wurde jeweils in unterschiedliche Tracks unterteilt, wenn ein Fisch für mehr als fünf Minuten nicht im Hydrophonnetz vor dem MH detektiert wurde. Am besten kann das Schwimmverhalten der Fische anhand der als Video animierten Schwimmpfade beurteilt werden, auf welche mit dem folgenden QR-Code oder den Links in den Abbildungsbeschriftungen der Abb. 5.34–Abb. 5.42 zugegriffen werden kann.



Der Startpunkt eines jeden Tracks ist als blauer Kreis mit einer weissen Zahl dargestellt und der Endpunkt entsprechend als blaues Quadrat. In den Animationsplots eingeblendet sind dabei jeweils die Start- und Endpunkte der fünf vorhergehenden Tracks. Neben dem eigentlichen Schwimmpfad enthalten die Animationen viele weitere Daten, welche nachfolgend anhand des Beispiels in Abb. 5.34 erklärt.

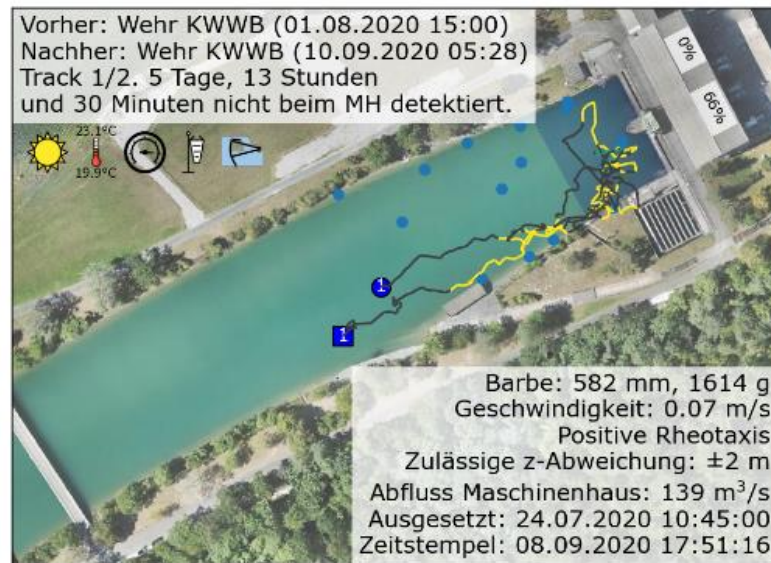


Abb. 5.34 Beispiel eines Tracks, welcher zur Erklärung aller abgebildeten Daten genutzt wird.

In der linken oberen Ecke wird angegeben, wo und wann der Fisch das letzte Mal vor bzw. das erste Mal nach dem aktuellen Track detektiert wurde. Am Ende eines Tracks wird zudem angegeben, wie lange der Fisch nach diesem Track nicht mehr beim MH detektiert wurde. Anhand der Symbole in der linken oberen Ecke ist ersichtlich, welche abiotischen Faktoren während des entsprechenden Tracks vorherrschten, wobei die einzelnen Symbole in der Legende im Anhang 6 erklärt werden. In der rechten unteren Ecke befinden sich u.a. Angaben zur Fischart, der Länge und dem Gewicht des Fisches. Die Geschwindigkeit und Rheotaxis in den Animationsplots beziehen sich jeweils auf den aktuellen Zeitpunkt und in den nachfolgenden Abbildungen auf den letzten Datenpunkt des entsprechenden Tracks. Die Schwimmtiefe wird mit der rechts eingeblendeten Farbskala angedeutet, wobei ein grauer Schwimmpfad bedeutet, dass der von YAPS berechnete Standardfehler ± 2 m übersteigt. Die auf dem MH dargestellten Prozentsätze geben für die linke und rechte Turbine an, mit wie vielen Prozent des Ausbaudurchflusses diese zum jeweiligen Zeitpunkt betrieben wurden.

Neben den einzelnen Schwimmpfaden wird auch das grossräumige Wanderverhalten anhand der Detektionen bei den Aussenstationen analysiert. Jeder vor dem MH aufgezeichnete Track ist dabei auch in der grossräumigen Auswertung als Datenpunkt zu sehen. Umgekehrt übersteigt die bei der grossräumigen Auswertung beim MH angegebene Anzahl Datenpunkte teilweise die Anzahl der Tracks beim MH. Dies liegt daran, dass bei der grossräumigen Datenauswertung schon das Signal eines Hydrophons für einen Datenpunkt ausreicht, während YAPS für die Ermittlung eines Tracks eine Mindestanzahl an Datenpunkten von mehreren Hydrophonen benötigt.

5.11.1 Barbe 506522: Suchbewegungen und Verbleib Oberwasser

Die mit der Tagnummer 506522 markierte Barbe wurde mit der Reuse in der FAH des KWWB gefangen, am 24. Juli 2020 markiert und anschliessend im Oberwasserkanal des KWWB ausgesetzt. Zum Zeitpunkt der Markierung war diese Barbe 582 mm lang und 1'614 g schwer. Abb. 5.35a zeigt das grossräumige Wanderverhalten dieser Barbe und Abb. 5.35b,c die beiden aufgezeichneten Tracks.

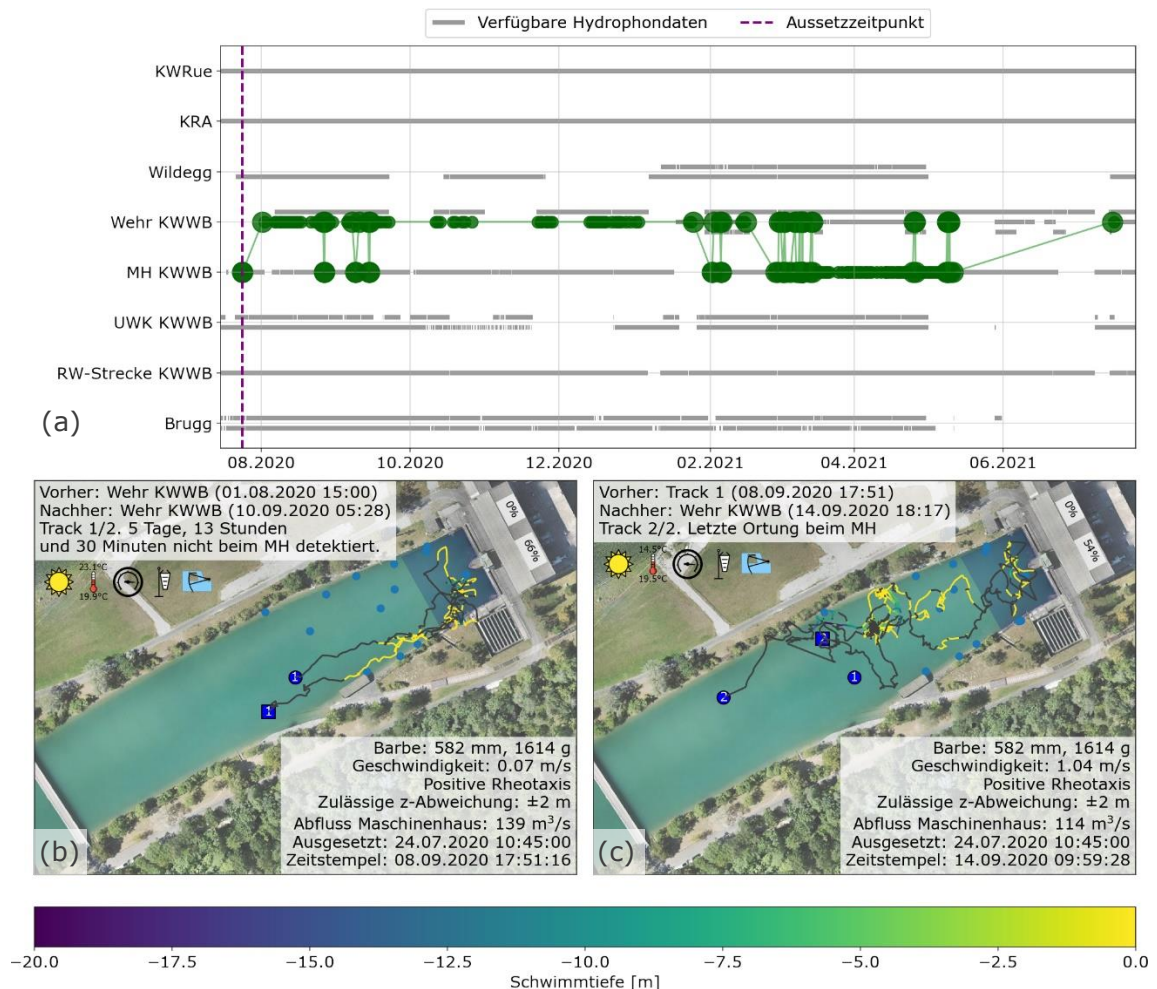


Abb. 5.35 Das Verhalten der Barbe 506522: (a) Grossräumiges Wanderverhalten und (b) und (c) die beiden Tracks (Quellenangaben Symbole im Anhang 6; Animation: <https://youtu.be/TICnK-UpZBI?si=26EhHAfER3uWHF6Y>).

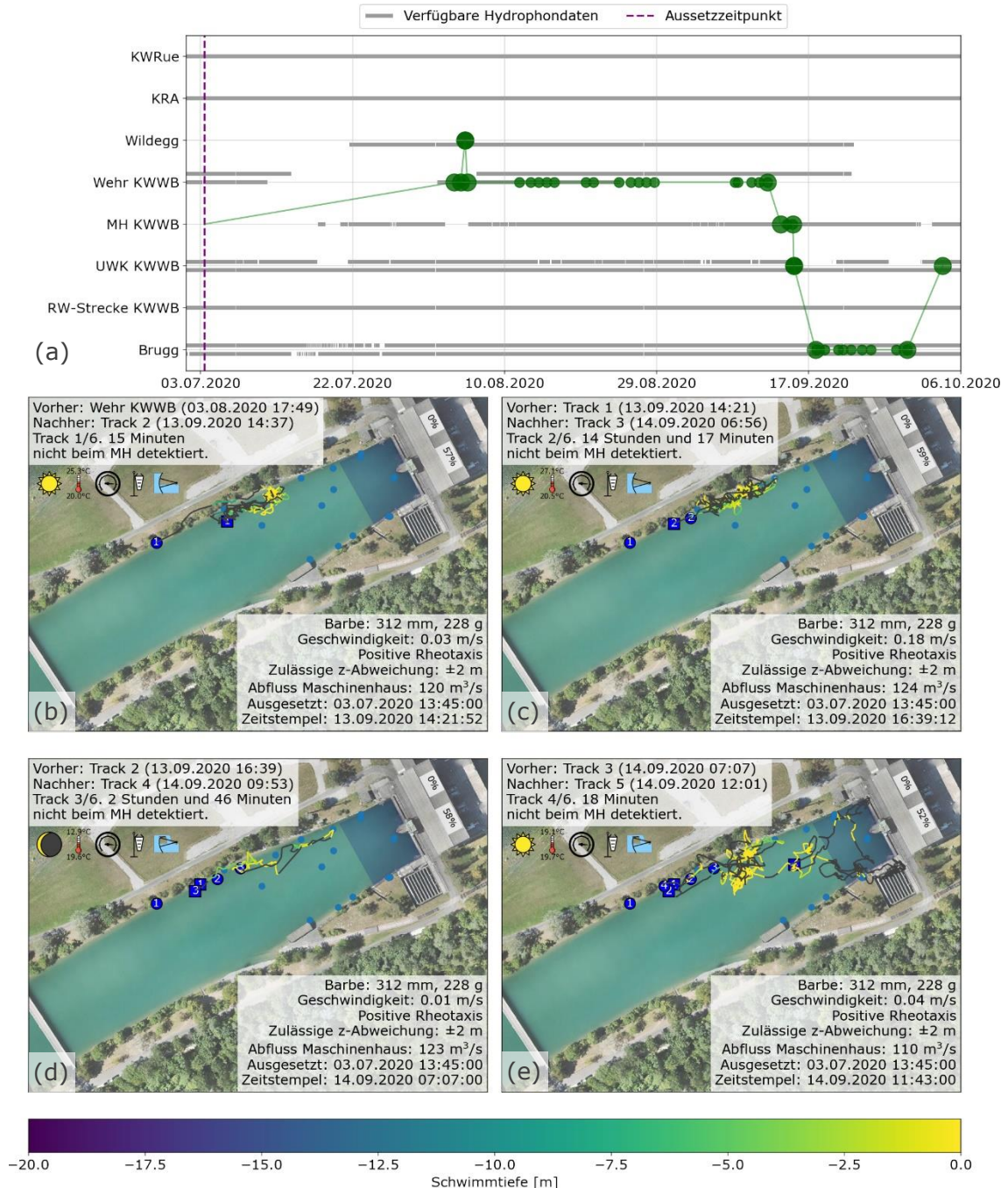
Aus Abb. 5.35a wird ersichtlich, dass diese Barbe primär zwischen dem MH und dem Wehr des KWWB hin- und herschwamm. Der graue Punkt in Abb. 5.35a zeigt, dass die Barbe während des mobilen Trackings am 26. Januar 2021 oberstrom des Wehrs des KWWB detektiert wurde. Noch weiter oberstrom oder unterstrom des KWWB wurde die Barbe hingegen nie detektiert.

Gemäss Abb. 5.35b näherte sich die Barbe am 8. September 2020, d.h. 46 Tage nachdem sie beim MH ausgesetzt wurde, dem MH entlang der rechten Kanalseite. Interessant ist dabei, dass während dieser Annäherung nur die rechte Turbine in Betrieb war. Nachdem die Barbe hauptsächlich in der rechten Kanalhälfte Suchbewegungen zeigte, verliess sie das Hydrophonnetz auch über diese Seite in Richtung oberstrom. Die nächste Ortung erfolgte dann beim Wehr des KWWB. Erst rund 5.5 Tage später tauchte die Barbe wieder beim MH auf.

Aus Abb. 5.35c wird ersichtlich, dass sich die Barbe beim zweiten Track dem MH des KWWB in der linken Kanalhälfte näherte. Sie querte den Kanal mehrmals und schwamm sowohl in den Nahbereich der linken als auch der rechten Turbine, bevor sie das Hydrophonnetz wieder in Richtung oberstrom verliess. Gemäss Abb. 5.35a wurde die Barbe zwar auch nach diesem Track noch mehrmals beim MH detektiert, die Datendichte war jedoch zu gering, um einen weiteren Track zu ermitteln.

5.11.2 Barbe 568123: Turbinenpassage

Die 312 mm lange und 228 g schwere Barbe mit der Tagnummer 568123 wurde ebenfalls mit der Reuse in der FAH des KWWB gefangen und am 3. Juli 2020 vor dem MH des KWWB ausgesetzt. Das Schwimm- und Wanderverhalten dieser Barbe kann Abb. 5.36 entnommen werden.



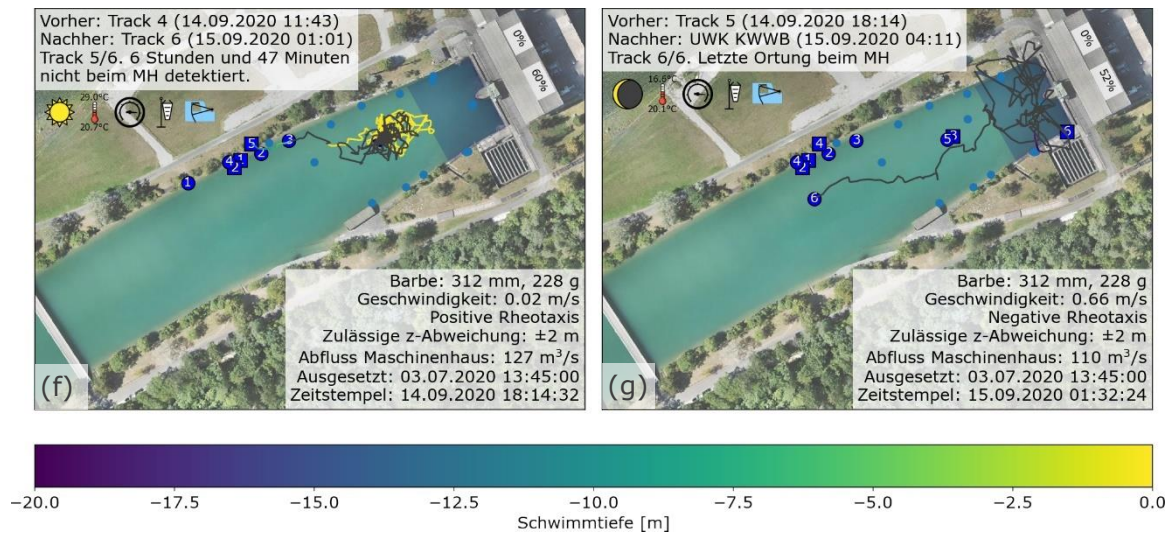


Abb. 5.36 Das Verhalten der Barbe 568123: (a) Grossräumiges Wanderverhalten und (b)–(g) alle beim MH aufgezeichneten Tracks (Quellenangaben Symbole im Anhang 6; Animation: https://youtu.be/eOtr1hFcYcw?si=uZbE_KBZOBjOra7d).

In den ersten Monaten nach dem Aussetztag wurde die Barbe primär beim Wehr des KWWB, aber auch einmal in Wildeggen detektiert (Abb. 5.36a). Im September stieg die Barbe dann innerhalb von wenigen Tagen vom Wehr über das MH und den Unterwasserkanal bis nach Brugg ab. Nachdem sich die Barbe über mehrere Tage im Bereich der Station in Brugg aufhielt, wurde sie noch einmal im Unterwasserkanal detektiert (Abb. 5.36a).

Die Tracks 1–3 in Abb. 5.36b–d zeigen, dass sich die Barbe ab dem 13. September wiederholt für mehrere Stunden im Hydrophonnetz aufhielt. In den Nahbereich der Turbinen schwamm die Barbe jedoch erst beim 4. Track (Abb. 5.36e). Beim 5. Track hielt sich die Barbe primär in der Kanalmitte auf (Abb. 5.36f). Knapp sieben Stunden nach diesem Track schwamm die Barbe wieder von oberstrom in das Hydrophonnetz hinein und suchte sowohl vor der geschlossenen linken, als auch vor der geöffneten rechten Turbine nach einem geeigneten Abstiegskorridor (Abb. 5.36g). Die letzte Detektion erfolgte dann vor der rechten Turbine, woraus geschlossen werden kann, dass die Barbe über diese Turbine abstieg. Knapp 38 Stunden später wurde die Barbe im Unterwasserkanal detektiert. Dadurch, dass bei der grossräumigen Auswertung der Barbe gemäss Abb. 5.36a nach der Turbinenpassage noch einmal eine stromaufwärts gerichtete Bewegung festgestellt wurde, kann geschlossen werden, dass die Barbe die Turbinenpassage überlebte.

5.11.3 Barbe 450516: Abstieg bis nach Beznau

Die mit der Tagnummer 450516 markierte Barbe wurde im Zählbecken des KRA gefangen und am 3. Juli 2020 im Oberwasserkanal des KWWB ausgesetzt. Zum Markierungszeitpunkt war diese Barbe 571 mm lang und 1'588 g schwer. Ein Schwimmpfad konnte für diese Barbe nicht ermittelt werden, da sie nie beim MH des KWWB detektiert wurde. Das in Abb. 5.37 gezeigte grossräumige Wanderverhalten ist jedoch sehr interessant und wird deshalb nachfolgend analysiert.

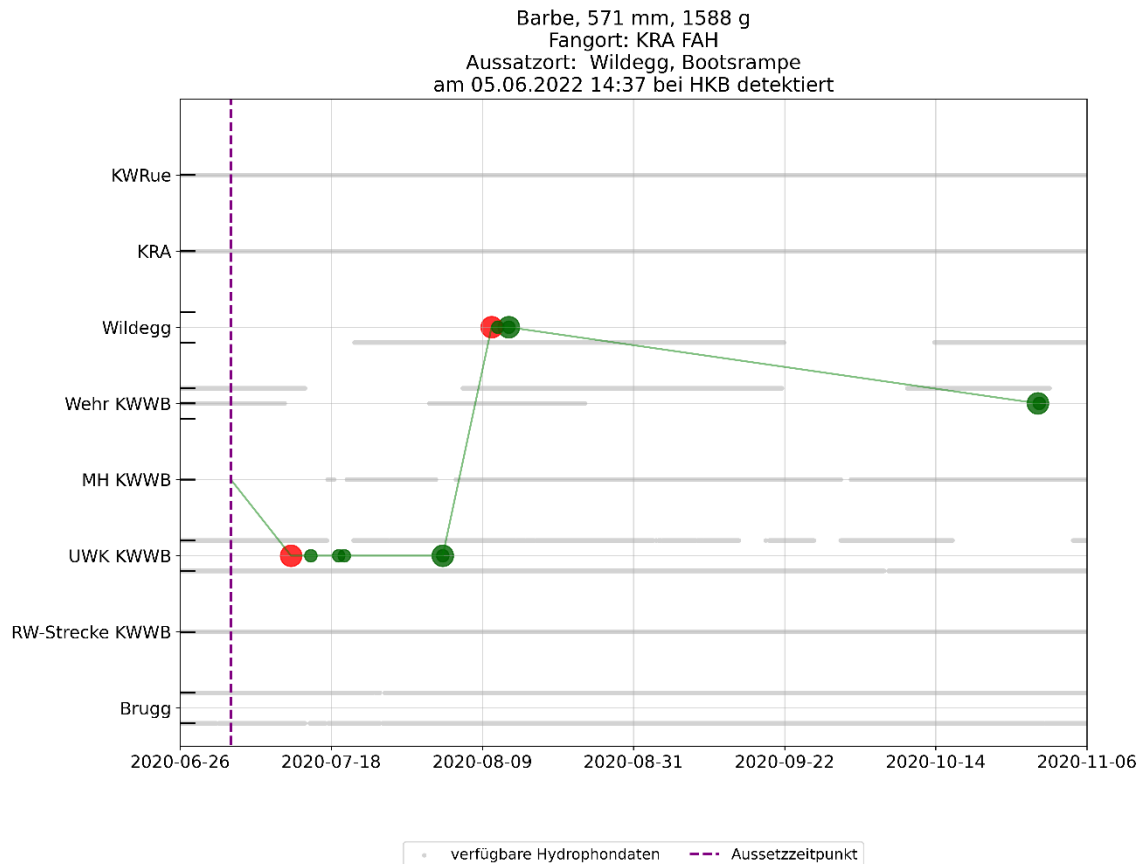


Abb. 5.37 Grossräumiges Wanderverhalten der mit der Tagnummer 450516 markierten Barbe.

Am 12. Juli 2020, d.h. 9 Tage nach dem Aussetzzeitpunkt, wurde die Barbe das erste Mal im Unterwasserkanal detektiert. In den darauffolgenden 22 Tagen fanden weitere Detektionen bei dieser Station statt. Aus den grauen Balken in Abb. 5.37 wird ersichtlich, dass das Hydrophonnetz beim MH zwischen dem Aussetzzeitpunkt und der ersten Detektion im Unterwasser nicht aktiv war. Dies ist auch der Grund, warum der Abstieg nicht mit einem Schwimmpfad dokumentiert werden konnte. Weil ein Abstieg über die Turbinen am wahrscheinlichsten ist, wurde in diesem Fall jedoch trotzdem – wie in Kapitel 5.3.3 beschrieben – von einer Turbinenpassage ausgegangen.

Anschliessend wurde die Barbe in Wildegg detektiert. Aufgrund der Datenlücken beim MH und Wehr und dem in Kapitel 7.1.1 beschriebenen Problemen bei der Aussenstation in der Restwasserstrecke des KWWB, kann nicht abschliessend beurteilt werden, ob die Barbe über die FAH beim MH oder die Restwasserstrecke aufstieg. Rund zwei Monate später wurde die Barbe dann beim Wehr des KWWB detektiert.

Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, wurde auch bei der Wirkungskontrolle der FAH beim Wehr des hydraulischen Kraftwerks Beznau (HKB) überprüft, ob während dieses Projekts markierte Fische registriert wurden. Von allen in diesem Projekt markierten Fische wurde nur die hier beschriebene Barbe in der FAH des HKB detektiert. Die erste Detektion fand am 5. Juni 2022 statt und somit über zwei Jahre nachdem die Barbe im Oberwasserkanal des KWWB ausgesetzt wurde. Da in der FAH beim Wehr des HKB mehrere PIT-tagging Antennen installiert waren, konnte festgestellt werden, dass die Barbe über die FAH aufgestiegen und nicht abgestiegen ist.

Das Beispiel dieser Barbe zeigt, dass zumindest einzelne Fische in der Aare beträchtliche Wanderdistanzen zurücklegen. Die Distanz zwischen der Aussenstation in Wildeggen und dem Wehr des HKB beträgt über 20 km. Da die Barbe über die FAH beim Wehr des HKB aufstieg, hielt sich die Barbe zeitweise mit Sicherheit auch unterstrom des Wehrs des HKB auf. Wie weit in Richtung unterstrom diese Barbe wanderte, konnte jedoch nicht ermittelt werden, da dieser Punkt ausserhalb des Untersuchungsperimeters lag. Aufgrund der Detektion in Beznau nach der Detektion beim Wehr des KWWB, ist die Barbe ein zweites Mal über das KWWB abgestiegen. Ob der Abstieg während einer Datenlücke oder nach Ablauf der Tag-Lebensdauer stattfand, kann jedoch nicht gesagt werden. Neben der langen Wanderdistanz zeigt dieses Beispiel auch wie schwierig die Nachverfolgung des Wanderverhaltens während Phasen mit mehreren Datenlücken ist.

5.11.4 Alet 437926: Abstieg über die FAH

Der 239 mm lange und 144 g schwere, im Wildibach gefangene, Alet mit der Tagnummer 437926 wurde am 18. Oktober 2021 vor dem MH des KWWB ausgesetzt. Das Schwimm- und Wanderverhalten dieses Alet kann Abb. 5.38 entnommen werden.

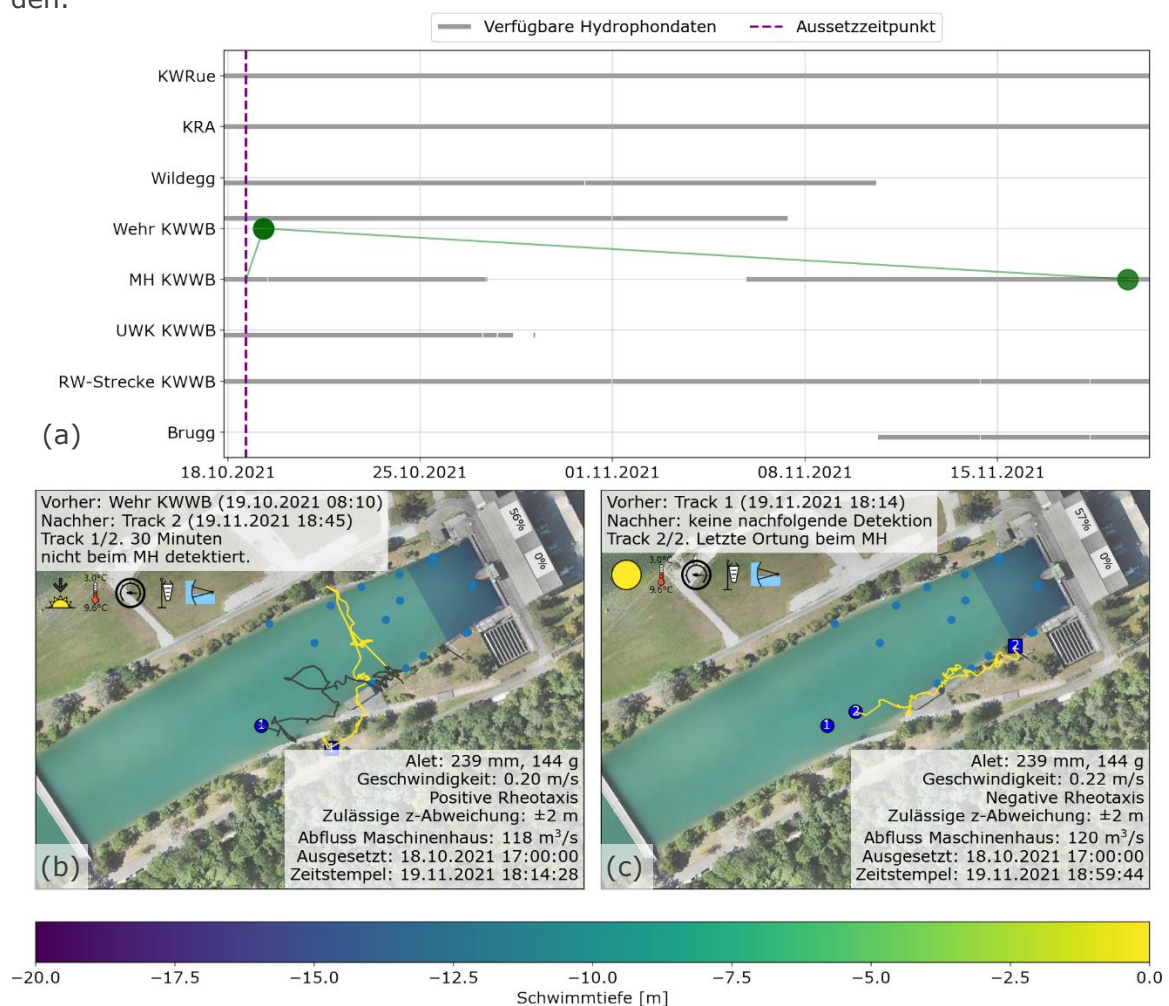
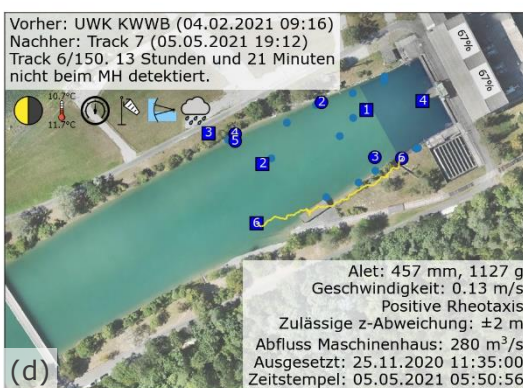
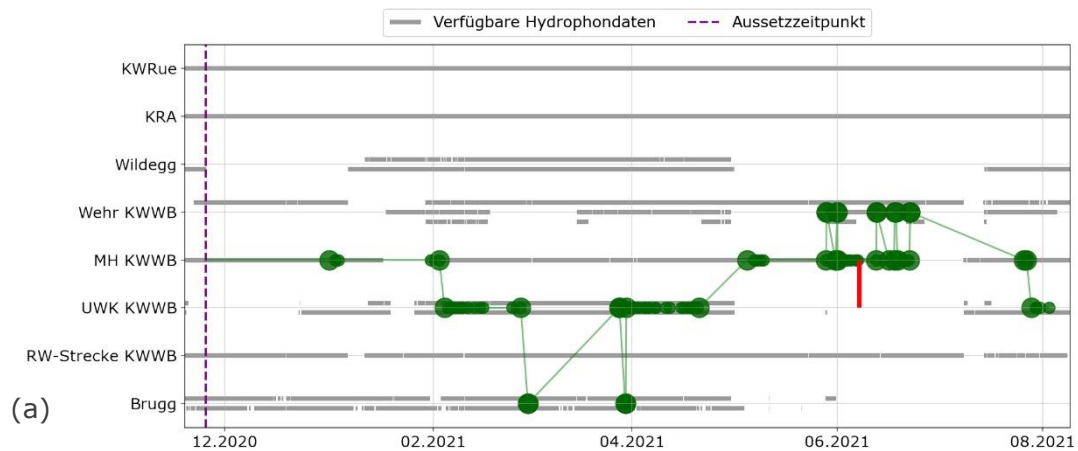


Abb. 5.38 Das Verhalten des Alet 437926: (a) Grossräumiges Wanderverhalten und (b) und (c) die beiden Tracks (Quellenangaben Symbole im Anhang 6; Animation: https://youtu.be/GCWLqzd8SkU?si=hRKcboZ860_EyIq2).

Einen Tag nach dem Aussetztag wurde der Alet beim Wehr des KWWB detektiert (Abb. 5.38a). Erst 31 Tage später erfolgte die erste Detektion beim MH, bei welcher sich der Alet gemäss dem Track 1 in Abb. 5.38b nur in der oberstromigen Hälfte des Hydrophonnetzes aufhielt. Dann verliess er das Hydrophonnetz in Richtung oberstrom, bevor er 30 Minuten später wieder auftauchte. Ohne sich im Nahbereich der Turbinen aufzuhalten, schwamm der Alet zielstrebig entlang des rechten Ufers zur FAH, wo auch der 2. Track aufhört (Abb. 5.38c). Nach diesem Abstieg über die FAH, wurde der Alet nicht mehr detektiert. Zu diesem Zeitpunkt war jedoch auch die Station im Unterwasserkanal ausser Betrieb (Abb. 5.38a).

5.11.5 Alet 568126: Drei Turbinenpassagen

Der 457 mm lange und 1'127 g schwere Alet, welcher aus dem Talbach stammt, wurde am 25. November 2020 vor dem MH des KWWB ausgesetzt. Das Schwimm- und Wanderverhalten dieses Alet kann Abb. 5.39 entnommen werden. Da von diesem Alet insgesamt 150 Tracks aufgezeichnet wurden, werden nachfolgend nur einige wenige ausgewählte Tracks gezeigt. Die weiteren Tracks können der in der Abbildungsunterschrift verlinkten Animation entnommen werden.



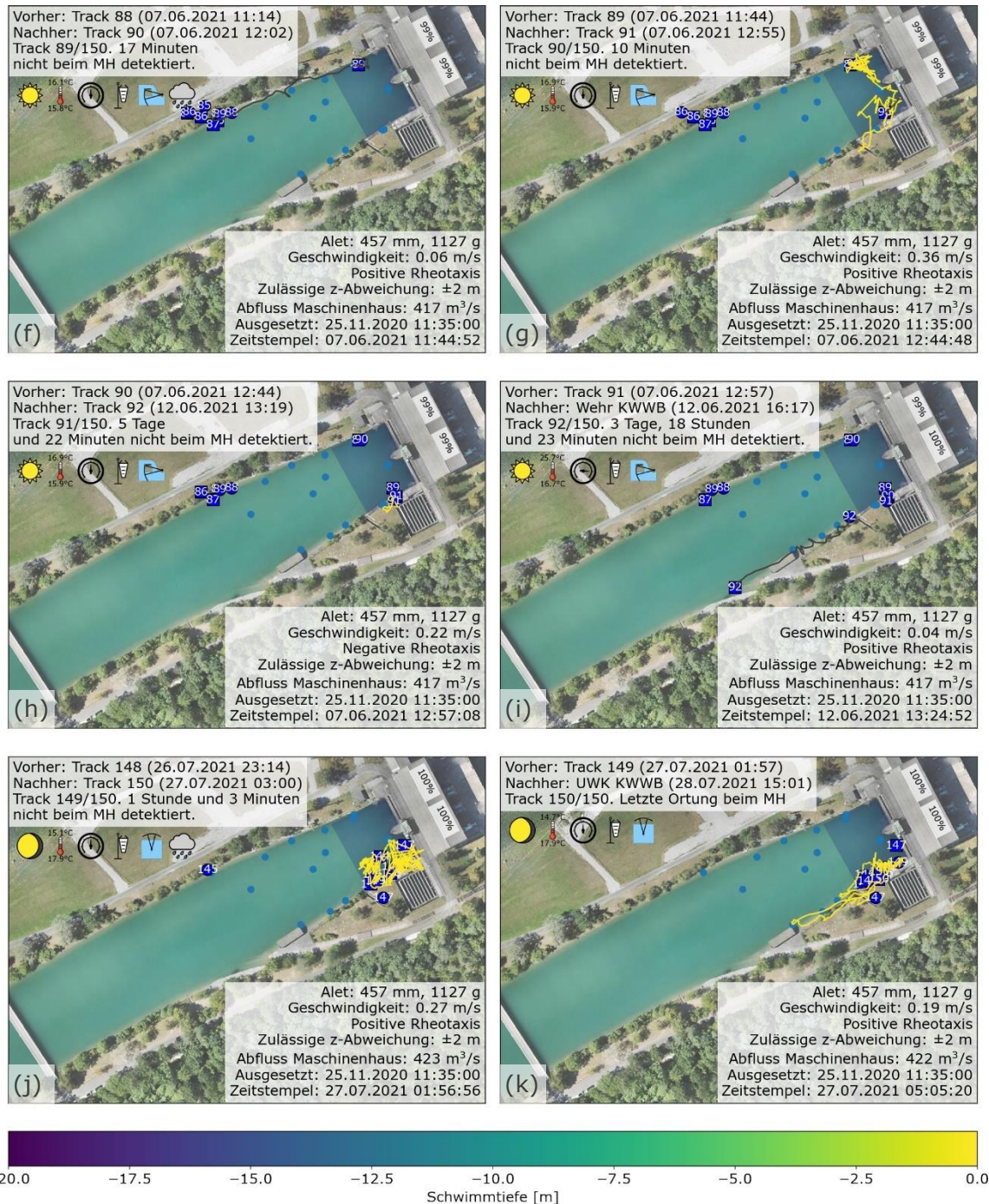


Abb. 5.39 Das Verhalten des Alet 568126: (a) Grossräumiges Wanderverhalten und (b)–(k) ausgewählte Tracks (Quellenangaben Symbole im Anhang 6; Animation: <https://youtu.be/cO0vmqVFAgM?si=JQrrSGozdTLXpEO>).

Aus Abb. 5.39a wird ersichtlich, dass der Alet wiederholt bei den Stationen beim Wehr des KWWB, MH, im Unterwasserkanal und in Brugg detektiert wurde und dass er dabei das Kraftwerk mehrmals und in beide Richtungen passierte.

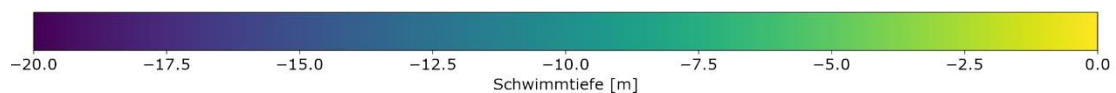
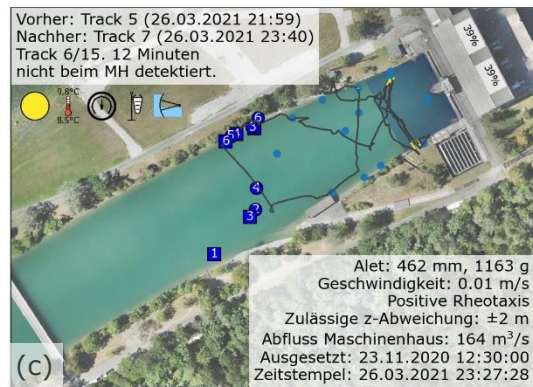
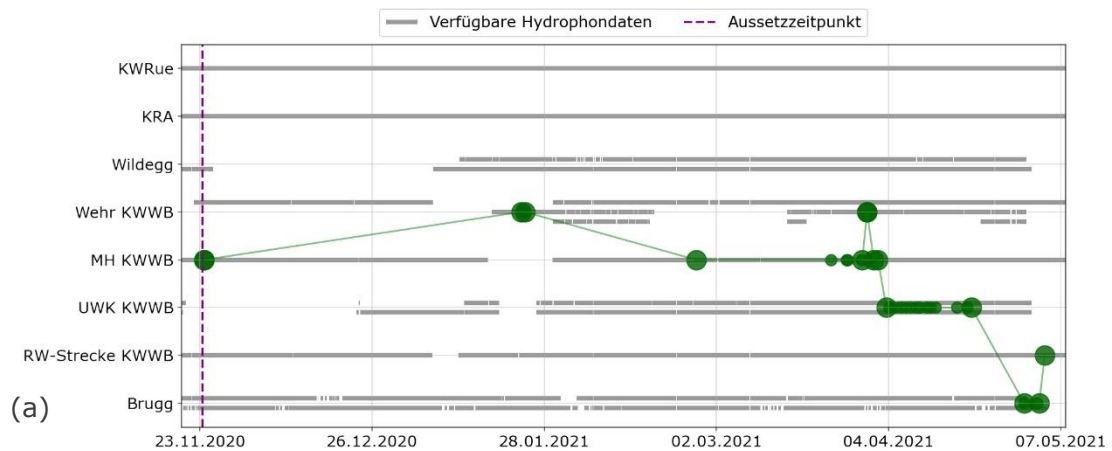
Der in Abb. 5.39b gezeigte Track 4, welcher 66 Tage nach dem Aussetzttag aufgezeichnet wurde und insgesamt 4.46 Stunden dauert, zeigt ausgeprägte Suchbewegungen entlang des linken Ufers. Dann verliess der Alet das Hydrophonnetz in

Richtung oberstrom, bevor er mehr als zwei Tage später wieder im Bereich des linken Ufers im Hydrophonnetz auftauchte (Track 5, Abb. 5.39c). Bei diesem Track schwamm der Alet zielstrebig entlang des Ufers auf die linke Turbine zu. Im Nahbereich der Turbinen zögerte der Alet zwar, doch dann stieg er über eine der beiden Turbinen ab, was aus dem turbinennahen Endpunkt des Tracks 5 in Abb. 5.39c ersichtlich ist. Die Turbinenpassage wurde durch die Detektion im Unterwasserkanal bestätigt (Abb. 5.39a), welche rund 38 Stunden später erfolgte. Rund 3 Monate nach der beschriebenen Turbinenpassage tauchte der Alet wieder vor dem MH auf.

Dadurch, dass der in Abb. 5.39d gezeigte Track 6 direkt beim Ausstieg aus der FAH startet, ist klar, dass der Alet die FAH beim MH für den Aufstieg nutzte. Der Alet verliess das Hydrophonnetz dann zielstrebig in Richtung Oberwasser (Abb. 5.39d). Der Track 22 in Abb. 5.39e veranschaulicht die intensiven Suchbewegungen, welche dieser Alet insbesondere in den Randbereichen, aber auch vor beiden Turbinen, durchführte. Insgesamt dauerte dieser Track knapp 7 Stunden. Während dieser 7 Stunden wurde dieser Alet ununterbrochen im Hydrophonnetz detektiert. Die effektiven Suchbewegungen dauerten jedoch noch viel länger, da diese auch die vorherigen und nachfolgenden Tracks umfassen. Abb. 5.39f–h zeigen die Tracks 89–91, bei welchen sich der Alet den Turbinen entlang des linken Ufers näherte, Suchbewegungen vor den Turbinen zeigte und dann etwas oberstrom der rechten Turbine das letzte Mal detektiert wurde. Der Track 90 startet dabei praktisch am Endpunkt des Tracks 89 und der Track 91 am Endpunkt des Tracks 90. Somit kann davon ausgegangen werden, dass es sich hierbei eigentlich um einen zusammenhängenden Schwimmpfad handelt. Die Unterteilung in die Tracks erfolgte jedoch, da der Fisch, wahrscheinlich aufgrund von Störgeräuschen im Nahbereich der Turbinen, zwischen den Tracks jeweils für mehrere Minuten nicht detektiert wurde. Der in Abb. 5.39h gezeigte Track 91 endet nicht unmittelbar vor den Turbinen. Da es trotzdem wahrscheinlicher ist, dass der Fisch über die rechte Turbine abgestiegen ist, als dass der Fisch das Hydrophonnetz in Richtung oberstrom oder über die FAH verliess, wurde in diesem Fall von einer zweiten Turbinenpassage ausgegangen. Der Alet wurde im Nachgang zwar nicht im Unterwasserkanal detektiert, die Station im Unterwasser war jedoch zu diesem Zeitpunkt auch nicht funktionsfähig (Abb. 5.39a). In Abb. 5.39a wurde diese Turbinenpassage als rote vertikale Linie eingezeichnet. Die Vermutung, dass es sich beim Track 91 um eine Turbinenpassage handelte, wird durch den in Abb. 5.39i gezeigten Track 92 verstärkt, welcher nahezu identisch wie der in Abb. 5.39d gezeigte Track 6 ist. Auch der Track 91 startet beim Ausstieg aus der FAH und zeigt, dass der Alet anschliessend das Hydrophonnetz direkt in Richtung Oberwasser verliess. Ende Juli 2021 hielt sich der Alet erneut häufig vor dem MH auf, wobei die Tracks 149 und 150 in Abb. 5.39j,k wieder ausgeprägte Suchbewegungen vor der rechten Turbine zeigten. Der Track 150 endet vor der rechten Turbine, woraus sich schliessen lässt, dass dieser Alet ein drittes Mal über die Turbine abstieg. Diese Turbinenpassage wird durch eine anschliessende Detektion im Unterwasserkanal bestätigt (Abb. 5.39a). Ob der Alet auch diese dritte Turbinenpassage überlebte, kann nicht gesagt werden, da nach dieser Turbinenpassage keine stromaufwärts gerichtete Bewegung mehr registriert wurde.

5.11.6 Alet 551309: Einstieg in die Restwasserstrecke

Der Alet mit der Tagnummer 551309, welcher am 13. November 2020 im Talbach gefangen und am selben Tag markiert und im Oberwasserkanal des KWWB ausgesetzt wurde, war zum Aussetzzeitpunkt 462 mm lang und 1'163 g schwer. Das grossräumige Wanderverhalten sowie ausgewählte Tracks sind in Abb. 5.40 ersichtlich.



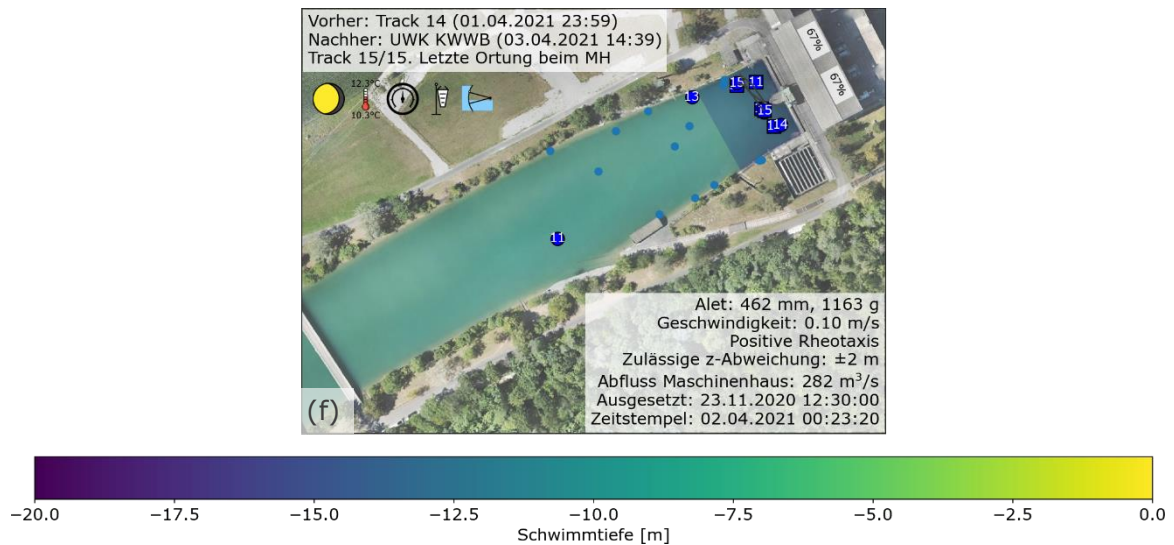


Abb. 5.40 Das Verhalten des Alet 551309: (a) Grossräumiges Wanderverhalten und (b)–(f) ausgewählte Tracks (Quellenangaben Symbole im Anhang 6; Animation: <https://youtu.be/xxDsI1K5P4Y?si=WGq4ImQJJtsgIcWf>).

Schon am Aussetztag wurde der Alet beim MH detektiert und zeigte dort Suchbewegungen, welche sich jedoch auf das orografisch linke Ufer und den Nahbereich vor der geschlossenen linken Turbine konzentrierten (Abb. 5.40b). Anschliessend stieg der Alet zuerst bis zum Wehr des KWWB auf, bevor über einen Zeitraum von 32 Tagen mehrmals beim MH detektiert wurde (Abb. 5.40a). Bei den beim MH aufgezeichneten Tracks bewegte sich der Alet teilweise nur im oberstromigen Bereich des Hydrophonnetzes, teilweise schwamm er jedoch auch bis auf Höhe des Trennpfeilers. Dies wird aus den ausgewählten Tracks 6 und 9 in Abb. 5.40c,d ersichtlich. Interessant ist dabei auch, dass dieser Alet mehrmals zwischen dem linken und rechten Ufer hin und her schwamm. Im unmittelbaren Nahbereich der Turbinen wurde der Alet bis zu diesem Zeitpunkt mit Ausnahme des 1. Tracks (Abb. 5.40a) vor der geschlossenen Turbine jedoch nie detektiert.

Am 1. April 2021 schwamm der Alet wieder in das Hydrophonnnetz (Abb. 5.40e). Nach dem in Abb. 5.40e dargestellten Track 11 folgten am selben Abend noch vier kurze Tracks, welche jeweils direkt vor den Turbinen starteten und endeten. Es wird davon ausgegangen, dass sich der Alet zwischen diesen Tracks im Nahbereich der Turbinen und gegebenenfalls sogar schon unterstrom des Rechens befand, wodurch sein Schwimmpfad durch die starken Störgeräusche in diesem Bereich nicht aufgezeichnet werden konnte. Abb. 5.40f zeigt die letzte Detektion dieses Alet vor dem MH, woraus sich schliessen lässt, dass der Alet über die Turbine abstieg.

Nach der Turbinenpassage wurde der Alet während 17 Tagen sehr häufig bei der Station im Unterwasserkanal detektiert (Abb. 5.40a). Da diese Station knapp oberstrom des Zusammenflusses des Unterwasserkanals mit der Restwasserstrecke des KWWB befand (Abb. 4.2), ist es möglich, dass der Alet schon zu diesem Zeitpunkt nach einer Möglichkeit suchte, um in die Restwasserstrecke einzuschwimmen. Hierbei handelt es sich jedoch nur um eine Vermutung, welche weder bestätigt noch widerlegt werden kann. Anschliessend stieg der Alet bis nach Brugg ab, bevor er in der Restwasserstrecke des KWWB detektiert wurde (Abb. 5.40a). Somit ist klar, dass dieser Alet von unterstrom über die FAH beim Dacherwehr in die Restwasserstrecke einschwamm und nicht von oberstrom über das Wehr. Da dieser Alet im Talbach gefangen wurde und der Talbach mit einem Düker mit der Restwasserstrecke verbunden

ist, ist es naheliegend, dass dieser Alet in den Talbach zurückkehrte. Nachgewiesen konnte dies jedoch nicht werden, da weder im oberen Bereich der Restwasserstrecke noch im Talbach ein Hydrophon installiert war. Klar ist jedoch, dass der Alet nicht im Talbach überwinterte, da er im November 2020 ausgesetzt wurde und erst im Mai 2021 in die Restwasserstrecke einstieg.

5.11.7 Egli 402906: Suchbewegungen und Verbleib Oberwasser

Das 241 mm lange und 189 g schwere Egli wurde im Zählbecken des KRA gefangen, mit der Tagnummer 402906 markiert und am 9. Oktober 2020 im Oberwasserkanal des KWWB ausgesetzt. Das Schwimm- und Wanderverhalten dieses Egli kann Abb. 5.41 entnommen werden.

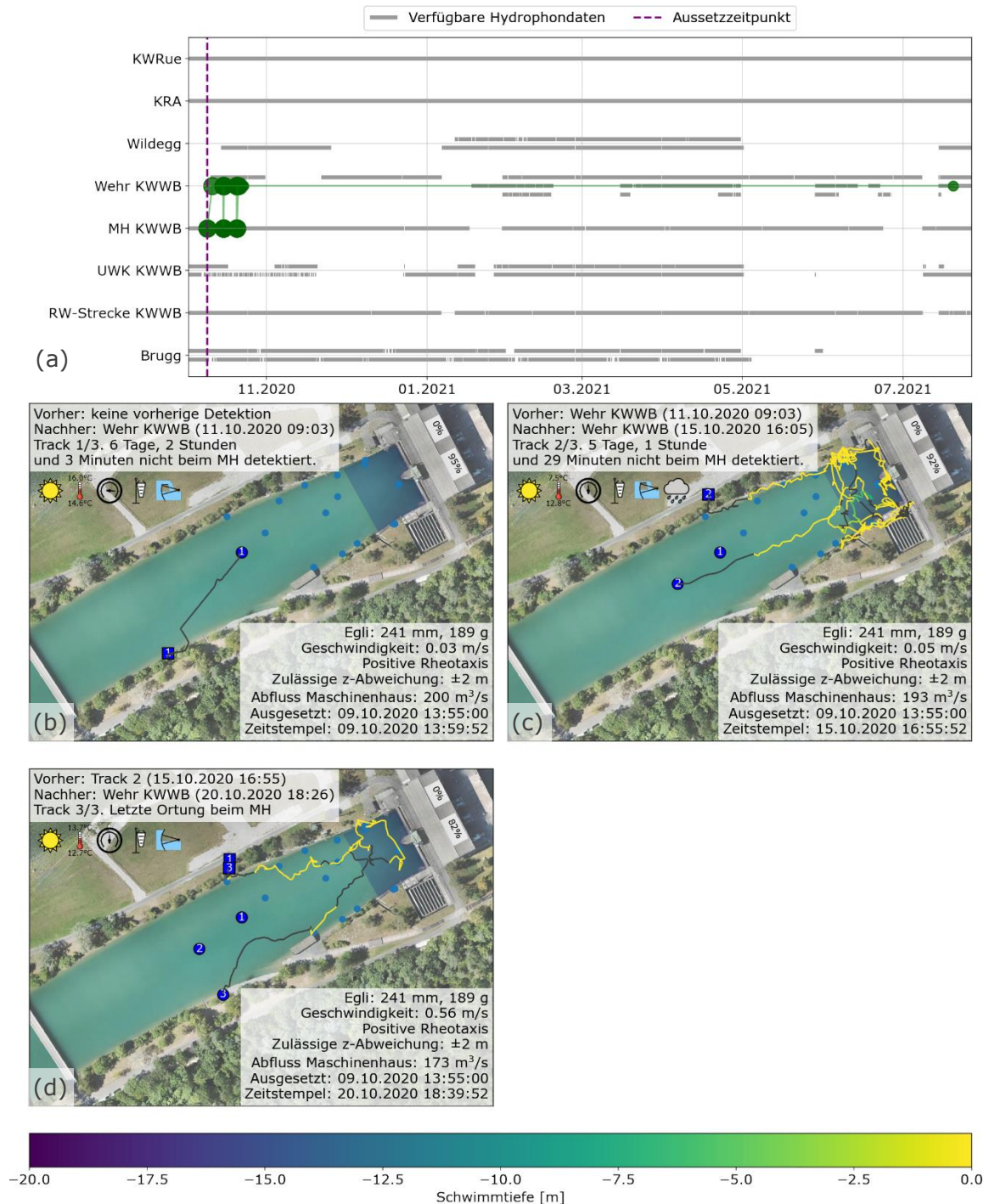


Abb. 5.41 Das Verhalten des Eglis 402906: (a) Grossräumiges Wanderverhalten und (b)–(d) alle drei beim MH aufgezeichneten Tracks (Quellenangaben Symbole im Anhang 6; Animation: https://youtu.be/2l7e_BQPOCI?si=3DcEuMMvRkh5zYJ2).

Nachdem das Egli ausgesetzt wurde, schwamm es innerhalb weniger Tage dreimal zwischen dem MH und dem Wehr hin und her (Abb. 5.41a). Die erste Detektion des Eglis erfolgte schon wenige Minuten nachdem er ausgesetzt wurde und zeigt, dass er das Hydrophonnetz direkt in Richtung oberstrom verliess (Abb. 5.41b). Etwas mehr als sechs Tage später tauchte das Egli wieder vor dem MH auf und schwamm dabei sowohl in den Nahbereich der geöffneten (rechten) als auch geschlossenen (linken)

Turbine (Abb. 5.41c). Dann verliess das Egli das Hydrophonnetz für 5 Tage, bevor er am rechten Ufer auftauchte, erneut in die Nähe der Turbinen schwamm, das Hydrophonnetz jedoch schliesslich im linken Uferbereich verliess (Abb. 5.41d). Rund sieben Monate später wurde das Egli dann noch einmal beim Wehr des KWWB detektiert.

5.11.8 Egli 428126: Abstieg am Aussetztag

Das Egli mit der Tagnummer 428126 wurde mit der Reuse in der FAH des KWWB gefangen und am 9. Oktober 2020 im Oberwasserkanal des KWWB ausgesetzt. Zu diesem Zeitpunkt war das Egli 241 mm lang und 167 g schwer. Das Schwimm- und Wanderverhalten dieses Eglis kann Abb. 5.42 entnommen werden.

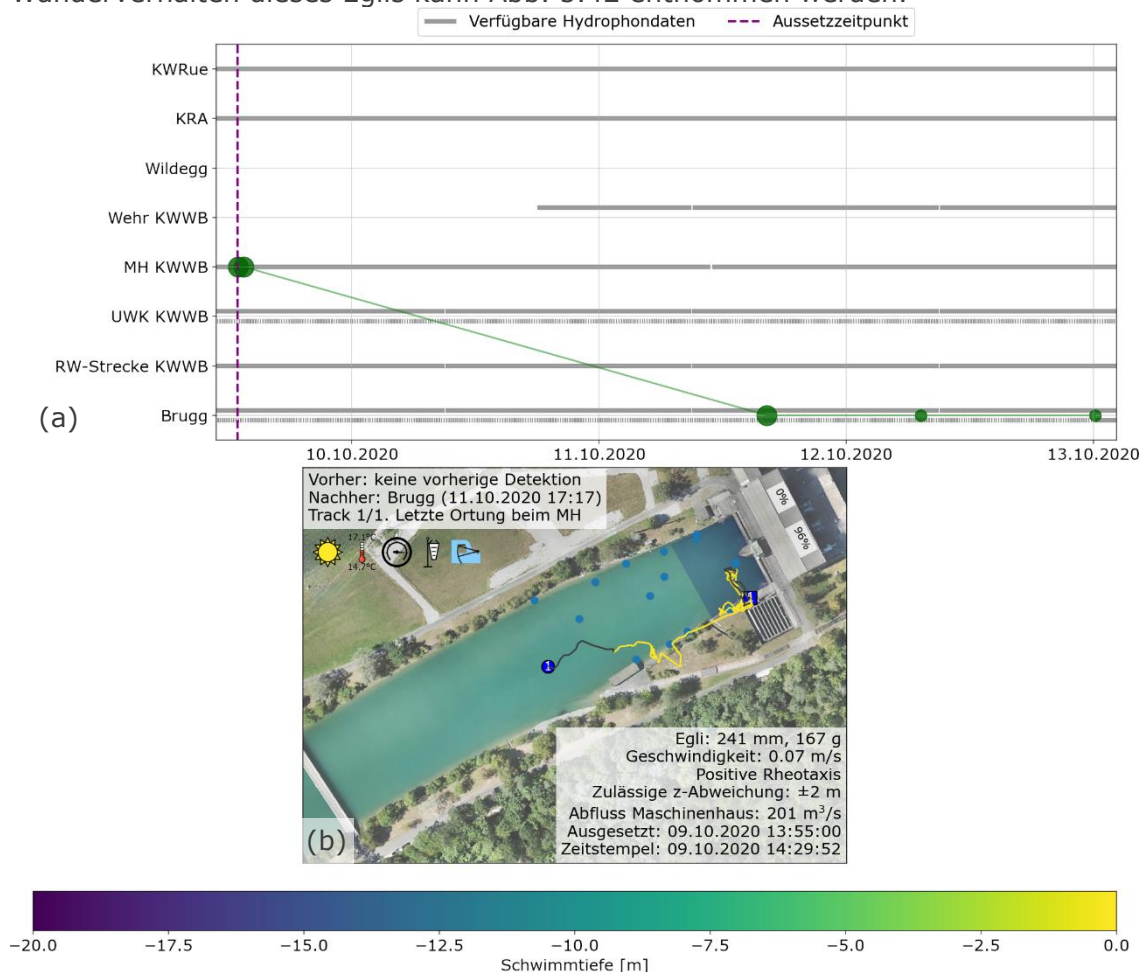


Abb. 5.42 Das Verhalten des Eglis 428126: (a) Grossräumiges Wanderverhalten und (b) der einzige vor dem MH aufgezeichnete Track (Quellenangaben Symbole im Anhang 6; Animation: https://youtu.be/K3ldWRSsDxU?si=-bnFZCNtc_wzZ6RC).

Abb. 5.42a zeigt, dass das Egli am Aussetztag beim MH detektiert wurde und dann zwei Tage später das erste Mal in Brugg. Warum das Egli bei der Station im Unterwasserkanal nicht detektiert wurde, ist unklar, da diese Station gemäss Abb. 5.42a in Betrieb war.

Besonders interessant ist der Zeitpunkt des in Abb. 5.42b gezeigten Schwimmpfades, weil dieser bereits rund eine Stunde nach dem Aussetzzeitpunkt startet. Während des 33 Minuten langen Tracks war nur die rechte Turbine in Betrieb und das Egli hielt sich nur in der rechten Kanalhälfte auf.

Dadurch dass das Egli mit der Reuse in der FAH gefangen wurde, ist klar, dass er sich eigentlich auf einer stromaufwärts gerichteten Wanderung befand. Dass er dennoch rund 1.5 Stunden nach dem Aussetzzeitpunkt über die Turbine abstieg, lässt ein unnatürliches Abstiegsverhalten vermuten. Wie stark das Verhalten durch das Handling und den Markierprozess tatsächlich beeinflusst wurde, kann jedoch nicht abschliessend gesagt werden.

6. Antworten auf Fragen aus dem Pflichtenheft

Nachfolgend werden die bereits in Kapitel 2 erwähnten Fragestellungen aus dem Pflichtenheft wiederholt. Alle Fragen werden im Sinne einer kurzen Zusammenfassung beantwortet. Zudem wird auf das Kapitel verwiesen, in welchem die Antworten auf die entsprechende Frage nachgelesen werden können. Falls eine Frage im Rahmen dieses Projekts nicht oder nur teilweise beantwortet werden konnte, werden die entsprechenden Gründe erläutert.

Wie verhalten sich bestimmte Individuen bei ihrer Abwanderung vor dem Kraftwerk?

Alet näherten sich dem Kraftwerk hauptsächlich in den Uferbereichen, während Barben auch häufig in der Kanalmitte auf das Kraftwerk zuschwammen. Die Fische nahmen das Kraftwerk als Hindernis wahr und schwammen nicht direkt durch die Turbinen. Stattdessen führten sie Suchbewegungen im Nahbereich des MH durch. Bei Alet konzentrierten sich diese Suchbewegungen auf strömungsberuhigte Bereiche wie beispielsweise den Einlaufbereich vor geschlossenen Turbinen. Im Unterschied dazu suchten Barben auch häufig Zonen mit höheren Fliessgeschwindigkeiten auf, wie beispielsweise den Einlaufbereich vor geöffneten Turbineneinläufen. Die Dauer einer Annäherung an das Kraftwerk variierte zwischen den Individuen stark, wobei eine typische Annäherung ungefähr 1 Stunde dauerte. Nach den meisten Annäherungen entschieden sich die Fische dazu im Oberwasser zu verbleiben. Ein verhältnismässig kleiner Teil der Fische entschied sich hingegen für einen Abstieg über die Turbinen oder die FAH. Viele Fische näherten sich dem Kraftwerk zu einem späteren Zeitpunkt erneut, wobei vereinzelt sogar über 100 Annäherungen an das Kraftwerk beobachtet wurden. Während der Annäherungen bzw. Suchbewegungen richteten sich die Fische überwiegend mit positiver Rheotaxis aus, d.h. mit der Schwanzflosse voraus. Weitere Details zum Abwanderverhalten der Fische können insbesondere den Kapiteln 5.3–5.8 entnommen werden. In Kapitel 5.11 wird zudem das Schwimm- und Wanderverhalten ausgewählter Individuen im Detail beschrieben.

Welche Wanderkorridore nutzen die Fische bei der Abwanderung?

Insgesamt stiegen 80 Fische über die Turbinen ins Unterwasser ab, wobei davon jeweils ein Fisch mutmasslich 2-mal und ein Fisch mutmasslich 3-mal über die Turbine abstieg. Die FAH wurde nur von drei Fischen nachweislich für den Abstieg genutzt. Ein Wehrabstieg konnte während dieser Studie nicht nachgewiesen werden. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass während der Untersuchungsperiode markierte und über die Restwasserstrecke des KWWB abgestiegene Fische von der Station in der Restwasserstrecke nicht zuverlässig detektiert wurden, da das Hydrophon mutmasslich von Sedimenten überdeckt wurde. Daher kann basierend auf den Resultaten der vorliegenden Untersuchung nicht abgeschätzt werden, wie viele Fische über das Wehr und die Restwasserstrecke des KWWB abgestiegen sind. Weitere Informationen zur Nutzung der verschiedenen Abwanderungskorridore kann Kapitel 5.3.3 entnommen werden.

Wie lange dauert die Passage des Kraftwerks

Die Dauer der Annäherungen an das Kraftwerk variierte zwischen wenigen Sekunden und 41 Stunden. Berücksichtigt werden muss zudem, dass sich Fische dem KWWB häufig mehrmals annäherten, bevor sie dieses passierten. Die Dauer der Annäherungen, bei welchen sich die Fische dann für eine Turbinenpassage entschieden, variierte zwischen wenigen Minuten und über acht Stunden. Genaue Angaben zur Dauer der Kraftwerkspassage sind aber auch deshalb schwierig, da diese von der verwendeten Definition und der durchgeführten Auswertung abhängen. Klar ist jedoch, dass die während dieser Studie untersuchten Fische das KWWB nicht verzögerungsfrei passierten. Stattdessen führten sie intensive Suchbewegungen durch, nach welchen sie sich in gewissen Fällen für eine Turbinenpassage entschieden. Weitere Details zur Dauer der Annäherungen an das Kraftwerk und zur Dauer der Turbinenpassagen werden in Kapitel 5.5.1 beschrieben.

Wann wandern die Fische ab (Abfluss, Temperatur, Jahreszeit, etc.)?

Generell wurden einige Zusammenhänge zwischen dem Fischwanderverhalten und den abiotischen Faktoren wie Abfluss, Temperatur und Jahreszeit beobachtet. In den meisten Fällen war die Streuung aber relativ gross und es gab Fische, welche sich entgegen des beobachteten Trends verhielten. Alet wurden insbesondere während der ersten Stunden nach Sonnenuntergang häufig vor dem MH des KWWB detektiert, während Barben nahezu zu jeder Tagesstunde gleich häufig vor dem MH des KWWB auftauchten. Sowohl für die stromaufwärts als auch für die stromabwärts gerichteten Fischbewegungen konnten die Monate Juni bis Oktober als Hauptwanderzeitraum identifiziert werden. Jedoch wurden auch während der anderen Monate zumindest vereinzelt Fischbewegungen registriert, insbesondere von Alet. Im Winter wurde keine einzige Barbe vor dem MH des KWWB detektiert, was vermuten lässt, dass die Barben während dieser Zeit Winterhabitate aufsuchten. De Vocht und Baras (2003) [21] beobachteten, dass Barben Wintereinstände, wie beispielsweise tiefe Rinnen mit grossen Steinblöcken und bei Hochwassern unterspülte Uferbereiche, aufsuchen. Solche Habitate sind im ausbetonierten Oberwasserkanal des KWWB nicht vorhanden. Im Herbst hielten sich die Barben im Vergleich zum Frühling und Sommer besonders häufig vor den Turbinen auf. Alet bevorzugten unabhängig von der Jahreszeit insbesondere die Uferbereiche. Beinahe zu jeder Tages- und Jahreszeit wurden zumindest vereinzelte Turbinenpassagen beobachtet. Die meisten Turbinenpassagen fanden während der Sommermonate Juni, Juli und August tagsüber statt. In den Herbstmonaten September, Oktober und November wurden die meisten Turbinenpassagen hingegen in den Nachtstunden beobachtet. Im Winter und Frühling stiegen generell nur wenige Individuen über die Turbinen ab. Bei Alet wurden sowohl stromaufwärts als auch stromabwärts gerichtete Fischbewegungen vermehrt bei erhöhten Abflüssen beobachtet, während der Abfluss bei Barben keinen nachweislichen Einfluss auf das Wanderverhalten hatte. Weder Alet noch Barben stiegen jedoch hauptsächlich bei Hochwasserereignissen ab. Die stromauf- und -abwärts gerichteten Fischbewegungen von Alet konzentrierten sich auch auf höhere Wassertemperaturen. Bei Barben fanden nur die stromaufwärts gerichteten Fischbewegungen bei höheren Wassertemperaturen statt. Für den Luftdruck und die Mondphase wurde weder für Alet noch für Barben ein Zusammenhang mit dem Wanderverhalten beobachtet. Die beschriebenen Zusammenhänge zwischen den abiotischen Faktoren und dem Schwimm- bzw. Wanderverhalten werden in Kapitel 5.9 im Detail beschrieben.

Schwimmt der Fisch beispielsweise zielstrebig an einen bestimmten Ort (z.B. Turbineneingang) oder sucht er länger nach einer Abstiegsmöglichkeit (z.B. beim Wehr oder bei der Fischaufstiegshilfe)?

Vor allem in Kapitel 5.7 wird aufgezeigt, dass die meisten Fische ausgeprägte Suchbewegungen durchführten. Einzelne Fische schwammen jedoch auch zielstrebig in Richtung der Fischaufstiegshilfe. Ein Beispiel dafür ist der in Kapitel 5.11.4 beschriebene Alet mit der Tagnummer 437926. Suchbewegungen beim Wehr konnten methodisch bedingt nicht festgestellt werden. Einige Fische wurden zwar über einen längeren Zeitraum regelmässig beim Wehr detektiert, dadurch dass beim Wehr jedoch nur einzelne Hydrophone installiert waren, konnte an dieser Stelle jedoch kein Schwimmpfad ermittelt werden. Die wiederholten Detektionen beim Wehr können somit einerseits durch Suchbewegungen entstanden sein, andererseits ist es jedoch auch möglich, dass diese Fische den Nahbereich des Wehrs als Lebensraum nutzten.

Geht vom Kraftwerk eine Scheuchwirkung aus, sodass der Fisch wieder in Richtung flussaufwärts umkehrt?

Obwohl im Pflichtenheft von einer Scheuchwirkung gesprochen wurde, wird der Begriff Barrierewirkung als zielführender erachtet. Dies, da Fische durch das MH nicht an einen bestimmten Ort gescheucht werden, sondern bestenfalls durch die Barrierewirkung des Kraftwerks an einer Turbinenpassage gehindert werden. Anhand mehrerer Beispiele in Kapitel 5.11, aber auch anhand der Auswertungen in Kapitel 5.5.1, wurde gezeigt, dass die Fische nicht direkt und ohne zu zögern über die Turbinen absteigen. Stattdessen nehmen sie das Kraftwerk als Hindernis wahr und führen Suchbewegungen durch. Während gemäss Kapitel 5.3.2 der Grossteil der markierten Fische im Oberwasser verblieb, stiegen 80 Individuen über eine der beiden Turbinen ab (Kapitel 5.3.3). Zusammenfassend kann somit gesagt werden, dass die Fische das Kraftwerk als Hindernis wahrnehmen und nur nach längerem Zögern teilweise über die Turbinen absteigen. Auch wenn dies nicht abschliessend beurteilt werden kann, wird davon ausgegangen, dass es insbesondere auch vom Abwanderungsdrang der Fische abhängt, ob bzw. wie lange das Kraftwerk Fische an einer Turbinenpassage hindert.

Wie lange dauern Suchbewegungen, sind sie typisch für eine bestimmte Fischart und in welchen Tiefen schwimmen die Fische?

Auf die Dauer der Suchbewegungen wurde bereits bei der Frage zur Passagedauer des Kraftwerks eingegangen. Die Suchbewegungen wurden dabei sowohl von Alet als auch von Barben beobachtet, wobei sich die Suchbewegungen von Alet sehr stark auf die Uferbereiche konzentrierten. Bei Barben war dieses Phänomen nicht so stark ausgeprägt. Auch bei Egli wurden Suchbewegungen beobachtet. Auffällig war aber, dass Egli verhältnismässig häufig am Aussetztag oder wenige Tage nach dem Aussetztag über die Turbinen abstiegen. Aufgrund der relativ geringen Stichprobengrössen von Egli müssen diese Aussagen jedoch vorsichtig interpretiert werden. Die Schwimmtiefen konnten in diesem Projekt nicht mit zufriedenstellender Genauigkeit ermittelt werden. Die Gründe hierfür werden in Kapitel 7.4.3 erläutert. Für Details zur Dauer der Annäherungen und Suchbewegungen wird auf Kapitel 5.5.1 verwiesen und bezüglich der räumlichen Verteilung auf Kapitel 5.7.

Welche Rolle spielen die diurnale Rhythmik, die saisonalen Aspekte und die Art sowie Grösse der Fische?

Bezüglich der diurnalen Rhythmik konnte weder für Alet noch für Barben ein Trend beobachtet werden. Saisonale Aspekte waren bei Alet relativ schwach ausgeprägt. Im Gegensatz dazu stiegen Barben insbesondere im Juni und Juli vermehrt auf und im September und Oktober häufig ab. Während der Wintermonate wurde keine einzige Barbe vor dem MH des KWWB detektiert, was nahelegt, dass die Barben in dieser Zeit Winterhabitate aufsuchten und keine ausgeprägten Wanderungen

durchführten. Obwohl es sich sowohl bei Alet als auch Barben um Cypriniden handelt, wurden zwischen diesen beiden Fischarten grosse artspezifische Unterschiede festgestellt. Der markanteste Unterschied war dabei, dass sich Alet vorzugsweise in strömungsberuhigten Zonen wie den Uferbereichen und dem Einlaufbereich vor geschlossenen Turbinen aufhielten, während Barben auch häufig Zonen mit hohen Fließgeschwindigkeiten, wie beispielsweise die Einläufe von geöffneten Turbinen, aufsuchten. Weitere Unterschiede waren, dass sich Alet im Gegensatz zu Barben in den ersten Stunden nach Sonnenuntergang vermehrt vor dem MH des KWWB aufhielten und dass Alet im Unterschied zu Barben häufiger bei erhöhten Abflüssen wanderten. Zudem wurden, wie bereits beschrieben, artspezifische saisonale Unterschiede beobachtet. Wo möglich bzw. sinnvoll wurden die Auswertungen artspezifisch durchgeführt. Beachtet werden muss dabei jedoch, dass bei den meisten Analysen aufgrund der Stichprobengrößen nur für Alet und Barben belastbare Resultate erzielt werden konnten. Auch für Egli konnten jedoch bestimmte Verhaltensmuster beobachtet werden, insbesondere dass Egli am Aussetztag oder wenige Tage nach dem Aussetztag vermehrt über die Turbinen abstiegen. Einige Analysen wurden für unterschiedliche Größenklassen von Alet und Barben durchgeführt. Da zwischen den Größenklassen jedoch keine signifikanten und belastbaren Unterschiede festgestellt wurden, wurde auf eine Darstellung dieser Analysen verzichtet. Berücksichtigt werden muss dabei auch, dass es insbesondere interessant wäre, Verhaltensunterschiede zwischen juvenilen und adulten Fischen zu untersuchen. Dies war jedoch im Rahmen dieses Projekts nicht möglich, da aufgrund der Grösse der akustischen Tags nur adulte Fische markiert werden konnten (Kapitel 4.7.2). Mit der akustischen Telemetrie wäre die Untersuchung von juvenilen Fischen nur mit noch kleineren Tags möglich, was sich jedoch negativ auf die Tag-Lebensdauer auswirken würde. Über das Abstiegsverhalten juveniler potamodromer Fische ist jedoch aus den Wirkungskontrollen der Fischabstiegsanlagen des Kleinwasserkraftwerks Stoppel [19] und des Dotierkraftwerks Ruchlig [20] einiges bekannt. Bei diesen Untersuchungen wurde gezeigt, dass insbesondere im Herbst bei bestimmten Umweltbedingungen sehr viele juvenile Fische absteigen. Zu diesen Umweltbedingungen zählen Abflusserhöhungen ohne Hochwasser und sinkenden Wassertemperaturen. Beachtet werden muss jedoch, dass diese Beobachtungen auf Hamenfängen an stichprobenartig ausgewählten Tagen beruhen. Somit kann nicht ausgeschlossen werden, dass es auch andere Zeiträume gibt, während welcher vergleichbare Massenabstiege stattfinden. Weitere Antworten zur gestellten Frage können den Kapiteln 5.9.2, 5.9.3 und 5.9.7 entnommen werden.

Wie verändern Abfluss und Temperatur das Verhalten der Fische?

Alet wanderten vermehrt bei höheren Abflüssen, während der Abfluss keinen nachweisbaren Effekt auf das Wanderverhalten der Barben hatte. Die vermehrten stromauf- und -abwärts gerichteten Fischbewegungen von Alet fanden generell bei höheren Wassertemperaturen statt, während dies bei Barben nur beim Aufstieg beobachtet wurde. Die bevorzugten Aufenthaltsorte von Alet waren unabhängig von der Wassertemperatur, während sich Barben bei Wassertemperaturen von $T \leq 15^\circ$ häufiger vor den Turbinen aufhielt als bei $T > 15^\circ$. Details zum Einfluss des Abflusses und der Wassertemperatur auf das Fischverhalten können den Kapiteln 5.9.4 und 5.9.5 entnommen werden.

Die letzte Frage betrifft schliesslich das Überleben der abgewanderten Fische. Wie hoch sind die Überlebensraten der über das Kraftwerk abgewanderten Fische?

Nach 31 aller 83 Turbinenpassagen konnte entweder durch die Aussenstationen oder durch das mobile Tracking eine stromaufwärts gerichtete Fischbewegung festgestellt werden. Entsprechend beträgt die Mindestüberlebensrate rund 38%. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die effektive Überlebensrate deutlich höher war, da methodisch bedingt nicht bei allen über die Turbinen abgestiegenen Fischen, welche die Turbinenpassage überlebten, eine stromaufwärts gerichtete Bewegung festgestellt wurde. Weitere Details zu den Überlebensraten können Kapitel 5.4 entnommen werden.

7. Probleme und Herausforderungen

Wie in vorliegendem Bericht bereits mehrmals erwähnt, sind bei der Durchführung dieser Studie diverse Probleme und Herausforderungen aufgetreten. Prinzipiell kann der Grossteil der während dieses Projekts aufgetretenen Probleme und Herausforderungen in die drei Kategorien «Probleme im Langzeitbetrieb aufgrund der Gewässereinwirkungen», «Hardwareprobleme», und «Softwareprobleme», eingeteilt werden. Die Probleme je nach Kategorie sind in den Kapiteln 7.1–7.3 mit Beispielen und Bildern genauer beschrieben. Auf weitere Probleme wird in Kapitel 7.4 eingegangen. Ziel dieses Kapitels 7 ist es primär die während dieses Projekts gesammelten Erfahrungen zu teilen, damit möglichst viele zukünftige Projekte davon profitieren können.

Die Hardware- und Softwareprobleme sind dabei herstellerabhängig. Dementsprechend könnten diese Probleme bei zukünftigen Projekten durch die Wahl anderer Hardware und Software behoben werden, wobei das Projektteam nicht beurteilen kann, ob mit anderer Hardware und Software nicht ähnliche oder andere Probleme auftreten. Im Gegensatz zu den Hardware- und Softwareproblemen ist das Problem mit den Gewässereinwirkungen während dem Langzeitbetrieb primär vom Gewässer abhängig. Dabei muss beachtet werden, dass der Grossteil der Schweizer Fließgewässer im internationalen Vergleich viel grobes Geschiebe und Schwemmholz führt. Dies ist v.a. auf die relativ hoch gelegenen Einzugsgebiete zurückzuführen, wo die Sohlgefälle höher sind. Dementsprechend ist die Installation eines Hydrophons in der Aare nicht vergleichbar mit der Installation von Hydrophonen in tiefer gelegenen Flüssen mit entsprechend geringeren Sohlgefällen.

In diesem Bericht wird kein detaillierter Vergleich zwischen der im Rahmen dieser Studie genutzten akustischen Telemetrie und der Radiotelemetrie gemacht. Zum besseren Verständnis der aufgetretenen Probleme ist es jedoch wichtig zu wissen, dass bei der Radiotelemetrie keine Hydrophone benötigt werden und die Radiotelemetrie-Antennen typischerweise primär in der Luft und nicht im Wasser installiert werden. Die nachfolgend beschriebenen Probleme mit den Gewässereinwirkungen während dem Langzeitbetrieb treffen somit primär auf die akustische Telemetrie und nicht auf die Radiotelemetrie zu.

Auf die herausfordernde Fischbeschaffung wird an dieser Stelle nicht mehr eingegangen, da diese bereits in Kapitel 4.7.1 ausführlich beschrieben wurde. Auch kleinere Probleme werden nicht im Detail erläutert, der Vollständigkeit halber hier jedoch aufgelistet:

- Beschädigung der Aussenstationen durch Nagetiere
- Stromversorgung der Aussenstationen im Winter während längerer Nebelperioden
- Ausfälle des Computers beim MH bei tiefen Temperaturen

7.1 Probleme im Langzeitbetrieb aufgrund der Gewässereinwirkungen

7.1.1 Verschiebung der installierten Hydrophone

In Kapitel 4.3.3 wurde im Detail beschrieben, wie die Hydrophone in diesem Projekt installiert wurden. Einige Installationen der Hydrophone im Flussbett waren trotz der massiven 40 kg schweren H-Halterungen ungenügend stabil bzw. ortsfest. Wie bereits in Kapitel 4.3.3 erwähnt, haben sich einige Hydrophone beträchtlich verschoben. Dieses Problem wird in Abb. 7.1a verdeutlicht, welche das über das Dachwehr in der Restwasserstrecke des KWWB gespülte Stahlseil zeigt, an welchem ein mit einer H-Halterung installiertes Hydrophon befestigt war. Anschliessend wurde am gleichen Standort ein neues, an einem grossen Betonklotz befestigtes Hydrophon, installiert (Kapitel 4.3.3). Dadurch konnte verhindert werden, dass das Hydrophon erneut stromabwärts gespült wurde. Jedoch zeigt das während des Rückbaus aufgenommene Foto in Abb. 7.1b, dass das Hydrophonkabel zumindest im Uferbereich von Sedimenten überdeckt wurde. Unklar ist dabei, ob die Sohle generell auflandete oder ob der Betonklotz samt des Hydrophons in den Sedimenten einsank. Wie in Kapitel 5.3.3 beschrieben, wurden mit dem Hydrophon in der Restwasserstrecke nur sehr wenige Fische detektiert. Somit liegt die Vermutung nahe, dass das Hydrophon von Sedimenten überdeckt war und somit vorbeischwimmende Fische nicht oder nur unzuverlässig detektiert wurden. Bestätigt oder widerlegt werden kann diese Vermutung jedoch nicht, da in der Restwasserstrecke kein weiteres Hydrophon installiert war. Für zukünftige Projekte wird somit empfohlen, bei möglichst allen Korridoren Redundanzen vorzusehen, damit eine entsprechende Korridornutzung auch im Falle eines Stationsausfalls nachgewiesen werden kann. Zudem wird empfohlen, in der Nähe von jeder Station permanent ein bis zwei aktive Test-Tags zu installieren. So ist eine laufende Überprüfung der Funktionsfähigkeit möglich.

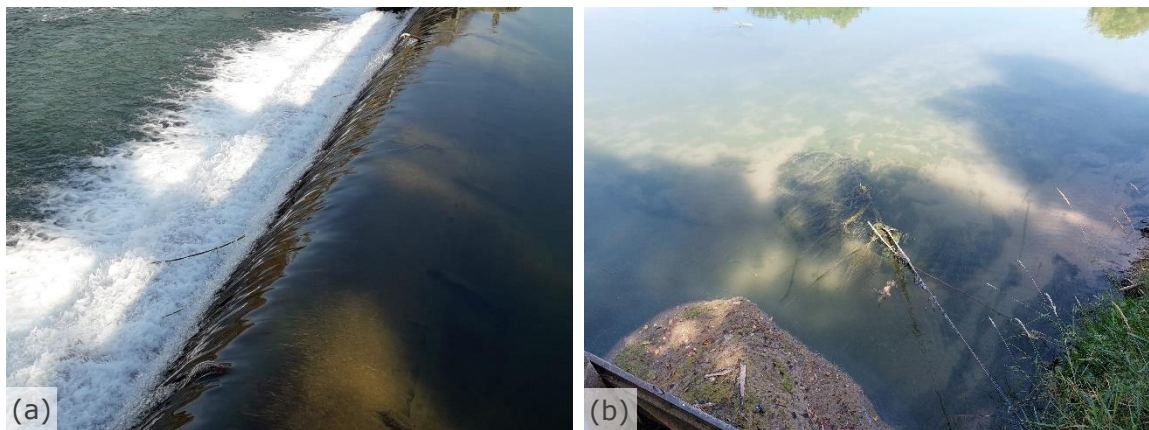


Abb. 7.1 (a) Über das Dachwehr abgespülte Kabel, an welchem ein Hydrophon mit einer H-Halterung befestigt war (Aufnahmedatum: 26.02.2020) und (b) während des Rückbaus fotografiertes, von Sedimenten überdecktes, Hydrophonkabel in der Restwasserstrecke (Aufnahmedatum: 13.07.2022).

7.1.2 Geschwemmsel an Hydrophonen und abgebrochene Antennen

Während der gesamten Untersuchungsperiode traten wiederholt Probleme mit Geschwemmsel und abgebrochenen Hydrophonantennen auf, welche nachfolgend am Beispiel des Hydrophons Nr. 14 beschrieben werden. Dieses Hydrophon wurde, vergleichbar mit dem in Abb. 7.2a gezeigten Hydrophon, mit einer Metallhalterung an einem Betonklotz befestigt und am 12. März 2020 mit einem Pneukran im Oberwasserkanal des KWWB installiert. Die Metallhalterung wurde dabei so gebaut, dass diese das Hydrophon möglichst gut schützt. Die nach oben gerichtete, schwarze

Hydrophonantenne, welche auch in Abb. 7.2a zu sehen ist, darf dabei jedoch nicht abgedeckt werden, da ansonsten der Signalempfang beeinträchtigt wird. Im April 2021 wurde dann festgestellt, dass dieses Hydrophon nicht mehr funktionierte. Daraufhin wurde der Betonklotz am 23. April 2021 mit einem Pneukran gehoben, das Hydrophon ersetzt und entsprechend wieder installiert. Abb. 7.2b zeigt das defekte Hydrophon, unmittelbar nachdem es mit dem Pneukran gehoben wurde. Darauf ist einerseits ersichtlich, dass sehr viel Geschwemmsel an dem Hydrophon hängen blieb und andererseits, dass die Antenne des Hydrophons abbrach. Anfang Juli 2021, d.h. nur wenige Monate nachdem das Hydrophon ersetzt wurde, empfing es wieder kein Signal mehr. Da der Hydrophonersatz mit dem Pneukran sehr aufwändig und kostspielig ist, entschied das Projektteam dieses Hydrophon nicht noch einmal zu ersetzen. Abb. 7.2c zeigt dieses Hydrophon während des Rückbaus am 31. Oktober 2022. Daraus wird ersichtlich, dass wieder viel Geschwemmsel am Hydrophon hängen blieb und dass die Hydrophonantenne erneut abbrach. Auch wenn diese Probleme nur anhand des Hydrophons Nr. 14 erläutert wurden, muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass ähnliche Probleme auch bei anderen Hydrophonen auftraten.



Abb. 7.2 (a) Ein mit einer Metallhalterung an einem Betonklotz befestigtes Hydrophon vor der Installation, (b) das am 23. April 2021 mit dem Pneukran gehobene Hydrophon Nr. 14 mit abgebrochener Antenne und (c) das erneuerte Hydrophon Nr. 14 mit ebenfalls abgebrochener Antenne während des Rückbaus am 31. Oktober 2022.

Neben dem in Abb. 7.2b,c gezeigten kleineren Geschwemmsel, blieb auch grösseres Geschwemmsel an den Hydrophonen hängen. Dies zeigt das Beispiel in Abb. 7.3a, welches während des Rückbaus am 31. Oktober 2022 aufgenommen wurde. Eine weitere, während des Rückbaus aufgetretene Herausforderung war, dass ein Baum umstürzte und sich im Stahlseil, an welchem das Hydrophon einer Aussenstation befestigt war, verhing (Abb. 7.3b). Dadurch wurde der Rückbau des Hydrophons deutlich erschwert.



Abb. 7.3 (a) Grobes Geschwemmsel, welches an einem Hydrophon hängen blieb (Aufnahmedatum: 31.10.2022) und (b) ein auf das Hydrophonkabel gestürzter Baum (Aufnahmedatum: 07.09.2022).

7.1.3 Gerissene Stahlseile

Wie in Kapitel 4.3.3 beschrieben, wurden die Betonklötze mit 16 mm dicken, verzinkten Stahlseilen in der Aare platziert. Gemäss Herstellerangaben haben diese Stahlseile eine Nennzugfähigkeit der Einzeldrähte von 1'960 N/mm² und eine Mindestbruchkraft von 169 kN. Diese Mindestbruchkraft reicht theoretisch aus, um mehr als 17 Tonnen schwere Objekte zu heben. Die Rückbauarbeiten des ersten, knapp drei Tonnen schweren Betonklotzes bei der Aussenstation Brugg, verliefen problemlos. Beim Heben des zweiten Betonklotzes riss das Stahlseil jedoch, als sich der Betonklotz in der Übergangsphase vom Wasser in die Luft befand. Abb. 7.4a zeigt einen der Betonklötze bei der Aussenstation Brugg während des Rückbaus und Abb. 7.4b das gerissene 16 mm dicke Stahlseil. Die Betonklötze bei der Aussenstation Brugg wurden am 6. Mai 2019 installiert. Das Stahlseil riss während des Rückbaus am 31. Oktober 2022. Klar ist somit, dass sich die Bruchlast des Stahlseils während der 3.5 Jahre in der Aare aufgrund von Korrosion, Abrasion und ggf. weiterer Effekte stark reduzierte. In einer Niedrigwasserperiode gelang es schliesslich mithilfe eines Tauchers ein neues Stahlseil an dem verloren gegangenen Betonklotz zu befestigen, mit welchem der Betonklotz dann wieder mit einem Pneukran gehoben werden konnte. Auch beim Rückbau der mit H-Halterungen installierten Hydrophonen rissen in einigen Fällen die zur Bergung benötigten Stahlseile. Hierbei handelte es sich jedoch nicht um 16 mm, sondern um die in Kapitel 4.3.3b beschriebenen 7 mm dicken Stahlseile. Auch diese Hydrophone mussten schlussendlich teilweise aufwendig von Tauchern gesucht und geborgen werden.



Abb. 7.4 (a) Betonklotz während des Rückbaus der Aussenstation bei Brugg und (b) beim Rückbau gerissenes 16 mm dickes Stahlseil.

7.1.4 Verbogene Hydrophonhalterungen

Abb. 7.5a zeigt das beim Mittelpfeiler am MH sohnah positionierte Hydrophon kurz vor der Installation. Beim Rückbau wurde festgestellt, dass die aus Stahl gefertigte Hydrophonhalterung stark verbogen war (Abb. 7.5b). Zudem wurde auch die Hydrophonantenne leicht verbogen. Welche Auswirkungen dies auf die Detektionswahrscheinlichkeit bzw. -genauigkeit hatte, kann zwar nicht beurteilt werden, es zeigt aber, wie stark die Hydrophonhalterungen in diesem Projekt belastet wurden. In diesem Fall wird davon ausgegangen, dass die Hydrophonhalterung von einem grossen Baumstamm verbogen wurde. Auch andere Hydrophone und Hydrophonhalterungen wurden im Laufe dieses Projekts durch Baumstämme oder anderes Geschwemmsel stark beschädigt. Abb. 7.5c zeigt zwei bei Aussenstationen installierte Hydrophone nach dem Rückbau, wobei bei einem Hydrophon die Antenne abbrach und die Hydrophonhalterung verbogen wurde. Beim zweiten in Abb. 7.5c gezeigten Hydrophon ist die Antenne des Hydrophons verbogen.



Abb. 7.5 Das beim Mittelpfeiler sohnah positionierte Hydrophon (a) vor der Installation am 13.05.2019, (b) beim Rückbau am 21.10.2022 und (c) weitere verbogene beschädigte Hydrophone (Aufnahmedatum 07.09.2022).

7.2 Hardwareprobleme

7.2.1 Defekte Tags

Insgesamt konnten über 50 Tags gar nicht aktiviert werden. Diese waren somit schon defekt, bevor Fische damit markiert wurden. Die defekten Tags wurden vom Hersteller ersetzt.

7.2.2 Datenlogger Aussenstationen

Die grössten Hardwareprobleme traten mit den bei den Aussenstationen installierten Datenloggern (Model 395 ATDL von HTI) auf. Die Geräte sind aus Sicht des Projektteams für eine autonome Datenerfassung über längere Zeit schlecht geeignet. Dies zeigte sich jedoch erst im Verlauf des Projekts. Das Betriebssystem der Logger (Windows Embedded CE, Version 6.0) ist veraltet. Mit zunehmender Projektlaufzeit häuften sich die Ausfälle der Datenaufzeichnung bei allen autark versorgten Standorten. Die wiederholt auftretenden Probleme waren:

- Störungen an der Netzwerkschnittstelle (LAN): Die Geräte verloren immer wieder die Konnektivität im lokalen Netzwerk (Anbindung LTE-Router). Dadurch wurde die Übertragung der gemessenen Daten verhindert. Diese Störungen traten sehr häufig auf, eine laufende Übertragung der Messdaten (und eine laufende Auswertung der empfangenen Daten) konnte mit zunehmender Projektlaufzeit nicht mehr gewährleistet werden.
- Störungen bei der Speicherung der Messdaten (SD-Karte): Die Geräte haben einen Slot für SD-Speicherkarten. Die Messdaten werden (via Zwischenspeicherung intern) auf die SD-Speicherkarten geschrieben, und auch von dort für die Datenübertragung via LTE-Router ausgelesen. Die Speicherung der Messdaten auf die SD-Karten war ab einer bestimmten Ausnutzung der SD-Karte störanfällig und führte teilweise dazu, dass die Geräte bei Schreib- oder Leseprozessen in einen permanenten Fehlzustand übergingen und keine weiteren Daten aufzeichneten. Erst durch manuelles Eingreifen vor Ort (Neustart, Resets) konnten solche Fehlzustände behoben werden.
- Störungen in der Firmware (interne Uhr): Alle Geräte besitzen eine im Gehäuse verbaute Knopfatterie, welche die interne Uhr speist. Die Lebensdauer der Knopfatterie wurde durch die äusseren Einflüsse bei den Aussenstationen

(Schwankungen der Temperatur und Luftfeuchtigkeit Tag/Nacht und saisonal Sommer/Winter) stark beeinträchtigt. Mit zunehmender Projektlaufzeit entluden sich diese Knopfbatterien. Wenn die Knopfbatterie entladen ist, setzt sich auch die interne Uhr bei einem Neustart des Geräts zurück: das aktuelle Datum und Uhrzeit können über den kurzen Stromunterbruch beim Neustart nicht zwischengespeichert werden. Da die Geräte für einen täglichen Reboot konfiguriert waren (gemäss Empfehlung von HTI) verfielen sich die betroffenen Geräte in einem Fehlzustand mit falschem Datum/Uhrzeit. Mit dem Ersatz der Knopfbatterie konnte das Problem nicht gelöst werden, es bedurfte gemäss HTI zusätzlich einem Aktualisieren der internen Uhr über eine separate Prozedur. Diese Prozedur war umständlich und wiederum störanfällig. Die Prozedur ging bei mehreren Geräten schief und die betroffenen Geräte wurden permanent gestört und mussten zur Reparatur an HTI übergeben werden.

7.2.3 Hardwareprobleme Hydrophonnetz

Im Vergleich zu den Aussenstation funktionierte die beim MH verwendete Hardware zur Datenerfassung (Model 290ATR von HTI) relativ zuverlässig. Doch auch hier kam es zu Unterbrüchen in der Datenerfassung. Auch beim 290ATR Gerät gab es Störungen an der Netzwerkschnittstelle (LAN): Das Gerät 290ATR ist via LAN-Verbindung zu einem Windows-PC verbunden. Auf dem Windows-PC werden die vom 290ATR erfassten Signale durch das Programm «AcousticTag» in quasi Echtzeit erfasst und gespeichert. Ohne LAN-Verbindung konnten keine Daten aufgezeichnet werden. HTI musste Anpassungen am System vornehmen, um via einer zusätzlichen USB-Verbindung zwischen PC und 290ATR einen Unterbruch der LAN-Verbindung zu detektieren und gegebenenfalls das 290ATR durch einen Programmbefehl neu zu starten und die Erfassung neu zu initialisieren.

In den Wintermonaten Januar, Februar gab es Ausfälle der Datenerfassung, weil kalte Umgebungstemperaturen für das Gerät 290ATR offenbar problematisch waren. Ein unterbruchsfreier Betrieb des PC war auch aufgrund von zwingenden Updates und Neustarts mit Unterbrüchen nicht immer gewährleistet.

7.3 Softwareprobleme

Bei der Prozessierung der aufgezeichneten Daten mittels der durch HTI zur Verfügung gestellten Software gab es einige Schwierigkeiten, welche nachfolgend in den entsprechenden Unterkapiteln aufgezeigt werden.

7.3.1 Fehlerhafte Roh-Dateien

Grundlage für die grossräumige Auswertung waren die von den Messstationen ausgegebenen Roh-Dateien. Einige dieser Dateien enthielten jedoch fehlerhafte Zeilen mit dem Wert «Error». Dies führte dazu, dass in einem solchen Falle die entsprechende Datei beim Prozessieren mittels der von HTI zur Verfügung gestellten Software nicht berücksichtigt wurde. Um dieses Problem zu beheben, wurden die betroffenen Rohdatenfiles durch die Löschung der «Error»-Zeilen manuell bereinigt. Dadurch konnten die Dateien erfolgreich ausgewertet werden.

7.3.2 Fehlerhafte Detektionen

Wie in den Kapiteln 4.5.2 und 4.6.2 beschrieben, mussten im ersten Schritt der Datenauswertung in der HTI-Software Filterkriterien angegeben werden. Bei der Wahl der Filterkriterien musste darauf geachtet werden, dass diese nicht zu streng, aber auch nicht zu locker waren. Wenn die Filterkriterien beispielsweise bei den Aussenstationen zu locker gewählt wurden, wurden gemäss der Tag-Datei (.tat) zusätzliche

ähnlich codierte («benachbarte») Tags gefunden als jener, der sich zu diesem Zeitpunkt tatsächlich bei der Aussenstation befand. Bei einer zu strengen Wahl der Filterkriterien enthielten die Tag-Dateien jedoch keinen einzigen Fisch. Da zu Beginn ähnlich codierte Tags verwendet wurden, mussten diese Tagverwechslungen entsprechend von Hand bereinigt werden. Diese konnten dadurch identifiziert werden, dass von einem Tag (Sender) nur einzelne Signale registriert, während zeitgleich von einem Tag mit einer sehr ähnlichen Tagnummer mehrere hundert Datenpunkte aufgezeichnet wurden. Nach Bekanntwerden des Problems wurde darauf geachtet, möglichst unterschiedlich codierte Tags zu verwenden.

7.3.3 Mehrfachdetektionen

Beim Prozessieren gab es zeitweise Phasen von einer Stunde, in denen vermutlich aufgrund einer (akustischen) Störung ein Grossteil der markierten Tags gleichzeitig bei einem Hydrophon registriert wurde. Viele der detektierten Tags waren zu diesen Zeitpunkten noch gar nicht im Wasser oder erreichten bereits das Ende ihrer Lebenszeit. Mithilfe der Information über den Aussetzzeitpunkt und die Tag-Lebensdauer konnten diese Phasen entsprechend identifiziert und bereinigt werden.

7.3.4 Unplausible und unbrauchbare Schwimmpfade

In Abb. 5.10 in Kapitel 4.5.1 wurden mit der HTI-Software AcousticTag berechnete Schwimmpfade den mit YAPS ermittelten Schwimmpfaden gegenübergestellt. Daraus wird ersichtlich, wie weniger detailreich die Ermittlung der Schwimmpfade mit dem während dieser Studie verwendeten Versuchsaufbau mit der HTI-Software funktionierte. Es ist möglich, dass die Ermittlung der Schwimmpfade in anderen Systemen, d.h. beispielsweise in ruhigeren Gewässern oder mit einer noch grösseren Hydrophondichte, mit der HTI-Software besser funktioniert. Klar ist jedoch, dass die HTI-Software, wie in Kapitel 4.5.2 beschrieben, im Unterschied zu YAPS nicht alle vorhandenen Informationen für die Ermittlung der Schwimmpfade nutzt. Ein weiterer grosser Nachteil ist, dass die HTI-Software keine Informationen über die Genauigkeit der Datenpunkte ausgibt.

7.4 Weitere Probleme

7.4.1 Durch das Kraftwerk bedingte Störgeräusche

Es ist naheliegend, dass einige der bereits genannten Probleme zumindest teilweise auf die kraftwerksbedingten Störgeräusche zurückzuführen sind. Aufgrund der Wichtigkeit der Störgeräusche, wird darauf in diesem Kapitel noch genauer eingegangen. Vorweg muss gesagt werden, dass der Hauptfokus des vorliegenden Projekts auf der Untersuchung des Schwimmverhaltens vor dem MH des KWWB lag. Somit war es unvermeidbar, die Hydrophone im Nahbereich der Turbinen zu installieren. In diesem Bereich sind die Fliessgeschwindigkeiten relativ hoch und es treten durch das Kraftwerk verursachte Störgeräusche auf. Diese Situation wurde vor Beginn des Projekts mit HTI besprochen. Das während dieses Projekts verwendete 307 kHz akustische Telemetriesystem ist gemäss HTI für solche Standorte besonders gut geeignet.

Schon bei den ersten Tests mit Test-Tags wurde jedoch festgestellt, dass es aufgrund der Störgeräusche insbesondere mit den vor dem Recheneinlauf positionierten Hydrophonen schwierig war, das Signal zuverlässig zu empfangen. Um die Test-Tags dennoch detektieren zu können, mussten bei den rechennahen Hydrophonen sehr hohe Empfindlichkeiten eingestellt werden. Trotzdem wurde festgestellt, dass die Signale der Test-Tags bereits bei einer Entfernung von ca. einer halben Kanalbreite nicht mehr durchgehend an den entsprechenden Hydrophonen aufgezeichnet

werden konnten. Bei der Auswertung der Schwimmpfade wurde teilweise festgestellt, dass das Signal von Fischen im Nahbereich der Turbinen verloren ging. Dadurch, dass diese Fische wieder detektiert wurden, wenn sie das Hydrophonnetz in Richtung oberstrom verliessen, konnten diese Fische jedoch zumindest von über die Turbinen abgestiegenen Fischen unterschieden werden. Klar ist jedoch, dass die Störgeräusche für das verwendete 307 kHz akustische Telemetriesystem eine grosse Herausforderung darstellten.

7.4.2 Tag-Lebensdauer und Wanderverhalten potamodromer Fischarten

In Kapitel 5.1 wurde aufgezeigt, dass aufgrund der in diesem Projekt aufgezeichneten Detektionen, unabhängig von der Taggrösse, von einer effektiven Tag-Lebensdauer von 210 Tage ausgegangen wurde. Zu Projektbeginn wurde insbesondere bei den grösseren Tags von einer deutlich längeren Lebensdauer ausgegangen. Nachdem die Test-Tags bei den Vorversuchen jedoch nur schlecht detektiert werden konnten, empfahl HTI die Pulslänge (engl. *pulse length*) der Tags von 1 auf 2 Millisekunden zu erhöhen. Diese Erhöhung der Pulslänge war gemäss HTI aufgrund der in Kapitel 7.4.1 beschriebenen Störgeräusche nötig. Dadurch reduzierte sich jedoch die Tag-Lebensdauer. Um das Abstiegsverhalten potamodromer Arten noch besser untersuchen zu können, wäre aus Sicht des Projektteams eine Tag-Lebensdauer von ungefähr 2 Jahren ideal. Es ist möglich, dass dieser Zielwert bei zukünftigen Projekten aufgrund der technologischen Weiterentwicklung der akustischen Telemetrie erreicht werden kann.

Viele der international durchgeführten akustischen Telemetriestudien beschränken sich auf diadrome Fischarten wie den Aal oder den Lachs. Im Gegensatz zu den während dieser Studie untersuchten potamodromen Fischarten sind die Hauptwanderzeiträume der diadromen Fischarten ausgeprägt, gut erforscht und somit relativ genau bekannt. Dadurch können diadrome Fische relativ kurz vor der jeweiligen Abwanderungsperiode markiert und ausgesetzt werden. Weil der Grossteil der diadromen Fische während der Hauptabwanderungsperiode absteigt, kann die Untersuchungsperiode in diesem Fall viel kürzer gewählt werden als in diesem Projekt. In Projekten mit diadromen Fischarten ist die Tag-Lebensdauer somit häufig nicht so relevant wie in Projekten mit potamodromen Arten, wo es vorkommen kann, dass die markierten Fische erst nach vielen Monaten oder sogar erst nach mehreren Jahren nach dem Aussetzzeitpunkt absteigen. Auch in diesem Projekt wird davon ausgegangen, dass einige Fische erst nach Ablauf der Tag-Lebensdauer absteigen. Ein Indiz dafür ist die in Kapitel 5.11.3 beschriebene Barbe, welche rund 4 Monate nach dem Aussetzdatum am 29. Oktober das letzte Mal bei einer Station im Untersuchungsperimeter (Wehr KWWB) detektiert wurde. Da die Barbe mehr als 2 Jahre später mittels des PIT-Tags in der FAH beim Wehr des HKB registriert wurde, gibt es nur die beiden Möglichkeiten, dass der Abstieg der Barbe aufgrund einer Datenlücke nicht aufgezeichnet wurde, oder dass die Barbe nach Ablauf der Lebensdauer des akustischen Tags abstieg.

Eine kürzere Untersuchungsperiode entschärft dabei nicht nur die Problematik der Tag-Lebensdauer, sondern auch die in Kapitel 7.1 beschriebenen Probleme im Langzeitbetrieb. Eine kürzere Untersuchungsperiode wurde in diesem Projekt jedoch nicht als zielführend erachtet, da mit diesem Projekt explizit das Wanderverhalten potamodromer Fischarten erforscht werden sollte. Zudem sind diadrome Fischarten, mit Ausnahme des Aals, in der Schweiz ausgestorben. Im Rahmen dieses Projekts wurden inklusive der Fische aus 2019 insgesamt fünf Aale in der FAH des KWWB gefangen und markiert. Bei allen anderen markierten Individuen handelte es sich um potamodrome Arten.

7.4.3 Genauigkeit der Schwimmtiefe

Ziel dieses Projekts war es, die dreidimensionalen Schwimmpfade der Fische zu ermitteln. Die mittels YAPS berechneten Schwimmtiefen waren plausibler als die mit der HTI-Software ermittelten Schwimmtiefen. Doch auch die mit YAPS berechneten Schwimmtiefen waren grösstenteils nicht plausibel bzw. die Genauigkeit unzufriedenstellend (Kapitel 5.7). Dass die Schwimmtiefen nicht genauer ermittelt werden konnten, liegt einerseits am Versuchsaufbau und andererseits an standortspezifischen Randbedingungen, worauf nachfolgend eingegangen wird.

In diesem Projekt wurde die Schwimmtiefe – ähnlich wie der Standort eines GPS-Empfängers – trigonometrisch bestimmt. Das heisst, dass zu einem gegebenen Zeitpunkt die Distanz zwischen dem Tag und den Hydrophonen ermittelt wird, welche das Signal des Tags empfangen. Wenn mindestens drei Hydrophone das Signal eines Tags gleichzeitig empfangen, kann über die Distanzen zwischen den Hydrophonen und dem Tag die Position des Tags eindeutig ermittelt werden. Am genauesten funktioniert diese trigonometrische Ermittlung der Position des Tags, wenn das Signal des Tags von Hydrophonen empfangen wird, welche sich an verschiedenen Seiten des Tags befinden. Damit ist gemeint, dass es bei einer Betrachtung im Grundriss beispielsweise optimal ist, wenn der Tag zeitgleich von Hydrophonen links und rechts, sowie vor und hinter dem Tag detektiert wird. Im Unterschied dazu ist die Positionsermittlung deutlich ungenauer, wenn sich alle Hydrophone auf einer Seite des Tags befinden. Bei einer Betrachtung der in Abb. 4.7 gezeigten Hydrophonpositionen wird somit klar, warum die Schwimmpfade oberstrom des Bootshauses ungenauer sind als unterstrom des Bootshauses. Aus ähnlichen Überlegungen im Längsschnitt wird klar, dass es für die Ermittlung der Schwimmtiefe entscheidend ist, dass ein Fisch von Hydrophonen unter- und oberhalb des Tags detektiert wird. Aus diesem Grund wurden bei der in Kapitel 4.3.4 beschriebenen Verdichtung des Hydrophonnetzes vor allem auch weitere sohlennahe Hydrophone installiert.

Dadurch konnte die Genauigkeit der Schwimmtiefe zwar verbessert werden, ein zufriedenstellendes Ergebnis konnte hingegen auch dadurch nicht erreicht werden. Ein Grund dafür ist mit Sicherheit auch die vergleichsweise geringe Wassertiefe vor dem MH des KWWB, welche grösstenteils rund 8 m betrug. Je grösser die Wassertiefe ist, desto grösser ist auch die vertikale Distanz zwischen sohl- und oberflächennah installierten Hydrophonen und desto genauer kann die Schwimmtiefe ermittelt werden. Dies erklärt, warum es bei anderen akustischen Telemetriestudien, welche häufig in Seen oder deutlich tieferen Flüssen durchgeführt wurden, möglich war, die Schwimmtiefe genauer zu ermitteln.

In diesem Projekt kam zusätzlich hinzu, dass die Installationstiefe der Hydrophone, wie in Kapitel 4.3.4 beschrieben, nicht genau ermittelt wurde. Dies, da aufgrund der Auskunft von HTI davon ausgegangen wurde, dass die Installationstiefe über die *Ping-around* Daten ermittelt werden kann. Insbesondere die Ermittlung der in der Flussmitte platzierten Hydrophone ist dabei auch schwierig, da nicht klar war, wie die mit dem Pneukran gesetzten Betonklötze auf der Sohle zu liegen kamen. Dies war insbesondere aufgrund von Sedimentablagerungen vor dem Kraftwerk unklar. In zukünftigen Projekten könnte die Position der Hydrophone zwar mit Tauchern und Drucksensoren ermittelt werden, je nach Strömungsverhältnissen bedingt dies jedoch zumindest eine Teilabschaltung des Kraftwerks. Desweiteren könnte auch eine genaue Positionierung mittels Drohnen geprüft werden.

Für zukünftige Projekte, welche an einem mit dem KWWB vergleichbaren Standort durchgeführt werden sollen, und bei welchen die Schwimmtiefe möglichst genau

ermittelt werden soll, wird empfohlen, die Schwimmtiefe nicht trigonometrisch, sondern mittels Drucksensoren zu ermitteln. Es gibt Systeme, bei welchen ein im Tag integrierter Drucksensor die Tiefe misst und diese an die Hydrophone übermittelt. Nachteile dieses Systems sind jedoch, dass diese Tags teurer und schwerer sind, wodurch diese nur für die Markierung grösserer Fische genutzt werden können.

8. Praxisrelevanz für den Fischabstieg

Viele der in diesem Bericht gezeigten Auswertungen tragen zum besseren Verständnis des Schwimm- und Wanderverhaltens heimischer Fische bei. Die Praxisrelevanz für den Fischabstieg bei grossen Flusskraftwerken ist hingegen zumindest auf den ersten Blick häufig nicht direkt erkennbar. Daher werden in diesem Kapitel die wichtigsten zwei praxisrelevanten Aspekte für den Fischabstieg hervorgehoben. Weitere Beispiele, wie die während dieser Studie gesammelten Erkenntnisse für die Planung von alternativen Fischabstiegsmassnahmen genutzt werden können, können dem Synthesebericht [2] entnommen werden.

8.1 Betriebliche Massnahmen

Neben der Reduzierung des Teillastbetriebs handelt es sich bei der Erhöhung des Wehrabflusses während ausgeprägter Abwanderungsspeaks um die bekannteste betriebliche Massnahme. Diese Massnahme eignet sich jedoch primär für Kraftwerksanordnungen, bei welchen sich das Wehr unmittelbar neben dem MH befindet. Für Ausleitkraftwerke wie dem KWWB ist die temporäre Erhöhung des Wehrabflusses bei erhöhtem Fischeaufkommen vor dem MH aufgrund des langen Oberwasserkanals und künstlichen Hochwasserereignissen in der Restwasserstrecke hingegen nicht zielführend. Temporäre Erhöhungen des Wehrabflusses werden aber beispielsweise in den USA während der Hauptabwanderungszeit der Lachssmolts und in Deutschland während der Hauptabwanderungszeit der Blankaale eingesetzt. Die Hauptabwanderungszeit dieser diadromen Zielfischarten dauert dabei in der Regel wenige Wochen pro Jahr.

Für die Erhöhung des Wehrabflusses als betriebliche Massnahme sind keine oder nur geringe Investitionskosten nötig. Aufgrund der häufig hohen Produktionsverluste wird diese Massnahme in den allermeisten Fällen jedoch sehr teuer, wenn sie über einen längeren Zeitraum umgesetzt wird. In Kapitel 5.9 dieses Berichts wurde der Einfluss verschiedener abiotischer Faktoren auf das Schwimm- und Wanderverhalten der markierten Fische analysiert. Unter anderem wurde aufgezeigt, zu welcher Tages- und Jahreszeit Abstiege über die Turbinen registriert wurden. Diese Analysen zeigen zwar diverse Trends, konzentrierte Abwanderungsspeaks bei gewissen abiotischen Faktoren konnten bei den im Rahmen dieses Projekts markierten Fische hingegen nicht ausgemacht werden. Im Unterschied dazu wurde beim Kleinwasserkraftwerk Stoppel und beim Dotierkraftwerk Rüchlig festgestellt, dass jeweils im Herbst bei bestimmten abiotischen Faktoren ausgeprägte Abwanderungsspeaks juveniler Cypriniden stattfinden [19][20]. Des Weiteren muss beachtet werden, dass in der Aare 34 verschiedene Fischarten vorkommen [4]. Im Rahmen dieses Projekts konnten zwar immerhin Individuen von 14 dieser Fischarten markiert werden, aufgrund des geringen Stichprobenumfangs konnten jedoch primär nur für Alet und Barben belastbare Aussagen getroffen werden.

Auch ein Blick in die internationale Fachliteratur zeigt, wie schwierig die Korrelation des Fischabstiegsverhaltens mit abiotischen Faktoren ist und wie stark die Ergebnisse zwischen verschiedenen Untersuchungen variieren. Beispielsweise zeigt Ebel

(2016) [18] anhand von diversen Untersuchungen, dass die Driftintensität von larvalen und frühjuvenilen Fischen hauptsächlich nachts stattfindet, wobei je nach Untersuchung bis zu einem Drittel der Driftintensität tagsüber statt. Auch bezüglich des Einflusses der Mondphase auf das Fischverhalten finden sich in der Literatur teils sehr widersprüchliche Angaben. Schwevers und Adam (2020) [22] zeigen, dass der Abwanderpeak von Aalen je nach Studie während Neumond, abnehmendem Mond oder zunehmender Sichel stattfindet. In weiteren Studien wurde gar kein Zusammenhang zwischen der Abstiegsaktivität von Aalen und der Mondphase beobachtet. Ein weiteres Beispiel ist, dass Fische gemäss einigen Untersuchungen die FAH kaum für den Abstieg nutzen (z.B. [11], [23] und [24]), während in anderen Studien viele Abstiege über die FAH nachgewiesen wurden (z.B. [25], [26]). Diese auf den ersten Blick widersprüchlichen Literaturangaben zeigen, wie komplex und standortspezifisch das Fischabstiegsverhalten ist. Zudem wird in der Literatur häufig betont, dass bezüglich des Abwanderverhaltens potamodromer Arten sehr wenig bekannt.

Die Resultate dieses Projekts deuten nicht darauf hin, dass es kurze Zeiträume gibt, während welcher der Grossteil der adulten potamodromen Fische abwandert. Zudem konnte zumindest während dieser Untersuchung keine starke Korrelation zwischen Fischabstiegen und bestimmten abiotischen Faktoren festgestellt werden. Diese Beobachtungen sollten zwar mit weiteren Studien verifiziert werden. Aufgrund der beschriebenen Erkenntnisse wird jedoch nicht davon ausgegangen, dass mit der Umsetzung von betrieblichen Massnahmen über wenige Tage oder Wochen pro Jahr hinweg der Fischabstieg für einen grossen Teil der adulten potamodromen Fische wesentlich verbessert werden kann.

8.2 Ufernahe Leitstrukturen

In den Kapiteln 5.7 und 5.8 wurde gezeigt, dass sich die Suchbewegungen der markierten Fische stark auf die Uferbereiche des Oberwasserkanals konzentrieren. Aufgrund dieser Beobachtungen entstand die Idee, Fische mit ufernahen Leitstrukturen zu einem Bypass zu leiten. Der grosse Vorteil dieser ufernahen Leitstrukturen ist, dass damit, im Gegensatz zu den im technischen Vorprojekt [1] geplanten *Bar Racks*, nicht der gesamte Kanalquerschnitt abgedeckt wird. Dadurch sind die ufernahen Leitstrukturen voraussichtlich kostengünstiger als über den gesamten Kanalquerschnitt installierte *Bar Racks*. Die Abb. 8.1 zeigt eine mögliche Anordnung von ufernahen Leitstrukturen mit entsprechenden Bypasseinläufen. Die Idee ist dabei, dass stromabwärts wandernde Fische mit den gegen die Fliessrichtung geneigten Rechen zu den Bypasseinläufen geleitet werden. Fische, welche sich dem Kraftwerk in der Kanalmitte nähern und anschliessend entlang der Ufer gegen die Fliessrichtung schwimmen, können mit den in Fliessrichtung geneigten Rechen abgeholt werden. Klar ist, dass mit diesen Rechen nicht alle Fische zu den Bypässen geleitet werden können. Die im Rahmen dieser Studie gemachten Beobachtungen lassen aber vermuten, dass mit diesen ufernahen Leitstrukturen trotzdem ein beträchtlicher Teil der abwandernden Fische zu einem Bypass geleitet werden kann. Somit handelt es sich bei den ufernahen Leitstrukturen für das KWWB um eine vielversprechende alternative Fischabstiegsmassnahme, welche erst dank der Ergebnisse dieser akustischen Telemetrieuntersuchung entwickelt werden konnte. Da jedoch noch keine Erfahrungen mit einem vergleichbaren System vorliegen, gibt es noch viele offene Fragen. So ist zum Beispiel unklar, ob entlang der Ufer aufsteigende Fische in die Bypässe einschwimmen oder Richtung Kanalmitte ausweichen und ob mit dieser Massnahme der sichere Fischabstieg für ein breites Fischartenspektrum und unterschiedliche Lebensstadien ermöglicht werden kann. Eine detaillierte Beschreibung dieser ufernahen Leitstrukturen erfolgt im Rahmen des Syntheseberichts [2]. Darin wird auch die

unter entsprechenden Annahmen berechnete Leiteffizienz abgeschätzt, welche auf den Schwimmpfaden dieses Projekts beruht.

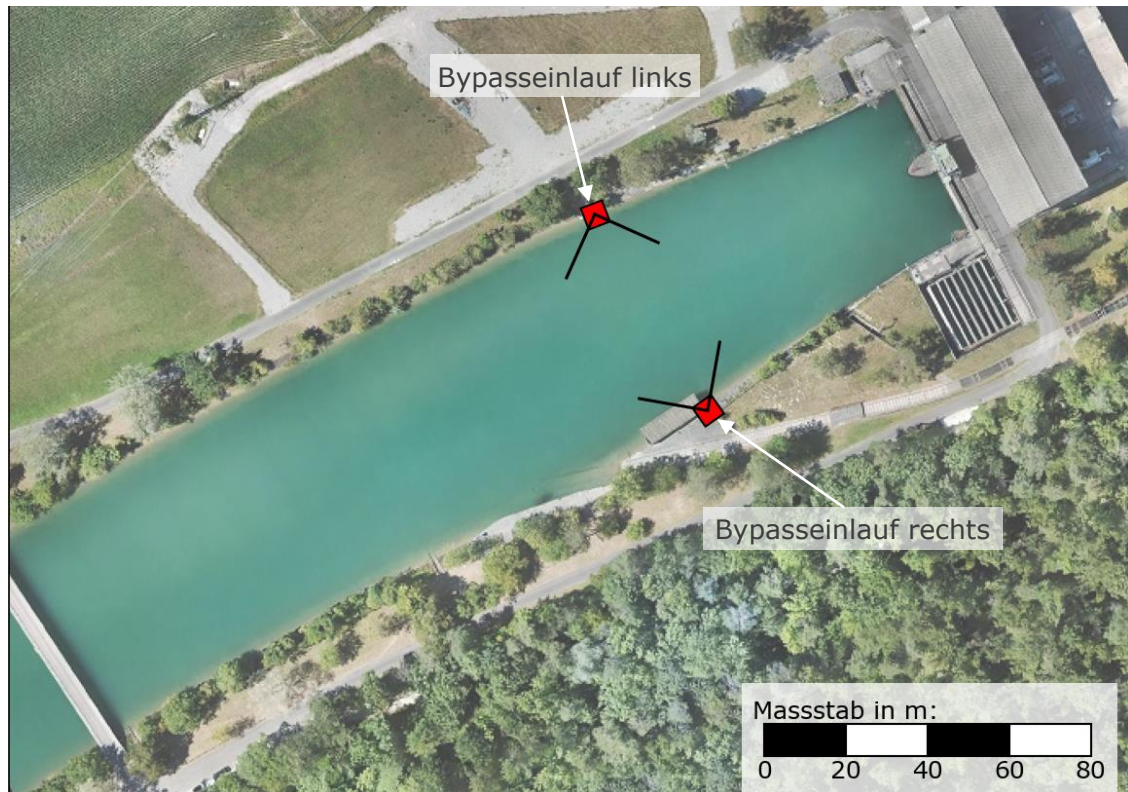


Abb. 8.1 Eine mögliche Anordnung von ufernahen Leitstrukturen beim KWVB.

9. Fazit und Ausblick

Über das Fischabstiegsverhalten adulter potamodromer Fische ist in der Literatur nur wenig bekannt. Für die zielgerichtete Planung alternativer Fischabstiegsmassnahmen zu Leitrechen-Bypass-Systemen mittels *Bar Racks* ist ein besseres Verständnis des Abstiegsverhaltens jedoch unerlässlich. Dieses Projekt zeigt unter anderem, wie komplex und artspezifisch das Abstiegsverhalten adulter potamodromer Fische ist, und welche Herausforderung die Beobachtung und Analyse des Fischverhaltens über einen längeren Zeitraum mit sich bringt. Da sich die Wanderungen potamodromer Fische nicht auf kurze Zeiträume konzentriert, sind für die Untersuchung des Fischverhaltens lange Untersuchungsperioden erforderlich. Bei akustischen Telemetriestudien führt dies insbesondere zu Herausforderungen mit der Tag-Lebensdauer und dem Betrieb der im Wasser installierten Hydrophone, welche den Gewässereinwirkungen wie Geschwemmsel- und Geschiebetransport ausgesetzt sind. Nichtsdestotrotz konnten im Rahmen des vorliegenden Projekts viele spannende Erkenntnisse bezüglich des Schwimm- und Wanderverhaltens, insbesondere von Alet und Barben, gewonnen werden. Für die Planung von Fischabstiegsanlagen bei grossen Flusskraftwerken sind dabei insbesondere zwei Erkenntnisse relevant.

Erstens konnten zwar Trends zwischen abiotischen Faktoren und stromabwärts gerichteten Fischbewegungen und Turbinenpassagen erkannt werden. Weder die stromabwärts gerichteten Fischbewegungen noch die Turbinenpassagen

beschränkten sich jedoch auf kurze Zeiträume, während welcher betriebliche Massnahmen mit relativ geringen Produktionsverlusten umgesetzt werden könnten.

Zweitens wurde festgestellt, dass Fische das Kraftwerk als Hindernis wahrnehmen und grösstenteils nicht direkt über die Turbinen absteigen, sondern v.a. ufernah nach Abstiegskorridoren suchen. Aufgrund dieser Beobachtung entstand die Idee, die suchenden Fische mit ufernahen Leitstrukturen zu einem Bypass zu leiten. Für eine detaillierte Betrachtung dieser ufernahen Leitstrukturen wird auf den Synthesebericht [2] verwiesen. Schon die in diesem Bericht gezeigten Resultate lassen jedoch vermuten, dass es sich bei den ufernahen Leitstrukturen für das KWWB um eine vielversprechende alternative Fischabstiegsmassnahme handelt. Dies insbesondere deshalb, da im Vergleich zu über die gesamte Kanalbreite installierten Leitrechen-Bypass-Systemen von geringeren Kosten ausgegangen wird und voraussichtlich trotzdem ein bedeutender Teil der absteigenden Fische zu einem Bypass geleitet werden kann. Da jedoch noch keine Erfahrungen mit einem vergleichbaren System vorliegen, gibt es noch viele offene Fragen. So ist zum Beispiel unklar, ob entlang der Ufer aufsteigende Fische in die Bypässe einschwimmen oder Richtung Kanalmitte ausweichen und ob mit dieser Massnahme der sichere Fischabstieg für ein breites Fischartenspektrum und unterschiedliche Lebensstadien ermöglicht werden kann. Aus diesen Gründen wird im nächsten Schritt die Planung eines temporären Versuchs mit ufernahen Leitstrukturen empfohlen. Sollten diese Versuche erfolgreich verlaufen, könnte der sichere Fischabstieg beim KWWB durch den Bau von permanenten ufernahen Leitstrukturen in Kombination mit einem oder zwei Bypässen geplant und realisiert werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Axpo (2024). Kraftwerk Wildegg-Brugg – Sanierung Geschiebehaushalt und Wiederherstellung Fischwanderung. Teilprojekt F: Fischabstieg am Maschinenhaus. Technisches Vorprojekt. H 17748.
- [2] Axpo und BKW (2024). Kraftwerke Wildegg-Brugg und Bannwil. Synthesebericht der Fischabstiegs-Pilotprojekte des Verbands Aare-Rheinkraftwerke (VAR). H 18597.
- [3] VAW (2020). Fischleitrecken Kraftwerk Wildegg-Brugg, Numerische Modelluntersuchung, VAW-Bericht 4390, ETH Zürich; H 17857.
- [4] Voser, P. (2009). Fische, Krebse und Muscheln in der Aare. Umwelt Aargau, 45:29–34.
- [5] Lucas, M.C. und Baras, E. (2001). Migration of freshwater fishes. Blackwell Science, Oxford: 440 Seiten.
- [6] Ebel, G. (2002). Untersuchungen zur Stabilisierung von Barbenpopulationen – dargestellt am Beispiel eines mitteldeutschen Fließgewässers. Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie, Halle, 2:152 Seiten.
- [7] Kraiem, M. und Pattee, E. (1980). La tolérance à la température et au déficit en oxygène chez le barbeau (*Barbus barbus* L.) et d'autres espèces provenant des zones voisines. Archiv für Hydrobiologie 88:250–261.
- [8] Britton, J.R. und Pegg, J. (2011). Ecology of European barbel *Barbus barbus*: Implications for river, fishery, and conservation management. Reviews in Fisheries Science, 19,4:321–330.
- [9] Baras, E. (1992). Etudes des stratégies d'occupation du temps et de l'espace chez le barbeau fluviatile, *Barbus barbus* (L.). Cahiers d'éthologie, 12:125–442.
- [10] Steinmann, P., Koch, W. und Scheuring, L. (1937). Die Wanderung unserer Süßwasserfische. Dargestellt auf Grund von Markierungsversuchen. Zeitschrift für Fischerei und deren Hilfswissenschaften, 15:369–467.
- [11] Peter, A., Schölzel, N. und Wilmsmeier, L. (2023). Radiotelemetrische Untersuchungen zum Fischabstieg am Kraftwerk Bannwil. Studie im Auftrag der BKW Energie AG. 110 Seiten.
- [12] Mann, R.H.K. (1976). Observations on the age, growth, reproduction and food of the chub *Squalius cephalus* (L.) in the River Stour, Dorset. Journal of Fish Biology, 8:265–288.
- [13] WFN (2019). Kraftwerk Rüchlig AG – Wiederherstellung Fischwanderung. Fischaufstiegshilfen beim Haupt- und Dotierkraftwerk. Wirkungskontrolle. H 17330.
- [14] Baktoft, H., Gjelland, K.Ø., Økland, F. und Høgsbro Thygesen, U. (2017). Positioning of aquatic animals based on time-of-arrival and random walk models using YAPS (Yet Another Positioning Solver). Scientific Reports 7, 14294.
- [15] Meister, J. (2020). Fish protection and guidance at water intakes with horizontal bar rack bypass systems. VAW-Mitteilung 258 (R. Boes, Hrsg.), VAW, ETH Zürich.

- [16] Beck, C. (2020). Fish protection and fish guidance at water intakes using innovative curved-bar rack bypass systems. VAW-Mitteilung 257 (R. Boes, Hrsg.), VAW, ETH Zürich.
- [17] Wilmsmeier, L., Schölzel, N., Kastenhofer, O. und Peter, A (2020). Fischwanderung: Kontrollinstrument Zählbecken – Weiterführende Untersuchungen zum Einsatz der kombinierten Kehle. Expertenbericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU: 70 S.
- [18] Ebel, G. (2016). Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen – Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. Ingenieurbiologische Grundlagen, Modellierung und Prognose, Bemessung und Gestaltung. Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel, 2. Auflage.
- [19] Axpo und Aquarius (2018). Kleinwasserkraftwerk Stroppel (Axpo Kleinwasserkraft AG) – Wirkungskontrolle Fischabstieg am Horizontalrechen mit Bypass.
- [20] Axpo und WFN (2020). Kraftwerk Röchling AG, Wiederherstellung der Fischwanderung, Fischabstieg Dotierkraftwerk – Wirkungskontrolle Fischabstieg am Horizontalrechen mit Bypass.
- [21] de Vocht, A. und Baras, E. (2003). Effect of hydropeaking on migrations and home range of adult barbel (*Barbus barbus*) in the river Meuse: S. 9–13. In: Spedicato, M. T., Lembo, G. und Marmulla, G. Editoren. Aquatic telemetry: advances and applications. Proceedings of the Fifth Conference on Fish Telemetry held in Europe. Ustica. Rome, FAO/COISPA.
- [22] Schwevers, U. und Adam, B. (2020). Fish protection technologies and fish ways for downstream migration. ISBN 9783030192419. Springer.
- [23] Agostinho, C.S., Pelicice, F.M., Marques, E.E., Soares, A.B. und de Almeida, D.A.A. (2011). All that goes up must come down? Absence of downstream passage through a fish ladder in a large Amazonian river. Hydrobiologia, 675(1): 1–12.
- [24] Pelicice, F.M. und Agostinho, C.S. (2012). Deficient downstream passage through fish ladders: the case of Peixe Angical Dam, Tocantins River, Brazil. Neotropical Ichthyology, 10(4):705–713.
- [25] Schmalz, W. (2010). Untersuchungen zum Fischabstieg und Kontrolle möglicher Fischschäden durch die Wasserkraftschnecke an der Wasserkraftanlage Walkmühle an der Werra in Meiningen, Fischökologische & Limnologische Untersuchungsstelle Südthüringen (FLUSS).
- [26] Engler, O. und Adam, B. (2014). HDX-Monitoring Wupper — Untersuchung der Wanderung von Fischen (Untersuchungszeitraum vom 31. Oktober 2013 bis 31. Mai 2014), Institut für angewandte Ökologie.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1	Situation beim KWWB, Fliessrichtung der Aare von links nach rechts (Quelle: Axpo).	8
Abb. 3.2	Dauerkurven ausgewählter Jahre sowie der Untersuchungsperiode der BAFU Messstation «Aare - Brugg 2016» (Datenquelle: BAFU)..	9
Abb. 3.3	Tiefengemittelte Fliessgeschwindigkeiten im Oberwasser des KWWB für (a) den Volllastbetrieb ($Q_{\text{links}} = Q_{\text{rechts}} = 210 \text{ m}^3/\text{s}$) und im Teillastbetrieb mit (b) $Q_{\text{links}} = 210 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{rechts}} = 0 \text{ m}^3/\text{s}$ und (c) $Q_{\text{links}} = 0 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{rechts}} = 210 \text{ m}^3/\text{s}$ (Datengrundlage [3]).	10
Abb. 3.4	Übersicht des KWWB, wobei die potenziellen Wanderkorridore mit roten Pfeilen dargestellt sind (FAH: Fischaufstiegshilfe; Quelle Orthofoto: Swisstopo).	11
Abb. 3.5	Bild einer im Rahmen dieses Projekts am 12.06.2020 markierte Barbe mit einer Totallänge von 421 mm und einem Gewicht von 1'337 g. Die Barbe wurde mit der Reuse in der FAH des KWWB gefangen.	13
Abb. 3.6	Bild eines im Rahmen dieses Projekts am 24.06.2020 markierten Alet, welcher im Zählbecken des Kraftwerks Rapperswil-Auenstein gefangen wurde. Er wies eine Totallänge von 439 mm und ein Gewicht von 996 g auf.	13
Abb. 3.7	Bild eines am 17.07.2020 markierten Wels mit einer Totallänge von 930 mm.	14
Abb. 3.8	Bild eines am 10.07.2020 markierten Egli (Flussbarsch) mit einer Totallänge von 308 mm und einem Gewicht von 379.	14
Abb. 4.1	(a) Vier der verwendeten Hydrophone (Modell 590) und (b) ein Teil der verwendeten 795-LF Tags.	16
Abb. 4.2	Überblick über den Untersuchungsperimeter und die Messstationen (Quelle Karte: Swisstopo).	17
Abb. 4.3	(a) An einer C-Halterung montiertes Hydrophon und (b) Befestigung eines Hydrophons im Böschungsbereich mithilfe eines Tauchers.	18
Abb. 4.4	(a) An einer H-Halterung befestigtes Hydrophon und (b) ein Teil der verwendeten C- und H-Halterungen.	19
Abb. 4.5	(a) Zwei jeweils knapp drei Tonnen schwere Betonklötze mit aufgesetzten Hydrophon-Halterungen, welche im Oberwasserkanal des KWWB positioniert wurden, (b) eine Detailaufnahme des eingesetzten Pneukrans und (c) der Pneukran mit ausgefahrenem Ausleger beim Setzen eines Hydrophons im Oberwasserkanal des KWWB.	20
Abb. 4.6	(a) Auf dem Mittelpfeiler montierte Stahlkonstruktion zur Befestigung der in (b) gezeigten langen Stahlhalterung für die Installation eines sohlennahen Hydrophons (rot hervorgehoben).	21

Abb. 4.7	Positionen der Hydrophone im Nahbereich des Maschinenhauses.	22
Abb. 4.8	Die Aussenstation in Brugg mit (a) der Plattform (gelbe Holztafel), der Holzbox und dem Photovoltaik-Modul und (b) die Elektronik in der unter der Holzbox positionierten Metallkiste.	24
Abb. 4.9	Aare zwischen den Kraftwerken Rapperswil-Auenstein und Beznau, wobei die beim mobilen Tracking befahrenen Abschnitte rot hervorgehoben sind (Quelle Karte: Swisstopo).	26
Abb. 4.10	(a) Über den Oberwasserkanal gespanntes Seil und (b) der Test- Tag, welcher durch einen mit Steinen befüllten Sack beschwert wurde.	27
Abb. 4.11	(a) und (b) zeigen die Daten eines Test-Tags im Grundriss und (c) im Längsschnitt.	27
Abb. 4.12	Beispiel von (a) mit der HTI-Software und (b) mit YAPS ausgewerteten 2D-Schwimmpfaden im Grundriss, wobei die roten Punkte den Hydrophonpositionen entsprechen (Quelle: Henrik Baktoft).	28
Abb. 4.13	Aare zwischen Rapperswil-Auenstein und Beznau mit den Fangorten der markierten Fische (gelb). Gestrichelte Linien entsprechen der ungefähren Befischungsstrecken mit dem Elektrofangboot (im Unterwasserkanal des KWWB wurden keine Fische gefangen; Quelle Karte: Swisstopo).	34
Abb. 4.14	Nach Totallänge und Fischart aufgeschlüsselte Anzahl der während der Hauptuntersuchungsperiode markierten Fische.	36
Abb. 4.15	Nach Gewicht und Fischart aufgeschlüsselte Anzahl der während der Hauptuntersuchungsperiode markierten Fische. Das Gewicht von 17 Welsen und einer Barbe konnte nicht erfasst werden, da diese Fische für die vorhandene Waage zu gross waren.	36
Abb. 4.16	(a) Installationen der FishConsulting GmbH für das Markieren der Fische und (b) vier gerade markierte Barben kurz bevor diese im Oberwasserkanal ausgesetzt wurden.	37
Abb. 5.1	Histogramme, welche angeben nach wie vielen Tagen nach dem Aussetztag die markierten Fische das letzte Mal beim MH detektiert wurden: (a) für die kleinen Tags und (b) für die grossen Tags. ...	38
Abb. 5.2	Überblick der verfügbaren Daten: (a) Abflüsse (Betriebsdaten KWWB) und Wassertemperatur (Quelle: BAFU), (b) Anzahl ausgesetzte Fische und aktive Tags, (c) Anzahl registrierte Positionen und Zeiträume mit funktionierender Datenaufzeichnung und (d) Anzahl der beim MH detektierten Fische.	41
Abb. 5.3	Detektionen bei den Aussenstationen und dem MH, welche nach (a) Aufstiegen und (b) Abstiegen unterteilt sind. Die grauen horizontalen Balken markieren die Zeiträume, während welcher das jeweilige Hydrophon der Aussenstation Daten aufzeichnete (KWRü: Kraftwerk Rüchlig, KRA: Kraftwerk Rapperswil-Auenstein,	

	KWWB: Kraftwerk Wildegg-Brugg, RW-Strecke: Restwasserstrecke, UWK: Unterwasserkanal).	44
Abb. 5.4	Visualisierung der Anzahl detektierter Fische pro Station und der entsprechenden Wanderkorridore; Fliessrichtung von links unten nach rechts oben (Quelle Orthofoto: Swisstopo)	46
Abb. 5.5	Grossräumige Wanderpfade aller Alet, welche (a) direkt abgestiegen sind (Gruppe 3) und (b) zuerst auf- und dann abgestiegen sind (Gruppe 4).	48
Abb. 5.6	Grossräumige Wanderpfade aller Barben, welche (a) direkt abgestiegen sind (Gruppe 3) und (b) zuerst auf- und dann abgestiegen sind (Gruppe 4).	48
Abb. 5.7	Grossräumige Wanderpfade aller weiteren Fischarten, welche (a) direkt abgestiegen sind (Gruppe 3) und (b) zuerst auf- und dann abgestiegen sind (Gruppe 4).	49
Abb. 5.8	Zeitpunkt aller Turbinenpassagen relativ zum entsprechenden Aussetzzeitpunkt.	51
Abb. 5.9	Anzahl Annäherungen an das Maschinenhaus aller (a) Alet, (b) Barben und (c) Egli.	53
Abb. 5.10	Dauer der 1.–5. Annäherung aller vor dem MH des KWWB detektierten Fische.....	54
Abb. 5.11	Zeitliche Häufigkeit der positiven Rheotaxis der im Hydrophonnetz detektierten Fische (z.B. ein Wert von 75% gibt an, dass sich die Fische an diesem Punkt zu 75% der Zeit in einer positiven Rheotaxis befanden). Die Darstellungen sind für den Lastfall L1 (primär linke Turbine in Betrieb) für (a) Alet und (b) Barben den Lastfall L2 (primär rechte Turbine in Betrieb) für (c) Alet und (d) Barben sowie L3 (beide Turbinen in Betrieb) für (e) Alet und (f) Barben.	56
Abb. 5.12	Umkehrpunkte für den Lastfall L1 (primär linke Turbine in Betrieb) für (a) Alet und (b) Barben und L2 (primär rechte Turbine in Betrieb) für (c) Alet und (d) Barben und für L3 (beide Turbinen in Betrieb) für (e) Alet und (f) Barben.	58
Abb. 5.13	(a) Querschnitt des Oberwasserkanals vor dem MH des KWWB inklusive aller 222 ersten stromabwärts gerichteten Durstosspunkte pro Fisch und (b) die dazugehörige Häufigkeitsverteilung.....	60
Abb. 5.14	Alle Durchstosspunkte aller Fische vor dem MH des KWWB, wobei (a) die stromabwärts gerichteten Durchstosspunkte (5'759) und (b) die stromaufwärts gerichteten Durchstosspunkte (5'801) zeigt.	61
Abb. 5.15	Jeweils erster Durchstosspunkt pro Fisch für (a) Alet (121) und (b) Barben (82) und alle Durchstosspunkte von (c) Alet (3'750) und (d) Barben (1'863).....	62

Abb. 5.16	Heatmap aller beim MH des KWWB aufgezeichneten Datenpunkte.	63
Abb. 5.17	Heatmap des Lastfalls L1 (primär linke Turbine in Betrieb) für (a) Alet und (b) Barben, des Lastfalls L2 (primär rechte Turbine in Betrieb) für (c) Alet und (d) Barben und des Lastfalls L3 (beide Turbinen in Betrieb) für (e) Alet und (f) Barben.	64
Abb. 5.18	Heatmaps aller vor dem MH des KWWB detektierten Egli für den Lastfalls (a) L1 (primär linke Turbine geöffnet), L2 (primär rechte Turbine geöffnet) und L3 (beide Turbinen geöffnet).....	66
Abb. 5.19	Relativ zum Sonnenuntergang bezogene Anzahl an Positionsdaten vor dem MH des KWWB.	68
Abb. 5.20	Anteil der Positionsdaten, welche während der Morgendämmerung, tagsüber, während der Abenddämmerung und in der Nacht registriert wurden.	68
Abb. 5.21	Der jahreszeitliche Verlauf aller (a) stromaufwärts (1'155) und (b) stromabwärts (601) gerichteten Fischbewegungen.	70
Abb. 5.22	Heatmaps aller Alet in Abhängigkeit der Jahreszeit: (a) Frühling, (b) Sommer, (c) Herbst und (d) Winter.	71
Abb. 5.23	Heatmaps aller Barben in Abhängigkeit der Jahreszeit: (a) Frühling, (b) Sommer, (c) Herbst und (d) Winter.	71
Abb. 5.24	Darstellung der Turbinenpassagen in Abhängigkeit der Tages- und Jahreszeit.	73
Abb. 5.25	Abflüsse, bei welchen stromauf- und abwärts gerichtete Fischbewegungen sowie Turbinenpassagen von Alet beobachtet wurden (Datengrundlage Abflüsse: BAFU).....	74
Abb. 5.26	Abflüsse, bei welchen stromauf- und abwärts gerichtete Fischbewegungen sowie Turbinenpassagen von Barben beobachtet wurden (Datengrundlage Abflüsse: BAFU).....	74
Abb. 5.27	Wassertemperatur, bei welchen stromauf- und abwärts gerichtete Fischbewegungen sowie Turbinenpassagen von Alet beobachtet wurden (Datengrundlage Wassertemperatur: BAFU).....	76
Abb. 5.28	Wassertemperatur, bei welchen stromauf- und abwärts gerichtete Fischbewegungen sowie Turbinenpassagen von Barben beobachtet wurden (Datengrundlage Wassertemperatur: BAFU).....	76
Abb. 5.29	Wassertemperatur $T \leq 15\text{ °C}$ für (a) Alet und (b) Barben und $T > 15\text{ °C}$ für (c) Alet und (d) Barben (Datenquelle Wassertemperatur: BAFU).	77
Abb. 5.30	Luftdrücke, bei welchen stromauf- und abwärts gerichtete Fischbewegungen sowie Turbinenpassagen von Alet beobachtet wurden (Datengrundlage Luftdruck: MeteoSchweiz).	78
Abb. 5.31	Luftdrücke, bei welchen stromauf- und abwärts gerichtete Fischbewegungen sowie Turbinenpassagen von Barben beobachtet wurden (Datengrundlage Luftdruck: MeteoSchweiz).	78

Abb. 5.32	Nach Mondphase aufgeschlüsselte (a) erste Durchstosspunkte pro Fisch und (b) Anzahl registrierte Positionen (Datenquelle Symbole im Anhang 6).	79
Abb. 5.33	Nach Fangort unterteilte Zuordnung der Fische in die Gruppen 0–5, wobei n der Anzahl markierten Fische je Fangort entspricht.	80
Abb. 5.34	Beispiel eines Tracks, welcher zur Erklärung aller abgebildeten Daten genutzt wird.	83
Abb. 5.35	Das Verhalten der Barbe 506522: (a) Grossräumiges Wanderverhalten und (b) und (c) die beiden Tracks (Quellenangaben Symbole im Anhang 6).	84
Abb. 5.36	Das Verhalten der Barbe 568123: (a) Grossräumiges Wanderverhalten und (b)–(g) alle beim MH aufgezeichneten Tracks (Quellenangaben Symbole im Anhang 6).	86
Abb. 5.37	Grossräumiges Wanderverhalten der mit der Tagnummer 450516 markierten Barbe.	87
Abb. 5.38	Das Verhalten des Alet 437926: (a) Grossräumiges Wanderverhalten und (b) und (c) die beiden Tracks (Quellenangaben Symbole im Anhang 6).	88
Abb. 5.39	Das Verhalten des Alet 568126: (a) Grossräumiges Wanderverhalten und (b)–(k) ausgewählte Tracks (Quellenangaben Symbole im Anhang 6).	91
Abb. 5.40	Das Verhalten des Alet 551309: (a) Grossräumiges Wanderverhalten und (b)–(f) ausgewählte Tracks (Quellenangaben Symbole im Anhang 6).	94
Abb. 5.41	Das Verhalten des Eglis 402906: (a) Grossräumiges Wanderverhalten und (b)–(d) alle drei beim MH aufgezeichneten Tracks (Quellenangaben Symbole im Anhang 6).	96
Abb. 5.42	Das Verhalten des Eglis 428126: (a) Grossräumiges Wanderverhalten und (b) der einzige vor dem MH aufgezeichnete Track (Quellenangaben Symbole im Anhang 6).	97
Abb. 7.1	(a) Über das Dachwehr abgespülte Kabel, an welchem ein Hydrophon mit einer H-Halterung befestigt war (Aufnahmedatum: 26.02.2020) und (b) während des Rückbaus fotografiertes, von Sedimenten überdecktes, Hydrophonkabel in der Restwasserstrecke (Aufnahmedatum: 13.07.2022).	103
Abb. 7.2	(a) Ein mit einer Metallhalterung an einem Betonklotz befestigtes Hydrophon vor der Installation, (b) das am 23. April 2021 mit dem Pneukran gehobene Hydrophon Nr. 14 mit abgebrochener Antenne und (c) das erneuerte Hydrophon Nr. 14 mit ebenfalls abgebrochener Antenne während des Rückbaus am 31. Oktober 2022.	104
Abb. 7.3	(a) Grobes Geschwemmsel, welches an einem Hydrophon hängen blieb (Aufnahmedatum: 31.10.2022) und (b) ein auf das	

	Hydrophonkabel gestürzter Baum (Aufnahmedatum: 07.09.2022).	105
Abb. 7.4	(a) Betonklotz während des Rückbaus der Aussenstation bei Brugg und (b) beim Rückbau gerissenes 16 mm dickes Stahlseil.	106
Abb. 7.5	Das beim Mittelpfeiler sohnah positionierte Hydrophon (a) vor der Installation am 13.05.2019, (b) beim Rückbau am 21.10.2022 und (c) weitere verbogene beschädigte Hydrophone (Aufnahmedatum 07.09.2022).....	107
Abb. 8.1	Eine mögliche Anordnung von ufernahen Leitstrukturen beim KWWB.	114
Abb. A.1	Anzahl der bei den Aussenstationen detektierten Fische (blaue vertikale Balken) und die entsprechenden Verfügbarkeiten (graue horizontale Balken).	142
Abb. A.2	Grossräumiges Wanderverhalten aller Alet, welche direkt aufgestiegen sind und anschliessend weder beim Maschinenhaus des KWWB noch weiter unterstrom detektiert wurden (Gruppe 1, genaue Definition in Kapitel 5.3.2).	143
Abb. A.3	Grossräumiges Wanderverhalten aller Alet, welche direkt aufgestiegen sind und anschliessend beim Maschinenhaus des KWWB detektiert wurden, aber nicht über das KWWB abgestiegen sind (Gruppe 2, genaue Definition in Kapitel 5.3.2).	144
Abb. A.4	Grossräumiges Wanderverhalten aller Alet, welche ausschliesslich beim MH des KWWB detektiert wurden und nicht über das Kraftwerk abgestiegen sind (Gruppe 5, genaue Definition in Kapitel 5.3.2).	145
Abb. A.5	Grossräumiges Wanderverhalten aller Barben, welche direkt aufgestiegen sind und anschliessend weder beim Maschinenhaus des KWWB noch weiter unterstrom detektiert wurden (Gruppe 1, genaue Definition in Kapitel 5.3.2).	146
Abb. A.6	Grossräumiges Wanderverhalten aller Barben, welche direkt aufgestiegen sind und anschliessend beim Maschinenhaus des KWWB detektiert wurden, aber nicht über das KWWB abgestiegen sind (Gruppe 2, genaue Definition in Kapitel 5.3.2).	147
Abb. A.7	Grossräumiges Wanderverhalten aller Barben, welche ausschliesslich beim MH des KWWB detektiert wurden und nicht über das Kraftwerk abgestiegen sind (Gruppe 5, genaue Definition in Kapitel 5.3.2).....	148
Abb. A.8	Grossräumiges Wanderverhalten aller restlichen Fischarten (keine Alet und Barben), welche direkt aufgestiegen sind und anschliessend weder beim Maschinenhaus des KWWB noch weiter unterstrom detektiert wurden (Gruppe 1, genaue Definition Kapitel 5.3.2).	149
Abb. A.9	Grossräumiges Wanderverhalten aller restlichen Fischarten (keine Alet und Barben), welche direkt aufgestiegen sind und	

	anschliessend beim Maschinenhaus des KWWB detektiert wurden, aber nicht über das KWWB abgestiegen sind (Gruppe 2, genaue Definition in Kapitel 5.3.2).	150
Abb. A.10	Grossräumiges Wanderverhalten aller restlichen Fischarten (keine Alet und Barben), welche ausschliesslich beim MH des KWWB detektiert wurden und nicht über das Kraftwerk abgestiegen sind (Gruppe 5, genaue Definition in Kapitel 5.3.2).....	151
Abb. A.11	Grossräumiges Wanderverhalten aller Fische, welche in der Aare mittels Elektrofischung gefangen wurden.....	152
Abb. A.12	Grossräumiges Wanderverhalten aller Fische, welche in der Fischaufstiegshilfe beim Wehr des hydraulischen Kraftwerks Beznau gefangen wurden.....	153
Abb. A.13	Grossräumiges Wanderverhalten aller Fische, welche in der Fischaufstiegshilfe bzw. im Zählbecken des Kraftwerks Rapperswil-Auenstein gefangen wurden.	154
Abb. A.14	Grossräumiges Wanderverhalten aller Fische, welche mit der Reuse in der Fischaufstiegshilfe des KWWB gefangen wurden.	155
Abb. A.15	Grossräumiges Wanderverhalten aller Fische, welche im Pumpenschacht des KWWB gefangen wurden.	156
Abb. A.16	Grossräumiges Wanderverhalten aller Fische, welche mittels Elektrofischung im Talbach gefangen wurden.	157
Abb. A.17	Grossräumiges Wanderverhalten aller Fische, welche mittels Elektrofischung im Wildibach gefangen wurden.	158

Anhang 1 HTI Coded Transmitters – 307 kHz

HTI Coded Transmitters - 307 kHz

High frequency tag is ideal for tracking animals in freshwater and especially in high flow, noisy environments such as around hydropower facilities

Operating at 307 kHz, the HTI coded 795-Series Acoustic Tags are ideal for monitoring fish in freshwater environments, and are especially suited for use in high flow, high noise environments such as around hydroelectric facilities.

The 795-Series tags provide an efficient means for detecting fish presence and/or remotely tracking fish in 2D and 3D in fine-scale resolution up to 20 centimeters. They can be detected at ranges of up to one kilometer.

The tags support PIT tag inclusion for detection of tagged fish outside of water or beyond the battery life of an acoustic tag study.



Benefits

- » Fine-scale, sub-meter, 2D/3D resolution over time (e.g., once every second)
- » Detection ranges up to one kilometer
- » Simultaneous tag identification and detection
- » Immune to tag signal collision
- » Individual tag identification with over 500,000 unique codes
- » Multitude of tag life options (up to 5 years) with various tag size and tag life options available
- » Superior resolution and range with an encoded signal for 11 dB increase in signal strength

Pair With

The HTI coded 795-Series 307 kHz tags are used as a system with:

- » Model 290 Acoustic Tag Receiver
- » Model 291 Portable Acoustic Tag Receiver
- » Model 395 Acoustic Tag Data Logger
- » Model 590 Hydrophone
- » HR3 High Residence Receiver
- » Model 490-LP Acoustic Tag Programmer (for on-site programming of ping rate, pulse width and tag ID)



PRODUCT SPECIFICATIONS

Tag Model	Diameter (mm)	Length (mm)	Weight in Air (g)	Weight in Water (g)	Power Output dB re 1 μ Pa @ 1m	Battery Life (days)* 3 sec PRI	Battery Life (days)* 10 sec PRI
HTI 795-LM	6.8	17.5	0.65	0.34	149	38	66
HTI 795-LD	6.8	20	1.1	0.55	149	98	175
HTI 795-LF	11	24.5	3	1.56	152	170	500
HTI 795-LG	11	33	4.47	3.1	152	365	912
HTI 795-LY	16	48	11.9	7.3	152	912	1460
HTI 795-LZ	16	69	24	14	152	1460	1825

* Estimated life can be extended by decreasing Pulse Width (PW) and/or increasing Pulse Rate Interval (PRI). Length, diameter and weight may vary +/- 10%. Life quoted is based on operating parameters of 1 msec pulse width, single pulse, at 10°C.

Ready to Get Started? [Contact us](#) today.

About Innovasea

Innovasea designs the world's most technologically advanced aquatic solutions for fish tracking and builds them to withstand the toughest conditions. It's all driven by a commitment to make our ocean and freshwater ecosystems sustainable for future generations. Today. Tomorrow. For life.

Anhang 2 Liste mit allen während der Hauptuntersuchungsperiode markierten Fischen

Tag-ID	Fischart	TL [mm]	Gewicht [g]	Fangort	Aussetz- datum	Anzahl Tracks	Turbinen- passage	Gruppe
400104	Alet	382	685	KRA FAH	17.06.2021	1	Nein	2
400105	Rotaugen	259	203	KRA FAH	09.10.2020	1	Nein	1
400106	Barbe	283	181	KRA FAH	17.07.2020	-	Nein	1
400107	Egli	278	275	KWWB FAH	08.07.2020	-	Nein	1
400108	Alet	355	556	KRA FAH	24.06.2020	1	Nein	2
400109	Barbe	526	1066	KRA FAH	05.06.2020	5	Ja	4
401502	Alet	269	221	Wildibach	18.10.2021	-	Nein	0
401506	Alet	282	248	Wildibach	14.10.2021	1	Nein	5
401531	Wels	750	k.A.	Pumpenschacht	09.09.2021	-	Nein	1
402905	Alet	409	902	KRA FAH	17.06.2021	-	Nein	1
402906	Egli	241	189	KRA FAH	09.10.2020	3	Nein	2
402907	Alet	296	285	KRA FAH	17.07.2020	2	Nein	2
402908	Alet	332	427	KWWB FAH	08.07.2020	-	Ja	3
402909	Alet	439	996	KRA FAH	24.06.2020	-	Nein	1
402931	Barbe	600	1643	KRA FAH	05.06.2020	1	Nein	1
404303	Alet	266	190	Wildibach	18.10.2021	-	Nein	1
404307	Alet	265	198	Wildibach	14.10.2021	-	Nein	0
404330	Wels	680	k.A.	Pumpenschacht	09.09.2021	-	Nein	1
405706	Alet	393	705	KRA FAH	17.06.2021	7	Nein	1
405707	Egli	268	233	KRA FAH	09.10.2020	1	Nein	2
405708	Alet	368	558	KRA FAH	17.07.2020	6	Nein	2
405709	Barbe	557	1558	KWWB FAH	08.07.2020	-	Nein	1
405730	Alet	442	789	KRA FAH	05.06.2020	2	Ja	4
405731	Alet	311	380	KRA FAH	24.06.2020	-	Ja	4
407104	Alet	295	278	Wildibach	18.10.2021	-	Nein	0
407108	Alet	261	193	Wildibach	14.10.2021	-	Nein	0
407129	Wels	910	k.A.	Pumpenschacht	09.09.2021	-	Nein	1
408507	Alet	352	598	KWWB FAH	17.06.2021	-	Nein	1
408508	Egli	272	226	KRA FAH	09.10.2020	12	Ja	4
408509	Alet	443	940	KRA FAH	17.07.2020	48	Nein	2
408529	Karpfen	518	2740	KRA FAH	05.06.2020	1	Nein	1
408530	Wels	860	k.A.	KRA FAH	24.06.2020	-	Nein	1
408531	Schleie	456	1715	KRA FAH	10.07.2020	-	Nein	1
409905	Alet	259	184	Wildibach	18.10.2021	-	Nein	5
409909	Alet	274	214	Wildibach	14.10.2021	-	Nein	0
411308	Alet	382	606	KWWB FAH	17.06.2021	1	Nein	1
411309	Barbe	272	165	KRA FAH	09.10.2020	1	Nein	2
411328	Barbe	653	2203	KWWB FAH	05.06.2020	1	Nein	1
411329	Barbe	607	1769	KWWB FAH	24.06.2020	-	Ja	4

411330 Alet	374	622 KRA FAH	10.07.2020	- Nein	1
411331 Barbe	498	873 KRA FAH	17.07.2020	5 Nein	1
412706 Alet	259	185 Wildibach	18.10.2021	1 Nein	5
412731 Alet	242	157 Wildibach	14.10.2021	5 Nein	1
414109 Alet	382	537 KWWB FAH	17.06.2021	81 Ja	4
414127 Barbe	732	2846 KWWB FAH	05.06.2020	9 Nein	2
414128 Alet	356	1201 KWWB FAH	24.06.2020	- Nein	1
414129 Schleie	405	1463 KRA FAH	10.07.2020	- Nein	1
414130 Wels	930	k.A. KRA FAH	17.07.2020	1 Nein	1
414131 Egli	245	193 KRA FAH	09.10.2020	2 Nein	2
415507 Alet	251	150 Wildibach	18.10.2021	- Nein	1
415530 Alet	263	199 Wildibach	14.10.2021	- Nein	1
416926 Barbe	561	1806 KRA FAH	08.06.2020	16 Nein	1
416927 Barbe	582	1739 KRA FAH	26.06.2020	- Nein	1
416928 Schleie	441	1644 KRA FAH	10.07.2020	- Nein	1
416929 Barbe	386	466 KWWB FAH	17.07.2020	2 Nein	2
416930 Rotaugen	237	162 KRA FAH	09.10.2020	1 Nein	2
416931 Alet	351	454 KWWB FAH	17.06.2021	- Nein	1
418308 Alet	251	166 Wildibach	18.10.2021	- Nein	5
418329 Alet	255	170 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
419725 Barbe	562	1592 KRA FAH	08.06.2020	4 Nein	1
419726 Barbe	461	782 KRA FAH	26.06.2020	- Nein	1
419727 Barbe	296	249 KRA FAH	10.07.2020	- Nein	1
419728 Egli	249	162 KWWB FAH	17.07.2020	- Nein	1
419729 Alet	249	177 KWWB FAH	09.10.2020	1 Ja	3
419730 Alet	409	792 KWWB FAH	17.06.2021	- Nein	1
421109 Alet	236	144 Wildibach	18.10.2021	5 Nein	1
421124 Alet	316	372 Wildibach	29.09.2021	- Nein	1
421128 Alet	250	170 Wildibach	14.10.2021	316 Nein	5
422524 Barbe	631	2356 KRA FAH	08.06.2020	4 Nein	1
422525 Barbe	538	1219 KRA FAH	26.06.2020	- Nein	1
422526 Barbe	474	907 KRA FAH	10.07.2020	- Nein	1
422527 Barbe	674	2812 KWWB FAH	17.07.2020	- Nein	1
422528 Egli	274	281 KWWB FAH	09.10.2020	1 Nein	1
422529 Barbe	299	198 KWWB FAH	17.06.2021	1 Nein	2
423923 Alet	272	235 Wildibach	29.09.2021	1 Nein	1
423927 Alet	225	149 Wildibach	14.10.2021	6 Nein	1
423931 Alet	264	184 Wildibach	18.10.2021	17 Nein	5
425323 Alet	425	787 KRA FAH	08.06.2020	2 Nein	5
425324 Alet	302	313 KRA FAH	26.06.2020	263 Nein	2
425325 Alet	362	515 KRA FAH	10.07.2020	115 Nein	2
425326 Barbe	566	1428 KWWB FAH	17.07.2020	26 Nein	2
425327 Alet	296	299 KWWB FAH	09.10.2020	22 Nein	2
425328 Barbe	451	699 KWWB FAH	17.06.2021	- Nein	1

426722 Alet	262	206 Wildibach	29.09.2021	5 Nein	2
426726 Alet	278	233 Wildibach	14.10.2021	1 Nein	5
426730 Alet	246	166 Wildibach	18.10.2021	- Nein	0
428121 Aal	581	282 KWWB FAH	26.05.2020	1 Nein	1
428122 Barbe	578	1678 KRA FAH	08.06.2020	1 Nein	1
428123 Barbe	471	808 KWWB FAH	26.06.2020	- Nein	1
428124 Egli	308	379 KRA FAH	10.07.2020	- Nein	1
428125 Barbe	508	1087 KWWB FAH	17.07.2020	- Nein	0
428126 Egli	241	167 KWWB FAH	09.10.2020	1 Ja	3
428127 Aal	521	219 KWWB FAH	17.06.2021	- Nein	1
429521 Alet	292	268 Wildibach	29.09.2021	15 Nein	2
429525 Alet	242	151 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
429529 Alet	288	243 Wildibach	18.10.2021	- Nein	0
430920 Egli	240	166 KRA FAH	28.05.2020	6 Nein	1
430921 Barbe	558	1752 KRA FAH	08.06.2020	1 Nein	1
430922 Schleie	364	907 KWWB FAH	26.06.2020	- Nein	1
430923 Barbe	397	528 KRA FAH	10.07.2020	- Nein	0
430924 Barbe	343	308 KWWB FAH	17.07.2020	- Nein	1
430925 Barbe	362	370 KWWB FAH	15.10.2020	- Nein	0
430926 Alet	278	252 KWWB FAH	17.06.2021	- Nein	1
432320 Alet	344	471 Wildibach	29.09.2021	13 Nein	2
432324 Alet	365	511 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
432328 Alet	274	229 Wildibach	18.10.2021	48 Nein	5
433719 Alet	276	241 KRA FAH	28.05.2020	3 Nein	5
433720 Barbe	572	1363 KRA FAH	08.06.2020	4 Nein	1
433721 Barbe	592	1411 KWWB FAH	26.06.2020	- Nein	1
433722 Barbe	292	205 KRA FAH	10.07.2020	7 Ja	4
433723 Schleie	401	1227 KRA FAH	15.07.2020	- Nein	0
433724 Barbe	404	483 HKB FAH	15.10.2020	16 Ja	4
433725 Alet	410	729 KWWB FAH	17.06.2021	437 Nein	2
435119 Alet	292	312 Wildibach	29.09.2021	2 Nein	5
435123 Alet	258	187 Wildibach	14.10.2021	33 Nein	5
435127 Alet	255	173 Wildibach	18.10.2021	- Nein	5
436518 Barbe	376	443 KWWB FAH	28.05.2020	6 Ja	4
436519 Barbe	656	2455 KRA FAH	08.06.2020	4 Nein	5
436520 Barbe	547	1360 KWWB FAH	26.06.2020	- Nein	1
436521 Egli	256	183 KWWB FAH	10.07.2020	- Nein	1
436522 Barbe	492	914 KRA FAH	22.07.2020	1 Nein	2
436523 Alet	358	568 HKB FAH	15.10.2020	1 Nein	5
436524 Alet	332	387 KWWB FAH	17.06.2021	2 Nein	1
437918 Alet	310	355 Wildibach	29.09.2021	- Nein	1
437922 Alet	292	270 Wildibach	14.10.2021	1 Nein	5
437926 Alet	239	144 Wildibach	18.10.2021	2 Nein	2
439318 Alet	397	736 KRA FAH	08.06.2020	11 Nein	1

439319 Barbe	492	935 KWWB FAH	26.06.2020	- Nein	1
439320 Egli	254	210 KWWB FAH	10.07.2020	- Nein	1
439321 Egli	268	217 KRA FAH	22.07.2020	- Nein	1
439322 Barbe	676	2468 HKB FAH	15.10.2020	- Nein	2
439323 Alet	330	441 KWWB FAH	17.06.2021	1 Nein	5
440717 Alet	305	321 Wildibach	29.09.2021	7 Nein	5
440721 Alet	250	169 Wildibach	14.10.2021	6 Ja	3
440725 Alet	262	198 Wildibach	18.10.2021	1 Nein	5
442117 Barbe	581	1584 KRA FAH	08.06.2020	1 Nein	1
442118 Barbe	522	1264 KRA FAH	30.06.2020	- Nein	2
442119 Rotaue	254	199 KWWB FAH	10.07.2020	- Nein	1
442120 Egli	269	243 KRA FAH	22.07.2020	- Nein	1
442121 Barbe	392	557 HKB FAH	15.10.2020	11 Ja	4
442122 Barbe	381	413 KWWB FAH	24.06.2021	- Nein	1
443516 Alet	260	208 Wildibach	29.09.2021	- Nein	1
443520 Alet	265	193 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
443524 Alet	302	259 Wildibach	18.10.2021	- Nein	1
444916 Barbe	532	1330 KRA FAH	08.06.2020	4 Nein	1
444917 Karpfen	610	4435 KRA FAH	30.06.2020	8 Nein	2
444918 Barbe	407	492 KWWB FAH	10.07.2020	3 Nein	2
444919 Barbe	493	1081 KRA FAH	22.07.2020	2 Nein	5
444920 Wels	635	1627 HKB FAH	15.10.2020	3 Ja	3
444921 Rotaue	269	263 KWWB FAH	19.08.2021	1 Ja	3
446301 Alet	235	165 Wildibach	29.09.2021	- Nein	5
446319 Alet	260	198 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
446323 Alet	254	173 Wildibach	18.10.2021	36 Nein	5
447701 Barbe	635	2184 KRA FAH	08.06.2020	3 Nein	1
447716 Barbe	599	2060 KRA FAH	30.06.2020	- Nein	2
447717 Barbe	479	893 KRA FAH	03.07.2020	20 Nein	2
447718 Barbe	345	299 KRA FAH	22.07.2020	- Ja	3
447719 Barbe	398	471 HKB FAH	15.10.2020	7 Nein	5
447720 Barbe	293	164 KWWB FAH	19.08.2021	8 Ja	4
449102 Alet	261	190 Wildibach	29.09.2021	- Nein	1
449118 Alet	298	285 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
449122 Alet	346	426 Wildibach	18.10.2021	- Nein	5
450501 Barbe	580	1589 KRA FAH	30.06.2020	- Nein	0
450502 Barbe	635	1634 KWWB FAH	08.06.2020	1 Nein	1
450516 Barbe	571	1588 KRA FAH	03.07.2020	- Ja	3
450517 Egli	266	229 KRA FAH	22.07.2020	- Nein	1
450518 Barbe	362	382 HKB FAH	15.10.2020	1 Nein	1
450519 Egli	290	264 KWWB FAH	19.08.2021	- Nein	0
451903 Alet	239	152 Wildibach	29.09.2021	- Nein	0
451917 Alet	320	370 Wildibach	14.10.2021	- Nein	1
451921 Alet	240	161 Wildibach	18.10.2021	6 Nein	5

453301 Barbe	479	1048 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	1
453302 Alet	383	620 KRA FAH	30.06.2020	- Ja	3
453303 Barbe	626	1642 KWWB FAH	08.06.2020	62 Ja	4
453316 Barbe	404	535 KRA FAH	22.07.2020	- Nein	1
453317 Barbe	320	254 KWWB FAH	15.10.2020	46 Ja	4
453318 Bachforelle	313	382 KWWB FAH	19.08.2021	11 Ja	3
454704 Alet	261	196 Wildibach	29.09.2021	- Nein	5
454716 Alet	248	161 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
454720 Alet	266	174 Wildibach	18.10.2021	- Nein	0
456101 Barbe	312	251 KRA FAH	22.07.2020	- Ja	3
456102 Barbe	542	1328 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	1
456103 Barbe	576	1604 KRA FAH	30.06.2020	- Nein	1
456104 Barbe	528	1286 KWWB FAH	08.06.2020	1 Nein	1
456116 Barbe	443	835 HKB FAH	15.10.2020	78 Ja	4
456117 Egli	262	215 KWWB FAH	19.08.2021	- Nein	1
457501 Alet	258	176 Wildibach	14.10.2021	1 Nein	5
457505 Alet	234	156 Wildibach	29.09.2021	- Nein	0
457519 Alet	282	251 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
458901 Barbe	644	1901 HKB FAH	15.10.2020	1 Ja	3
458902 Egli	273	242 KRA FAH	22.07.2020	- Nein	0
458903 Barbe	559	1746 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	1
458904 Barbe	476	796 KWWB FAH	30.06.2020	- Nein	1
458905 Barbe	595	1524 KWWB FAH	08.06.2020	1 Nein	1
458916 Egli	227	144 KWWB FAH	19.08.2021	64 Ja	4
460302 Alet	264	187 Wildibach	14.10.2021	3 Ja	3
460306 Alet	282	243 Wildibach	29.09.2021	- Nein	0
460318 Alet	235	147 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
461701 Rotaug	231	156 KWWB FAH	19.08.2021	- Nein	1
461702 Barbe	441	610 HKB FAH	15.10.2020	81 Ja	3
461703 Barbe	322	237 KRA FAH	22.07.2020	- Nein	1
461704 Alet	429	1001 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	2
461705 Barbe	463	882 KWWB FAH	30.06.2020	- Nein	2
461706 Barbe	584	1642 KWWB FAH	08.06.2020	2 Nein	1
463103 Alet	290	286 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
463107 Hecht	300	170 Wildibach	29.09.2021	- Nein	1
463117 Alet	284	235 Wildibach	28.10.2021	- Nein	5
464502 Barbe	544	1598 Pumpenschacht	09.09.2021	- Nein	0
464503 Barbe	603	2011 HKB FAH	15.10.2020	16 Nein	2
464504 Barbe	316	209 KWWB FAH	22.07.2020	- Nein	1
464505 Barbe	586	1509 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	1
464506 Barbe	558	1301 KWWB FAH	30.06.2020	- Nein	1
464507 Barbe	532	1191 KWWB FAH	08.06.2020	1 Nein	1
465904 Alet	242	164 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
465908 Alet	262	220 Wildibach	29.09.2021	8 Ja	3

465916 Alet	271	217 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
467303 Barbe	281	169 Pumpenschacht	09.09.2021	37 Ja	4
467304 Alet	294	282 HKB FAH	15.10.2020	- Nein	5
467305 Alet	522	1431 KWWB FAH	15.07.2020	- Nein	1
467306 Barbe	594	1638 KRA FAH	03.07.2020	54 Nein	2
467307 Barbe	576	1355 KWWB FAH	30.06.2020	93 Nein	2
467308 Barbe	592	1584 KWWB FAH	08.06.2020	1 Nein	1
468701 Alet	235	146 Wildibach	28.10.2021	28 Nein	5
468705 Alet	285	237 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
468709 Alet	465	1076 Wildibach	29.09.2021	- Nein	0
470104 Barbe	531	1324 Pumpenschacht	09.09.2021	8 Nein	1
470105 Barbe	671	2561 HKB FAH	15.10.2020	75 Nein	2
470106 Wels	828	k.A. KRA FAH	15.07.2020	- Nein	1
470107 Barbe	562	1477 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	1
470108 Barbe	579	1608 KWWB FAH	30.06.2020	- Nein	1
470109 Barbe	446	666 KWWB FAH	08.06.2020	2 Nein	1
471502 Alet	306	331 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
471506 Alet	250	165 Wildibach	14.10.2021	- Nein	1
471531 Alet	341	417 Wildibach	29.09.2021	- Nein	1
472905 Alet	355	427 KWWB FAH	19.08.2021	- Nein	1
472906 Barbe	536	1356 HKB FAH	15.10.2020	2 Nein	2
472907 Barbe	592	1729 KWWB FAH	15.07.2020	- Nein	1
472908 Alet	356	480 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	1
472909 Egli	269	232 KRA FAH	26.06.2020	- Ja	3
472931 Barbe	486	1050 KWWB FAH	08.06.2020	2 Nein	1
474303 Alet	292	304 Wildibach	28.10.2021	- Nein	5
474307 Alet	285	234 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
474330 Alet	262	210 Wildibach	29.09.2021	1 Nein	5
475706 Barbe	452	776 Pumpenschacht	09.09.2021	- Nein	1
475707 Barbe	678	2756 HKB FAH	15.10.2020	18 Nein	2
475708 Barbe	588	1733 KRA FAH	17.07.2020	3 Nein	2
475709 Barbe	586	1585 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	2
475729 Bachforelle	507	1652 KWWB FAH	19.05.2020	- Ja	4
475730 Barbe	569	1519 KWWB FAH	08.06.2020	1 Nein	1
475731 Schleie	314	545 KRA FAH	26.06.2020	- Nein	1
477104 Alet	245	157 Wildibach	28.10.2021	- Nein	1
477108 Alet	272	211 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
477129 Alet	298	313 Wildibach	29.09.2021	- Nein	5
478507 Barbe	339	280 Pumpenschacht	09.09.2021	- Nein	0
478508 Barbe	694	2929 HKB FAH	15.10.2020	- Nein	2
478509 Barbe	566	1623 KRA FAH	22.07.2020	- Nein	1
478528 Barbe	532	1040 KWWB FAH	28.05.2020	1 Nein	1
478529 Barbe	454	797 KWWB FAH	08.06.2020	3 Nein	2
478530 Barbe	303	232 KRA FAH	30.06.2020	30 Nein	2

478531 Barbe	582	1837 KRA FAH	03.07.2020	28 Nein	2
479905 Alet	271	216 Wildibach	28.10.2021	- Ja	3
479909 Alet	252	159 Wildibach	14.10.2021	- Nein	1
479928 Alet	282	263 Wildibach	29.09.2021	1 Nein	5
481308 Barbe	282	197 Pumpenschacht	09.09.2021	- Nein	0
481309 Barbe	352	311 HKB FAH	15.10.2020	- Nein	1
481327 Barbe	507	1187 KWWB FAH	28.05.2020	4 Nein	1
481328 Barbe	448	1352 KWWB FAH	08.06.2020	1 Nein	1
481329 Barbe	283	185 KRA FAH	30.06.2020	- Nein	1
481330 Alet	434	968 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	1
481331 Barbe	547	1131 KRA FAH	22.07.2020	- Nein	1
482706 Alet	260	182 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
482727 Alet	281	240 Wildibach	29.09.2021	4 Nein	2
482731 Alet	248	159 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
484109 Barbe	492	737 KRA FAH	09.09.2021	- Nein	0
484126 Alet	409	694 KWWB FAH	28.05.2020	7 Nein	1
484127 Barbe	467	752 KWWB FAH	08.06.2020	3 Nein	1
484128 Barbe	304	234 KRA FAH	30.06.2020	171 Nein	2
484129 Alet	371	638 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	1
484130 Barbe	473	881 KRA FAH	22.07.2020	- Nein	1
484131 Alet	544	1890 Elektrobef. Aare	20.10.2020	9 Nein	2
485507 Alet	251	170 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
485526 Alet	257	182 Wildibach	29.09.2021	2 Nein	2
485530 Alet	283	246 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
486925 Barbe	412	575 KWWB FAH	28.05.2020	2 Nein	1
486926 Barbe	554	1443 KWWB FAH	08.06.2020	4 Nein	1
486927 Barbe	443	742 KWWB FAH	30.06.2020	- Nein	1
486928 Barbe	566	1415 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	2
486929 Barbe	490	938 KRA FAH	22.07.2020	5 Nein	2
486930 Alet	491	1431 Elektrobef. Aare	20.10.2020	- Nein	1
486931 Barbe	621	1832 KRA FAH	09.09.2021	- Nein	0
488308 Alet	328	400 Wildibach	28.10.2021	26 Nein	5
488325 Alet	273	222 Wildibach	29.09.2021	26 Nein	2
488329 Alet	262	184 Wildibach	14.10.2021	- Nein	1
489724 Alet	416	657 KWWB FAH	28.05.2020	33 Ja	3
489725 Barbe	562	1565 KWWB FAH	08.06.2020	2 Nein	1
489726 Barbe	395	489 KWWB FAH	30.06.2020	- Nein	1
489727 Barbe	598	1100 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	1
489728 Barbe	502	944 KRA FAH	22.07.2020	1 Nein	1
489729 Alet	544	1894 Elektrobef. Aare	20.10.2020	- Nein	1
489730 Wels	825	k.A. Pumpenschacht	09.09.2021	- Nein	0
491109 Alet	258	191 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
491124 Alet	303	304 Wildibach	29.09.2021	- Nein	1
491128 Alet	240	148 Wildibach	14.10.2021	4 Nein	1

492523	Barbe	342	314 KRA FAH	05.06.2020	7 Nein	5
492524	Barbe	576	1635 KWWB FAH	08.06.2020	2 Nein	1
492525	Barbe	395	474 KWWB FAH	30.06.2020	- Nein	1
492526	Barbe	607	2244 KRA FAH	03.07.2020	1 Nein	2
492527	Alet	528	1515 KWWB FAH	22.07.2020	1 Nein	1
492528	Alet	498	1491 Elektrobef. Aare	20.10.2020	- Nein	2
492529	Wels	1000	k.A. Pumpenschacht	09.09.2021	- Nein	0
493923	Alet	271	236 Wildibach	29.09.2021	6 Nein	5
493927	Alet	269	189 Wildibach	14.10.2021	2 Nein	1
493931	Alet	317	366 Wildibach	28.10.2021	91 Nein	2
495322	Barbe	710	3042 KWWB FAH	20.05.2020	- Nein	2
495323	Barbe	512	1044 KWWB FAH	08.06.2020	2 Nein	1
495324	Barbe	426	529 KWWB FAH	30.06.2020	1 Nein	2
495325	Barbe	505	968 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	1
495326	Barbe	471	752 KWWB FAH	22.07.2020	1 Nein	1
495327	Alet	308	360 KWWB FAH	28.10.2020	1 Ja	3
495328	Barbe	361	372 KRA FAH	09.09.2021	- Nein	0
496722	Alet	242	152 Wildibach	29.09.2021	4 Nein	5
496726	Alet	306	311 Wildibach	18.10.2021	8 Ja	3
496730	Nase	260	166 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
498121	Barbe	574	1668 KWWB FAH	20.05.2020	- Nein	1
498122	Barbe	442	722 KWWB FAH	08.06.2020	4 Nein	1
498123	Barbe	533	1274 KWWB FAH	30.06.2020	- Nein	0
498124	Alet	320	379 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	1
498125	Barbe	463	674 KWWB FAH	22.07.2020	2 Nein	1
498126	Alet	305	317 KWWB FAH	28.10.2020	2 Nein	2
498127	Barbe	502	980 KWWB FAH	24.06.2021	- Nein	1
499521	Alet	291	260 Wildibach	29.09.2021	3 Nein	1
499525	Alet	282	250 Wildibach	18.10.2021	- Nein	0
499529	Alet	321	365 Wildibach	28.10.2021	- Nein	1
500920	Barbe	347	330 KWWB FAH	20.05.2020	- Nein	1
500921	Alet	290	260 KRA FAH	12.06.2020	11 Nein	1
500922	Alet	357	561 KWWB FAH	30.06.2020	- Nein	0
500923	Alet	534	1806 KWWB FAH	03.07.2020	- Nein	0
500924	Barbe	542	1180 KWWB FAH	22.07.2020	1 Nein	1
500925	Alet	405	780 Talbach	23.11.2020	29 Nein	1
500926	Barbe	510	1097 KWWB FAH	24.06.2021	- Nein	1
502320	Alet	271	227 Wildibach	29.09.2021	1 Nein	5
502324	Alet	245	166 Wildibach	18.10.2021	- Nein	0
502328	Alet	357	478 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
503719	Alet	453	1336 KWWB FAH	20.05.2020	- Nein	0
503720	Egli	249	179 KRA FAH	12.06.2020	1 Nein	1
503721	Barbe	523	1014 KWWB FAH	30.06.2020	- Nein	1
503722	Barbe	546	1408 KWWB FAH	03.07.2020	- Nein	2

503723 Barbe	548	1174 KRA FAH	24.07.2020	10 Nein	1
503724 Alet	358	478 Talbach	23.11.2020	22 Nein	1
503725 Barbe	541	1359 KWWB FAH	24.06.2021	- Nein	1
505119 Alet	252	178 Wildibach	29.09.2021	1 Ja	3
505123 Alet	282	237 Wildibach	18.10.2021	29 Nein	5
505127 Alet	345	461 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
506518 Bachforelle	402	776 KRA FAH	26.05.2020	11 Ja	4
506519 Egli	258	218 KRA FAH	12.06.2020	16 Nein	5
506520 Barbe	392	494 KWWB FAH	30.06.2020	- Nein	1
506521 Barbe	527	1287 KWWB FAH	03.07.2020	- Nein	1
506522 Barbe	582	1614 KWWB FAH	24.07.2020	2 Nein	2
506523 Alet	346	485 Talbach	23.11.2020	145 Ja	3
506524 Egli	260	246 KRA FAH	09.09.2021	- Nein	0
507918 Alet	296	298 Wildibach	29.09.2021	1 Nein	5
507922 Alet	282	227 Wildibach	18.10.2021	- Nein	0
507926 Alet	290	254 Wildibach	28.10.2021	54 Nein	2
509317 Alet	395	797 KRA FAH	26.05.2020	2 Nein	1
509318 Egli	240	169 KRA FAH	12.06.2020	- Nein	1
509319 Barbe	509	1015 KWWB FAH	30.06.2020	- Nein	1
509320 Barbe	670	1973 KWWB FAH	03.07.2020	- Nein	1
509321 Barbe	391	434 KWWB FAH	06.08.2020	- Nein	1
509322 Barbe	434	679 KWWB FAH	23.09.2021	- Nein	5
509323 Barbe	318	246 KRA FAH	09.09.2021	9 Ja	3
510717 Alet	280	244 Wildibach	29.09.2021	- Nein	5
510721 Alet	271	232 Wildibach	18.10.2021	6 Nein	5
510725 Alet	272	201 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
512116 Barbe	441	638 KWWB FAH	26.05.2020	2 Nein	2
512117 Alet	323	358 KRA FAH	12.06.2020	4 Ja	4
512118 Barbe	424	650 KWWB FAH	30.06.2020	20 Nein	2
512119 Alet	438	992 KRA FAH	08.07.2020	1 Nein	1
512120 Barbe	369	423 KWWB FAH	06.08.2020	- Nein	1
512121 Barbe	592	1541 KWWB FAH	23.09.2021	- Nein	0
512122 Barbe	301	213 KRA FAH	09.09.2021	- Nein	0
513516 Alet	252	181 Wildibach	29.09.2021	1 Nein	1
513520 Alet	247	164 Wildibach	18.10.2021	1 Nein	5
513524 Alet	272	224 Wildibach	28.10.2021	- Nein	1
514901 Barbe	589	1599 KWWB FAH	26.05.2020	1 Ja	3
514916 Äsche	271	175 KRA FAH	12.06.2020	18 Nein	1
514917 Egli	253	212 KRA FAH	30.06.2020	- Ja	3
514918 Alet	416	874 KRA FAH	08.07.2020	- Nein	2
514919 Barbe	336	306 KWWB FAH	06.08.2020	5 Nein	1
514920 Alet	461	1121 Talbach	23.11.2020	6 Ja	3
514921 Wels	795	k.A. Pumpenschacht	09.09.2021	- Nein	0
516301 Alet	245	181 Wildibach	29.09.2021	- Nein	1

516319 Alet	248	155 Wildibach	18.10.2021	1 Nein	5
516323 Alet	242	149 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
517701 Barbe	356	353 KWWB FAH	12.06.2020	1 Nein	1
517702 Barbe	587	1667 KRA FAH	28.05.2020	1 Nein	1
517716 Barbe	292	225 KRA/WB	30.06.2020	- Nein	1
517717 Alet	481	1243 KRA FAH	08.07.2020	1 Ja	4
517718 Alet	333	405 Elektrobef. Aare	23.09.2020	2 Ja	4
517719 Alet	475	1267 Talbach	23.11.2020	21 Ja	3
517720 Wels	870	k.A. Pumpenschacht	09.09.2021	- Nein	0
519102 Alet	251	186 Wildibach	29.09.2021	10 Ja	3
519118 Alet	258	180 Wildibach	18.10.2021	1 Nein	1
519122 Alet	282	244 Wildibach	28.10.2021	29 Nein	5
520501 Barbe	365	390 KRA/WB	30.06.2020	- Nein	1
520502 Barbe	273	172 KRA FAH	24.06.2020	- Nein	1
520503 Barbe	553	1406 KRA FAH	28.05.2020	3 Nein	1
520516 Alet	438	913 KRA FAH	08.07.2020	- Nein	1
520517 Egli	304	360 KWWB FAH	23.09.2020	1 Nein	1
520518 Alet	390	670 Talbach	23.11.2020	- Nein	1
520519 Wels	850	k.A. Pumpenschacht	09.09.2021	- Nein	0
521903 Alet	245	155 Wildibach	29.09.2021	74 Nein	5
521917 Alet	247	156 Wildibach	18.10.2021	1 Nein	5
521921 Alet	297	295 Wildibach	28.10.2021	26 Nein	2
523301 Alet	352	511 KRA FAH	08.07.2020	- Nein	1
523302 Barbe	287	175 KRA/WB	30.06.2020	- Nein	1
523303 Bachforelle	242	192 KRA FAH	24.06.2020	- Ja	3
523304 Barbe	532	1466 KRA FAH	28.05.2020	2 Nein	1
523316 Barbe	426	574 KWWB FAH	23.09.2020	47 Nein	2
523317 Alet	490	1290 Talbach	23.11.2020	20 Nein	2
523318 Wels	855	k.A. Pumpenschacht	09.09.2021	- Nein	0
524704 Alet	270	218 Wildibach	29.09.2021	13 Nein	5
524716 Alet	305	324 Wildibach	18.10.2021	- Nein	0
524720 Alet	272	225 Wildibach	28.10.2021	- Nein	1
526101 Hecht	309	169 Elektrobef. Aare	23.09.2020	- Nein	1
526102 Alet	465	1191 KRA FAH	08.07.2020	- Nein	1
526103 Egli	257	220 KRA/WB	30.06.2020	- Ja	3
526104 Egli	261	219 KRA FAH	24.06.2020	- Nein	1
526105 Alet	336	449 KRA FAH	28.05.2020	1 Nein	1
526116 Alet	476	1372 Talbach	23.11.2020	6 Nein	1
526117 Wels	810	k.A. Pumpenschacht	09.09.2021	- Nein	1
527501 Alet	332	382 Wildibach	18.10.2021	9 Nein	1
527505 Alet	244	162 Wildibach	29.09.2021	4 Nein	5
527519 Alet	251	164 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
528901 Alet	437	896 Talbach	23.11.2020	- Nein	1
528902 Hecht	336	245 Elektrobef. Aare	23.09.2020	1 Nein	5

528903 Alet	475	1252 KRA FAH	08.07.2020	- Nein	1
528904 Egli	257	214 KRA/WB	30.06.2020	- Nein	0
528905 Egli	283	274 KRA FAH	24.06.2020	- Ja	3
528906 Alet	386	683 KRA FAH	28.05.2020	11 Nein	2
528916 Wels	910	k.A. Pumpenschacht	09.09.2021	- Nein	1
530302 Alet	239	150 Wildibach	18.10.2021	2 Nein	5
530306 Alet	261	185 Wildibach	29.09.2021	126 Nein	5
530318 Alet	286	254 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
531701 Wels	770	k.A. Pumpenschacht	09.09.2021	- Nein	1
531702 Alet	449	1080 Talbach	23.11.2020	3 Nein	1
531703 Alet	323	354 Elektrobef. Aare	23.09.2020	2 Nein	5
531704 Barbe	603	1700 KWWB FAH	08.07.2020	- Nein	2
531705 Egli	274	252 KRA FAH	03.07.2020	- Ja	4
531706 Egli	252	210 KRA FAH	26.06.2020	- Ja	3
531707 Barbe	575	1275 KWWB FAH	28.05.2020	1 Nein	1
533103 Alet	307	281 Wildibach	18.10.2021	9 Nein	5
533107 Alet	279	263 Wildibach	29.09.2021	- Nein	0
533117 Alet	275	198 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
534502 Wels	890	k.A. Pumpenschacht	09.09.2021	- Nein	1
534503 Alet	490	1337 Talbach	23.11.2020	8 Nein	2
534504 Alet	292	255 Elektrobef. Aare	23.09.2020	- Nein	1
534505 Alet	484	1350 KWWB FAH	08.07.2020	- Nein	1
534506 Schleie	399	1302 KRA FAH	03.07.2020	- Ja	4
534507 Egli	251	203 KRA FAH	26.06.2020	- Nein	1
534508 Barbe	362	385 KRA FAH	05.06.2020	2 Nein	1
535904 Alet	352	502 Wildibach	18.10.2021	1 Nein	5
535908 Alet	242	156 Wildibach	14.10.2021	3 Nein	1
535916 Alet	272	206 Wildibach	28.10.2021	77 Nein	2
537303 Wels	925	k.A. Pumpenschacht	09.09.2021	- Nein	1
537304 Alet	471	1224 Talbach	23.11.2020	- Nein	1
537305 Alet	282	221 Elektrobef. Aare	23.09.2020	10 Nein	2
537306 Alet	364	615 KWWB FAH	08.07.2020	5 Nein	2
537307 Alet	336	430 KRA FAH	03.07.2020	- Ja	3
537308 Egli	269	264 KRA FAH	26.06.2020	- Nein	1
537309 Barbe	528	1291 KWWB FAH	05.06.2020	1 Nein	1
538701 Alet	252	179 Wildibach	28.10.2021	278 Nein	5
538705 Alet	250	179 Wildibach	18.10.2021	- Nein	0
538709 Alet	291	279 Wildibach	14.10.2021	12 Nein	5
540105 Alet	465	1245 Talbach	23.11.2020	3 Nein	2
540106 Egli	255	207 KWWB FAH	23.09.2020	1 Nein	1
540107 Barbe	634	2102 KWWB FAH	08.07.2020	2 Nein	2
540108 Alet	305	346 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	1
540109 Schleie	349	746 KRA FAH	26.06.2020	- Nein	1
540131 Barbe	308	223 KWWB FAH	05.06.2020	1 Nein	1

541502 Alet	255	181 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
541506 Alet	257	198 Wildibach	18.10.2021	31 Nein	5
541531 Alet	241	151 Wildibach	14.10.2021	3 Nein	1
542906 Alet	381	647 Talbach	23.11.2020	1 Nein	1
542907 Barbe	317	248 Pumpenschacht	03.10.2020	51 Ja	3
542908 Barbe	463	761 KWWB FAH	08.07.2020	- Nein	2
542909 Alet	512	1540 KRA FAH	30.06.2020	- Nein	2
542930 Barbe	493	978 KWWB FAH	05.06.2020	2 Nein	1
542931 Alet	511	1627 KRA FAH	12.06.2020	2 Nein	2
544303 Alet	260	185 Wildibach	28.10.2021	- Nein	1
544307 Alet	250	160 Wildibach	18.10.2021	1 Nein	2
544330 Alet	268	218 Wildibach	14.10.2021	4 Nein	5
545707 Alet	442	971 Talbach	23.11.2020	53 Nein	2
545708 Barbe	437	753 Pumpenschacht	03.10.2020	- Nein	1
545709 Alet	417	920 KWWB FAH	08.07.2020	2 Nein	2
545729 Barbe	509	1103 KWWB FAH	05.06.2020	1 Nein	1
545730 Alet	392	665 KRA FAH	12.06.2020	1 Ja	3
545731 Barbe	585	1733 KWWB FAH	30.06.2020	- Nein	1
547104 Alet	282	248 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
547108 Alet	284	255 Wildibach	18.10.2021	36 Nein	5
547129 Alet	287	260 Wildibach	14.10.2021	4 Nein	1
548508 Alet	462	1106 Talbach	23.11.2020	11 Nein	1
548509 Barbe	369	418 Pumpenschacht	03.10.2020	1 Nein	1
548528 Barbe	478	968 KWWB FAH	05.06.2020	1 Nein	1
548529 Barbe	618	2029 KRA FAH	12.06.2020	3 Nein	1
548530 Barbe	647	2013 KWWB FAH	30.06.2020	- Nein	1
548531 Alet	393	811 KWWB FAH	08.07.2020	- Nein	1
549905 Alet	290	252 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
549909 Alet	245	152 Wildibach	18.10.2021	- Nein	1
549928 Alet	241	153 Wildibach	14.10.2021	48 Nein	2
551309 Alet	462	1163 Talbach	23.11.2020	15 Ja	4
551327 Barbe	532	1224 KWWB FAH	05.06.2020	2 Nein	2
551328 Barbe	425	584 KRA FAH	12.06.2020	5 Nein	1
551329 Barbe	397	511 KRA/WB	30.06.2020	- Nein	1
551330 Barbe	583	1430 KWWB FAH	08.07.2020	3 Ja	4
551331 Barbe	459	798 KWWB FAH	06.08.2020	1 Nein	1
552706 Alet	280	239 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
552727 Alet	287	265 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
552731 Alet	244	148 Wildibach	18.10.2021	2 Nein	1
554126 Barbe	503	1042 KWWB FAH	05.06.2020	2 Nein	1
554127 Barbe	492	1156 KRA FAH	12.06.2020	3 Nein	1
554128 Barbe	466	849 KRA/WB	30.06.2020	- Nein	1
554129 Barbe	574	1874 KWWB FAH	08.07.2020	- Nein	1
554130 Barbe	505	922 KWWB FAH	06.08.2020	1 Nein	1

554131 Alet	447	1095 Talbach	23.11.2020	3 Nein	1
555507 Alet	289	275 Wildibach	28.10.2021	- Nein	0
555526 Alet	266	205 Wildibach	14.10.2021	3 Nein	1
555530 Alet	285	249 Wildibach	18.10.2021	5 Nein	5
556925 Barbe	522	1138 KWWB FAH	05.06.2020	1 Nein	1
556926 Barbe	648	2373 KRA FAH	12.06.2020	3 Nein	1
556927 Barbe	475	857 KRA/WB	30.06.2020	- Nein	1
556928 Alet	493	1244 KWWB FAH	08.07.2020	- Nein	1
556929 Barbe	582	1479 KWWB FAH	06.08.2020	1 Nein	1
556930 Alet	449	1045 Talbach	23.11.2020	34 Nein	2
558308 Alet	305	300 Wildibach	28.10.2021	6 Ja	3
558325 Alet	276	245 Wildibach	14.10.2021	1 Nein	1
558329 Alet	260	185 Wildibach	18.10.2021	- Nein	0
559724 Egli	243	195 KRA FAH	08.06.2020	8 Nein	2
559725 Brachsme	425	938 KRA FAH	12.06.2020	4 Nein	2
559726 Barbe	296	208 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	1
559727 Barbe	622	1948 KRA FAH	10.07.2020	- Nein	1
559728 Barbe	473	814 KWWB FAH	06.08.2020	1 Nein	1
559729 Alet	470	1188 Talbach	23.11.2020	70 Ja	4
561109 Alet	403	701 Wildibach	28.10.2021	- Nein	2
561124 Alet	261	203 Wildibach	14.10.2021	1 Nein	5
561128 Alet	254	182 Wildibach	18.10.2021	4 Nein	5
562523 Barbe	437	672 KWWB FAH	08.06.2020	11 Nein	1
562524 Schleie	399	1164 KRA FAH	12.06.2020	1 Nein	1
562525 Bachforelle	231	151 KRA FAH	03.07.2020	- Ja	3
562526 Alet	408	708 KRA FAH	10.07.2020	- Nein	2
562527 Barbe	465	813 KWWB FAH	06.08.2020	2 Ja	3
562528 Alet	491	1406 Talbach	25.11.2020	112 Ja	4
563923 Alet	267	213 Wildibach	14.10.2021	7 Nein	5
563927 Alet	266	200 Wildibach	18.10.2021	51 Nein	5
563931 Alet	303	323 Wildibach	28.10.2021	- Nein	5
565322 Barbe	382	457 KWWB FAH	08.06.2020	5 Ja	4
565323 Barbe	489	824 KWWB FAH	12.06.2020	3 Nein	1
565324 Egli	271	233 KRA FAH	03.07.2020	- Nein	1
565325 Barbe	495	923 KWWB FAH	10.07.2020	- Nein	1
565326 Alet	475	1179 Elektrobef. Aare	23.09.2020	- Nein	1
565327 Alet	448	1060 Talbach	25.11.2020	- Nein	1
566722 Alet	247	167 Wildibach	14.10.2021	2 Nein	5
566726 Alet	300	336 Wildibach	18.10.2021	1 Ja	3
566730 Alet	335	435 Wildibach	28.10.2021	21 Nein	5
568121 Barbe	571	1566 KWWB FAH	08.06.2020	2 Nein	1
568122 Barbe	561	1380 KWWB FAH	12.06.2020	1 Nein	2
568123 Barbe	312	228 KWWB FAH	03.07.2020	6 Ja	4
568124 Alet	343	501 KRA FAH	15.07.2020	- Nein	5

568125 Alet	372	567 Elektrobef. Aare	23.09.2020	1 Nein	1
568126 Alet	457	1127 Talbach	25.11.2020	150 Ja	3
569521 Alet	465	203 Wildibach	14.10.2021	9 Nein	2
569525 Alet	271	204 Wildibach	18.10.2021	- Nein	0
570920 Egli	271	243 KRA FAH	19.06.2020	- Ja	3
570921 Barbe	521	1337 KWWB FAH	12.06.2020	1 Nein	5
570922 Barbe	151	258 KWWB FAH	03.07.2020	- Nein	2
570923 Alet	358	490 KRA FAH	17.07.2020	- Nein	2
570924 Alet	341	502 KWWB FAH	09.10.2020	3 Nein	1
570925 Alet	456	1164 Talbach	25.11.2020	- Nein	1
572320 Alet	242	153 Wildibach	14.10.2021	1 Nein	5
572324 Alet	242	148 Wildibach	18.10.2021	1 Ja	3
573719 Äsche	268	155 KRA FAH	19.06.2020	- Nein	1
573720 Barbe	428	543 KWWB FAH	12.06.2020	4 Nein	2
573721 Barbe	268	172 KRA FAH	08.07.2020	8 Ja	4
573722 Barbe	376	437 KWWB FAH	10.07.2020	1 Nein	2
573723 Alet	305	357 HKB FAH	15.10.2020	4 Nein	1
575119 Alet	265	211 Wildibach	14.10.2021	4 Nein	1
575123 Alet	246	140 Wildibach	18.10.2021	1 Nein	5
576518 Egli	252	193 KRA FAH	19.06.2020	- Nein	0
576519 Barbe	583	1867 KRA FAH	19.06.2020	- Nein	2
576520 Barbe	296	185 KRA FAH	08.07.2020	9 Ja	4
576521 Aal	651	471 KWWB FAH	10.07.2020	1 Nein	2
576522 Barbe	714	2840 HKB FAH	15.10.2020	1 Nein	1
576523 Barbe	572	1579 KRA FAH	17.06.2021	1 Nein	2
577918 Alet	256	181 Wildibach	14.10.2021	3 Nein	1
577922 Alet	282	236 Wildibach	18.10.2021	1 Nein	1
579317 Egli	241	193 KRA FAH	19.06.2020	1 Ja	3
579318 Barbe	522	1226 KWWB FAH	19.06.2020	- Nein	1
579319 Barbe	271	158 KRA FAH	08.07.2020	7 Nein	2
579320 Rotaue	237	160 KWWB FAH	10.07.2020	- Nein	1
579321 Barbe	291	192 Pumpenschacht	03.10.2020	- Nein	1
579322 Barbe	552	1699 KRA FAH	17.06.2021	- Nein	1
580717 Alet	280	225 Wildibach	14.10.2021	1 Nein	5
580721 Alet	255	164 Wildibach	18.10.2021	6 Nein	5
582116 Barbe	271	158 KRA FAH	19.06.2020	- Nein	1
582117 Barbe	412	547 KWWB FAH	19.06.2020	- Nein	1
582118 Barbe	279	193 KRA FAH	08.07.2020	- Nein	2
582119 Egli	239	148 KRA FAH	15.07.2020	- Nein	1
582120 Barbe	336	292 Pumpenschacht	03.10.2020	1 Nein	5
582121 Barbe	608	1881 KRA FAH	17.06.2021	1 Nein	1
583516 Alet	259	185 Wildibach	14.10.2021	13 Nein	5
583520 Alet	275	215 Wildibach	18.10.2021	- Nein	5
584901 Egli	258	227 KRA FAH	19.06.2020	- Ja	3

584916	Barbe	412	572 KWWB FAH	19.06.2020	- Ja	3
584917	Barbe	271	169 KRA FAH	08.07.2020	- Nein	1
584918	Alet	348	535 KRA FAH	15.07.2020	- Nein	1
584919	Barbe	483	820 Pumpenschacht	03.10.2020	1 Nein	1
584920	Barbe	662	2685 KWWB FAH	17.06.2021	- Nein	1
586301	Alet	251	177 Wildibach	14.10.2021	5 Nein	5
586319	Alet	292	267 Wildibach	18.10.2021	- Nein	0
587701	Barbe	437	632 KWWB FAH	19.06.2020	- Nein	2
587702	Barbe	527	1419 KRA FAH	03.06.2020	- Nein	1
587716	Egli	271	291 KRA FAH	08.07.2020	- Nein	2
587717	Barbe	282	166 KRA FAH	15.07.2020	2 Nein	2
587718	Barbe	327	263 Pumpenschacht	03.10.2020	9 Nein	2
587719	Alet	371	683 KWWB FAH	17.06.2021	25 Nein	1
589102	Alet	260	199 Wildibach	14.10.2021	17 Nein	5
589118	Alet	258	184 Wildibach	18.10.2021	2 Nein	1
590501	Schleie	283	381 KRA FAH	08.07.2020	- Nein	1
590502	Barbe	492	920 KWWB FAH	19.06.2020	- Nein	1
590503	Barbe	611	1854 KRA FAH	03.06.2020	- Nein	1
590516	Egli	240	160 KRA FAH	15.07.2020	- Nein	1
590517	Barbe	387	185 Pumpenschacht	03.10.2020	1 Nein	1
590518	Barbe	492	805 KWWB FAH	17.06.2021	- Nein	1
591903	Alet	288	276 Wildibach	14.10.2021	1 Nein	5
591917	Alet	251	171 Wildibach	18.10.2021	- Nein	0
593301	Barbe	405	503 KWWB FAH	15.07.2020	- Nein	1
593302	Alet	329	427 KRA FAH	08.07.2020	- Nein	1
593303	Barbe	452	729 KWWB FAH	19.06.2020	- Nein	1
593304	Barbe	591	1669 KWWB FAH	03.06.2020	- Nein	1
593316	Barbe	282	180 Pumpenschacht	03.10.2020	87 Ja	4
593317	Alet	492	1411 KWWB FAH	17.06.2021	- Nein	1
594704	Alet	268	208 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
594716	Alet	252	144 Wildibach	18.10.2021	3 Nein	5
596101	Barbe	257	145 Pumpenschacht	03.10.2020	2 Nein	1
596102	Barbe	390	503 KWWB FAH	15.07.2020	- Nein	2
596103	Egli	246	177 KWWB FAH	08.07.2020	- Nein	1
596104	Barbe	352	319 KWWB FAH	19.06.2020	- Ja	3
596105	Alet	419	940 KWWB FAH	03.06.2020	- Nein	1
596116	Alet	328	331 KWWB FAH	17.06.2021	42 Nein	1
597501	Alet	290	265 Wildibach	18.10.2021	- Nein	5
597505	Alet	241	167 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
598901	Felchen	311	222 KRA FAH	17.06.2021	- Nein	1
598902	Barbe	442	575 Pumpenschacht	03.10.2020	- Nein	1
598903	Barbe	382	446 KWWB FAH	15.07.2020	- Nein	2
598904	Barbe	372	431 KWWB FAH	08.07.2020	- Nein	1
598905	Barbe	442	643 KWWB FAH	19.06.2020	- Nein	1

598906 Barbe	582	1865 KRA FAH	05.06.2020	1 Nein	1
600302 Alet	300	299 Wildibach	18.10.2021	124 Nein	2
600306 Alet	240	145 Wildibach	14.10.2021	- Nein	0
601703 Barbe	378	k.A. Pumpenschacht	03.10.2020	9 Nein	1
601704 Barbe	371	430 KWWB FAH	15.07.2020	1 Ja	4
601705 Egli	270	245 KWWB FAH	08.07.2020	- Nein	1
601706 Barbe	572	1492 KWWB FAH	19.06.2020	- Nein	2
601707 Barbe	607	2099 KRA FAH	05.06.2020	5 Nein	2
603103 Alet	261	173 Wildibach	18.10.2021	21 Nein	2
603107 Alet	292	275 Wildibach	14.10.2021	2 Nein	5
604503 Alet	445	1086 KRA FAH	17.06.2021	- Nein	1
604504 Rotaug	257	190 KRA FAH	09.10.2020	2 Nein	2
604505 Barbe	476	766 KWWB FAH	15.07.2020	- Nein	2
604506 Barbe	407	508 KWWB FAH	08.07.2020	- Nein	1
604507 Barbe	461	832 KWWB FAH	19.06.2020	- Nein	1
604508 Alet	422	1040 KRA FAH	05.06.2020	3 Nein	2
605904 Alet	312	333 Wildibach	18.10.2021	2 Nein	5
605908 Alet	309	335 Wildibach	14.10.2021	3 Nein	5
607304 Schleie	449	1912 KRA FAH	17.06.2021	- Nein	1
607305 Egli	245	191 KRA FAH	09.10.2020	- Nein	1
607306 Barbe	343	383 KWWB FAH	15.07.2020	7 Ja	4
607307 Egli	266	244 KWWB FAH	08.07.2020	- Nein	2
607308 Alet	464	1188 KRA FAH	24.06.2020	- Nein	1
607309 Alet	392	671 KRA FAH	05.06.2020	7 Nein	1
608705 Alet	241	148 Wildibach	18.10.2021	6 Nein	1
608709 Alet	272	216 Wildibach	14.10.2021	1 Nein	5

Anhang 3 Detektionen und registrierte Fische bei den Aussenstationen

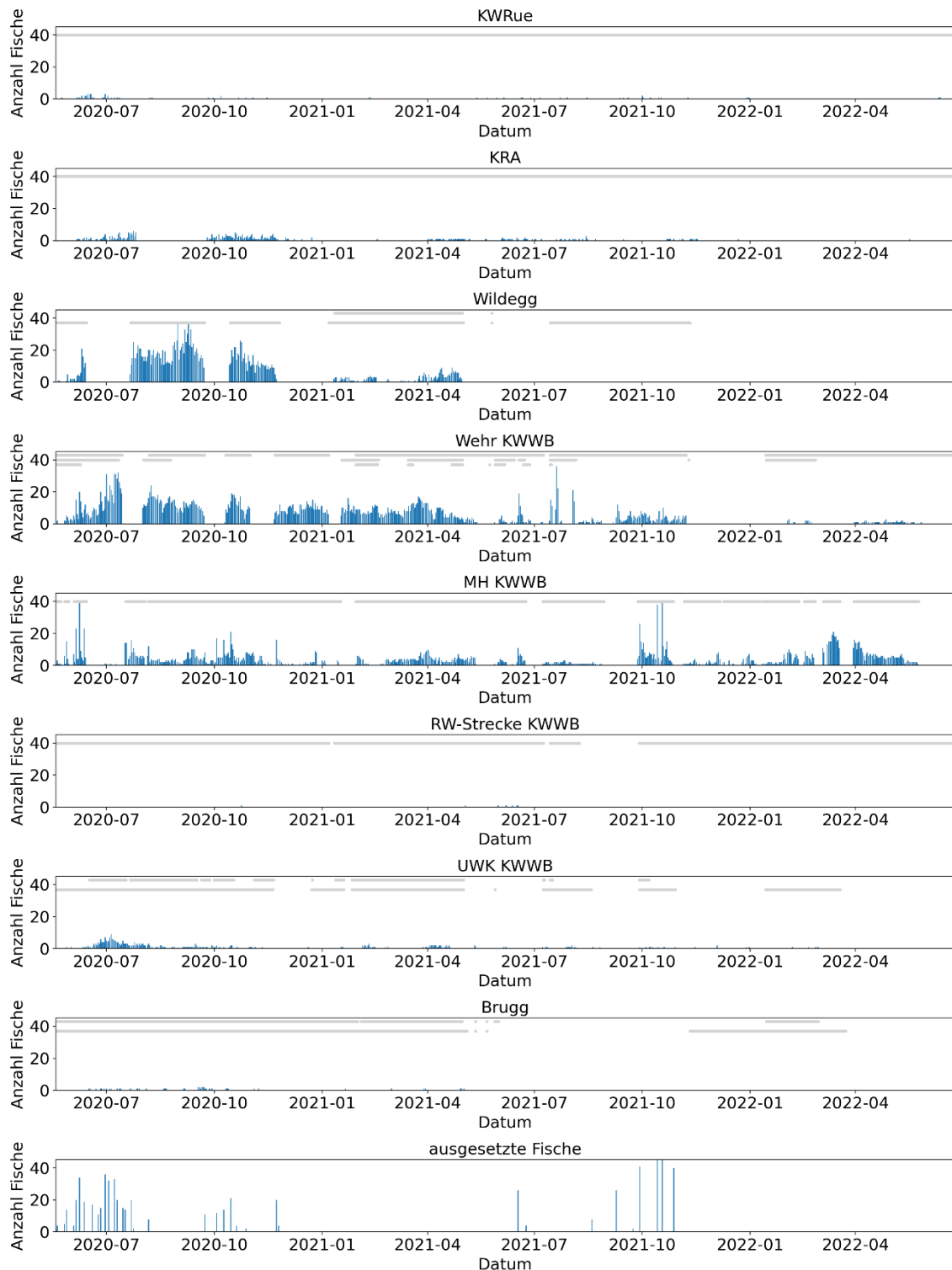


Abb. A.1 Anzahl der bei den Aussenstationen detektierten Fische (blaue vertikale Balken) und die entsprechenden Verfügbarkeiten (graue horizontale Balken).

Anhang 4 Nach Verhalten gruppierte grossräumige Wanderpfade

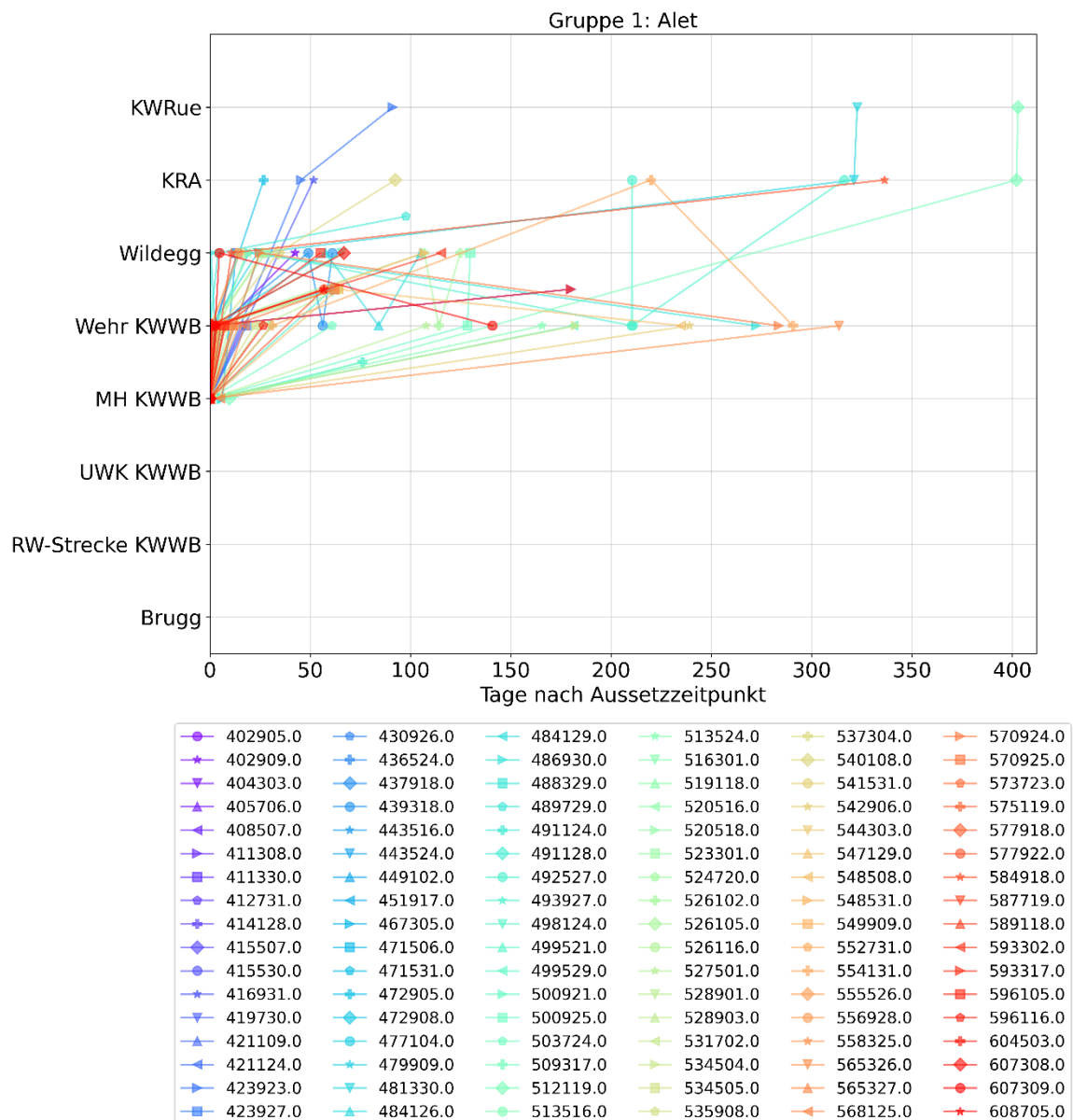


Abb. A.2 Grossräumiges Wanderverhalten aller Alet, welche direkt aufgestiegen sind und anschliessend weder beim Maschinenhaus des KWWB noch weiter unterstrom detektiert wurden (Gruppe 1, genaue Definition in Kapitel 5.3.2).

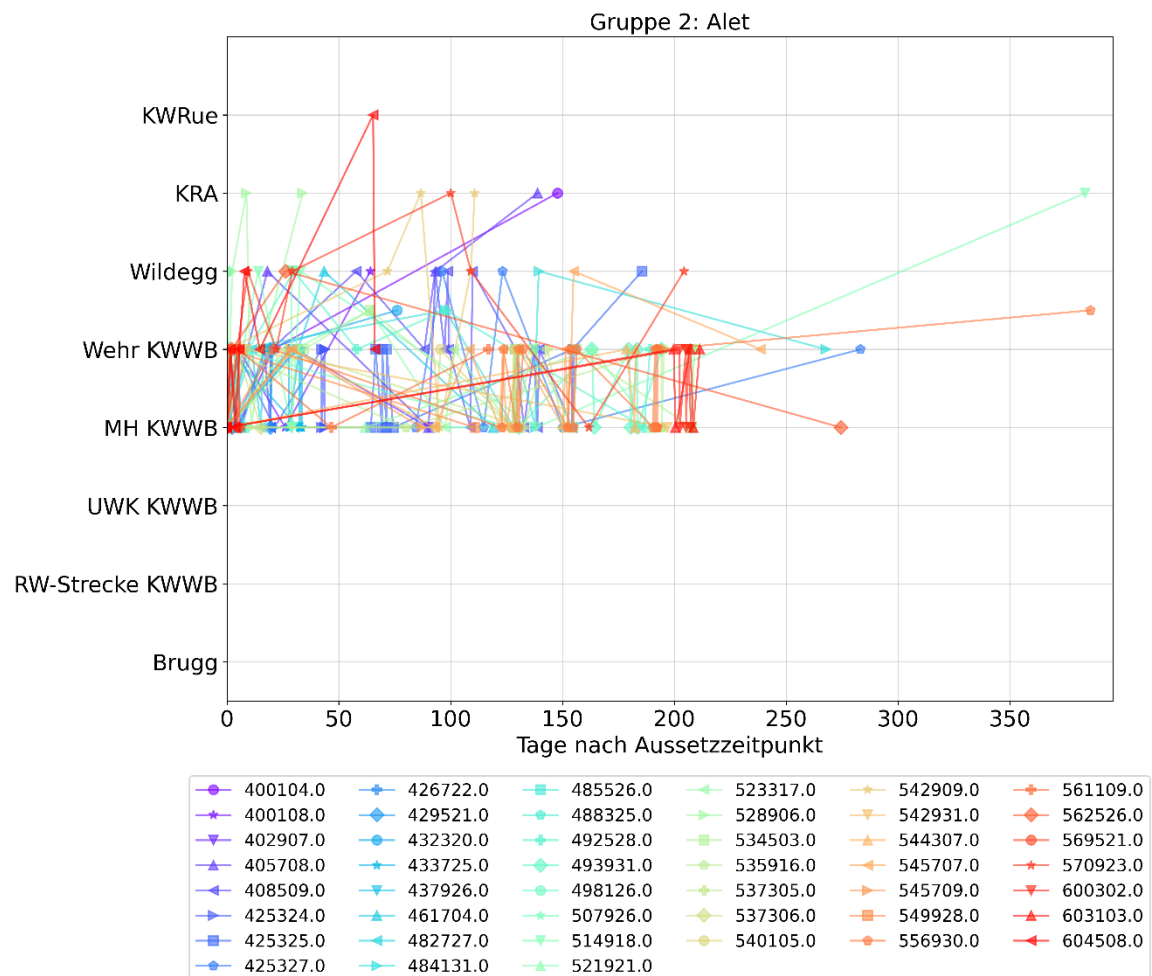


Abb. A.3 Grossräumiges Wanderverhalten aller Alet, welche direkt aufgestiegen sind und anschliessend beim Maschinenhaus des KWWB detektiert wurden, aber nicht über das KWWB abgestiegen sind (Gruppe 2, genaue Definition in Kapitel 5.3.2).

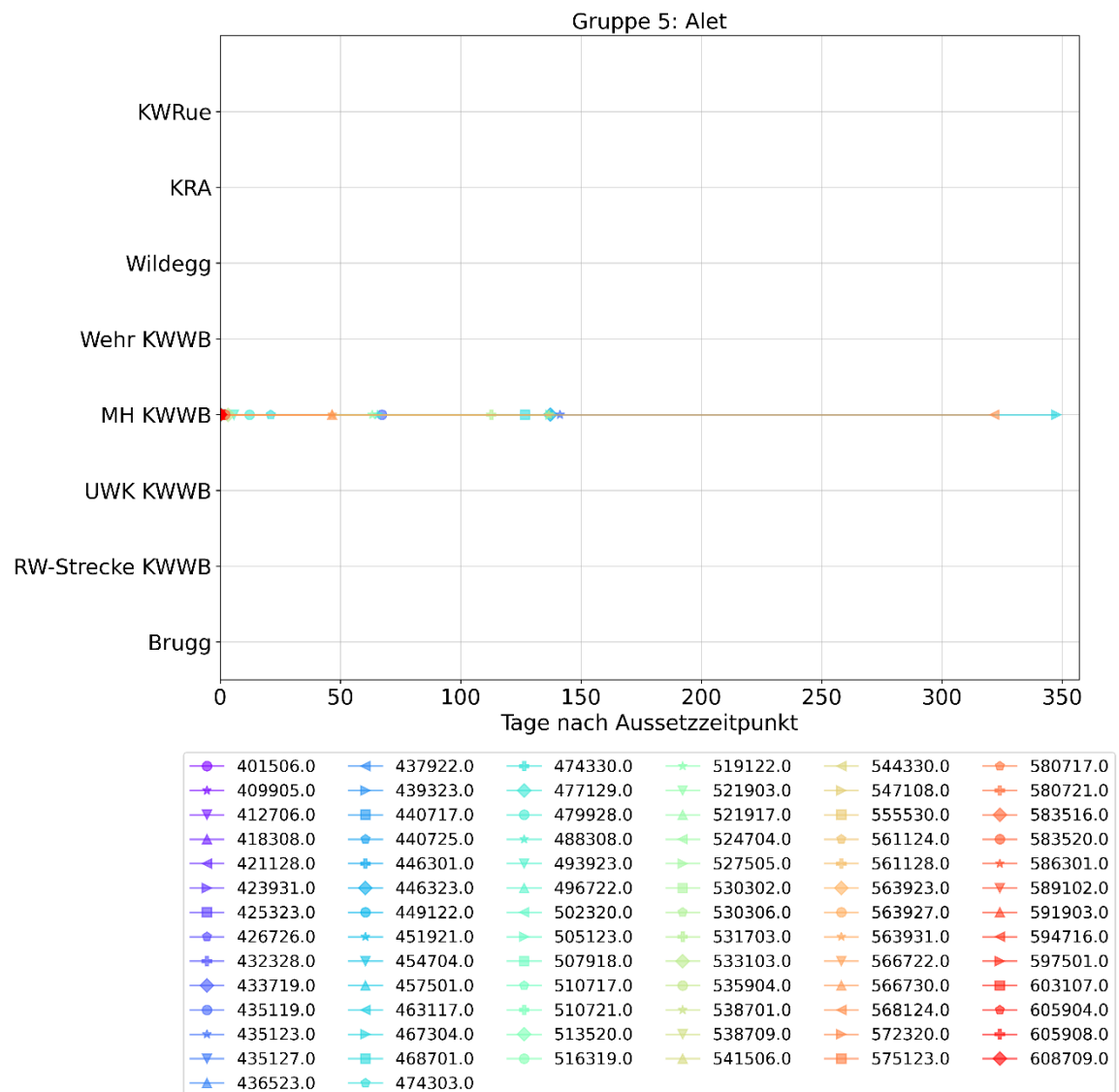


Abb. A.4 Grossräumiges Wanderverhalten aller Alet, welche ausschliesslich beim MH des KWWB detektiert wurden und nicht über das Kraftwerk abgestiegen sind (Gruppe 5, genaue Definition in Kapitel 5.3.2).

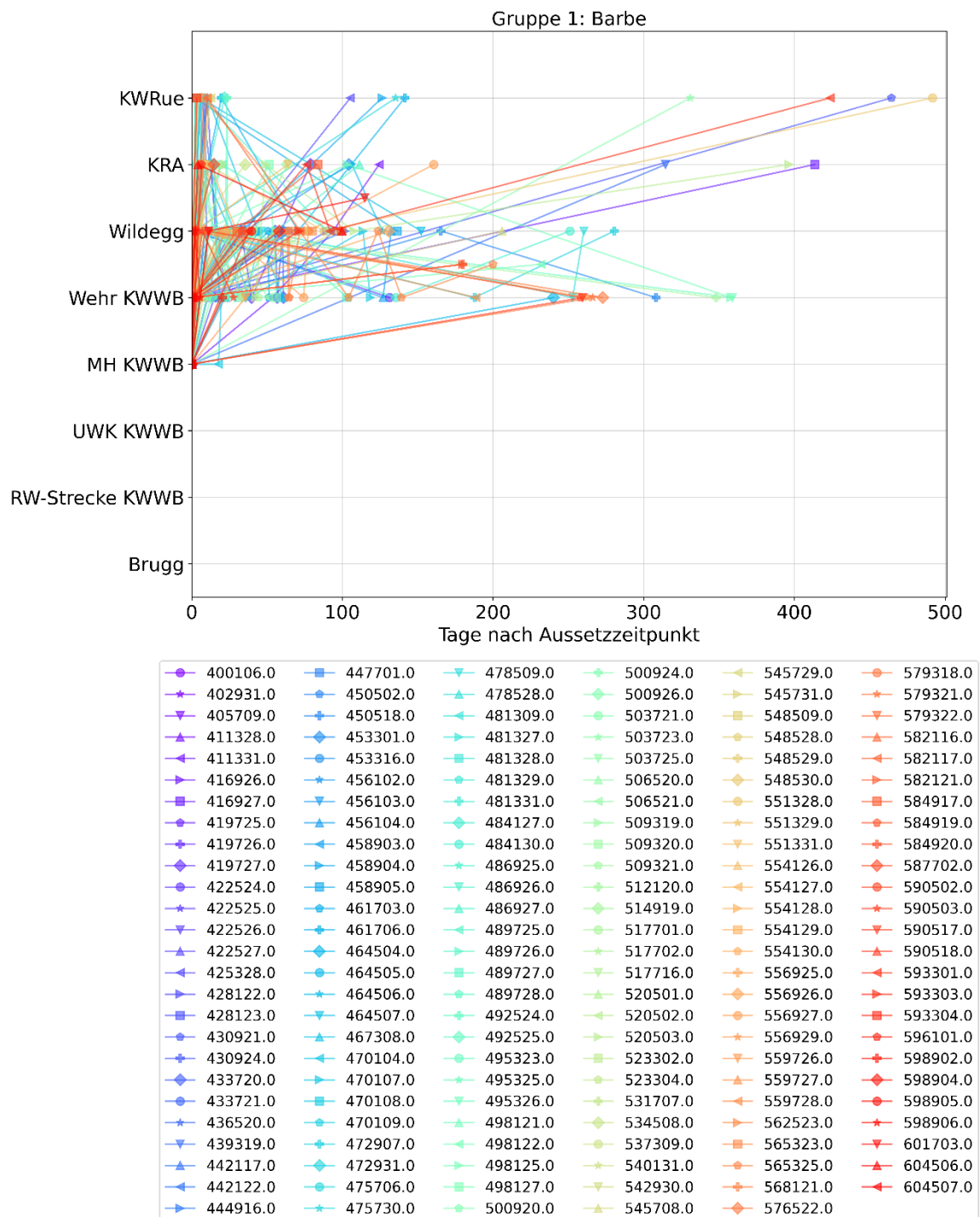


Abb. A.5 Grossräumiges Wanderverhalten aller Barben, welche direkt aufgestiegen sind und anschliessend weder beim Maschinenhaus des KWWB noch weiter unterstrom detektiert wurden (Gruppe 1, genaue Definition in Kapitel 5.3.2).

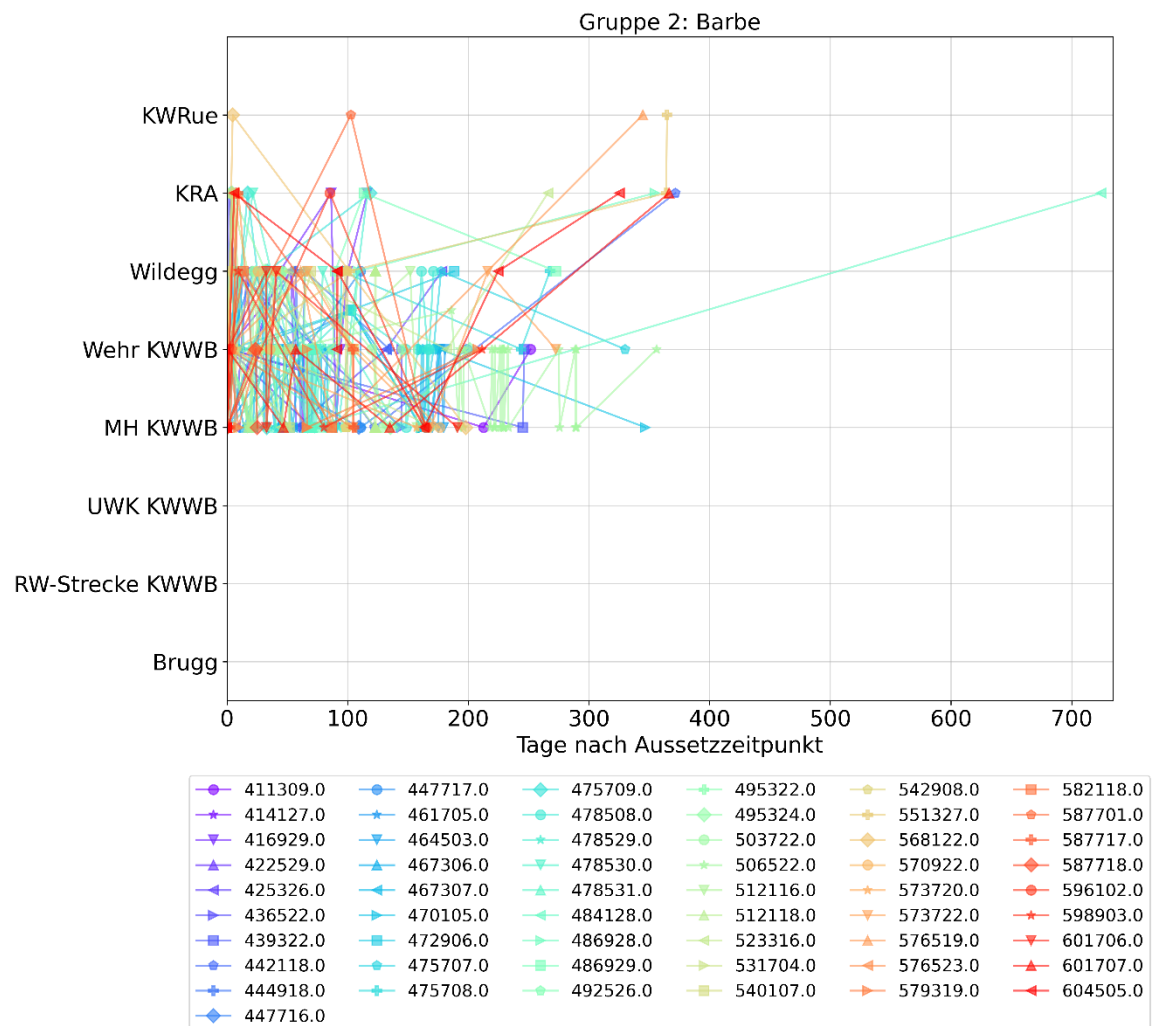


Abb. A.6 Grossräumiges Wanderverhalten aller Barben, welche direkt aufgestiegen sind und anschliessend beim Maschinenhaus des KWWB detektiert wurden, aber nicht über das KWWB abgestiegen sind (Gruppe 2, genaue Definition in Kapitel 5.3.2).

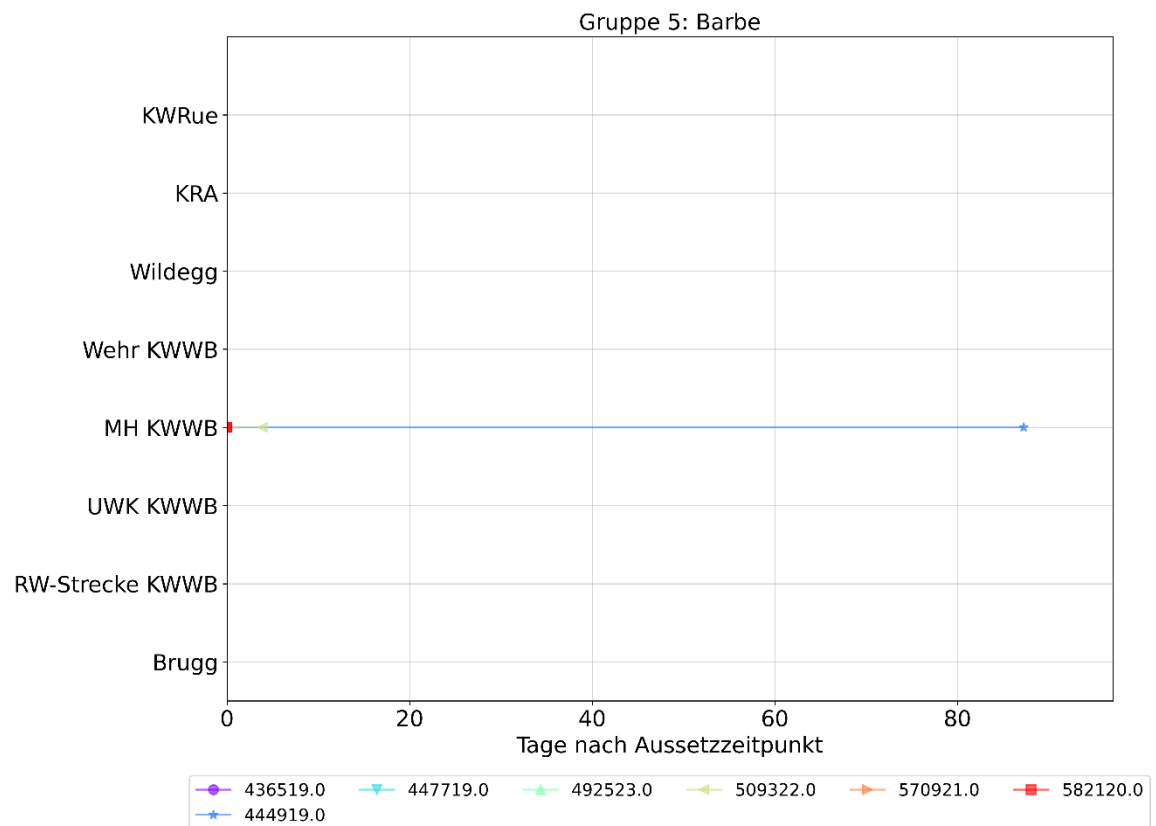


Abb. A.7 Grossräumiges Wanderverhalten aller Barben, welche ausschliesslich beim MH des KWWB detektiert wurden und nicht über das Kraftwerk abgestiegen sind (Gruppe 5, genaue Definition in Kapitel 5.3.2).

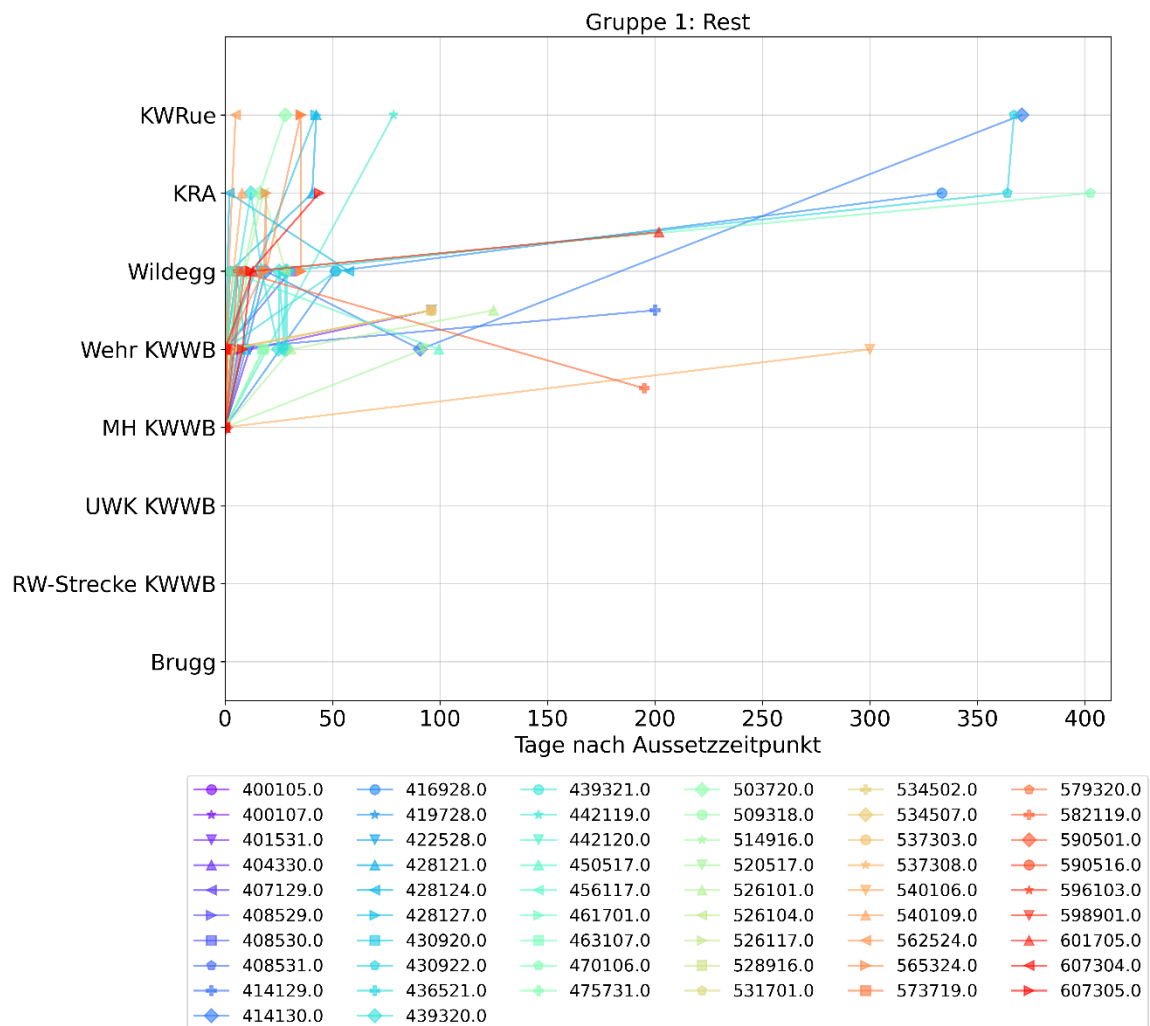


Abb. A.8 Grossräumiges Wanderverhalten aller restlichen Fischarten (keine Alet und Barben), welche direkt aufgestiegen sind und anschliessend weder beim Maschinenhaus des KWWB noch weiter unterstrom detektiert wurden (Gruppe 1, genaue Definition Kapitel 5.3.2).

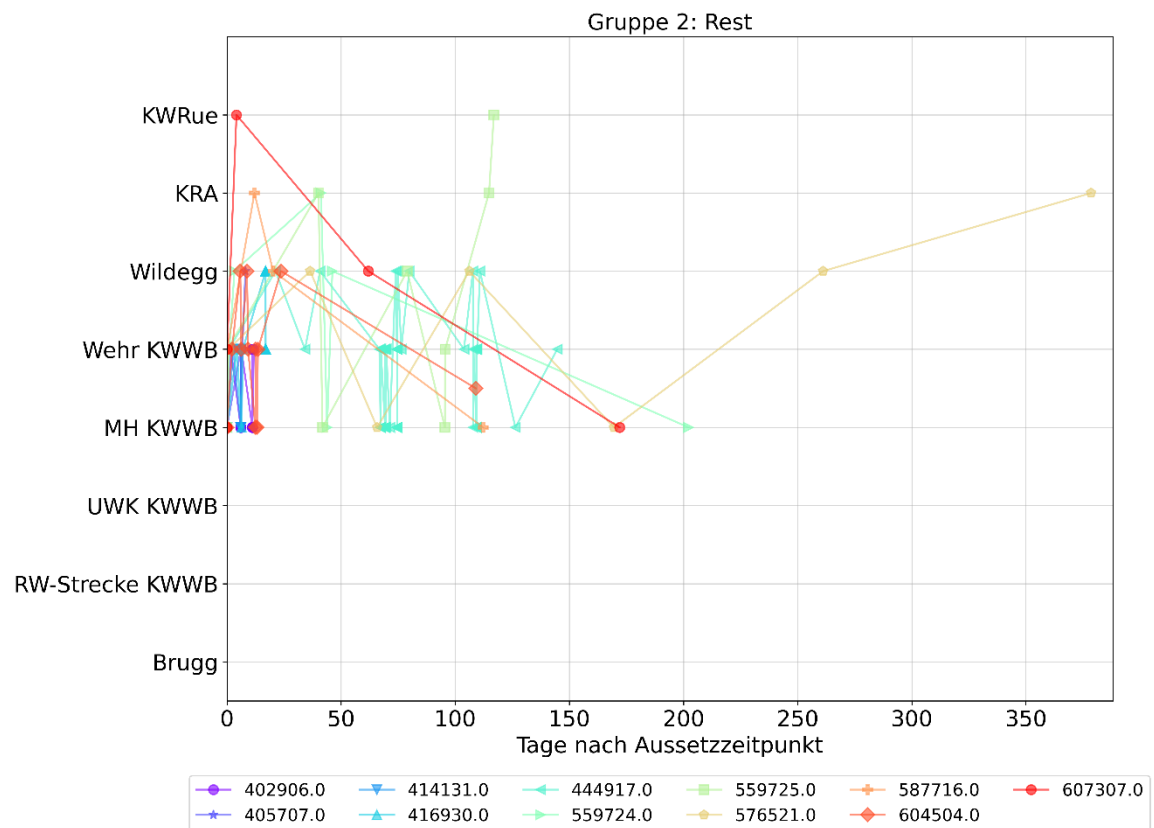


Abb. A.9 Grossräumiges Wanderverhalten aller restlichen Fischarten (keine Alet und Barben), welche direkt aufgestiegen sind und anschliessend beim Maschinenhaus des KWWB detektiert wurden, aber nicht über das KWWB abgestiegen sind (Gruppe 2, genaue Definition in Kapitel 5.3.2).

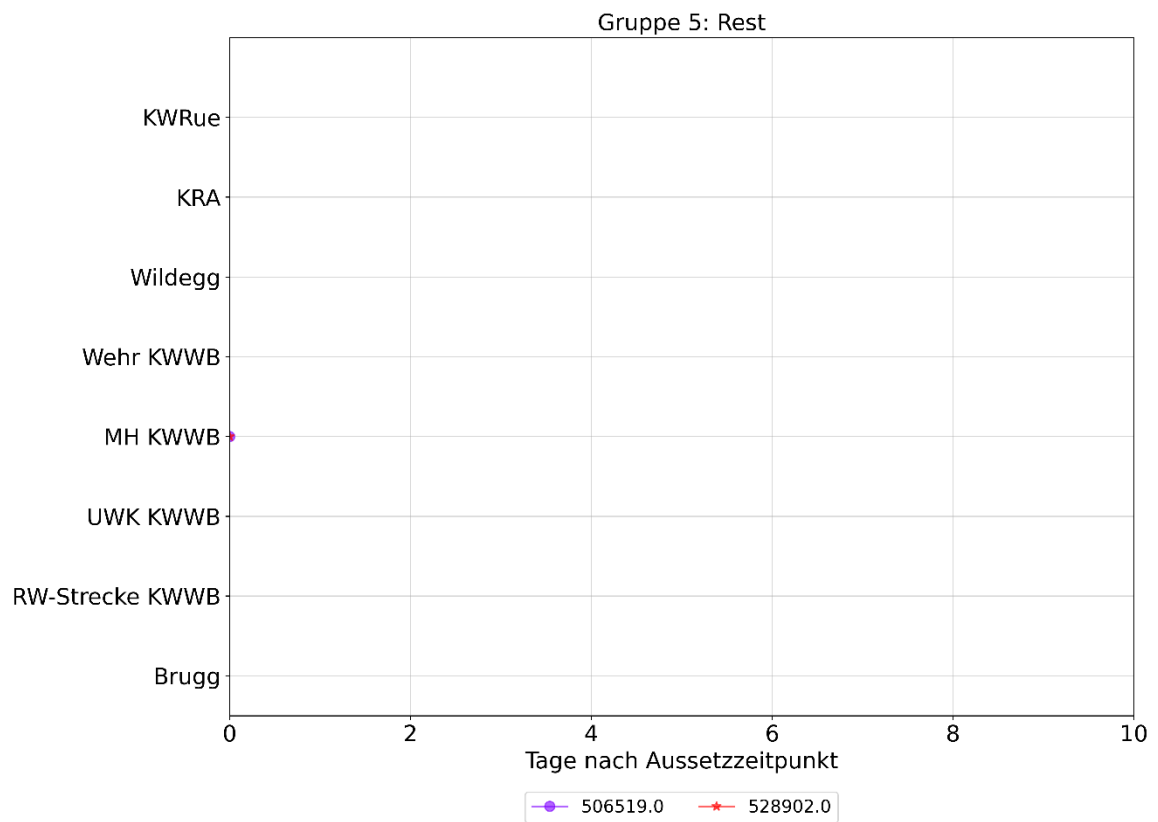


Abb. A.10 Grossräumiges Wanderverhalten aller restlichen Fischarten (keine Alet und Barben), welche ausschliesslich beim MH des KWWB detektiert wurden und nicht über das Kraftwerk abgestiegen sind (Gruppe 5, genaue Definition in Kapitel 5.3.2).

Anhang 5 Nach Fangort gruppierte grossräumige Wanderpfade

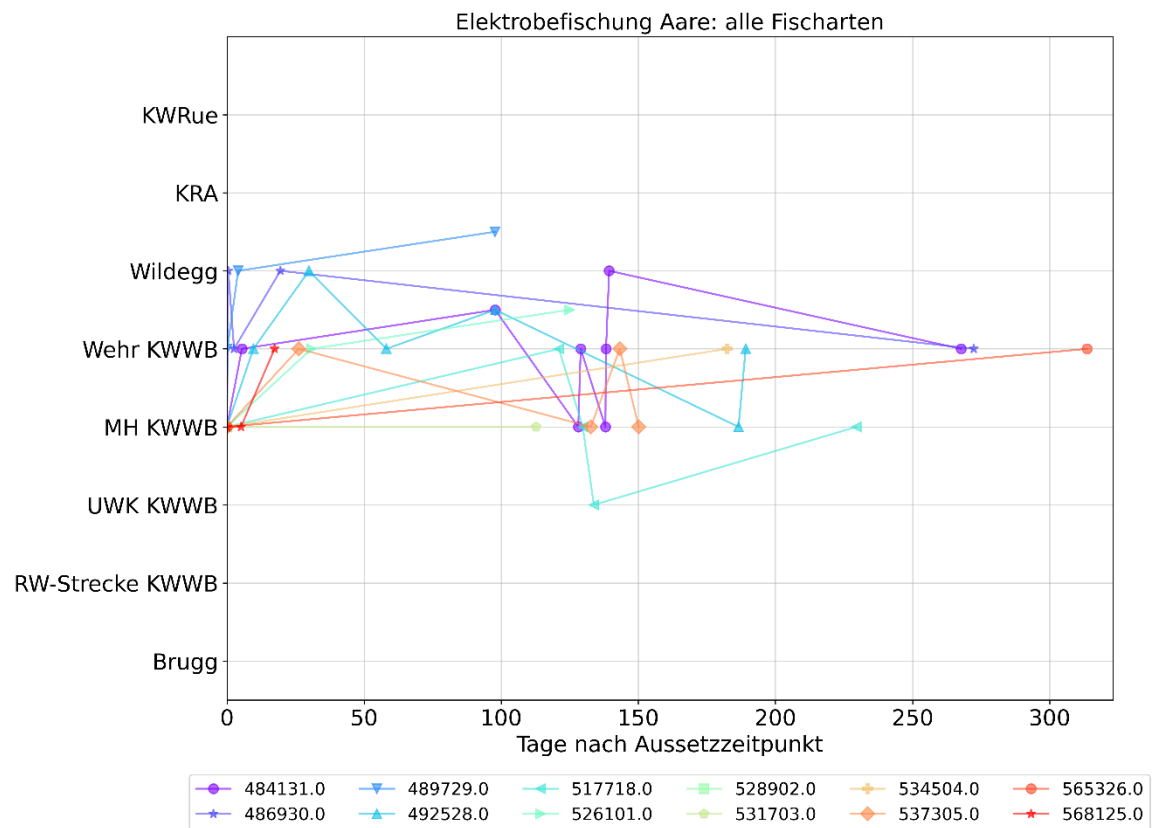


Abb. A.11 Grossräumiges Wanderverhalten aller Fische, welche in der Aare mittels Elektrofischung gefangen wurden.

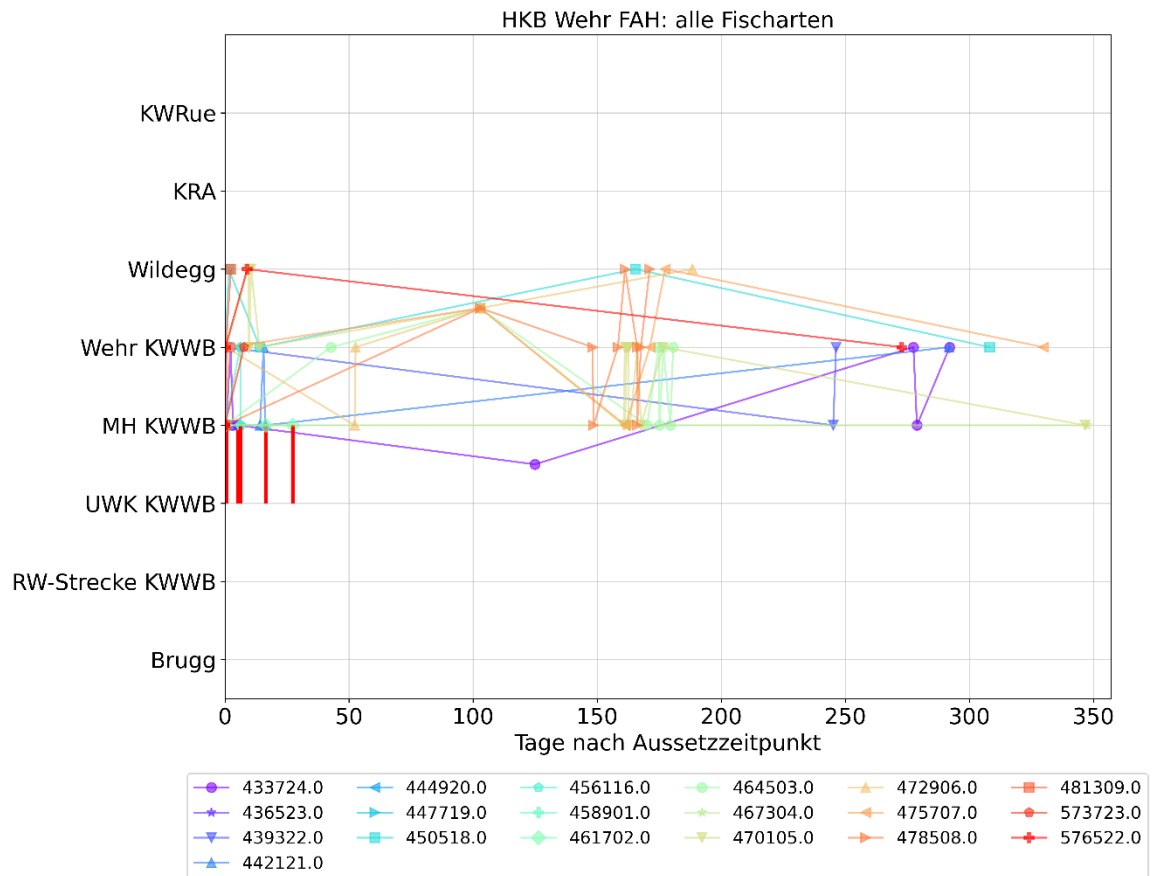


Abb. A.12 Grossräumiges Wanderverhalten aller Fische, welche in der Fischaufstiegshilfe beim Wehr des hydraulischen Kraftwerks Beznau gefangen wurden.

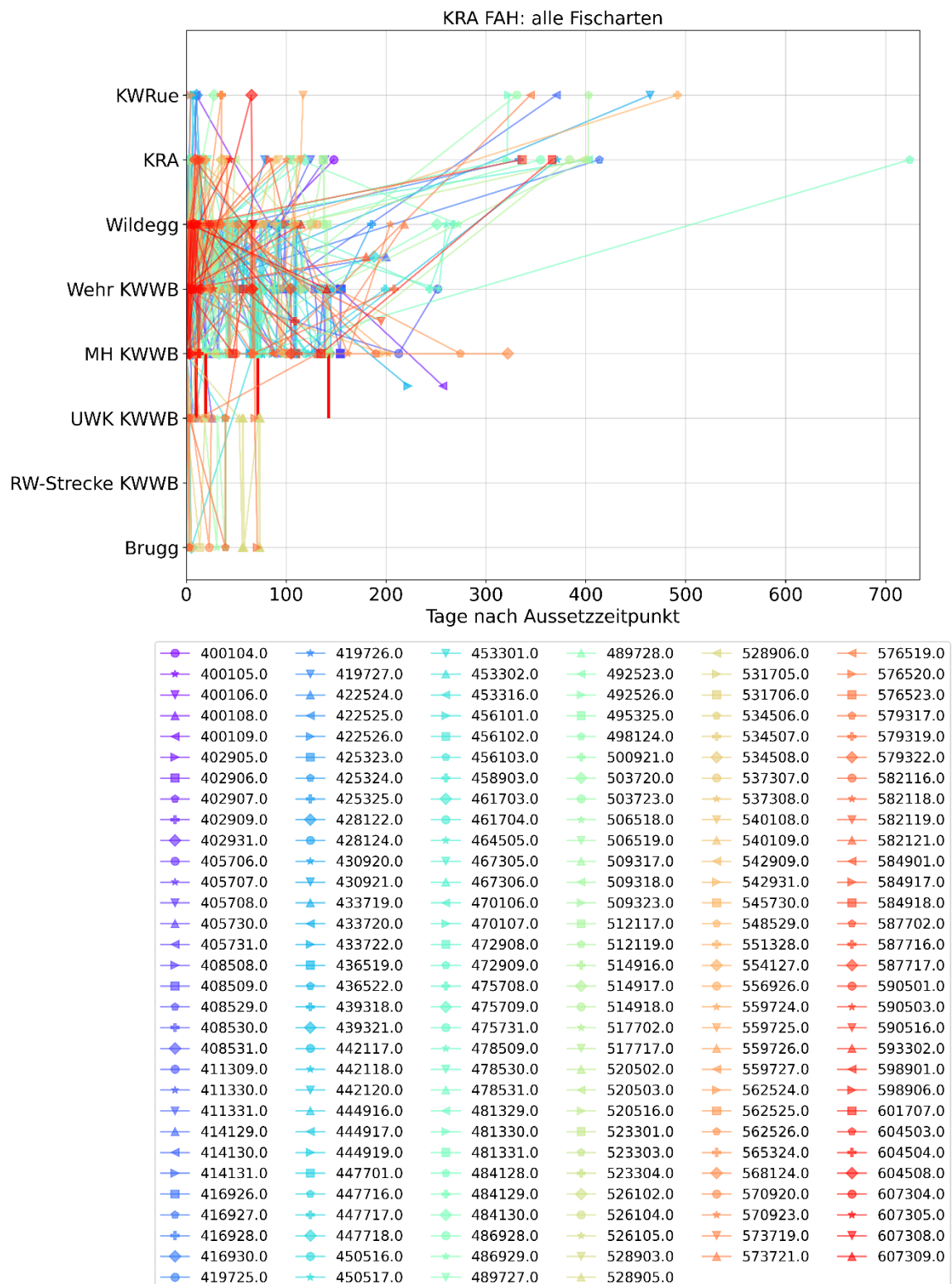


Abb. A.13 Grossräumiges Wanderverhalten aller Fische, welche in der Fischaufstiegshilfe bzw. im Zählbecken des Kraftwerks Ruppertswil-Auenstein gefangen wurden.

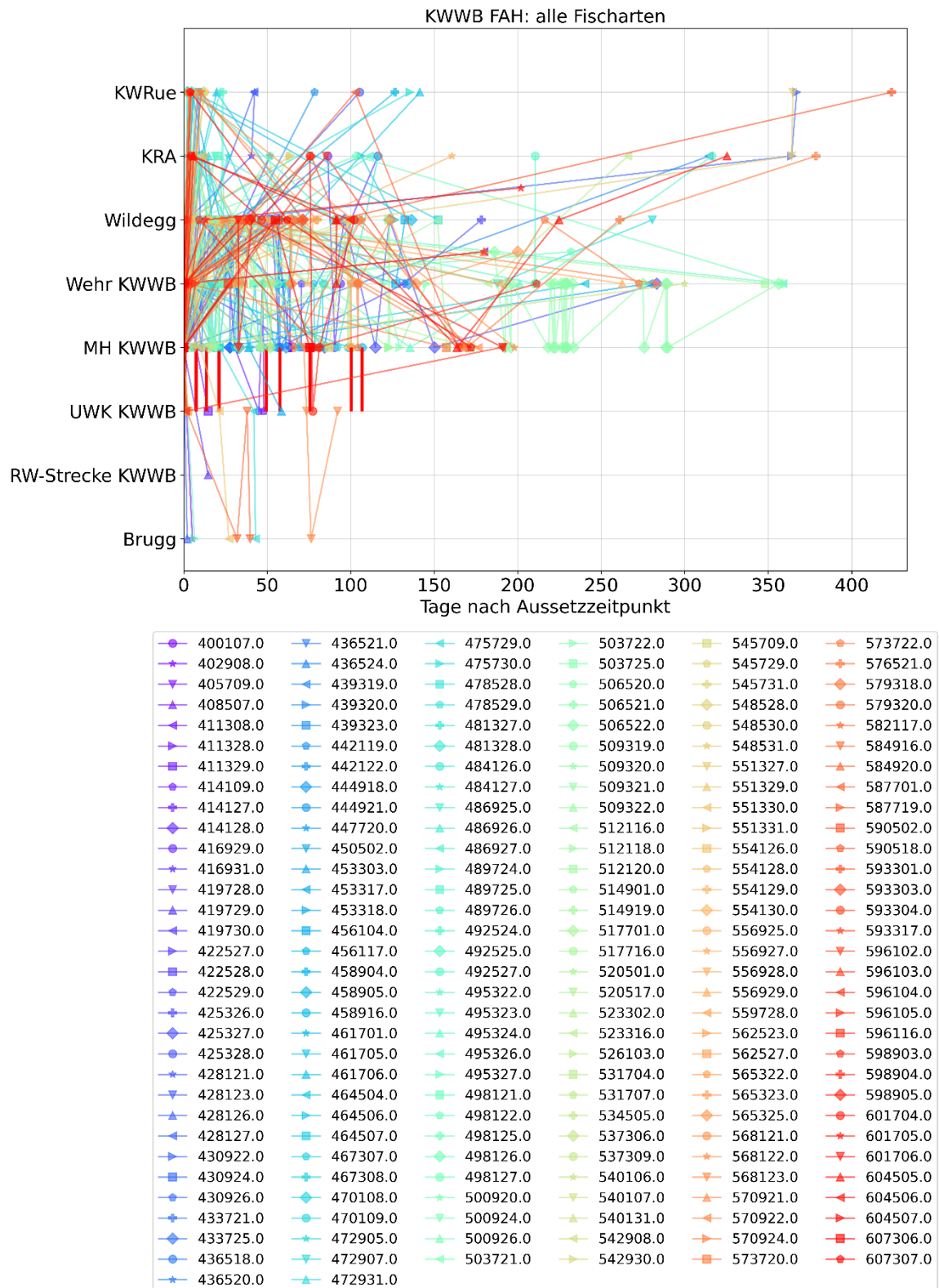


Abb. A.14 Grossräumiges Wanderverhalten aller Fische, welche mit der Reuse in der Fischauflstiegshilfe des KWVB gefangen wurden.

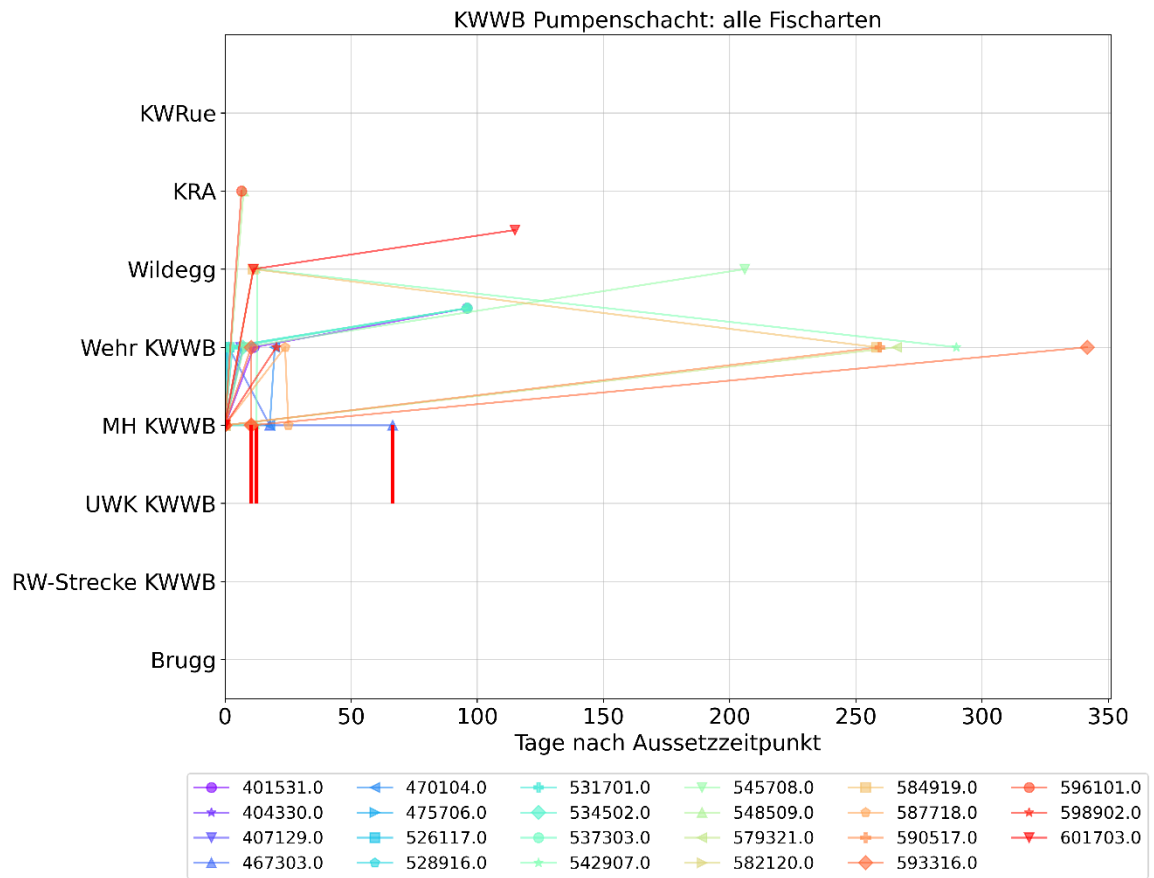


Abb. A.15 Grossräumiges Wanderverhalten aller Fische, welche im Pumpenschacht des KWVB gefangen wurden.

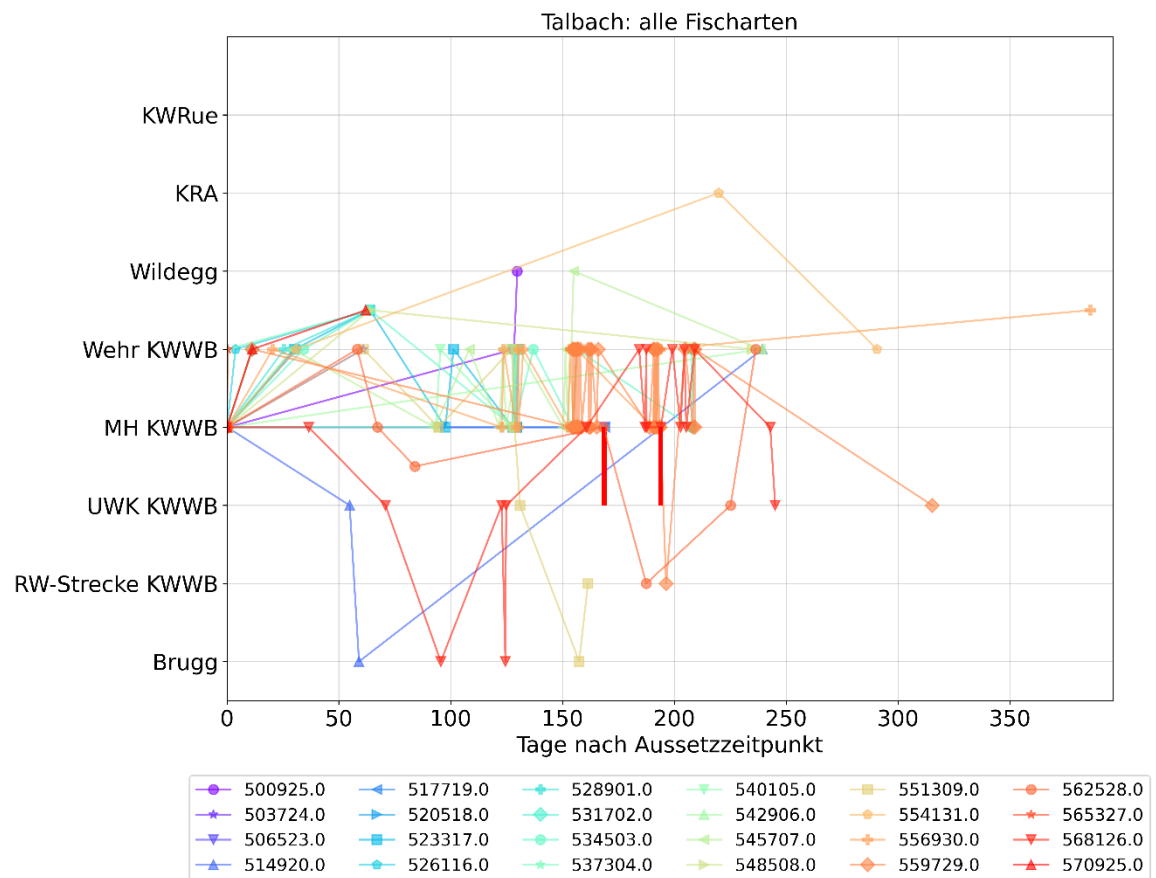


Abb. A.16 Grossräumiges Wanderverhalten aller Fische, welche mittels Elektrofischung im Talbach gefangen wurden.

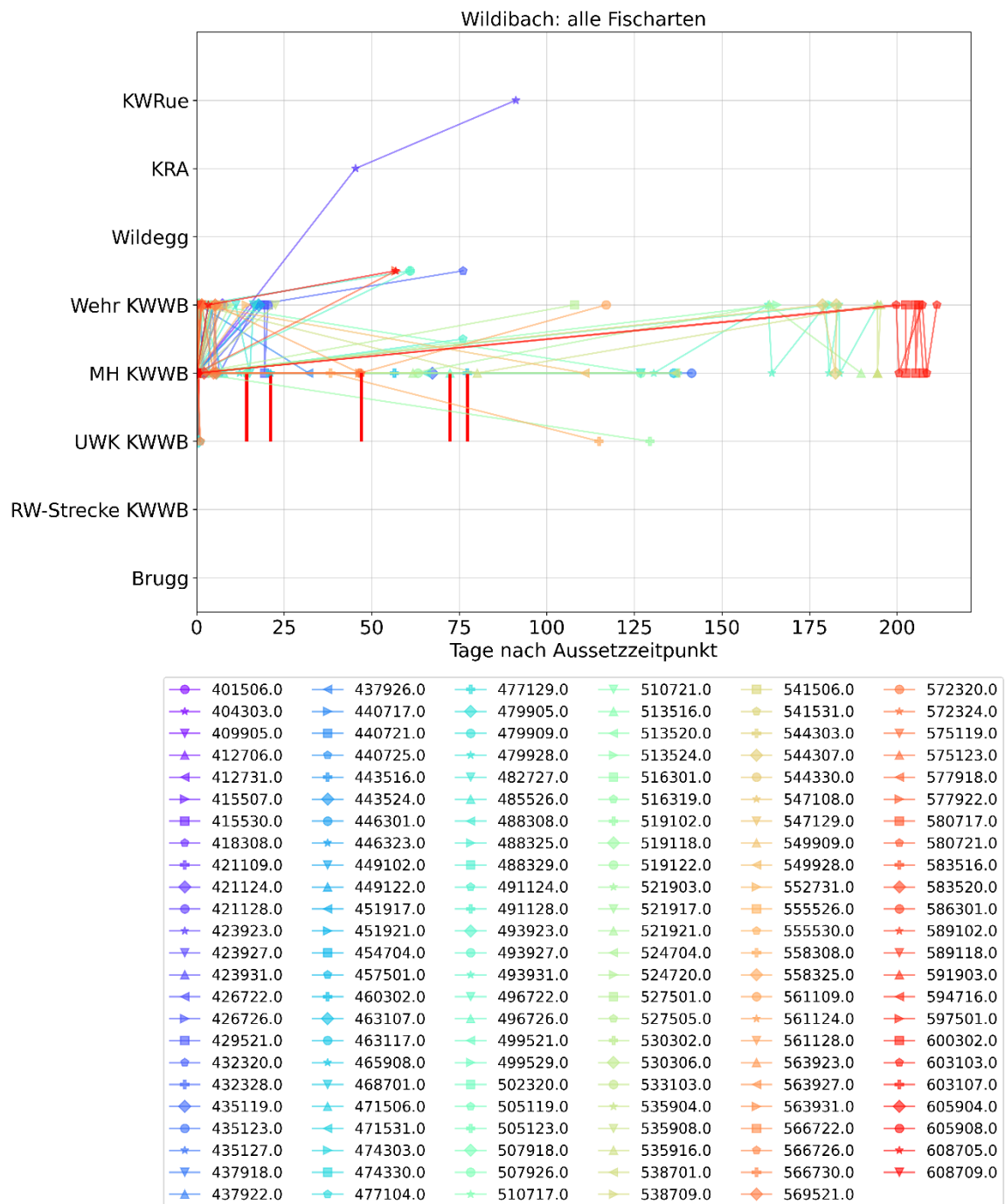


Abb. A.17 Grossräumiges Wanderverhalten aller Fische, welche mittels Elektrofischung im Wildibach gefangen wurden.

Anhang 6 Animationsplots: Symbole der abiotischen Faktoren

Sym- bol	Bedeutung	Quelle
	Niedriger Luftdruck (< 956.4 hPa)	[S1]
	Mittlerer Luftdruck (956.4–975.6 hPa)	[S1]
	Hoher Luftdruck (≥ 975.6 hPa)	[S1]
	Neumond	[S2]
	Zunehmende Sichel	[S2]
	Zunehmender Halbmond (erstes Viertel)	[S2]
	Zweites Viertel	[S2]
	Vollmond	[S2]
	Drittes Viertel	[S2]
	Abnehmender Halbmond (letztes Viertel)	[S2]
	Abnehmende Sichel	[S2]
	Tagsüber	[S2]
	Beginn Morgendämmerung bis Sonnenaufgang Min: 1h 40min 25s; Max: 3h 03min 34s	[S2]
	Sonnenuntergang bis Ende Abenddämmerung Min: 1h 40 min 25s; Max: 3h 03min 34s	[S2]
	Niederschlag (> 0.0 mm)	[S2]
	Lufttemperatur (oben) und Wassertemperatur (unten) [$^{\circ}\text{C}$]	[S2]
	Wehr geschlossen	[S3]
	$< 50 \text{ m}^3/\text{s}$ (Klappen Wehrfelder 2 und 3 offen)	[S3]
	$50\text{--}200 \text{ m}^3/\text{s}$ (Klappen Wehrfelder 1–4 offen)	[S3]
	$> 200 \text{ m}^3/\text{s}$ (Öffnung Segmentschütze)	[S3]
	Kein Wind ($< 10 \text{ km/h}$)	[S4]
	Windgeschwindigkeit zwischen 10 und 30 km/h	[S4]
	Windgeschwindigkeit mehr als 30 km/h	[S4]

[S1] [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Barometer - The Noun Project.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Barometer_-_The_Noun_Project.svg) (letzter Zugriff 9. August 2023)

[S2] Openmoji: All emojis designed by OpenMoji – the open-source emoji and icon project. License: CC BY-SA 4.0

[S3] Eigene Darstellungen

[S4] Icon made by [Zlatko Najdenovski](http://www.flaticon.com) from www.flaticon.com