Schlussbericht
Wirkungskontrollen Fischaufstiegshilfen

Methoden- und Bewertungsstandard für PIT-Tagging-Studien

«Aus der Praxis – für die Praxis»

WASSER-AGENDA 21 Forum Chriesbach Überlandstrasse 133 CH-8600 Dübendorf Tel. +41 58 765 54 27 info@wa21.ch www.wa21.ch

Impressum

Herausgeber

Wasser-Agenda 21 (WA21)

Leitung

Angela Thür (WA21), Carlos Wyss (WA21), Stefan Vollenweider (WA21), Katharina Lange (BAFU)

Fachbegleitung

Nicolas Achermann (Fischwerk), Thomas Ammann (WWF), Eva Baier (Fischwanderung.ch),
Álvaro Baumann y Carmona (Aqua Viva), Christoph Birrer (Kanton St. Gallen), Jakob Brodersen (Eawag),
Karin Gafner (Kanton Bern), Simon Gingins (BAFU), Martin Huber Gysi (BAFU), Vanina Heinrich (Kanton Freiburg),
Tabea Dalbert (BAFU), Ricardo Mendez (Axpo), Andreas Meraner (Kanton Graubünden), Jérôme Plomb (Aquarius),
Damien Sidler (FishLab), Luiz Martins da Silva (ETH Zürich).

Autor:innen

Thomas Kreienbühl (Ecqua GmbH)
Jeannot Müller (Ecqua GmbH)
Armin Peter (FishConsulting GmbH)
Nils Schölzel (FishConsulting GmbH)
Antony Ducommun dit Boudry (Software Consulting)

Zitiervorschlag

Kreienbühl T., Müller J., Peter A., Schölzel N. und Ducommun A. (2024): Schlussbericht zum Methoden- und Bewertungsstandard für die Wirkungskontrolle von Fischaufstiegshilfen mit PIT-Tagging. Aus der Praxis, für die Praxis. Auftragnehmer: Ecqua GmbH. Auftraggeber: Wasser-Agenda 21, Dübendorf. v1-01.

Aktuelle Version erhältlich unter:

https://plattform-renaturierung.ch/fischgaengigkeit/hilfsmittel/pit-tagging/

Erstellt mit finanzieller Unterstützung des Bundesamts für Umwelt (BAFU)

Kontakt

renaturierung@wa21.ch

Arbeitshilfen der Wasser-Agenda 21

Arbeitshilfen der Wasser-Agenda 21 gewährleisten eine gute Praxis und geben Hinweise für einen einheitlichen Vollzug. Sie wurde mit aller Sorgfalt und nach bestem Gewissen erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität kann Wasser-Agenda 21 keine Gewähr übernehmen.

Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Verfasser:in	Bemerkungen
1-01	02.04.2024	Thomas Kreienbühl	1. Version
1-02	17.02.25	Angela Thür, Thomas Kreienbühl	Fehlerkorrekturen, Harmonisierung französische Version

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 4

1.1 Ausgangslage 4
1.2 Projektziele 4
1.3 Produkte 4

2 Überblick und Vorgehen 5

2.1 Hintergrund 5
2.2 Leitfaden des Methodenstandards 6
2.3 Projektablauf 7

3 Teilprojekt 1: Auslegeordnung 9

3.1 Literaturrecherche 9
3.2 Erstellung Literaturdatenbank 9
3.3 Auswertung Literaturdatenbank 12

4 Teilprojekt 2: Methoden- und Bewertungsstandard 16

4.1 Vorgaben zur Planung von PIT-Tagging-Studien 16
4.2 Vorgaben zur Durchführung von PIT-Tagging-Studien 18
4.3 Vorgaben zur Auswertung von PIT-Tagging-Studien 26
4.4 Vorgaben zur Bewertung von PIT-Tagging-Studien 32

5 Teilprojekt 3: Webtool 40

5.1 Übersicht 40
5.2 Datenaufbereitung 42
5.3 Datenformate 44
5.4 Artenliste 45

6 Literatur 48

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Das Bundesgesetz über die Fischerei (BGF) aus dem Jahr 1991 schreibt vor, dass bei jedem technischen Eingriff in ein Gewässer die freie Fischwanderung sicherzustellen ist. Das 2011 in Kraft getretene revidierte Gewässerschutzgesetz (GschG) verpflichtet die Inhaber von Wasserkraftanlagen dazu, ökologische Beeinträchtigungen durch die Nutzung der Wasserkraft bis 2030 zu beseitigen. Zu diesen gehört auch die Beeinträchtigung der Fischwanderung. Hindernisse, welche die Fischwanderung wesentlich beeinträchtigen, müssen saniert werden.

Bis Ende des Jahrs 2013 haben die Kantone dem Bund (Bundesamt für Umwelt, BAFU) ihre Bestandsaufnahmen vorgelegt. Die Auswertung zeigt, dass rund 1'000 Querbauten an Kraftwerken saniert werden müssen. Die Wiederherstellung des Fischaufstiegs kann mit Hilfe von baulichen oder betrieblichen Massnahmen realisiert werden. Ob eine umgesetzte Massnahme funktioniert, muss durch eine Wirkungskontrolle untersucht werden. Eine solche muss praktisch nach jeder umgesetzten Massnahme durchgeführt werden (VBGF Art. 9c).

Bisher lieferte eine Praxishilfe allgemeine Informationen, wie die Wirkung erhoben werden kann, aber kein Verfahren, wie erhobene Daten bewertet werden können (Zaugg et al., 2016). Eine Fachgruppe der «Plattform Sanierung Wasserkraft» hat sich in mehreren Sitzungen mit der dieser Situation auseinandergesetzt und mit der Entwicklung von weiterführenden Arbeitshilfen begonnen. Als erstes wurden Mustervorlagen erstellt (Baier, 2021). Diese unterstützen die Fachbüros bei der Erstellung eines Konzeptes für die Wirkungskontrolle und bei der Verfassung der Schlussberichte. In einem nächsten Schritt wurde ein Methoden- und Bewertungsstandard für die Wirkungskontrollen des Fischaufstiegs mittels Zählbecken und Reusen sowie der Erhebung des Migrationspotenzials erarbeitet (Arminger et al., 2022, Peter et al., 2022, Wilmsmeier et al., 2022).

Das nächste Projekt, das die Fachgruppe anging, war die Erstellung eines Methoden- und Bewertungsstandards für die Wirkungskontrolle von Fischaufstiegshilfen (FAH) mit PIT-Tagging (kurz PIT-Studien). Der Auftrag wurde Anfang des Jahres 2023 vergeben.

1.2 Projektziele

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden Erhebungs- und Bewertungsgrundlagen für die Wirkungskontrollen von Fischaufstiegshilfen (FAH) mittels PIT-Tagging gesammelt und ausgewertet (*Teilprojekt 1: Auslegeordnung*). Dazu wurde Literatur gesichtet und Expert:innenwissen abgeholt.

Danach wurden aufgrund der Ergebnisse der Auslegeordnung in Zusammenarbeit mit PIT-Tagging-Expert:innen und der Fachgruppe Mindestanforderungen für den Einsatz der PIT-Tagging-Technologie, Anforderungen an die Auswertung sowie die Bewertung von PIT-Studien im Rahmen einer Wirkungskontrolle an FAH definiert (*Teilprojekt 2: Methoden- und Bewertungsstandard*).

Parallel zur Entwicklung der Mindestanforderungen an PIT-Studien wurde ein Webtool entwickelt, das die Rohdaten aus den Wirkungskontrollen standardisiert auswertet und einheitlich bewertet (*Teilprojekt 3: Webtool*).

Die nun hier vorgelegten Anforderungen sollen als Vorgabe für die Praxis dienen. Alle relevanten Dokumente und Informationen zum Projekt finden sich unter diesem Link.

1.3 Produkte

Neben diesem Schlussbericht, der alle relevanten Informationen, Diskussionen und Herleitungen enthält, wurden weitere Produkte erstellt:

- Das Merkblatt fasst möglichst einfach und kurz die Anforderungen an die Planung und Durchführung von PIT-Studien zusammen (Kreienbühl et al., 2024b);
- Das Webtool ermöglicht die automatisierte und standardisierte Auswertung und Bewertung nach den Vorgaben des Methoden- und Bewertungsstandards (Kreienbühl und Ducommun, 2024).

2 Überblick und Vorgehen

2.1 Hintergrund

2.1.1 Was ist PIT-Tagging?

PIT-Tags (engl. passive integrated transponder tag) sind kleine Transponder, welche mit einer Glashülle abgedichtet sind. Das «passive» steht dafür, dass die Transponder über keine eigene Energieversorgung verfügen (z.B. Batterie). Entsprechend sind PIT-Tags klein. Das «integrated» bezieht sich auf den Chip, den Kondensator sowie die Antenne, welche in der Glaskapsel integriert sind. Mit diesen PIT-Tags können neben anderen Tieren auch Fische markiert werden. Wenn in diesem Methodenstandard von «markierten Fischen» die Rede ist, heisst das, dass Fischen fachgerecht betäubt ein PIT-Tag injiziert wurde.

Bei PIT-Tags handelt es sich um RFID-Transponder (engl. radio frequency identification). Es ist die gleiche Technologie, die beispielsweise in Bibliotheken (Bücher) oder der Landwirtschaft (Ohrmarker) verwendet wird. Neben den PIT-Tags braucht es Antennen und Empfänger, um ein PIT-Tag kontaktlos auslesen zu können. Vereinfacht gesagt erzeugen die Antennen ein Magnetfeld. In diesem Magnetfeld laden sich die PIT-Tags mit Energie auf. Sobald die PIT-Tags über genügend Energie verfügen, senden sie ihre individuelle Nummer zurück ins Magnetfeld. Diese Nummer kann danach mit Zeit- und Datumstempel auf dem Empfänger gespeichert werden.

Im Vergleich mit anderen Markierungstechnologien wie der Radiotelemetrie oder der akustischen Telemetrie sind die Transponder resp. die PIT-Tags klein, günstig und einfach in der Handhabung. Damit können Stichprobenumfänge erreicht werden, die quantitative, d.h. objektive und schlüssige, Resultate bezüglich Wanderbewegungen von Fischen liefern. Darüber hinaus müssen Fische, die markiert werden, nicht operiert werden (keine Naht). Sie ertragen die PIT-Tags dementsprechend gut (Vollset et al., 2020).

Der Nachteil der PIT-Technologie ist, dass die Antennen nur eine eingeschränkte Reichweite haben. Das heisst, dass man Bewegungsmuster von Fischen nur mit mehreren Antennen abbilden kann. Wird ein Fisch an einer Antenne registriert, weiss man, dass dieser Fisch an diesem Standort war – mehr nicht. Die Radiotelemetrie und die akustische Telemetrie sind hingegen in der Lage, Bewegungsmuster auch kleinräumig aufzulösen. Zudem haben sie eine deutlich grössere Reichweite. Deren Transponder sind jedoch deutlich teurer und grösser. Die Fische müssen operiert und Wunden genäht werden. Diese Methoden ermöglichen meist keine grossen Stichprobenumfänge. Sie eigenen sich damit eher zur Untersuchung von individuellen Verhaltensmustern, z.B. des Suchverhalten vor Fischaufstiegshilfen (FAH), oder zu Untersuchungen in grösseren Wasserkörpern wie Flüsse, Seen oder entlang von Küsten im Meer.

2.1.2 Was sind die Merkmale einer PIT-Tagging-Studie?

Im Gegensatz zu der Zählbecken-Methode (Wilmsmeier et. al, 2022) handelt es sich beim PIT-Tagging nicht um eine Beobachtung, sondern um ein Experiment. Die Art und Weise, wie die beiden Untersuchungen durchgeführt und interpretiert werden, unterscheidet sich entsprechend.

Bei einem Zählbecken wird notiert, wie viele Fische von jeder Art in einem bestimmten Zeitraum in das Zählbecken einschwimmen. Um die Beobachtung einordnen zu können, wird mindestens im Unterwasser das Migrationspotenzial resp. der Fischbestand quantitativ erfasst (Peter et al., 2022). Durch die Kombination dieser beiden Beobachtungen kann die Funktionsfähigkeit einer FAH eingeschätzt werden. Zudem gewinnt man wertvolle Informationen über den Fischbestand im Umkreis des Kraftwerks.

Beim PIT-Tagging wird eine bestimmte Anzahl von Fischen einer Art markiert. Diese Fische werden unterhalb einer FAH in das Gewässer eingesetzt. Danach wird gemessen, welcher Anteil von diesen Fischen bestimmte Positionen im Versuchsaufbau erreichen (z.B. Einstieg oder Ausstieg der FAH). Diese Anteile werden dann mit erwartbaren Resultaten (Hypothesen), hergeleitet aus früheren Studien, verglichen und eingeordnet. Dieser Versuchsaufbau erlaubt die Beurteilung folgender Eigenschaften einer FAH für unterschiedliche Fischarten (Abbildung 2-1):

- Die Auffindbarkeit[1] einer FAH (Redetektionsrate);
- Den Einstieg in die FAH (Eintrittseffizienz);
- Die Passierbarkeit über die FAH (oder Abschnitte davon; Passageeffizienz);
- Des Ausstiegs aus der FAH (Austrittseffizienz).

Darüber hinaus kann der *Zeitbedarf* berechnet werden, den ein markierter Fisch braucht, um bestimmte Positionen innerhalb des Versuchsaufbaus zu erreichen. Die Parameter, die die verschiedenen Eigenschaften erfassen, sind in Klammern angegeben.

Beim PIT-Tagging handelt sich also um ein Experiment. Die Erhebung des Fischbestandes im Unterwasser ist für die Interpretation der Resultate nicht notwendig. Informationen über den Fischbestand erhält man daher keine. Dafür kann eine FAH im Detail analysiert werden.

Abbildung 2-1: Die verschiedenen Bereiche, die bei einer PIT-Tagging-Studie, unabhängig vom Typ der Fischaufstiegshilfe, mit Doppelantennen bewertet werden können. Die farbigen Pfeile markieren die Schwimmrichtung der Fische durch eine Fischaufstiegshilfe.

2.2 Leitfaden des Methodenstandards

PIT-Tagging kommt regelmässig bei wissenschaftlichen Untersuchungen, die als Tierversuche eingestuft werden, zum Einsatz. Für Wirkungskontrollen von FAH braucht es allerdings keine Tierversuchsbewilligung (vgl. Fachinformation Tierversuche 4.03). Dennoch muss sich eine PIT-Studie an den Vorgaben des Tierschutzgesetzes orientieren.

Das oberste Prinzip bei Tierversuchen sind die 3R: «reduce, refine, replace» (reduzieren, verfeinern, ersetzen). Kurz gesagt heisst das, dass ein Versuch so weit optimiert werden muss, damit das verursachte Leid der Versuchstiere gerade noch gerechtfertigt werden kann. Bei der Planung befindet man sich also im Spannungsfeld zwischen möglichst wenigen Versuchstieren und möglichst robusten und aussagekräftigen Resultaten.

PIT-Tagging als Markierungsmethode wird als Tierversuch mit Schweregrad 1 eingestuft (unabhängig der Fangmethode). Das bedeutet, dass den Versuchstieren kurzfristig Schmerzen, Verletzungen oder leichte Beeinträchtigungen des Allgemeinbefindens zugefügt werden. Das schliesst einen grösseren Stichprobenumfang nicht aus. Die Herleitung des Stichprobenumfangs ist in Kapitel 4.2.1 festgehalten.

Um möglichst robuste Resultate zu erhalten, braucht es eine ausreichende Anzahl von Antennen zur Detektion der Fische. Je weniger Antennen eingesetzt werden, desto höher ist die Unsicherheit der Resultate. Anzahl und Anordnung der PIT-Antennen im Versuchsaufbau werden in Kapitel 4.2.4 beschrieben.

[1] Die Auffindbarkeit einer FAH in PIT-Studien entspricht nicht der wahren Auffindbarkeit resp. Attraktivität einer FAH. Der Bereich der Lockströmung ist gerade bei grossen Kraftwerken deutlich grösser als der Bereich, der mit einer PIT-Antenne abgedeckt werden kann. Aus diesem Grund (um Verwechslungen auszuschliessen) bezeichnen wir den Parameter, der die Attraktivität einer FAH beschreibt und der in internationalen Studien schlicht «Attraktivitätseffizienz» heisst, als «Redetektionsrate». Dennoch liefert die «Redetektionsrate», vor allem im Vergleich mit anderen PIT-Studien, Hinweise auf die Auffindbarkeit resp. Attraktivität einer FAH.

2.3 Projektablauf

2.3.1 Übersicht

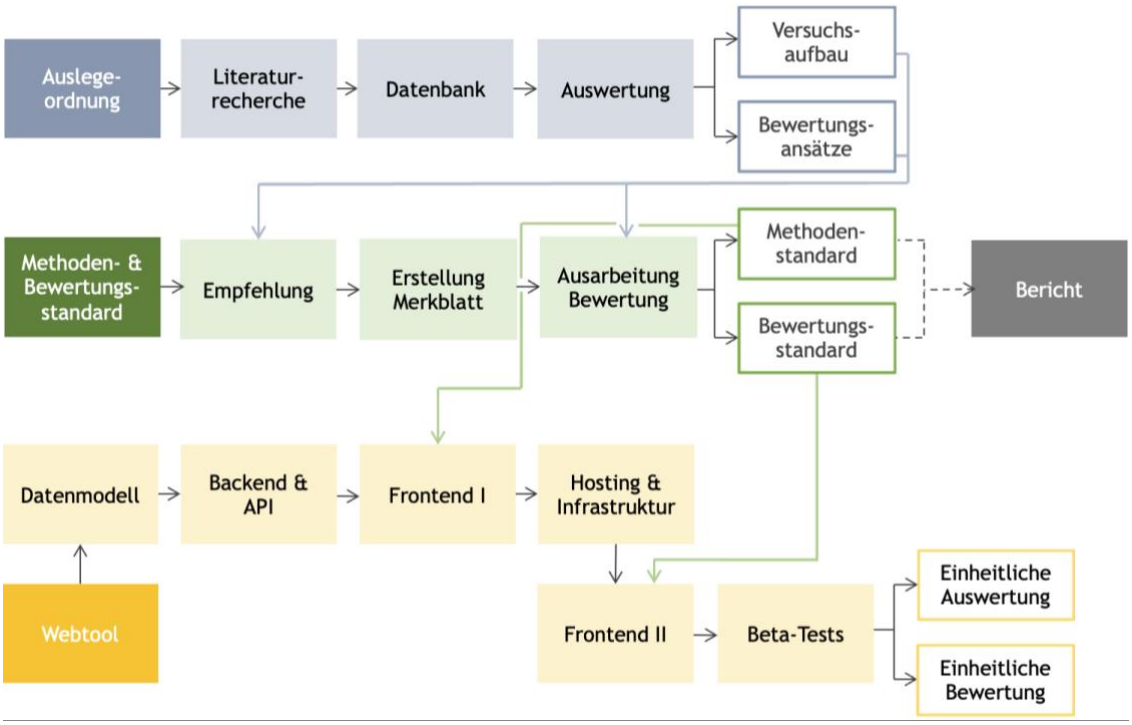


Abbildung 2-2: Überblick zu den drei Teilprojekten sowie vorab definierten Milestones des Projektes.

Aus den Anforderungen an das Projekt wurden folgende Teilprojekte abgeleitet:

- Auslegeordnung (Teilprojekt 1; Kapitel 3)
- Methoden- und Bewertungsstandard (Teilprojekt 2; Kapitel 4)
- Webtool (Teilprojekt 3; Kapitel 5)

Für diese Teilprojekte wurden verschiedene Milestones definiert, auf deren Grundlage das Gesamtprojekt umgesetzt wurde (Abbildung 2-2).

2.3.2 Erarbeitungsprozess

Auslegeordnung

Als erstes wurde eine Literaturrecherche durchgeführt mit dem Ziel, eine möglichst umfassende Literaturdatenbank über Wirkungskontrollen von Fischaufstiegshilfen mit PIT-Tagging erstellen zu können. Dazu wurden Studien aus der Schweiz sowie aus Europa berücksichtigt.

Die Literaturdatenbank diente als Grundlage für die Diskussionen mit den Expert:innen und der Fachgruppe. So konnten offene Fragen beantwortet und Vergleiche zu verschiedenen Studien gezogen werden.

Methodenstandard

Nachdem die Literaturdatenbank erstellt war, wurde am 26. April 2023 ein erster Expert:innenworkshop durchgeführt. Der Workshop hatte das Ziel, im Kreis von PIT-Tagging-Expert:innen die grundlegenden Eckpfeiler des Merkblattes zu besprechen und bei strittigen Fragen einen Konsens zu finden. Dazu wurde vorab ein Fragekatalog erstellt. Bestimmte Fragestellungen wurden während dem Workshop direkt mit der Literaturdatenbank bearbeitet. Die Teilnehmer des Workshops waren:

- Luiz Silva und Tina Dubach (ETH Zürich)
- Armin Peter und Nils Schölzel (FishConsulting)
- Ricardo Mendez (Axpo)

- Angela Thür (Wasser-Agenda 21)
- Thomas Kreienbühl (Ecqua)

Auf der Grundlage der Ergebnisse des Expert:innenworkshops wurde ein erster Entwurf für den Methodenstandard erstellt und zur Besprechung in der Begleitgruppe vorbereitet. Dieser Entwurf wurde in der Begleitgruppensitzung vom 23. Mai 2023 vorgestellt und eingehend besprochen. Nach der Begleitgruppensitzung hatten alle Mitglieder der Begleitgruppe die Möglichkeit, sich mit dem Vorschlag der Expert:innengruppe vertieft auseinanderzusetzen und eine schriftliche Rückmeldung abzugeben. Diese Rückmeldungen wurden diskutiert und in den Methodenstandard integriert.

Auf der Basis des Methodenstandards wurde ein zusammenfassendes Merkblatt zur Planung und Durchführung von PIT-Studien erstellt (Kreienbühl et al., 2024b). In der vorliegenden Dokumentation ist der Methodenstandard mit Erläuterungen und Herleitungen ergänzt.

Bewertungsstandard

Bis zur Begleitgruppensitzung vom 11. September 2023 wurde die grundlegende Methodik des Bewertungsstandards erarbeitet. Dieser wurde an der Sitzung vorgestellt und besprochen. Im Anschluss an die Sitzung wurde die Aggregationsfunktion mit Nele Schuwirth (ETH Zürich), eine Expertin auf dem Gebiet von solchen Berechnungen, besprochen und ergänzt. Danach wurde der Bewertungsstandard ins parallel erarbeitete Webtool integriert.

Am 14. November 2023 wurde der zweite Expert:innenworkshop durchgeführt. Ziel des Workshops war, dass PIT-Tagging-Expert:innen den Bewertungsstandard einschätzen und offene Fragen diskutiert werden können. Gleichzeitig bestand die Möglichkeit, das Webtool kennenzulernen und mit eigenen Daten zu testen. Teilnehmer des Workshops waren:

- Martina Breitenstein (WFN)
- Nicolas Achermann (Fischwerk)
- Nils Schölzel (FishConsulting)
- Tina Dubach (ETH Zürich)
- Lukas Boller (Aquaplus)
- Katharina Lange (BAFU)
- Angela Thür (Wasser-Agenda 21)
- Antony Ducommun (Software Consulting)
- Thomas Kreienbühl (Ecqua)

Auf der Basis der Rückmeldungen des Expert:innenworkshops wurde der Bewertungsstandard finalisiert und das Webtool aktualisiert. Danach wurde der Bewertungsstandard der Begleitgruppe am 23. November 2023 vorgestellt. Danach wurde das Merkblatt finalisiert, der Schlussbericht erstellt und der Begleitgruppe zur Freigabe übergeben.

Webtool

Das Webtool wurde von Antony Ducommun (Software Consulting) und Thomas Kreienbühl (Ecqua) parallel zum Merkblatt entwickelt, so dass es bei Projektabschluss zur Verfügung stand (Kreienbühl und Ducommun, 2024). Es ist nach einer einmaligen Registrierung unter https://pit.plattform-renaturierung.ch frei zugänglich.

3 Teilprojekt 1: Auslegeordnung

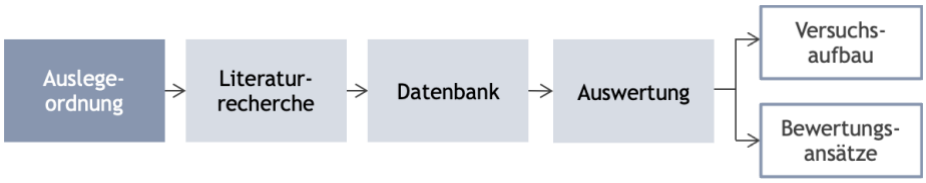


Abbildung 3-1: Milestones der Erarbeitung des Methodenstandards gemäss Konzept.

Das Teilprojekt Auslegeordnung bestand aus drei Schritten (Abbildung 3-1):

- Literaturrecherche (Kapitel 3.1)
- Erstellung einer Literaturdatenbank (Kapitel 3.2)
- Auswertung der Literaturdatenbank (Kapitel 3.3)

Aufgrund der Erfahrungen der beteiligten Expert:innen sowie den Auswertungen des Fragenkatalogs mit der Literaturdatenbank wurden Empfehlungen zum Versuchsaufbau sowie zu den Bewertungsansätzen abgeleitet (Teilprojekt 2: Methoden- und Bewertungsstandard; Kapitel 4).

3.1 Literaturrecherche

Wichtig bei der Auswahl der Studien für die Literaturdatenbank waren folgende Eigenschaften:

- Vergleichbarkeit mit Schweizer Fischarten- und Gewässervielfalt.
- Abdeckung von möglichst allen in der Schweiz vorkommenden Fischregionen.
- Berücksichtigung möglichst aller in der Schweiz vorkommenden FAH-Typen.
- Es wurden sehr gut funktionierende bis wenig funktionale FAH resp. Resultate abgedeckt.

Der letzte Punkt war wichtig, damit aus der Literaturdatenbank ein Bewertungsstandard auf der Basis von quantitativen Daten erstellt werden konnte. Die Berücksichtigung ausschliesslich gut funktionierender FAH würde zu einem sehr restriktiven Bewertungsschlüssel führen. Würden hingegen nur Resultate von schlecht funktionierenden FAH berücksichtigt, würde die Funktionsfähigkeit insbesondere von neuen FAH überschätzt.

Die Studien wurden mittels Literaturrecherche im Internet (vor allem internationale Literatur) und Anfragen bei nationalen und kantonalen Fachstellen, Kraftwerksbetreibern und Fachbüros (Schweizer Literatur) gesucht.

3.2 Erstellung Literaturdatenbank

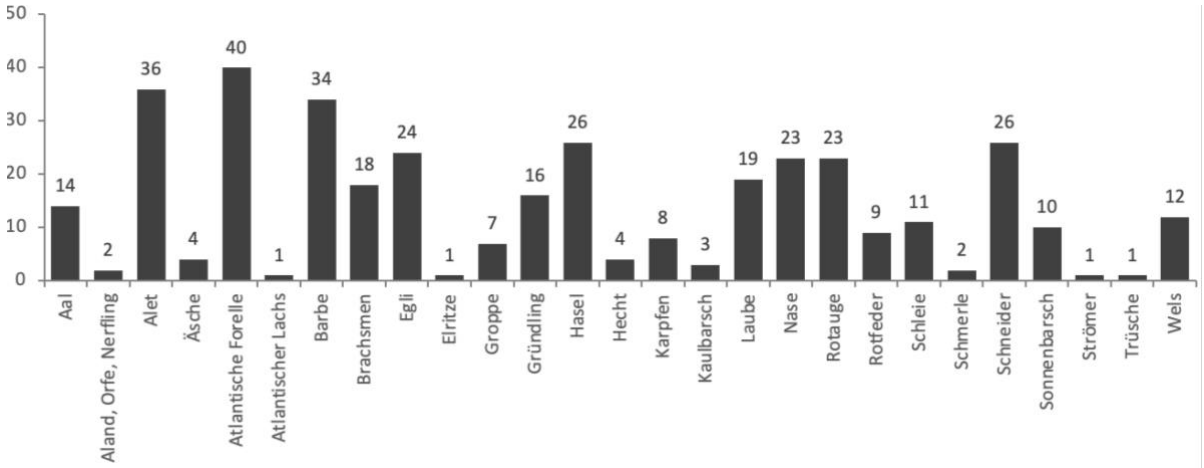


Abbildung 3-2: Übersicht zu den Häufigkeiten von Ergebnissen einzelner Fischarten in der Literaturdatenbank, die durch PIT-Studien bei Wirkungskontrollen von Fischaufstiegshilfen erzielt wurden.

Insgesamt wurden 24 Studien analysiert und in die Literaturdatenbank eingegeben (Tabelle 3-1). Diese Studien umfassten insgesamt 37 unterschiedliche Querbauwerke mit 46 Fischaufstiegshilfen. Von den 37 Querbauwerken lagen:

- sechs in der oberen Forellenregion,
- zehn in der unteren Forellenregion,
- zehn in der Äschenregion,
- fünfzehn in der Barbenregion und
- eine in der Brachsmenregion.

Bei den 46 verschiedenen FAH handelte es sich um

- achtzehn Schlitzpässe,
- acht Beckenpässe,
- fünf Umgehungsgerinne,
- drei Raugerinne-Beckenpässe,
- einen Fischlift und
- elf andere Bauwerke.

Diese anderen Bauwerke umfassten kombinierte FAH, z.B. ein Schlitzpass, der in einen Raugerinne-Beckenpass mündet, aber auch andere Formen wie fischgängige Blockrampen, Krebssperren oder Eindolungen sowie «Baffle»-Fischpässe.

Es konnten 376 unterschiedliche Ergebnisse von 27 Fischarten analysiert werden (Abbildung 3-2). Am meisten Resultate lagen zu Alet (n=36), Forelle (n=40) und Barbe (n=34) vor.

Zu jedem Ergebnis einer Fischart pro FAH wurden Fangstandort (Oberhalb KW, Unterhalb KW, Zählbecken & andere Herkunft), Rückgabestandort (Oberhalb KW, Unterhalb KW, anderer Standort), Anzahl (n), Redetektionsrate, Eintrittseffizienz, Passageeffizienz (lokal und/oder global), Zeitbedarf, Längenselektivität (ja/nein) und Erfolg (gemäss Autoren) festgehalten, sofern durch die Autoren publiziert und den grundlegenden Definitionen entsprechend. Beim Zeitbedarf musste die Definition grosszügig ausgelegt werden, da hier methodisch wenig Einigkeit herrscht(e). Die Erklärungen und Definitionen zu den einzelnen Parametern finden sich im Methodenstandard (Kapitel 4.3).

Dank der Zustimmung der Auftraggeber und Behörden konnten auch die Daten der im Jahr 2023 noch laufenden Untersuchungen an der Wasserfassung Bruggwiti (SAK) und beim hydraulischen Kraftwerk Beznau (Axpo) in die Literaturdatenbank einfliessen.

Tabelle 3-1: Übersicht zu den Studien, die in die Literaturdatenbank aufgenommen wurden.

Studie	Kraftwerk/Querbauwerk	Kanton/Land	Fischregion
Aarestrup et al. (2003)	Tirsbaek	Dänemark	Untere Forellenregion
Baier (2016)	Steffstep Kollbrunn	Zürich	Untere Forellenregion
Benitez et al. (2018)	Kraftwerk Monsin	Belgien	Brachsmenregion
Benitez et al. (2018)	Monsin Dam	Belgien	Brachsmenregion
Breitenstein et al. (2019a)	Kraftwerk Rüchlig	Aargau	Barbenregion
Breitenstein et al. (2019b)	Kraftwerk Rupperswil-Auenstein	Aargau	Barbenregion
De Oliveira und Tetard (2016)	Kraftwerk Gambsheim	Deutschland	Barbenregion
Dodd et al. (2017)	Rodley Wehr	England	Äschenregion
Dumoutier und Caudron (2017)	Barrage du Saut du Moine	Frankreich	Äschenregion
Forty et al. (2016)	Culvert Swanside Beck 1	England	Untere Forellenregion
Forty et al. (2016)	Culvert Swanside Beck 2	England	Untere Forellenregion
Forty et al. (2016)	Embedded rock ramp Chipping Brook	England	Untere Forellenregion
Forty et al. (2016)	Low cost baffle Swanside Beck 1	England	Untere Forellenregion
Forty et al. (2016)	Low cost baffle Swanside Beck 2	England	Untere Forellenregion
Forty et al. (2016)	Pool and Weir Chipping Brook 1	England	Obere Forellenregion
Forty et al. (2016)	Pool and Weir Chipping Brook 2 modified	England	Obere Forellenregion
Forty et al. (2016)	Pool and Weir Swanside Beck	England	Untere Forellenregion
Karlsson (2013)	Norrfors	Schweden	Obere Forellenregion
Kirchhofer et al. (2017)	Kraftwerk Hirschthal	Aargau	Barbenregion
Kreienbühl (2019)	Krebssperre Pfaffnern	Aargau	Untere Forellenregion
Zaugg und Kreienbühl (2024a)	Wasserfassung Bruggwiti	St. Gallen	Obere Forellenregion
Zaugg und Kreienbühl (2024a)	Blockrampe Bruggwiti	St. Gallen	Obere Forellenregion
Zaugg und Kreienbühl (2024b)	Hydraulisches Kraftwerk Beznau	Aargau	Barbenregion
Lafleur (2018)	Kraftwerk Strasbourg	Frankreich	Barbenregion
Matondo und Ovidio (2018)	Kraftwerk Monsin	Belgien	Brachsmenregion
Ovidio et al. (2017)	Kraftwerk Yvoir	Belgien	Äschenregion
Pitsch und Mockenhaupt (2015)	Staustufe Koblenz	Deutschland	Barbenregion
Plomb et al. (2020)	Gorges de Cours	Bern	Obere Forellenregion
Schölzel et al. (2020)	Kraftwerk Aue	Aargau	Barbenregion
Schölzel et al. (2020)	Kraftwerk Schiffmühle	Aargau	Barbenregion
Schwevers et al. (2020)	Kraftwerk Augst/Wylen	Aargau	Barbenregion
Schwevers et al. (2020)	Kraftwerk Rheinfelden	Aargau	Barbenregion
Schwevers et al. (2020)	Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt	Aargau	Barbenregion
Schwevers et al. (2020)	Kraftwerk Säckingen	Aargau	Barbenregion
Tétard et al. (2015)	Kraftwerk Gamsheim	Deutschland	Barbenregion
Travade et al. (2013)	KW Gambsheim	Frankreich	Barbenregion

3.3 Auswertung Literaturdatenbank

3.3.1 Versuchsaufbau: Anzahl Antennen pro Standort

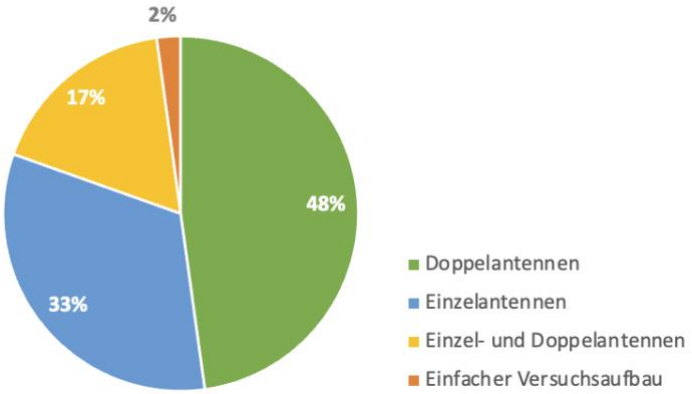


Abbildung 3-3: Anteile der verwendeten Antennenanordnungen (Anzahl Antennen pro Standort) in den verschiedenen PIT-Studien der Literaturdatenbank.

Knapp die Hälfte der PIT-Studien in der Literaturdatenbank setzte auf Doppelantennen pro Standort (48%). Das heisst, dass am Einstieg in die FAH sowie am Ausstieg aus der FAH zwei Antennen hintereinander aufgestellt wurden. Rechnet man PIT-Studien hinzu, bei denen am Einstieg in die FAH oder am Ausstieg aus der FAH mindestens eine Doppelantenne aufgestellt wurde, wächst der Anteil auf 65% der PIT-Studien. In 33% der PIT-Studien wurden Einzelantennen an Ein- und Ausstieg verwendet. Und in 2% der PIT-Studien nur eine Antenne am Ausstieg.

Diese Auswertung zeigt, dass viele PIT-Studien bereits heute mit Doppelantennen durchgeführt wurden. Die Vorteile von Doppelantennen werden in Kapitel 4.2.4 erläutert.

3.3.2 Beurteilung unterschiedlicher Fangstandorte

Fazit | Insgesamt zeigen die Auswertungen bezüglich der Redetektionsrate, dass der Fangstandort die Resultate beeinflusst. Zukünftige Studien sollten daher mit einem einheitlichen Fangstandort arbeiten.

Es stellte sich im Verlaufe des Projekts die Frage, ob der Fangstandort einen Einfluss auf die Auswertung und Bewertung von PIT-Studien bei Fischaufstiegshilfen haben könnte. Dazu wurden die Fangstandorte bezüglich Redetektionsrate, Eintrittseffizienz und Passageeffizienz verglichen.

Folgende Fangstandorte wurden ausgewertet:

- «Unterhalb FAH» (alle Fische, die unterhalb eines Querbauwerks gefangen wurden, i.R. mit aktiven Befischungsmethoden)
- «Oberhalb FAH» (alle Fische, die oberhalb eines Querbauwerks gefangen wurden, i.R. mit aktiven Befischungsmethoden)
- «Zählbecken» (alle Fische, die im Zählbecken der Aufstiegshilfe des betreffenden Querbauwerks gefangen wurden)

Die gefangenen Fische wurden jeweils unterhalb des untersuchten Querbauwerks wieder eingesetzt.

In Abbildung 3-4 sind die Resultate bezüglich der *Redetektionsrate* von den verschiedenen Fangstandorten dargestellt. Insgesamt streuen die Resultate für alle Fangstandorte stark. Dennoch scheint es einen Unterschied zwischen den Fangstandorten «Oberhalb FAH» und «Zählbecken FAH» einerseits und dem Fangstandort «Unterhalb FAH» andererseits zu geben. Fische, die unterhalb einer FAH gefangen werden, scheinen weniger häufig den Aufstieg zu suchen als die Fische der anderen Fangstandorte.

Abbildung 3-5 sind die Resultate bezüglich *Passageeffizienz* von den verschiedenen Fangstandorten dargestellt. Der Vergleich zwischen den Fangstandorten zeigt, dass es keine eindeutigen Unterschiede zwischen den Fangstandorten gibt. Damit kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Passageeffizienz unabhängig vom Fangstandort beurteilt werden könnte.

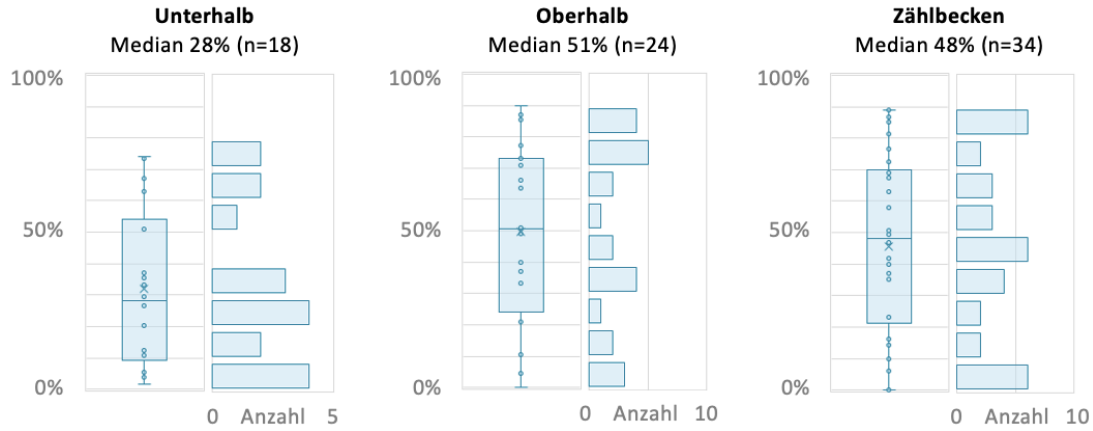


Abbildung 3-4: Vergleich von Studienergebnissen (PIT-Tagging bei Fischaufstiegshilfen) in Abhängigkeit des Fangstandortes (unterhalb FAH, oberhalb FAH oder Zählbecken) verschiedener Fischarten bezüglich Attraktivitätseffizienz resp. Redetektionsrate. Alle Datensätze mit mehr als 10 Fischen pro Studie wurden berücksichtigt; Fischlift wurde ausgeschlossen.

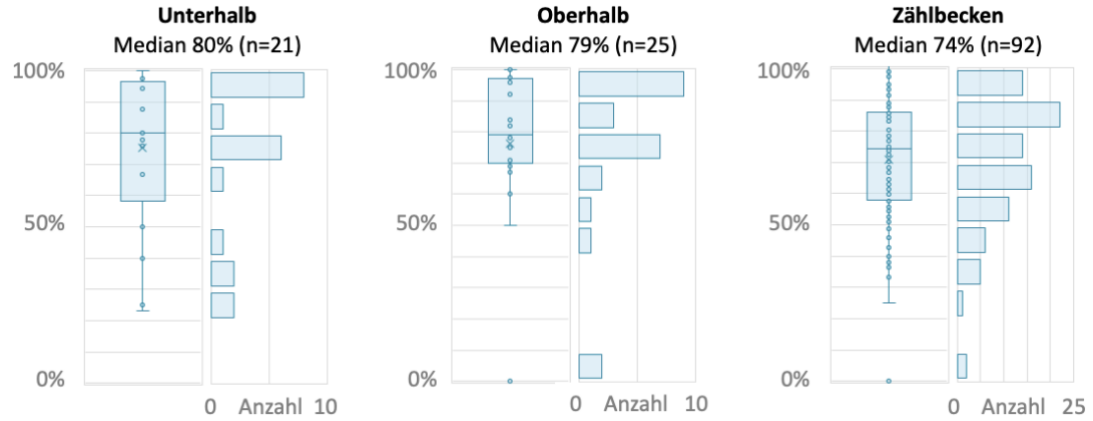


Abbildung 3-5: Vergleich von Studienergebnissen (PIT-Tagging bei Fischaufstiegshilfen) in Abhängigkeit des Fangstandortes (unterhalb FAH, oberhalb FAH oder Zählbecken) verschiedener Fischarten bezüglich Passageeffizienz. Alle Datensätze mit mehr als 10 Fischen pro Studie wurden berücksichtigt; Fischlift wurde ausgeschlossen.

3.3.3 Gruppierung der Bewertung nach Fischregionen

Fazit | Eine Gruppierung der Beurteilung der Redetektionsrate nach Fischregionen ist nicht zielführend resp. kann aufgrund der Datenlage nicht umgesetzt werden. Bei der Passageeffizienz dürfte die Fischregion keine Rolle spielen, da diese hauptsächlich vom Bauwerk (FAH) abhängt.

Es stellte sich auch die Frage, ob eine Beurteilung in Abhängigkeit der Fischregionen gemacht werden müsste.

Allerdings gab es zum Zeitpunkt, bei dem das Projekt durchgeführt wurde, nicht genügend Daten, um einzelne Fischarten nach Fischregion und *Redetektionsrate* auszuwerten. Um Zufallsresultate auszuschliessen, mussten min. zehn Fische einer Art an einer Studie teilnehmen, zudem spielte bei der Redetektionsrate auch der Fangstandort eine Rolle (vgl. oben). Es kam dazu, dass Fischarten wie Alet, Barbe oder Hasel, die häufig in PIT-Studien markiert wurden, fast ausschliesslich in der Barbenregion verwendet wurden. Einzig die Forelle wurde in verschiedenen Fischregionen markiert. Unterhalb der Forellenregion handelt es sich hier jedoch in der Regel um Studien mit Einzelfängen, d.h. diese konnten nicht berücksichtigt werden.

Bezüglich der *Passageeffizienz* konnte die Forelle hingegen exemplarisch ausgewertet werden. Der Fangstandort spielt hier eine untergeordnete Rolle und so konnte eine gewisse Anzahl von Studienergebnissen in unterschiedlichen Fischregionen verglichen werden (Abbildung 3-6). Der Vergleich zeigt keine eindeutigen Unterschiede in den verschiedenen Fischregionen. Im Grunde ist dies aber bei der Passageeffizienz zu erwarten. Die Passierbarkeit ist nach dem Eintritt in die FAH hauptsächlich vom Bauwerk abhängig und nicht von den Eigenschaften des Gewässers.

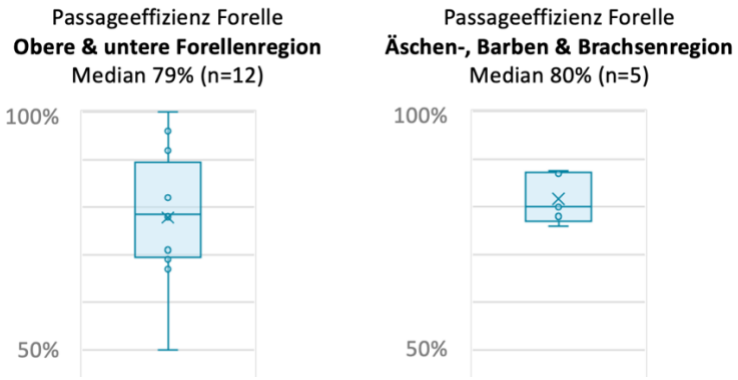


Abbildung 3-6: Vergleich von Ergebnissen zur Passageeffizienz nach Fischregionen der Forelle (Salmo trutta). Alle Studien mit weniger als zehn markierten Forellen wurden ausgeschlossen (Zufallsergebnisse).

3.3.4 Gruppierung der Fischarten

Einzelbewertung jeder Fischart

- Spricht dafür: Beurteilung berücksichtigt die Individualität der unterschiedlichen Fischarten.
- Spricht dagegen: Heute liegen zu wenig Studienergebnisse vor, um Fischarten individuell zu bewerten.

Die bisherigen Auswertungen zeigen nebenbei, dass eine Bewertung in Abhängigkeit der Fischart aufgrund der aktuell geringen Zahl von PIT-Studien nicht möglich ist. Aus diesem Grund müssen die verschiedenen Fischarten gruppiert werden. Möglicherweise ist eine individuelle Bewertung aller Fischarten in Zukunft möglich, wenn mehr PIT-Studien vorliegen, die einheitlich durchgeführt wurden.

Gruppierung nach Gilden

- Spricht dafür: Vermeintliche Logik der Zuordnung nach ökologischen Eigenschaften.
- Spricht dagegen: Viele Eigenschaften überschneiden oder überlappen sich.

Naheliegend ist die Gruppierung der Fischarten nach ökologischen Gilden (z.B. Schwimmstärke, Schwarmverhalten, Migrationstyp, etc.). Hier stellt sich jedoch die Frage, nach welchen Eigenschaften die Fische gruppiert werden sollen. Viele dieser Eigenschaften überschneiden sich. Zudem zeigen viele grosswüchsige Fischarten in jungen Jahren ein anderes Verhalten und andere Fähigkeiten als im Adultstadium. Wird die Performance der verschiedenen Fischarten bezüglich Passageeffizienz vergleichen, zeigt sich, dass einige vermeintlich schwimmschwache Fischarten gleich gute Resultate erzielen können wie vermeintlich schwimmstarke Fischarten. Beispielsweise kann aufgrund von Studienergebnissen erwartet werden, dass Rotaugen (*Rutilus rutilus*) ähnlich hohe Passageeffizienzen erreichen können wie Barben (*Barbus barbus*) oder Forellen (*Salmo trutta*). Gleichzeitig erreichen Nasen (*Chondrostoma nasus*) in einigen Studien vergleichbar tiefe Passageeffizienzen, obwohl die Fischart als eher schwimmstark gilt und weitere Distanzen wandert als viele andere Fischarten.

Am wenigsten Daten liegen zu den sohlenorientierten Fischarten Groppe (*Cottus sp.*), Gründling (*Gobio gobio*) und Schmerle (*Barbatula sp.*) vor. Bei diesen drei Fischarten macht eine Gruppierung nach ökologischen Gilden möglicherweise am ehesten Sinn.

Gruppierung nach Performance

- Spricht dafür: Bildet aktuellen Wissensstand ab.
- Spricht dagegen: Zukünftige PIT-Studien könnten zeigen, dass einige Fischarten nicht korrekt zugeordnet sind.

Da eine individuelle Bewertung der Fischarten oder eine Bewertung nach Gilde nicht zielführend scheinen, könnte eine Bewertung nach Performance der aktuell beste Weg für eine Gruppierung der Fischarten sein. Der Vorteil der Perfomance ist, dass die verschiedenen Fischarten aufgrund von bisherigen Studienergebnisse beurteilt werden.

Das heisst einerseits, dass es sich um eine konservative Bewertung handelt. Keine Fischart wird einer Gruppe zugeteilt, der sie nicht gerecht werden kann (keine Überbewertung). Andererseits werden Fischarten, bei

denen gute Resultate erwartet werden können, auch restriktiv resp. strickt bewertet. Insgesamt führt also eine Bewertung nach Performance zu einer aktuell fairen Lösung, die das Spannungsfeld zwischen vermeintlicher Überbewertung und restriktiver Bewertung von häufig beurteilten Arten meistern dürfte.

In Tabelle 3-2 ist die Einteilung der verschiedenen Fischarten in die unterschiedlichen Performance-Klassen einsehbar. Zukünftig ist es möglich, einzelne Fischarten anderen Klassen zuzuweisen oder auch ganze Klassen aufzuheben oder zu ergänzen.

Tabelle 3-2: Einteilung der Fischarten resp. der Fischartengruppen nach verscheidenen Performance-Klassen.

Performance-Klasse	**Zugeordnete Fischarten** (resp. Fischartengruppen nach MSK-Fische)
Hohe Performance	*Aal, Alet, Äsche, Barben, Barbo canino[2], Forellen, Hasel, Hechte, Pigo[2], Rotauge, Wels*
Mittlere Performance	*Bitterling[2], Blicke, Brachsmen, Elritzen, Egli, Felchen[2], Karpfen, Kaulbarsch, Lauben, Nasen, Rotfedern, Schneider, Schleie, Sofie[2], Stichling[2], Strömer, Triotto[2]*
Niedrige Performance[1]	*Gründlinge, Groppe, Schmerle, Steinbeisser[2]*

[1] Sohlenorientierte Fischarten

[2] Einschätzung (für Fischart liegen keine Daten vor)

[X] Nicht-klassifizierte Arten (-gruppen): Atlantischer Lachs, Atlantischer Stör, Cagnetta, Ghiozzo, Moorgrundel, Maifische, Neunaugen, Rhonestreber, Trüsche; Neozoen

4 Teilprojekt 2: Methoden- und Bewertungsstandard

Abbildung 4-1: Milestones bei der Erarbeitung des Merkblatts zum Methoden- und Bewertungsstandard bei PIT-Tagging-Studien, in Anlehnung an die Milestones der Auslegeordnung.

Im Anschluss an die Erstellung der Auslegeordnung wurde das Merkblatt erarbeitet. Dazu wurden zwei Workshops mit Expert:innen durchgeführt und es fand ein intensiver Austausch mit der Begleitgruppe statt. Das Ergebnis, das in den folgenden Kapiteln präsentiert wird, basiert auf einem Kompromiss, erarbeitet in vielen Diskussionen. Es wird in diesem Kapitel darauf verzichtet, alles korrekt zu zitieren. Das ist bei einem Projekt wie diesem unmöglich. Hingegen wird versucht, auf Diskussionen und unterschiedliche Meinungen hinzuweisen. Viele Empfehlungen stützen sich auf die vielfältigen Erfahrungen von PIT-Tagging-Expert:innen.

Ergänzungen und Hinweise, die im Merkblatt fehlen, sind in Kapitel 4.1 (Planung) und Kapitel 4.2 (Durchführung) kursiv formatiert. Kapitel 4.3 (Auswertung) und 4.4 (Bewertung) sind nicht Teil des Merkblatts.

4.1 Vorgaben zur Planung von PIT-Tagging-Studien

4.1.1 Standorteigenschaften

Die Dokumentation des Schlussberichts der Wirkungskontrolle umfasst die minimalen Angaben bezüglich der Standorteigenschaften. Diese Informationen dienen der Interpretation der Resultate, unabhängig vom Hintergrundwissen der Lesenden sowie dem Projekt. Sie umfassen die Beschreibung des Projektstandorts, des Gewässers, der Fischaufstiegshilfe(n) sowie des Projektzeitraums (Tabelle 4-1). Alle technischen Informationen können dem technischen Bericht der Wirkungskontrolle entnommen werden und liegen bereits vor Abschluss der biologischen Wirkungskontrolle vor.

Tabelle 4-1: Auflistung der Standorteigenschaften, die minimal und unabhängig des Typs der Fischaufstiegshilfe festgehalten werden sollten.

Kategorie	Parameter	Einheit	Kategorie	Parameter	Einheit
FAH	Typ		Standort	Name Kraftwerk / Flurname	
	Länge	m		Koordinaten	LV95
	Höhendifferenz	m		Gemeinde / Kanton	
	Anzahl Becken			Höhenlage	m ü.M.
	Betriebswassermenge	m^3/s	Gewässer	Name	
	Lockwassermenge	m^3/s		Fischregion[1]	
	Schlitzbreite	cm		Gewässertyp[2]	
	Absturzhöhe pro Becken	cm		Mittlerer Jahresabfluss	m^3/s
	Länge Normalbecken	m		Gewässerbreite[3]	m
	Breite Normalbecken	m	Dauer Wirkungs-kontrolle	Start	Datum
	Substrattyp[4]			Ende	Datum

[1] Berechnung nach «MSK Stufe F: Fische, 2024» (verlinkt);
[2] Gemäss Gewässertypisierung, Abflusstyp (verlinkt);
[3] Natürliche Gewässerbreite z.B. oberhalb Staubereich oder unterhalb Restwasserstrecke.
[4] Mit Angabe geschütteter Korngrössenfraktionen.

4.1.2 Vorgaben Technologie

PIT-Technologie: HDX

Es soll schweizweit einheitlich die HDX-Technologie zum Einsatz kommen (HDX: half duplex). Der einheitliche Einsatz gewährleistet die Lesbarkeit von PIT-Tags über Projektgrenzen hinaus, d.h. die Lesbarkeit von PIT-Tags an Antennen von anderen Studien.

Es gibt zwei unterschiedliche Arten von PIT-Tags, die bei der Fischmarkierung verwendet werden können: Die Full-Duplex- und der Half-Duplex-Technologie (FDX resp. HDX). Die Antennen und Lesegeräte einer PIT-Studie sind immer auf eine der beiden Technologien abgestimmt. In der Regel können FDX-Tags nicht an HDX-Systemen gelesen werden. Daher macht eine Vereinheitlichung der verwendeten Technologie Sinn. Der einheitliche Einsatz gewährleistet die Lesbarkeit aller in der Schweiz eingesetzten PIT-Tags über Projektgrenzen hinaus, d.h. die Lesbarkeit von PIT-Tags an Antennen von anderen PIT-Studien. Heute wird bereits vielerorts mit der HDX-Technologie gearbeitet. Sie ist weniger aufwändig und auch weniger sensibel auf Störungen des Magnetfeldes. Daher soll ausschliesslich mit der HDX-Technologie gearbeitet werden. In der Wahl des Herstellers ist das Projektteam frei.

Qualitätssicherung (Technologie): ISO- und ICAR-zertifizierte PIT-Tags

Zur Gewährleistung der Qualität einer PIT-Studie wird empfohlen, ausschliesslich ISO- und ICAR-zertifizierte PIT-Tags zu verwenden. Der ISO-Standard definiert technische Qualitätsmerkmale, die ein PIT-Tag aufweisen muss. Der ICAR-Standard garantiert, dass die Nummernvergabe an ein PIT-Tag einzigartig ist (www.icar.org).

Grösse PIT-Tags: Frei

Für die HDX-Technologie stehen folgende PIT-Tag-Grössen zur Verfügung: 12 mm, 14 mm, 23 mm und 32 mm. Je grösser ein PIT-Tag, desto besser ist die Reichweite. Wie gross ein PIT-Tag sein darf, wird über das Gewicht des Fisches definiert, den man markieren will. Das Gewicht des PIT-Tags sollte 2% des Nassgewichts eines Fisches nicht überschreiten. Als Faustregel gilt, dass ab einer Totallänge von 15 bis 16 cm, eine Forelle mit 23 mm-PIT-Tags markiert werden kann. Ein 23 mm-Tag ist 0.6 g schwer und kann bei Fischen ab einem Gewicht von 30 g eingesetzt werden. Darunter sollten 12 mm- oder besser 14 mm-PIT-Tags verwendet werden (bessere Reichweite). Grundsätzlich ist die Grösse der PIT-Tags durch das Projektteam zu bestimmen.

4.1.3 Zeitliche Planung

Anzahl und Zeitpunkt Markierungskampagnen: Zwei oder mehr Kampagnen

Zu beachten ist, dass mindestens zwei (oder mehr) Markierungskampagnen bei unterschiedlichen Abflussbedingungen durchgeführt werden. Diese sollten über das Jahr verteilt sein (z.B. Frühling, Frühsommer und Herbst). Dies gilt insbesondere bei Gewässern, die watend befischt werden können. Es besteht sonst die Gefahr, dass man in Abhängigkeit des Lebenszyklus einzelne Fischarten verpasst oder dass eine Fischaufstiegshilfe ausschliesslich bei den aktuellen Abflussbedingungen überprüft wird.

Beispielsweise kann es sein, dass bei Trockenheit im Herbst in einem kleineren Gewässer das Kraftwerk zeitweise nicht in Betrieb ist und die Strömungsbedingungen am Kraftwerk verändert sind. Dies kann dazu führen, dass ein Kraftwerkkanal nicht dotiert ist. So kann die Auffindbarkeit einer FAH bei der Turbine stark unter- oder überschätzt werden, gerade wenn zusätzlich noch weitere FAH vorhanden sind (z.B. Umgehungsgerinne). Eine Verteilung der Markierungskampagne trägt dazu bei, dass solche Situationen weniger Gewicht erhalten.

Projektdauer: 1 Jahr ab letzter Markierung

Die minimale Projektlaufzeit beträgt ein Jahr, unabhängig von den Zielfischarten oder der Fischregion. Dabei ist zu beachten, dass jedem Fisch, der im Projekt mit PIT-Tags markiert wurde, mindestens ein Jahr Zeit gegeben werden soll, eine FAH zu überwinden. Damit kann ein Fisch im Rahmen seines individuellen, jährlich wiederkehrenden Lebenszyklus einen Aufstiegsversuch durchzuführen. Daher soll sich die Projektlaufzeit ab dem Zeitpunkt der letzten Markierung berechnen.

Bezüglich der Dauer eines Projekts kam die Frage auf, ob dies auch für die Forellenregion gilt. Fakt ist, dass bei vielen PIT-Studien der grösste Teil der Redetektionen in den Wochen nach der Markierung stattfindet. Dies gilt insbesondere für PIT-Studien mit Forellen. Doch auch Forellen folgen einem jährlichen Lebenszyklus, der dazu führen kann, dass Fische später als möglicherweise erwartet bei einer FAH auftauchen. Zudem müssen auch bei PIT-Studien mit Forellen mehrere Markierungskampagnen durchgeführt werden. Beachtet werden muss auch, dass der grosse Kostenblock bei PIT-Studien beim Aufbau der PIT-Anlage anfällt. Im Vergleich dazu sind die Betriebskosten niedrig. Insgesamt spricht folglich wenig für eine Verkürzung der Projektdauer in der Forellenregion. Dennoch kann in Absprache mit den Kraftwerksbetreibern und den zuständigen Behörden die Projektlaufzeit begründet angepasst werden.

Wassertemperaturen: Anforderungen der Zielarten beachten

Für eine Markierungskampagne müssen die Anforderungen der Zielfischarten an die Wassertemperaturen beachtet werden. Bei den kältebevorzugenden Arten wie der Forelle eignen sich nur kühle Wassertemperaturen (< 18°C). In grossen Fliessgewässern kann auch bei wärmeren Wassertemperaturen markiert werden, jedoch ebenfalls in Abhängigkeit der Anforderungen der Zielfischarten. Es ist zu beachten, dass sich der Stress bei zu warmen Wassertemperaturen für die Tiere stark erhöht. Sind die Wassertemperaturen zu hoch, kann es zu einer erhöhten Mortalität kommen. Im Sinne des 3R-Prinzips (Tierversuche) sollte daher jede Markierungskampagne auf die Anforderungen der Zielarten ausgelegt werden.

Zeitgleiche Untersuchungen: Verzicht auf parallele Zählbecken-Zählung

Durch die gleichzeitige Durchführung von Zählbeckenstudien kann das Verhalten der Fische in der Fischtreppe beeinflusst werden. Aus diesem Grund wird auf die gleichzeitige Zählung mit dem Zählbecken oder Zählreusen während PIT-Studien verzichtet. Die beiden Methoden schliessen sich jedoch nicht gegenseitig aus, d.h. sie sollen nur nacheinander statt miteinander durchgeführt werden.

Folgende Faktoren können das Verhalten der Fische in der FAH massgeblich beeinflussen:

- Veränderung der Hydraulik durch Zählbecken/-ausgang oder Abflussprobleme (z.B. Laub in der Kehlenreuse).
- Ein Teil der FAH wird nicht bewertet (z.B. keine Austrittseffizienz; teilweise grosse Distanzen von Zählbecken zu Austritt, die allenfalls auch Problemstellen wie Wendebecken beinhalten).

Daher soll auf die gleichzeitige Durchführung von Zählbecken- und PIT-Tagging-Studien zu verzichten werden. Andere Methoden, die das Verhalten der Fische und die Hydraulik im Fischpass nicht beeinflussen, können parallel durchgeführt werden (z.B. Videomonitoring).

4.2 Vorgaben zur Durchführung von PIT-Tagging-Studien

4.2.1 Fischfang und Fischeinsatz

Stichprobenumfang: 50-150 Individuen pro Längenklasse/Kleinfischart

Die Vorgaben für den Stichprobenumfang sind folgende:

- 50-150 Individuen pro Kleinfischart oder Längenklassen von Grossfischarten;
- Längenklassen (ca.): 5-15 cm; 15-25 cm; +25cm

Pro kleinwüchsige Fischart oder Längenklasse (LK) von grosswüchsigen Fischarten sind 50-150 Fische zu markieren. Zielwert ist immer 150 Fische pro Art/LK. Das ergibt einen Zielwert von rund 150 Fische pro Kleinfischart und rund 450 Fische pro Grossfischart.

Aus statistischer Sicht optimal erscheint eine Anzahl von 150 Fischen pro Kleinfischart/LK. Ziel ist immer, diesen optimalen Stichprobenumfang zu erreichen. Ab einer Zahl von 50 Fischen pro Kleinfischart/LK können die Resultate interpretiert werden, allenfalls mit Einschränkungen. Sobald 150 Fische pro Kleinfischart/LK markiert wurden, soll auf eine weitere Markierung der Kleinfischart resp. der Längenklasse von Grossfischarten im Sinne der 3R verzichtet werden.

Da es schwierig ist vorauszusehen, wie viele Fische pro Kleinfischart oder LK von Grossfischarten im Verlaufe von mehreren Markierungskampagnen markiert werden können, ist klar, dass auch geringere Stichprobenumfänge erreicht werden können.

Es macht allerdings wenig Sinn, im Rahmen eines Einzelprojekts Fische von selteneren Arten wie Aale oder Welse zu markieren, bei denen man oft nicht mehr als eine Handvoll fängt. Bei koordinierten Untersuchungen machen solche Markierungen sicherlich mehr Sinn.

Zielfischarten

Die Auswahl der Zielfischarten wird in der Regel frühzeitig in der Sanierungsverfügung oder in der strategischen Planung definiert. Daher liegen die Zielarten bei Projektstart vor. Diese Fischarten sind massgebend für die PIT-Untersuchung (exkl. Lachs und anderer in der Schweiz ausgestorbener Fischarten).

Sollten keine Zielfischarten definiert sein, gilt bei der Berücksichtigung der Fischarten, dass die vorkommenden ökologischen Gilden ausreichend vertreten sind (z.B. zwei Fischarten pro Gilde). Als Orientierungshilfe können folgende ökologischen Gilden verwendet werden (Wilmsmeier et al., 2022):

- Kurz- und Mittelstreckenwanderer
- Grosswüchsige Schwarmfische
- Sohlenorientierte Fischarten
- Schwimmschwache, kleine Fischarten

Methode Fischfang: Elektrofischerei und Zählbecken

Der Fischfang erfolgt mit einer geeigneten Methode in Abhängigkeit des Untersuchungsgewässers und der zu untersuchenden Fischarten. In watbaren Gewässern ist die Elektrofischerei die effizienteste Methode, um Fische für die Studie zu fangen. In nicht-watbaren Gewässern hat sich gezeigt, dass Zählbecken bei benachbarten Querbauwerken eine effiziente Methode für den Fischfang darstellen (vgl. Auswahlhilfe Abbildung 4-2).

Falls erfolgsversprechend, können Fische in nicht-watbaren Gewässern aber auch mit Bootsbefischungen (Elektrofischerei, max. Wassertiefe 1.8 bis 2 m, evtl. nachts; z.B. als Synergie mit anderen Projekten oder Projektteilen), mit Uferzugnetzen (abends oder tagsüber in trüben Gewässern) oder Reusen (Fang von sohlenorientierten Fischarten) gefangen werden.

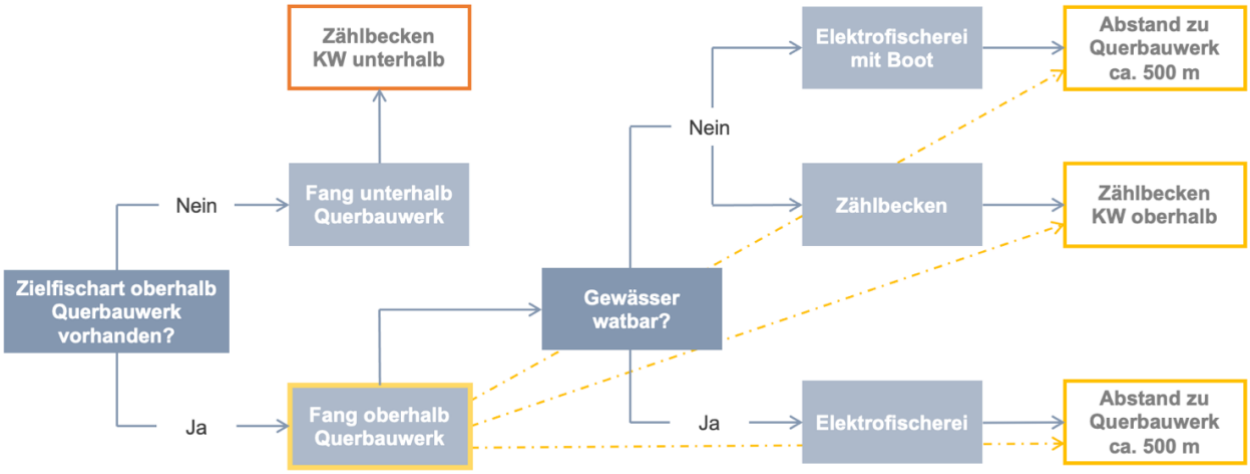


Abbildung 4-2: Auswahlhilfe Fischfang und Fangstandort.

4.2.2 Fang- und Rückgabestandorte: Translokation von Ober- ins Unterwasser

Translokation | Wann immer möglich, sollen *Translokationsstudien* durchgeführt werden (vgl. Auswahlhilfe Abbildung 4-2, gelbe Markierung). Das heisst, dass die Fische oberhalb eines Querbauwerks gefangen und unterhalb wieder ausgesetzt werden.

Fangstandorte | In nicht-watbaren Gewässern können die Zielfische entweder per Elektrofischerei im Oberwasser des zu untersuchenden Querbauwerks gefangen werden *oder im Zählbecken eines*

stromaufwärts liegenden Querbauwerks. Kommen Zielfischarten nachweislich oberhalb eines Querbauwerkes nicht (mehr) vor, können die Fische auch unterhalb eines Querbauwerkes gefangen werden. Idealerweise greift man hier auf ein Zählbecken eines unterhalb liegenden Querbauwerks zu. Bei diesen Fischen handelt es sich nachweislich um wandernde Fische. Auf den Fang im kraftwerkseigenen Zählbecken soll, in Abhängigkeit der Möglichkeiten, verzichtet werden.

Rückgabestandorte | Die Rückgabestandorte müssen sorgfältig ausgewählt werden. Einerseits ist es sinnvoll, einen Abstand zwischen FAH und Rückgabestandort zu lassen. Damit haben die Fische Zeit, sich zu erholen und ihre natürliche Aufstiegsmotivation wiederzufinden. Andererseits sollte der Abstand nicht zu gross gewählt werden, denn Prädation z.B. in Stauhaltungen, eine Abfolge von Abstürzen in steileren Bächen oder das Risiko, bei kleinen Stichprobengrössen Individuen zu verlieren, können bei allzu grossen Distanzen einen nicht unerheblichen Effekt haben. Richtwerte für die Distanz zwischen FAH-Einstieg und Rückgabestandort sind:

- Kleine Fliessgewässer: 100-200 m
- Grosse Fliessgewässer: 200-1000 m

Die Distanz ist den vorliegenden Bedingungen anzupassen: Bei wenig mobilen Arten wie der Groppe oder bei Hindernissen in der Strecke können auch kürzere Abstände gewählt werden.

Translozierte Fische, die oberhalb einer FAH gefangen werden, sowie Fische aus dem kraftwerkseigenen Zählbecken zeigen in PIT-Studien in der Regel eine höhere Motivation aufzusteigen als Fische, die unterhalb eines Querbauwerks gefangen werden. Dies zeigen auch die Analysen in Kapitel 3.3.2. Das heisst, dass Resultate von Studien mit unterschiedlichem Fangstandort, vor allem bezüglich Redetektionsrate, nicht direkt verglichen werden können. Daher ist eine Harmonisierung der Fangstandorte zielführend. Ausserdem zeigen Erfahrungen, dass sohlenorientierte Fischarten wie die Groppe kaum Aufstiegsversuche starten, wenn sie unterhalb eines Querbauwerkes gefangen werden. Dies steht im Gegensatz zu translozierten Groppen, die durchaus wieder aufsteigen, wenn das möglich ist (Kreienbühl, 2019, Kreienbühl et al., 2024a).

Auf den Fang von Fischen im kraftwerkseigenen Zählbecken sollte ebenfalls nach Möglichkeit verzichtet werden. Diese Fische haben die FAH bereits gefunden, erfolgreich betreten und passiert. Diese Fische können nicht mehr als «naiv» betrachtet werden, sie kennen die FAH offenbar schon. Um Fehler bei der Beurteilung vorzubeugen, sollte auf diese Fische verzichtet werden. Alternativ sollen die Fische in nicht-watbaren Gewässern wie erwähnt im Zählbecken des nächsten Kraftwerks oberhalb gefangen werden. Zudem ist der Fang auch in unterhalb gelegener Kraftwerke denkbar. Diese Fische sind erwiesenermassen am Wandern. Daten aus dem Hochrheinprojekt zeigen eindeutig, dass diese Fische eine hohe Aufstiegsmotivation aufweisen (Schwevers et al., 2020). Ob die Resultate mit einem Fang oberhalb vergleichbar sind, ist unklar resp. konnte bisher nicht systematisch untersucht werden.

4.2.3 Protokollierung

Als Grundlage für die Auswertung werden die gefangenen und markierten Fische protokolliert. Der minimale Umfang des Protokolls umfasst pro Fisch die Angaben aus Tabelle 4-2.

Tabelle 4-2: Minimale Angaben des Feldprotokolls bei der Markierung der Fische (pro Fisch).

Parameter	Format
Fischart	Landessprache und wissenschaftlicher Name
Fangdatum	dd.mm.yyyy
Markierungsdatum	dd.mm.yyyy
Fangstandort, Bezeichnung	Oberhalb FAH Unterhalb FAH Zählbecken oberhalb FAH Zählbecken unterhalb FAH Seitengewässer oberhalb FAH Zählbecken KW Anderer Standort (Beschreibung angeben)
Fangstandort, Uferseite (grosse Fliessgewässer)	Linksufrig Rechtsufrig
Fangstandort, Koordinaten	X/Y LV95
Rückgabestandort, Bezeichnung	Oberhalb FAH (Fischabstieg) Unterhalb FAH Anderer Standort (Beschreibung angeben)
Rückgabestandort, Uferseite (grosse Fliessgewässer)	Linksufrig Rechtsufrig
Länge (Totallänge)	Millimeter (mm)
Gewicht	Gramm (g)
PIT-Tag-Nummer	DEC-Format (z.B. 900_654321898731)
PIT-Tag-Grösse	Länge in mm
Verletzungen	Schweregrad 1-3 (leicht bis schwer)
Geschlecht	Männlich oder weiblich (falls bestimmbar)

4.2.4 Versuchsaufbau

PIT-Antennen: Doppelantennen an Ein-, Ausstieg sowie Zusammenfluss

Am Einstieg, am Ausstieg sowie vor und nach dem Zusammenfluss von zwei unterschiedlichen Einstiegen werden je zwei Antennen (Doppelantennen) verbaut (Abbildung 4-3). Es soll darauf geachtet werden, dass die unterste Antenne effektiv vor dem ersten Becken platziert wird (Eingang). Dasselbe gilt für die letzte Antenne, die auch wirklich am Austritt platziert werden muss. Idealerweise werden diese Antennen bereits in der Bau- resp. Sanierungsphase der FAH eingebaut, wenn die FAH trockengelegt ist. Eine Verschiebung der Antennen in die FAH ist möglich (führt z.B. zu Unterschätzung der Redetektionsrate). Es sollte jedoch nie ganz auf eine Antenne verzichtet werden.

Bei stark schwankendem Wasserstand im Unterwasser müssen neben den Antennen beim Einstieg zusätzlich auch Antennen in den ersten beiden Becken, die nicht regelmässig überstaut sind, platziert werden.

Zusätzliche Antennenpaare, beispielsweise bei sehr langen FAH (ca. ab 100 m Länge) oder an Stellen, die von der Norm abweichen (müssen - z.B. aus baulichen Gründen), werden dringend empfohlen. Werden sie platziert, können sie sehr aufschlussreich sein, die Interpretation der Ergebnisse verbessern und evtl. einfache Verbesserungsmassnahmen ermöglichen.

Der Abstand zwischen den Antennen eines Doppelsets beträgt maximal ein Becken, ausser die beiden Magnetfelder der Antennen sollten sich überlagern. Dann kann der Abstand auch grösser sein. In naturnahen Umgehungsgewässern sollten zwei Antennen eines Sets etwa 5-10 m auseinander liegen.

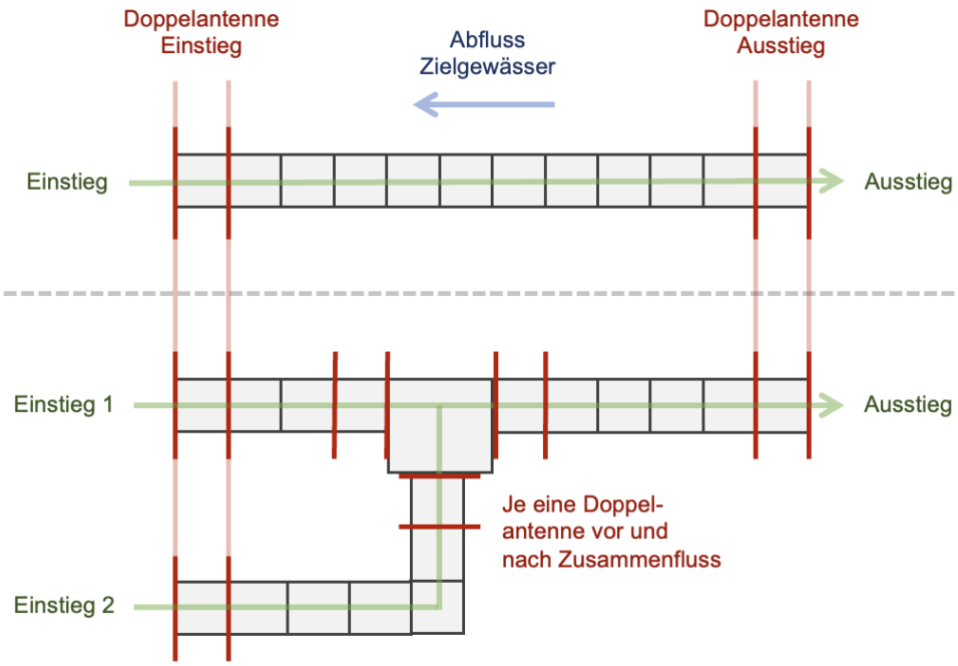


Abbildung 4-3: Schematische Darstellung einer Fischtreppe mit einem Einstieg (oben) sowie einer Fischtreppe mit zwei Einstiegen (unten). Grün sind die möglichen Aufstiegswege der Fische eingezeichnet. Rot dargestellt sind die Standorte der Doppelantennen.

4.2.5 Erläuterungen: Einfluss der Anzahl Antennen auf Studienergebnisse

Dank dem Doppelantennen-Versuchsaufbau können deutlich mehr Parameter berechnet werden. Ebenfalls sehr wichtig ist die deutlich verbesserte Fehlerkorrektur. Auch die Detektionseffizienzen der einzelnen Antennen sind so berechenbar. Ausserdem ist die Schwimmrichtung der Fische bekannt und somit kann auch die Position der Fische berechnet werden. Zudem erlaubt dieser Versuchsaufbau die gleichzeitige Untersuchung des Fischabstiegs über die FAH.

Je weniger Antennen in einem System vorhanden sind, desto unsicherer werden die Resultate (resp. je grösser wird der statistisch mögliche Fehler). Das liegt hauptsächlich an den Detektionseffizienzen der einzelnen Antennen. Die Detektionseffizienz beschreibt, welcher Anteil der PIT-Tags tatsächlich registriert wird. Die Detektionseffizienz liegt in der Regel nicht bei 100%, sondern etwas darunter. Im Prinzip heisst das, dass einzelne Fische an einzelnen Antennen nicht detektiert werden. Bei PIT-Studien an FAH ist es ein Standardverfahren, dass anhand der Antennen, die oberhalb einer bestimmten Antenne liegen, Fehler korrigiert werden (vgl. Kapitel 4.3.3). Das ist wichtig, gerade bei Fischarten, bei denen nur wenig Fische markiert werden können.

In einem Doppelantennensystem mit vier Antennen (zwei am Eingang und zwei am Ausgang, vgl. Abbildung 4-4 und Tabelle 4-3) ist man so in der Lage, die Redetektionsrate (A1), die Einstiegseffizienz (A2) und die Passageeffizienz (A3) deutlich robuster zu berechnen (vgl. Berechnungsmethodik, Kapitel 4.3). Dies liegt daran, dass fehlende Detektionen erkannt und korrigiert werden können. Bei Detektionseffizienzen über 90% heisst das, dass man praktisch alle Fehler korrigieren kann. Die Daten zu diesen drei Parametern sind also sehr robust, sofern Doppelantennen verwendet werden. Die Austrittseffizienz (A4) weist den grössten Fehler auf, spielt aber bei der Bewertung aktuell keine Rolle, da keine Vergleichsdaten für eine Bewertung vorliegen. Sie liefert jedoch wichtige Indizien bezüglich Funktionalität des Ausstiegs, die bereits jetzt individuell berücksichtigt werden können.

Werden weniger Antennen verwendet, sind die Resultate deutlich weniger robust (vgl. Abbildung 4-5 und Tabelle 4-3). Als Beispiel hier ein Aufbau mit nur je einer Antenne (z.B. B1 am Einstieg, B2 am Ausstieg): B1 lässt sich korrigieren, B2 jedoch schon nicht mehr. Die Passageeffizienz hat daher einen beträchtlichen Fehler. Zudem

lässt sich die Redetektionsrate, die Eintrittseffizienz und die Austrittseffizienz nicht berechnen. Das heisst, dass drei von vier Parametern nicht berechnet werden können. Entsprechend fehlt die Beurteilung der Auffindbarkeit, des Eintritts sowie des Austritts. Und der einzig berechnete Parameter (Passageeffizienz) weist den maximal möglichen Fehler auf, der in Abhängigkeit der Detektionseffizienzen und des Stichprobenumfangs erreicht werden kann. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein Versuchsaufbau mit nur je einer Antenne an Einstieg und Ausstieg zu wenig verlässliche und robuste Resultate liefert und daher nicht im Sinne eines Tierversuchs ist.

Auch die Analysen aus Kapitel 3.3.1 zeigen, dass die Mehrheit der PIT-Studien, die im Rahmen der Literaturrecherche gesichtet wurden, auf Doppelantennen setzt.

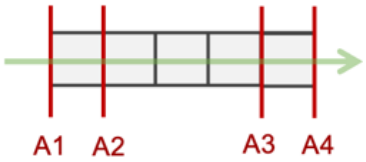
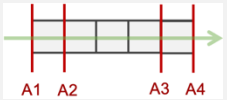
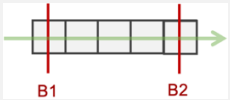


Abbildung 4-4: Schema des Versuchsaufbaus bei PIT-Studien mit Doppelantennen. Antenne 1 ist mit A1, Antenne 2 mit A2 usw. abgekürzt.

Abbildung 4-5: Schema des Versuchsaufbaus bei PIT-Studien mit Einzelantennen. Antenne 1 ist mit B1, Antenne 2 mit B2 abgekürzt.

Tabelle 4-3: Übersicht der Parameter einer FAH, die mit Doppel- oder Einzelantennen möglich sind. In der letzten Spalte wird auf den Informationsverlust eingegangen, der bei Einzelantennen-Versuchsaufbaus entsteht.

Beurteilung	Parameter	Doppel-antennen 		Einzel-antennen 		Informationsverlust durch Einzelantennen
		Detektion	Was wissen wir sicher?	Detektion	Was wissen wir sicher?	
Redetektion resp. Auffindbarkeit im Bereich des Magnetfelds der untersten PIT-Antenne von markierten Fischen.	Redetektionsrate	A1	Fisch ausserhalb FAH detektiert	B1 am Eintritt	Fisch ausserhalb FAH detektiert	Keine Berechnung von Eintritts- und Passageeffizienz möglich (nur globale Passageeffizienz).
				B1 innerhalb FAH	Berechnung nicht möglich	Redetektionsrate bestimmbar, aber evtl. stark unterschätzt, da Eintritt mitbewertet wird.
Eintritt in FAH; liegt Problem z.B. mit Hydraulik bei Wechsel von Offenwasser zu FAH vor?	Eintrittseffizienz	A1 & A2	Fisch ist in FAH eingeschwommen	B1 an Eingang	Berechnung nicht möglich	Keine Berechnung von Eintritts- und Passageeffizienz möglich (nur globale Passageeffizienz).
				B1 in FAH	Fisch ist in FAH	Redetektionsrate bestimmbar, aber evtl. stark unterschätzt, da Eintritt mitbewertet wird.
Austritt aus FAH; können die Fische die FAH verlassen oder liegt ein Problem mit dem Ausstieg aus der FAH vor?	Austrittseffizienz	A3 & A4	Fisch ist aus FAH ausgeschwommen	B2 an Austritt	Fisch ist unterhalb B2: Berechnung nicht möglich	1. Ein Magnetfeld reicht von unterhalb bis oberhalb einer Antenne. Wenn die Schwimmrichtung eines Fisches nicht bestimmt werden kann, weiss niemand auf welcher Seite der Antenne ein Fisch ist. 2. Ob ein Fisch die FAH verlassen hat, kann daher nicht beurteilt werden.
				B2 innerhalb FAH		
Passage von Eingang nach Ausgang FAH; gibt es innerhalb der FAH problematische Stellen, die zu Passageverzögerungen oder Arten- und Längenselektivität führen?	Passageeffizienz Passagedauer Passage-verzögerung	A1-A4	Fisch hat FAH passiert	B1-B2	Fisch ist unterhalb B2: Berechnung nicht standardisiert; Vergleichbarkeit stark eingeschränkt	1. Es ist nicht bekannt, ob ein Fisch die FAH verlassen konnte oder ob ein Problem mit dem Ausstieg vorliegt. 2. B1 an Eingang > keine Berechnung Passageeffizienz möglich, da sich diese aus dem Anteil der eingetretenen Individuen berechnet (vgl. Berechnungen). 3. B1 in FAH > Passageeffizienz lässt sich nur unter der Annahme berechnen, dass beim Austritt alles in Ordnung ist (Austrittseffizienz nicht bestimmbar). Vergleichbarkeit mit anderen Studien nicht direkt möglich. 4. Passagedauer und Passageverzögerung lassen sich nicht direkt mit anderen Studien vergleichen, da Aufnahme nicht standardisiert ist.

4.2.6 Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle

Sicherstellung Funktionalität

Um die Funktionalität der Installationen verlässlich zu gestalten, ist es wichtig, dass folgende Punkte eingehalten werden:

- Erste Antenne am Eingang in den Fischpass (zuunterst).
- Letzte Antenne am Ausgang aus dem Fischpass (zuoberst).
- Max. ein Becken Abstand zwischen zwei Doppelantennen bei FAH mit Becken (z.B. Beckenpass).
- Max. 5-10 m Abstand bei FAH ohne Becken (z.B. Umgehungsgerinne).
- Die Antennen müssen min. ein bis zwei Wochen vor dem Versuchsstart (1. Markierungskampagne) in Betrieb genommen werden.

Sicherstellung Qualität

Zusätzlich braucht es eine nachvollziehbare und überprüfbare Qualitätskontrolle, die über die Projektlaufzeit rapportiert wird und schlüssig sein muss.

Folgende Methoden zur Qualitätssicherung sind notwendig:

- Funktionalität der PIT-Anlage (Monitoringlücken): Ein Marker-Tag[2] pro FAH (z.B. an unterster Antenne) resp. bei FAH mit Mehrfacheinstiegen ein Marker-Tag pro Aufstiegspfad. Damit können Zeiten, in denen die Anlage nicht oder nur teilweise funktionierte, erkannt und dokumentiert werden.
- Funktionalität der Antennen (Empfangslücken): Regelmässige Überprüfung der Reichweiten aller Antennen. Dazu müssen Tests vor Ort durchgeführt werden. Die Reichweiten aller Antennen müssen ausreichend sein und dürfen keine Empfangslücken aufweisen (Abbildung 4-6).

Daneben können auch alternative, automatisierte Verfahren zur Qualitätssicherung angewendet werden (z.B. Antennentuning, Aufzeichnung Antennenstatus, Überprüfung Aktivität, automatisierte Downloads etc.). Diese können die oben genannten Verfahren teilweise ersetzen.

Messverfahren Reichweite *| Wichtig ist, dass ein Messverfahren für Reichweitentests innerhalb einer PIT-Studie standardisiert durchgeführt wird. Nur so können die Reichweitentests verglichen und richtig eingeschätzt werden. Im Grunde ist man frei, wie man solche Reichweitentests durchführen will.*

Als Orientierung kann folgendes Verfahren verwendet werden:

- Als erstes wird der Aussenabstand gemessen (vgl. Abbildung 4-6).
- Die Reichweite (Aussenabstand) wird an allen Antennen immer aus der gleichen Richtung gemessen (z.B. von oben bei einem Schlitzpass).
- Das PIT-Tag wird immer in der gleichen Ausrichtung an die Antenne gehalten (z.B. Quer zur Antenne). Idealerweise wird das Tag so an die Antenne gehalten, wie ein markierter Fisch sie passieren würde.
- Aufgezeichnet werden die maximale Reichweite sowie die optimale Reichweite. Ersteres beschreibt die Reichweite, bei der eine PIT-Tag gerade noch registriert wird. Zweiteres beschreibt die Reichweite, bei der ein PIT-Tag sicher registriert wird, erkennbar durch hohe Aufnahmewahrscheinlichkeit.
- Danach wird der Innenbereich einer Antenne vermessen (Ziel ist die volle Abdeckung, vgl. Abbildung 4-6).

Zu beachten ist, dass die Reichweite einer Antenne nicht immer gleich ist. Sie kann durch lokale Magnetfelder (z.B. Turbine) oder die Eigenschaften des Wassers (z.B. Leitfähigkeit) beeinflusst werden. Dennoch sollte es möglich sein,

[2] „Marker-Tags“ sind Boxen, die ein elektromagnetisch geschütztes PIT-Tag enthalten. Dieser Schutz kann über eine Steuerung in einem bestimmten Intervall aufgehoben werden, so dass das Tag durch die Antenne, in deren Feld sich das Marker-Tag befindet, gelesen werden kann. Eine Zeitreihe von Marker-Tag-Aufnahmen zeigt Monitoringlücken an.

dass eine Antenne immer eine ausreichende Reichweite aufweist. Wichtig dabei ist, dass sie keine Empfangslücken im Innenbereich aufweist.

Regelmässige Reichweitentests helfen zudem, beschädigte Komponenten im System zu erkennen. So können Tuner oder Antennen beispielsweise einen Wackelkontakt aufweisen. Solche Fehler können teilweise nicht visuell erkannt werden.

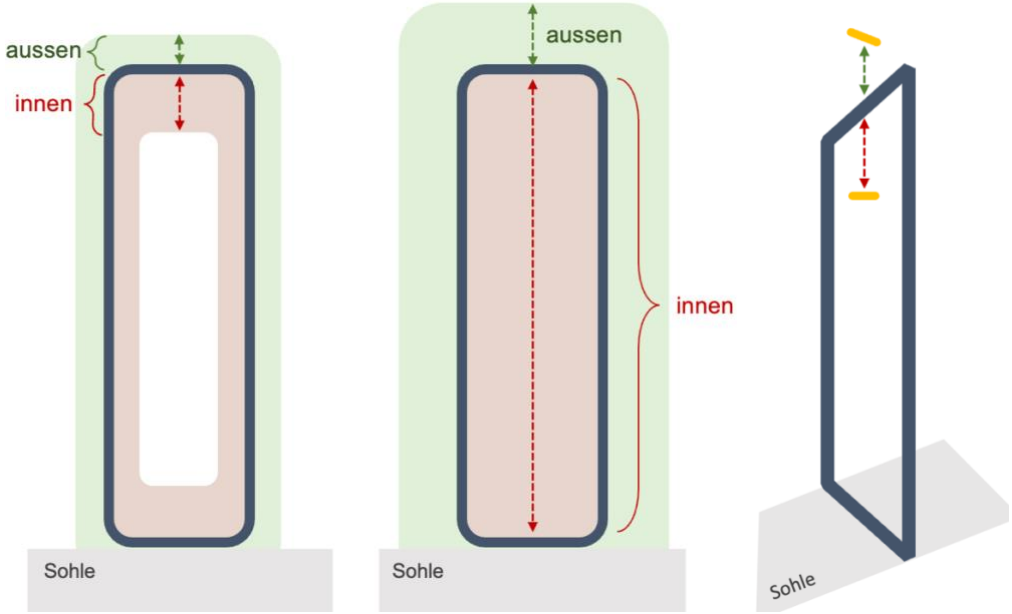


Abbildung 4-6: Beispiel einer stehenden Antenne (dunkelblau) in einem Schlitz einer FAH, die eine ungenügende Reichweite mit Empfangslücke in der Mitte aufweist (links) und einer stehenden Antenne, die eine ausreichende Reichweite ohne Empfangslücke aufweist (Mitte). Rechts ersichtlich in welcher Orientierung laut Vorschlag ein PIT-Tag an eine Antenne gehalten werden sollte (Schwimmrichtung Fisch).

4.3 Vorgaben zur Auswertung von PIT-Tagging-Studien

4.3.1 Mindestumfang Berechnungen

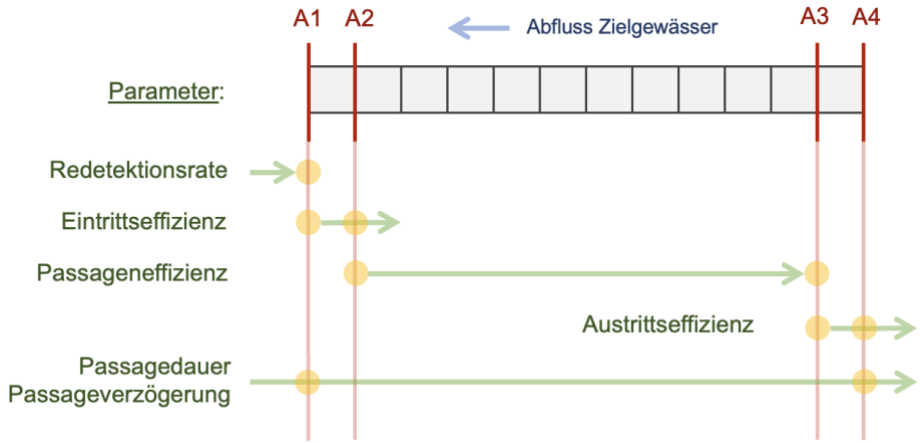


Abbildung 4-7: Grafische Darstellung der Berechnungen, die aufgrund des Versuchsaufbaus durchgeführt werden können. Grün eingezeichnet ist der Weg, den ein Fisch durch die FAH nehmen kann. Gelbe Punkte sind Detektionen an den jeweiligen Antennen (rot). Grau ist die FAH schematisch dargestellt.

Folgende Parameter sollen mindestens pro Fischart berechnet werden (vgl. Abbildung 4-7):

- Redetektionsrate
- Eintrittseffizienz
- Passageeffizienz (intern & global)
- Austrittseffizienz
- Zeitbedarf: Passagedauer & Passageverzögerung

Die gemessenen Parameter aus sollen in Bezug auf folgende Parameter beurteilt werden:

- Analyse Artenselektivität
- Analyse Längenselektivität

Hinweis zur Interpretation Redetektionsrate: Niedrige Redetektionsraten geben einen Hinweis auf Probleme mit der Auffindbarkeit der FAH, sind aber kein abschliessendes Kriterium. Hierzu müsste das Verhalten der Fische vor dem Hindernis bekannt sein.

4.3.2 Herleitung der Berechnungen

Berechnung: Effizienzen

Redetektionsrate (RR) =

Eintrittseffizienz (EE) =

Passageeffizienz (PE) =

Austrittseffizienz (AE) =

Globale Passageeffizienz (PE_G) =

Fische markiert: Alle mit PIT-Tags markierten Fische des Besatzortes unterhalb des Hindernisses.

Fische redetektiert: Fische registriert in FAH.

Fische eingestiegen: Fische registriert auf zweiter Antenne (A2) am Eingang.

Fische aufgestiegen: Fische registriert auf erster Antenne (A3) am Ausstieg.

Fische ausgestiegen: Fische registriert auf zweiter Antenne (A4) am Ausstieg.

Berechnung: Passagedauer (PD) und Passageverzögerung (PV)

Die Zeitdifferenz, die für die Bestimmung der Parameter Passagedauer und Passageverzögerung genutzt wird, berechnet sich folgendermassen:

Zeitdifferenz [min] = «Erstes Signal A4» - «Letztes Signal A1»

- «Letztes Signal A1»*:* Letzte Registrierung an erster Antenne (A1) am Eingang aus erfolgreichem Einstiegsversuch = eingetretene Fische.
- «Erstes Signal A4»: Erste Registrierung an letzter Antenne (A4) am Ausgang aus erfolgreichem Ausstiegsversuch = ausgestiegene Fische (danach keine Detektion an A1-A3 mehr).

Aus der Zeitdifferenz können zwei Parameter abgeleitet werden. Einerseits die Passageverzögerung, die ab dem ersten Aufstiegsversuch induziert wird. Diese zeigt den Gesamtaufenthalt eines Fisches im Bereich der PIT-Antennen an. Und andererseits die Passagedauer, die den Zeitbedarf für einen zusammenhängenden, direkten Aufstiegsversuch angibt.

Passagedauer (PD): Zeitdifferenz ab letztem Versuch [min_{Total}] [hm/min]

- Die Zeitdifferenz ab dem letzten Versuch wird gemessen ab letztem Eintritt, der dem ersten erfolgreichen Aufstieg vorausgeht.

- Das heisst, es handelt sich hier um die Zeitdifferenz, die ein Fisch braucht, um die eine FAH von Eingang zu Ausgang zu überwinden.
- Der Abstand zwischen zwei Aufstiegsversuchen beträgt min. 48 Stunden.
- 5 min nach der letzten Registrierung auf A4, sofern keine weitere Registrierung an A3 und A4 erfolgt, gilt ein Fisch als «passiert» (aus FAH ausgeschwommen).
- Die Passagedauer (PD) wird zusätzlich auf die durchschnittlich überwundenen Höhenmeter (hm) der Fischtreppe standardisiert (mittlere jährliche Pegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser): [hm/min]

- Nutzen: Beurteilung Aufstiegsgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Wassertemperaturen oder Jahreszeiten; Vergleiche etc.

Passageverzögerung (PV): Zeitdifferenz ab erstem Versuch [min_{Total}]

- Der erste Eintritt entspricht dem ersten Aufstiegswillen eines Fisches, der durch das PIT-System messbar ist (im Umfeld der PIT-Antennen). Der Wert entspricht der messbaren Passageverzögerung, die durch das PIT-System erfasst werden kann, und darf nicht mit der effektiven Passageverzögerung verwechselt werden (Fische haben unter Umständen schon länger den Eingang zur FAH gesucht, bevor sie registriert werden).
- Der Abstand zwischen zwei Aufstiegsversuchen ist nicht limitiert.
- Nach 5 min ab der letzten Registrierung auf A4, sofern keine weitere Registrierung an A3 und A4 erfolgt, gilt ein Fisch als «passiert» (aus FAH ausgeschwommen).

- Nutzen: Beurteilung der messbaren Passageverzögerung, die insgesamt durch das Querbauwerk induziert wird.

4.3.3 Umgang mit Lesefehlern

Bei jedem Projekt kann es vorkommen, dass PIT-Tags nicht korrekt durch die Antennen und Lesegeräte registriert werden. Eine wichtige Frage ist, wie mit solchen Fehlern umgegangen werden soll. Es gibt zwei Fehlerquellen bei der Detektion von PIT-Tags:

- Falsch-positive Befunde: Detektion eines markierten Fisches, obwohl er abwesend ist.
- Falsch-negative Befunde: Detektionen eines PIT-Tags werden an einer oder mehreren Antennen verpasst.

Falsch-positive Befunde (Typ I) sind selten. Mehrere Ursachen können dafür verantwortlich sein. Sie können beispielsweise bei einer kurzfristigen Überlagerung von mehreren Magnetfeldern entstehen, so dass ein PIT-Tag gleichzeitig auch an einer Antenne detektiert wird, an der sich der Fisch nicht aufhält. Ausserdem werden durch Übertragungsfehler ab und zu PIT-Tag-Nummer, Datumsstempel und andere Fehler abgespeichert, die offensichtlich falsch sind (z.B. Vertauschen einer 1 oder 0 bei Schreibprozess). In der Regel ist es möglich, einen falsch-positiven Befund durch Logik nachzuvollziehen und zu korrigieren. Ist das nicht der Fall, wird empfohlen, diese PIT-Tags ganz aus der Studie zu entfernen, damit sie das Resultat der Studie nicht verfälschen können.

Falsch-negative Befunde (Typ II) kommen in jeder Studie vor. Dabei handelt es sich um verpasste Detektionen. Das heisst es handelt sich um Fische, die an einzelnen Antennen nicht detektiert werden konnten, aber an anderen Antennen durchaus registriert wurden. Die Fische sind also mit grosser Sicherheit in die FAH eingeschwommen. Das kann passieren, wenn beispielsweise mehrere PIT-Tags gleichzeitig in ein Magnetfeld einer Antenne einschwimmen oder sich ein PIT-Tag auf oder direkt neben einer Antenne aufhält. Da nur eine Registration pro Leseereignis gelesen werden kann, kann es daher vorkommen, dass einzelne PIT-Tags verpasst werden. Es wird empfohlen, erkennbare Fehler zu korrigieren.

Vergleich verschiedener Verfahren

Es existieren grundsätzlich drei Möglichkeiten, wie mit falsch-negativen Fehlern umgegangen werden kann:

- Keine Korrektur
- Ausschlussverfahren: Kompletter Ausschluss eines PIT-Tags aus einer Studie, das auf einer oder mehrerer Antennen nicht detektiert wurde (inkl. «Anzahl markierter Fische»).
- Korrekturverfahren: Korrektur von fehlenden Detektionen durch Erkennung von PIT-Tags weiter oben im PIT-System.

Im Zuge der Diskussion ist ein Modell entwickelt worden, das in der Lage ist, die drei Verfahren miteinander zu vergleichen. Die Ergebnisse dieser Berechnungen werden im Folgenden kurz zusammengefasst.

Wichtig für die Beurteilung der Verfahren sind:

- Detektionseffizienzen der einzelnen Antennen,
- Anzahl markierter Fische (Stichprobenumfang) und
- Höhe der berechneten Effizienzen (also die Höhe der Aufstiegswahrscheinlichkeit einer Art).

Die Detektionseffizienzen sind in der Regel hoch (> 90%). Dennoch kann es vorkommen, dass einzelne Antennen niedrigere Werte aufweisen. Zudem kann es sein, dass Antennen im Verlaufe eines Projekts kaputt gehen (z.B. Folge eines Unwetters). Dann sollte diese Antenne für den entsprechenden Zeitraum, in dem sie nicht funktionierte, ausgeschlossen werden.

Die Anzahl markierter Fische ist abhängig von der Zielart. Barben, Forellen oder Rotaugen können je nach Studienstandort häufig markiert werden. Andere Arten, die selten vorkommen, können in weniger hohen Zahlen markiert werden.

Die Höhe der berechneten Effizienzen ist abhängig vom Verhalten oder den Fähigkeiten einer Art. Passageeffizienzen von Kleinfischarten liegen in der Regel tiefer als solche von Barben oder Forellen.

Wenn man diese Faktoren berücksichtigt, kann man folgendes feststellen:

- Keine Korrektur vorzunehmen, führt zu einem systematischen Fehler, der stark von den Detektionseffizienz abhängt. Je grösser die Unterschiede bei den Detektionseffizienzen der Antennen, desto stärker ist die Abweichung. Steigen die Unterschiede über einen gewissen Schwellenwert (>2%), werden die Resultate stark beeinflusst. Da dies der Regelfall ist, sollte keine Korrektur von Typ II-Fehlern keine Option sein.
- Das Ausschlussverfahren führt in der Regel zu einem niedrigeren Stichprobenumfang und zu einer niedrigeren statistischen Power. Es unterschätzt zudem die Redetektionsrate deutlich sowie in geringerem Masse auch die anderen Parameter.
- Das Korrekturverfahren unterschätzt in der Regel die Austrittseffizienz. Alle anderen Werte zeigen meist geringe Abweichungen und können oft ganz korrigiert werden. Zudem ist es als einziges Verfahren in der Lage, bei einer Antenne, die nicht optimal funktioniert (z.B. Detektionseffizienz = 80%), die Berechnungen zu verbessern. Das Verfahren hat in der Regel die höchste statistische Power, was wichtig für geringe Anzahlen markierter Fische ist (seltene Fischarten).

Umgang mit falsch-negativen Detektionen: Korrekturverfahren

Aufgrund der oben genannten Punkte wird zukünftig bei PIT-Studien das Korrekturverfahren angewendet.

Dieses Verfahren unterschätzt vor allem die Austrittseffizienz. Das liegt daran, dass es keine weiteren Antennen flussaufwärts im System gibt, die die Fehler auf der obersten Antenne erkennen könnten. Dieser Fehler ist jedoch vernachlässigbar. Einerseits wird die Austrittseffizienz nicht bewertet. Andererseits kann der Fehler mit manuellen Methoden teilweise quantifiziert werden. Wird eine ungenügende Austrittseffizienz nachgewiesen, kann die Analyse umgekehrt werden: Man kann eine Abstiegsuntersuchung machen, die rasch aufzeigen wird, ob ein Defizit beim Austritt vorliegt, denn fehlende Fische beim Austritt müssten ja zurückgeschwommen sein. Ansonsten würden sie sich noch in der FAH befinden (resp. im obersten Becken stapeln), was nach einer gewissen Zeit ohne jegliche Detektion sehr unwahrscheinlich wird.

Falls die Passagedauer oder Passageverzögerung von einem Fehler betroffen ist, wird der Fehler, sofern dies möglich ist, anhand der ersten resp. letzten Detektion auf der nächsten resp. unteren Antenne korrigiert
>> Von «last A1» (oder «first A2») nach «first A4» (oder «last A3»).

In Tabelle 4-4 ist aufgelistet, wie mit den falsch-negativen Fehlern umgegangen werden soll. Diese Lösung ist so im Webtool direkt hinterlegt und bedarf dort keiner weiteren Anpassung.

Tabelle 4-4: Umgang mit Lesefehlern (fehlende Detektionen)

B_i	A1	A2	B_x	Ereignistyp	RR	DE	PE	PD	PV
⊹	✓	✓	⊹	Gültige Detektion A1 Gültige Überquerung A2	OK	OK	OK	OK	OK
⊹	✓	○	✕	Gültige Detektion A1 Keine Überquerung A2	OK	E1	OK	OK	OK
⊹	✓	○	✓	Gültige Detektion A1 Fehlende Überquerung A2	OK	OK	OK	OK	OK
⊹	✓	○	≈	Gültige Detektion A1 Fehlende Überquerung A2	OK	E1	E2	E3	E3
✓✕	○	✓	✓✕	Fehlende Detektion A1 Gültige Überquerung A2	OK	OK	OK	OK	OK
≈	○	✓	≈	Fehlende Detektion A1 Gültige Überquerung A2	OK	OK	OK	E3	E3
✓	○	○	✓✕	Fehlende Detektion A1 Fehlende Überquerung A2	OK	E4	OK	OK	OK
✓	○	○	≈	Fehlende Detektion A1 Fehlende Überquerung A2	OK	E4	E4	E3	E3
≈	○	○	✓✕	Fehlende Detektion A1 Fehlende Überquerung A2	OK	E4	OK	E3	E3
≈	○	○	≈	Fehlende Detektion A1 Fehlende Überquerung A2	E4	E4	E4	E3	E3

<u>Erläuterung Symbole:</u>

✓✕ Ereignis korrekt detektiert / Ereignis korrekt nicht detektiert;
○ Ereignis nicht detektiert (falsch-negatives Ereignis);
≈ Keine Antenne vor / nach Doppelantenne;
⊹ Detektion vor / nach Doppelantenne spielt keine Rolle.

<u>Erläuterung Abkürzungen:</u>

B_i Antennen, die den Doppelantennen vorgelagert sind;
A1 Antenne 1 einer Doppelantenne;
A2 Antenne 2 einer Doppelantenne;
B_x Antennen, die den Doppelantennen nachgelagert sind;
RR Redetektionsrate;
DE Effizienz Doppelantenne (z.B. Eintritts- oder Austrittseffizienz);
PE Passageeffizienz;
PD Passagedauer;
PV Passageverzögerung;
OK Wird beim entsprechenden Parameter gewertet resp. Berechnung korrekt möglich;
E1 Unterschätzung DE aufgrund fehlendem Ereignis;
E2 Unterschätzung PE aufgrund fehlendem Ereignis;
E3 Zeitdifferenz kann nicht berechnet werden;
E4 Unterschätzung der gelisteten Parameter aufgrund ungültigem/nicht unterstütztem Fall.

4.4 Vorgaben zur Bewertung von PIT-Tagging-Studien

4.4.1 Grundlagen

Tabelle 4-5: Bewertungsschema für Fischaufstiegshilfen gemäss den Vorgaben der WA21 und des BAFU.

Note	Funktionsfähigkeit	Bewertung
Klasse 1	Voll funktionsfähig	Sehr gut
Klasse 2	Funktionsfähig	Gut
Klasse 3	Eingeschränkt funktionsfähig	Mässig
Klasse 4	Wenig funktionsfähig	Unbefriedigend
Klasse 5	Nicht funktionsfähig	Schlecht

Bewertet werden alle FAH eines Querbauwerks zusammen mit einer gemeinsamen Note nach dem bekannten Schema mit fünf unterschiedlichen Bewertungsklassen (Abbildung *4-5*). Die Bewertung hat zum Ziel, alle Fischaufstiegshilfen eines Querbauwerks einer Bewertungsklasse zuzuordnen. Jede Bewertungsklasse verfügt über eine Beschreibung bezüglich «Funktionsfähigkeit» sowie einer Bewertung («Schlecht» bis «Sehr gut»). Ziel einer Sanierung sollte eine Benotung von «Gut» oder «Sehr gut» sein, kann jedoch auch tiefer ausfallen. So kann es vorkommen, dass aufgrund baulicher Einschränkungen gewisse Vorgaben beim Bau einer FAH nicht eingehalten werden können. Dennoch kann in einem solchen Fall das Sanierungsziel als erfüllt angesehen werden (Expertise der Expert:innen).

4.4.2 Was kann bewertet werden?

Grundsätzlich können pro FAH die Auffindbarkeit sowie die Passierbarkeit bewertet werden (Doppelantennen-Systeme). Die Auffindbarkeit wird anhand der Redetektionsrate beurteilt. Für die Passierbarkeit werden die Parameter Eintrittseffizienz, Passageeffizienz und Passagedauer berücksichtigt.

Aktuell nicht bewertet werden die Parameter Austrittseffizienz und Passageverzögerung. Zu diesen liegen aktuell keine Vergleichsdaten und somit keine Referenzwerte vor. Kommt dieser Methoden- und Bewertungsstandard nun jedoch häufig zum Einsatz, kann sich das zukünftig ändern.

Die Auffindbarkeit bei Querbauwerken mit mehreren FAH kann nicht isoliert betrachtet werden. Ein aufstiegswilliger Fisch, der eine FAH findet, kann eine andere nicht ebenfalls finden. Das kann dazu führen, dass einzelne FAH unterbewertet werden, obwohl sie ideal platziert sind. Daher muss die Auffindbarkeit kumuliert betrachtet werden. Das gleiche gilt auch für die globale Passierbarkeit.

Welche Bewertungen durchgeführt werden können, hängt auch vom Versuchsaufbau ab:

Doppelantennen-Systeme:

- Auffindbarkeit:
  Bewertung der Redetektionsrate (RR) kumuliert über alle FAH.
- Passierbarkeit:
  1. Aggregierte Bewertung aus Eintrittseffizienz (EE), Passageeffizienz (PE) und Passagedauer (PD) pro FAH.
  2. Aggregierte Bewertung der Passierbarkeit über alle FAH (Gewichtung jeder FAH aufgrund Auffindbarkeit).
- Gesamtbewertung Barrage:
  Aggregierte Bewertung aus Auffindbarkeit und Passierbarkeit.

Einzelantennen-Systeme:

- Globale Passierbarkeit (Gesamtbewertung):
  Bewertung der globalen Passageeffizienz (PE_G) kumuliert über alle FAH

Bei Einzelantennen-Systemen wird einzig die globale Passierbarkeit (PE_G) bewertet. Diese beinhaltet bereits die Auffindbarkeit. Die PE_G berechnet sich aus dem Verhältnis der markierten und passierten Fische. Damit

deckt sie bereits das gesamte Spektrum ab, das bewertet werden kann. Eine zusätzliche Bewertung der Auffindbarkeit wäre redundant, da so sie so doppelt gewichtet würde. Sie muss nicht zusätzlich in die Bewertung aufgenommen werden. Expert:innen können jedoch aufgrund von Detektionen an einer im Eingangsbereich installierten Antenne differenziertere Rückschlüsse zur Auffindbarkeit einer FAH ziehen.

4.4.3 Wie wurde bewertet?

Die Grundlage für die Bewertung sind die Bewertungsfunktionen für die (kumulierte) Redetektionsrate, Eintrittseffizienz, Passageeffizienz und Passagedauer. Diese wurden für jede Performance-Gruppe separat erstellt. Über die Performance-Gruppen erhält jede Fischart also eine Bewertungsfunktion zu den vier Parametern (RR, EE, PE, PD).

Als Beispiel die Herleitung der Bewertungsfunktion für der Passageeffizienz (PE) für Fische mit hoher Performance. Dazu muss man sich in Erinnerung rufen, dass wir gezielt nach Studien gesucht haben, die gute bis schlechte Resultate beinhalten. Für diese Gruppe ist grundsätzlich zu erwarten, dass sie eine hohe PE erreicht. Der Median aller Studien lag im Bereich von 70% (Abbildung *4-8*). Jedoch erreichen Fischarten mit hoher Performance bei 40% aller Studienergebnissen eine Bewertung über 80%. Aufgrund dieser Ergebnisse wurde die Bewertungsfunktion berechnet (Abbildung *4-9*). Sie gruppiert die Ergebnisse in die Bewertungsklassen (schlecht bis sehr gut), die je 20% der Studienergebnisse beinhalten.

Analog wurden die Bewertungsfunktionen für alle anderen Parameter entwickelt. Für die Eintrittseffizienz wurde nur eine Bewertungsfunktion hergeleitet, da die Ergebnisse hier für alle Performance-Gruppen vergleichbar waren.

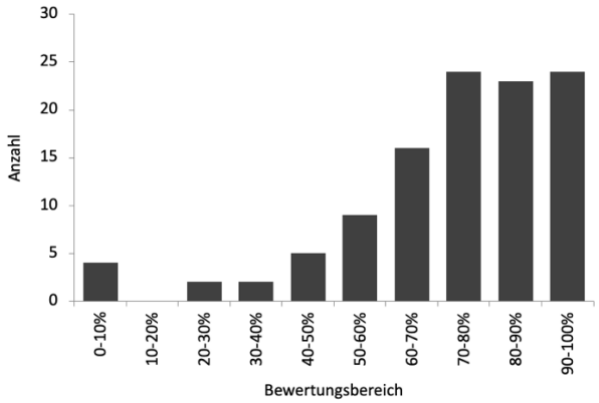


Abbildung 4-8: Histogramm aller Studienergebnissen von Fischarten mit hoher Performance bezüglich der Passageeffizienz. Dazu konnten 107 Ergebnisse ausgewertet werden.

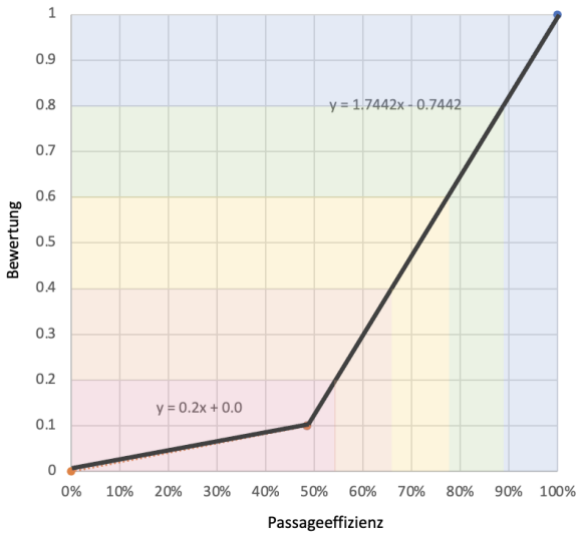


Abbildung 4-9: Bewertungsfunktion für Fischarten mit hoher Performance. Farbig hinterlegt sind die Bewertungsklassen sehr gut (blau), gut (grün), mässig (gelb), unbefriedigend (orange) und schlecht (rot).

Anschliessend wurden die Ergebnisse aggregiert, um einerseits die Auffindbarkeit und andererseits die Passierbarkeit im Detail zu bewerten. Diese Bewertungen liefern Rückschlüsse auf die Funktionalität der verschiedenen Bestanteile aller FAH einer Barrage. Die Auffindbarkeit und die Passierbarkeit wurden dann zusätzlich aggregiert, um eine Gesamtbewertung zu erhalten.

Anmerkung: Aktuell gibt es keine vergleichbare quantitative Methode zur Bewertung von Fischaufstiegshilfen. Somit ist auch klar, dass zuallererst im Vordergrund steht, die Praxistauglichkeit dieser Methode zu evaluieren. Die Bewertungsfunktionen oder die Zuteilung von Fischarten zu Performance-Gruppen können aktuell flexibel angepasst werden. Erste Versuche zeigen, dass das die nun vorliegende Methode wertvolle Informationen für die Beurteilung von FAH liefern kann. Die Expert:innenbeurteilung bleibt jedoch das wichtigste Element im Beurteilungsprozess.

4.4.4 Bewertung Auffindbarkeit

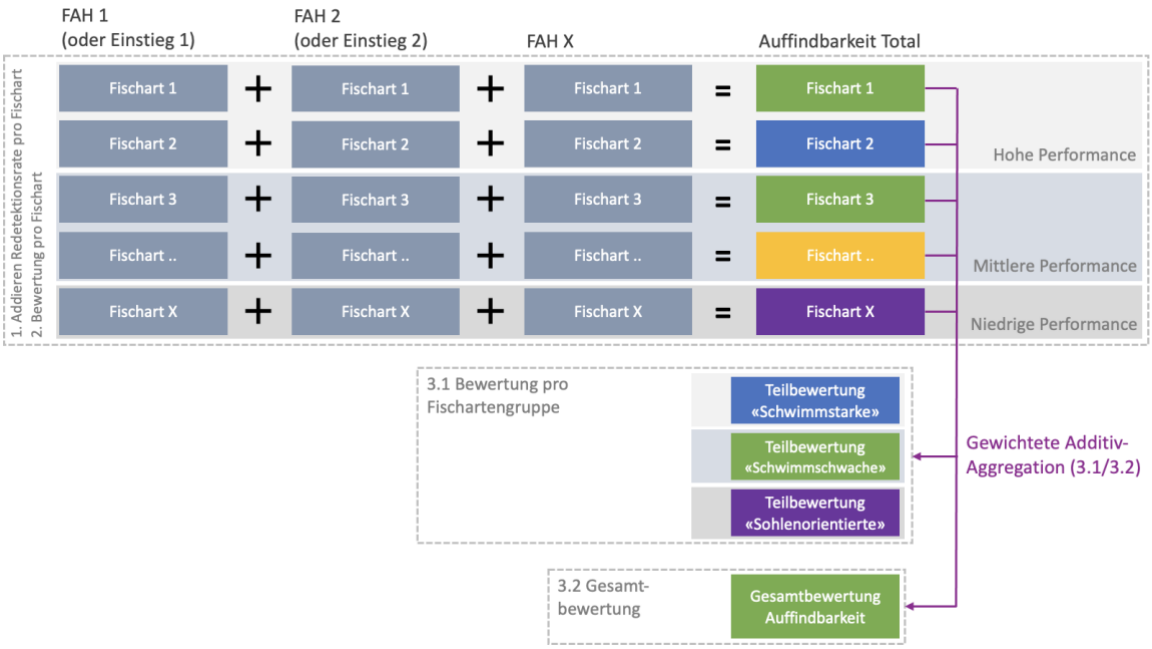


Abbildung 4-10: Vorgehen bei der Bewertung der Auffindbarkeit an einem Querbauwerk mit einem oder mehreren FAH.

Vorgehen (Abbildung **4-10**)**:**

- Kumulierte Redetektionsrate (1): Pro Fischart werden die Redetektionsraten aller FAH (falls mehrere) addiert. Das ergibt die kumulierte Redetektionsrate pro Fischart.
- Bewertete Redetektionsrate (2): Danach erfolgt die Bewertung der kumulierten Redetektionsrate (1) pro Fischart. Jede Fischart verfügt nun über eine bewertete (kumulierte) Redetektionsrate.
- Aggregierte Bewertung Performance-Gruppen (3.1): Anschliessend werden die bewerteten Redetektionsraten pro Fischart (2) innerhalb ihrer Performance-Gruppe («Hohe Performance», «Mittlere Performance» und «Niedrige Performance») aggregiert und bewertet. Diese Bewertungen dienen einzig als Interpretationshilfe und werden nicht weiter aggregiert.
- Aggregierte Bewertung Auffindbarkeit (3.2) Zudem werden die bewerteten Redetektionsraten pro Fischart (2) gesamthaft aggregiert und bewertet. Diese Bewertung funktioniert unabhängig von (3.1) und ist die Grundlage für die «Gesamtbewertung Barrage».

Mathematische Funktionen:

- (1) Kumulieren der Redetektionsraten () pro Fischart über alle FAH:

- (2) Bewertungsfunktionen kumulierte Redetektionsrate pro Fischart ();
  für Fischarten mit hoher Performance ():

  für Fischarten mit mittlerer Performance ():

  und Fischarten mit niedriger Performance ():

– (3.1/3.2) Gewichtete Additiv-Aggregation für Bewertung der Auffindbarkeit aller FAH pro Performance-Gruppe () und insgesamt ():

Wenn:

- Gewichtungsfunktion pro Fischart
- *:* Stichprobengrösse
- *:* Wert Bewertungsfunktion pro Fischart

Bedingungen :

- (keine Bewertung)
- (einfache Gewichtung)
- (doppelte Gewichtung)
- (dreifache Gewichtung)

4.4.5 Bewertung Passierbarkeit (pro FAH)

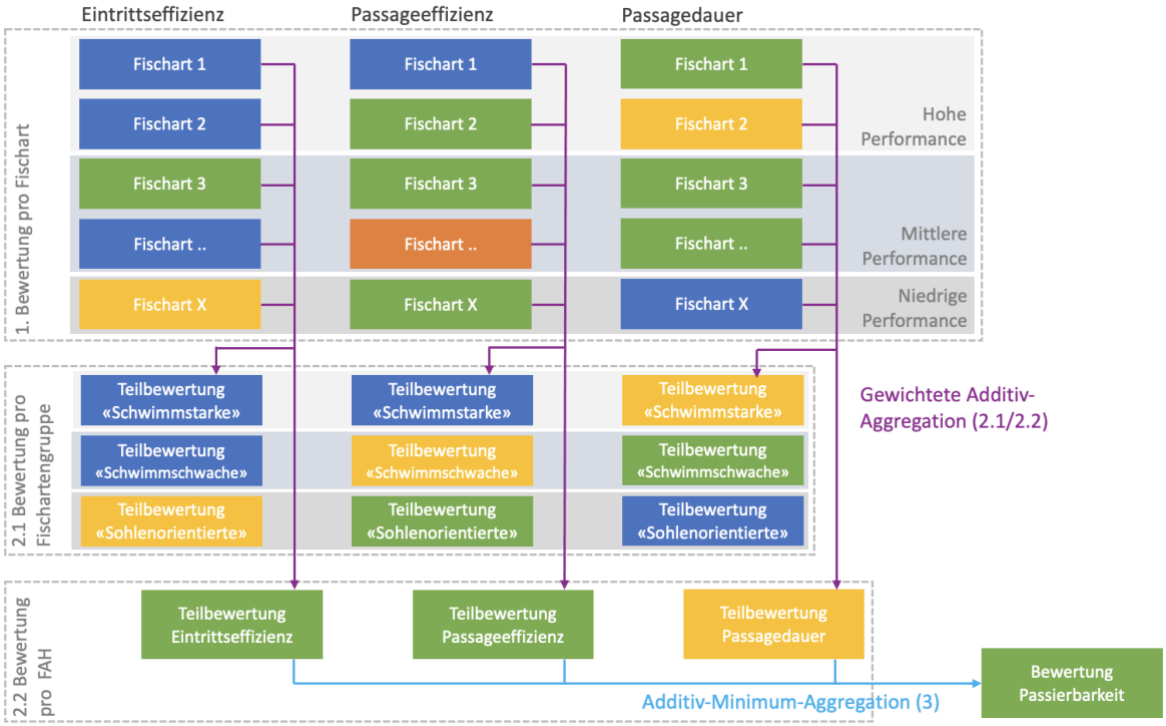


Abbildung 4-11: Vorgehen bei der Bewertung der Passierbarkeit an einem Querbauwerk mit einem oder mehreren FAH.

Vorgehen (Abbildung **4-11**, Berechnung pro FAH)**:**

– Bewertung der Parameter (1): Als erstes wird jeder Parameter (Eintrittseffizienz EE, Passageeffizienz PE und Passagedauer PD) pro Fischart bewertet.
– Aggregierte Bewertung pro Performance-Gruppe und Parameter (2.1): Anschliessend werden die bewerteten Parameter pro Fischart (1) innerhalb ihrer Performance-Gruppe («Hohe Performance», «Mittlere Performance» und «Niedrige Performance») sowie ihres Parameters (EE, PE und PD) aggregiert und bewertet. Diese Bewertungen dienen einzig als Interpretationshilfe und werden nicht weiter aggregiert.
– Aggregierte Bewertung pro Parameter (2.2): Zudem werden die bewerteten Parameter pro Fischart (1) gesamthaft aggregiert und bewertet. Diese Bewertung funktioniert unabhängig von (2.1) und ist die Grundlage für die «Gesamtbewertung Barrage».
– Aggregierte Bewertung Passierbarkeit pro FAH (3): Danach erfolgt die Gesamtaggregation der Werte aus (2.2) für die Bewertung der Passierbarkeit pro FAH.

Mathematische Funktionen:

- (1a) Bewertungsfunktion *Eintrittseffizienz* () pro Fischart ();
  für Fischarten mit hoher, mittlerer und niedriger Performance ():

- (1b) Bewertungsfunktion *Passageeffizienz* () pro Fischart ();
  für Fischarten mit hoher Performance ():

  für Fischarten mit mittlerer Performance ():

  und Fischarten mit niedriger Performance ():

- (1c) Bewertungsfunktion *Passagedauer* () pro Fischart ();
  für Fischarten mit hoher Performance ():

  für Fischarten mit mittlerer Performance ():

  und Fischarten mit niedriger Performance ():

- (2.1/2.2) Gewichtete Additiv-Aggregation für Eintrittseffizienz (), Passageeffizienz () und Passagedauer ():

Wenn:

- Gewichtungsfunktion pro Fischart
- *:* Stichprobengrösse
- *:* Bewertung pro Fischart

Bedingungen :

- (keine Bewertung)
- (einfache Gewichtung)

Bedingungen :

- (keine Bewertung)
- (einfache Gewichtung)

Bedingungen :

- (doppelte Gewichtung)
- (dreifache Gewichtung)

- (3): Additiv-Minimum-Aggregation zur Gesamtbewertung der Passierbarkeit einer FAH ():

  Wenn:
  : Tiefste Bewertung aus , und

4.4.6 Gesamtbewertung Barrage

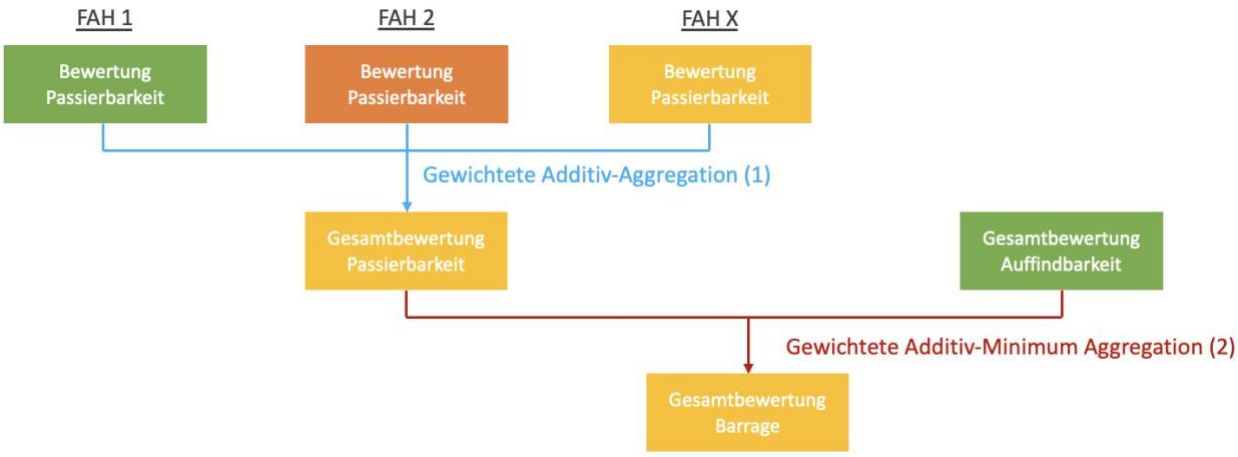


Abbildung 4-12: Vorgehen bei der Gesamtbewertung eines Querbauwerks/einer Barrage.

Vorgehen (Abbildung **4-12**)**:**

- Aggregierte Bewertung Passierbarkeit aller FAH (1): In einem ersten Schritt wird die Passierbarkeit gesamthaft bewertet. Dies geschieht über eine gewichtete Additiv-Aggregation. Die Passierbarkeit jeder einzelnen FAH wird über ihre individuelle Auffindbarkeit gewichtet. So werden FAH, die beispielsweise nur schwer auffindbar sind, aber eine gute Passierbarkeit haben, in der Gesamtbetrachtung der Passierbarkeit nicht überbewertet (und umgekehrt).
- Gesamtbewertung Barrage (2): Als letztes erfolgt die Gesamtaggregation von Passierbarkeit und Auffindbarkeit aller FAH für die Barrage. Dies geschieht über eine gewichtete Additiv-Minimum-Aggregation. So wird erhält der tiefere Parameter mehr Gewicht. Das macht in diesem Fall Sinn, da sonst beispielsweise eine schlechte Auffindbarkeit durch eine sehr gute Passierbarkeit weggemittelt werden könnte.

Mathematische Funktionen:

- Aggregationsfunktion (1): Bewertung Passierbarkeit aller FAH

Wenn:

: Gesamtbewertung der Passierbarkeit der FAH

: Gesamtbewertung der Auffindbarkeit der FAH
(berechnet sich gleich wie , jedoch ausschliesslich für eine FAH, d.h. ohne die RR zu kumulieren)

- Aggregationsfunktion (2): Gesamtbewertung von Auffindbarkeit und Passierbarkeit

Wenn:

: Tieferer Wert aus und

4.4.7 Bewertung ausschliesslich mit globaler Passageeffizienz

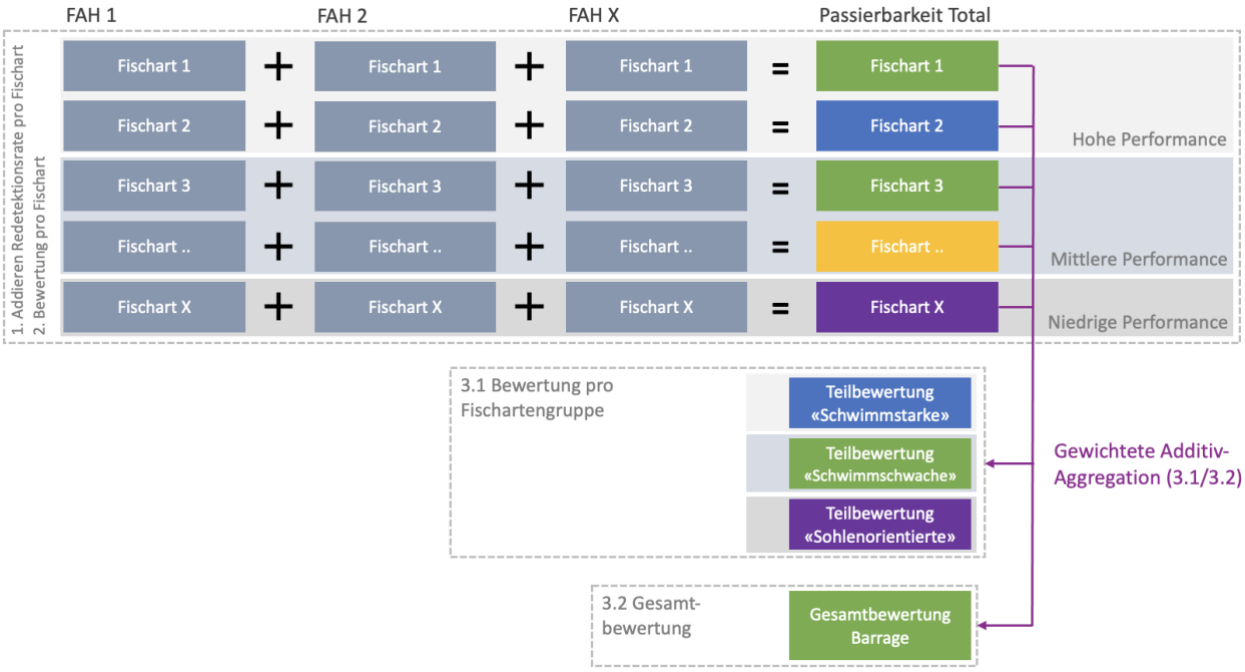


Abbildung 4-13: Vorgehen bei der Bewertung der globalen Passierbarkeit an einem Querbauwerk mit einem oder mehreren FAH.

Vorgehen bei der Bewertung (Abbildung 4-13)

- Kumulierte globale Passageeffizienz (1): Pro Fischart wird die globale Passageeffizienz (PEG) aller FAH (falls mehrere) addiert. Das ergibt die kumulierte PEG pro Fischart.
- Bewertete globale Passageeffizienz (2): Danach erfolgt die Bewertung der kumulierten PEG (1) pro Fischart. Jede Fischart verfügt nun über eine bewertete (kumulierte) globale Passageeffizienz.
- Aggregierte Bewertung Performance-Gruppen (3.1): Anschliessend werden die bewerteten PEG pro Fischart (2) innerhalb ihrer Performance-Gruppe («Hohe Performance», «Mittlere Performance» und «Niedrige Performance») aggregiert und bewertet. Diese Bewertungen dienen als Interpretationshilfe.
- Gesamtbewertung Barrage (3.2) Als letztes werden die bewerteten PEG pro Fischart (2) gesamthaft aggregiert und bewertet. Diese Bewertung funktioniert unabhängig von (3.1).

Mathematische Funktionen

- (1) Kumulieren der globalen Passageeffizienz () pro Fischart über alle FAH:

- (2) Bewertungsfunktion kumulierten globalen Passageeffizienz pro Fischart ();
  für Fischarten mit hoher Performance ():

  für Fischarten mit mittlerer Performance ():

  und Fischarten mit niedriger Performance ():

– (3.1/3.2) Aggregationsfunktion: Gewichtete Additiv-Aggregation für die globale Passageeffizienz berechnet pro Performance-Gruppe () und insgesamt ():

Wenn:

- Gewichtungsfunktion pro Fischart
- *:* Stichprobengrösse
- *:* Wert Bewertungsfunktion pro Fischart

Bedingungen :

- (keine Bewertung)
- (einfache Gewichtung)
- (doppelte Gewichtung)
- (dreifache Gewichtung)

Mit der Bestimmung von ist die Gesamtbewertung bei Einzelantennen-Systemen abgeschlossen. Auffindbarkeit und Passierbarkeit können nicht aufgetrennt betrachtet werden, sie werden zusammen (global) betrachtet, was die Interpretation der Resultate deutlich einschränkt.

4.4.8 Integration der Bewertung ins Webtool

Das Vorgehen bei der Bewertung ist komplex und nicht einfach umzusetzen. Das Gute an der Geschichte ist jedoch, dass genaue diese Bewertung inkl. der standardisierter Fehlerkorrektur im parallel erarbeiteten Webtool integriert ist. Dieses Webtool wertet die Rohdaten aus und bewertet alle Resultate – und dies standardisiert. Das Webtool ist nach einer einmaligen Anmeldung frei zugänglich und wird kostenfrei durch die WA21 und das BAFU zur Verfügung gestellt.

5 Teilprojekt 3: Webtool

5.1 Übersicht

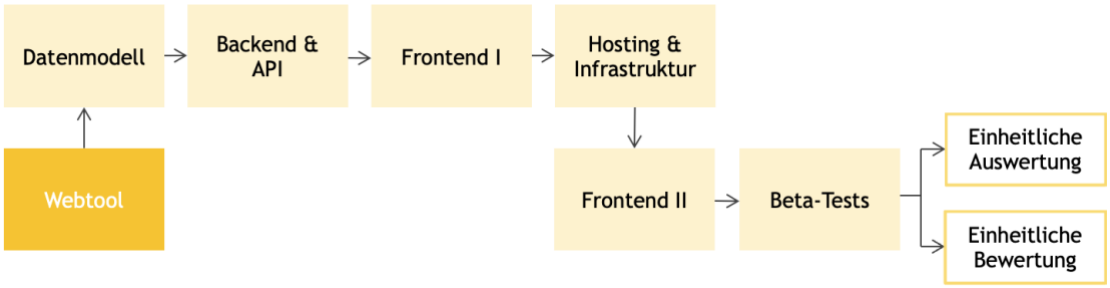


Abbildung 5-1: Hier in der Übersicht die verschiedenen Milestones der Erarbeitung des Webtools zum Methoden- und Bewertungsstandards für PIT-Tagging-Studien.

Auf eine detaillierte Dokumentation der einzelnen Schritte wird an dieser Stelle verzichtet. Es werden nur kurz die verschiedenen Milestones vorgestellt. Im Anschluss folgt eine Dokumentation, wie die Daten aufbereitet und ins Webtool hochgeladen werden und wie eine Studie konfiguriert werden muss.

In einem ersten Schritt wurde das Datenmodell erarbeitet (vgl. Abbildung 5-3). Für künftige Aktualisierungen des Modells wurde auch ein automatisches Migrationssystem eingerichtet. Ziel war die Erstellung des zentralen Backend-Dienstes sowie des API.

Danach wurde das UI-Konzept sowie die Projekt-Ansicht und der Datenimport erstellt. Der Schritt umfasste einen grundlegenden Entwurf des Frontend.

Im nächsten Schritt wurden das Hosting und die Infrastruktur der Webanwendung eingerichtet. Von diesem Zeitpunkt an war die Anwendung über eine spezielle URL im Internet zugänglich und testbar.

Anschliessend wurden die Werkzeuge zur Datenanalyse (Analyse-Ansicht) sowie die Berichts-Ansicht erstellt.

Im November 2023 wurde die aktuelle Version des Webtools zusammen mit einem Testdatensatz einer Gruppe von Beta-Testern präsentiert. Ihre Anregungen flossen, falls möglich, in das Webtool ein.

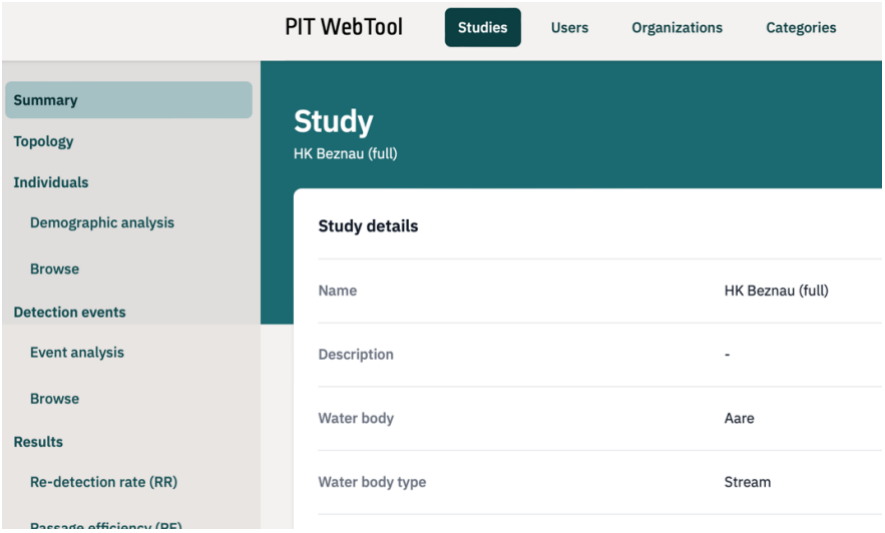


Abbildung 5-2: Genereller Look des Webtools mit farblicher Anpassung an das Layout der WA21.

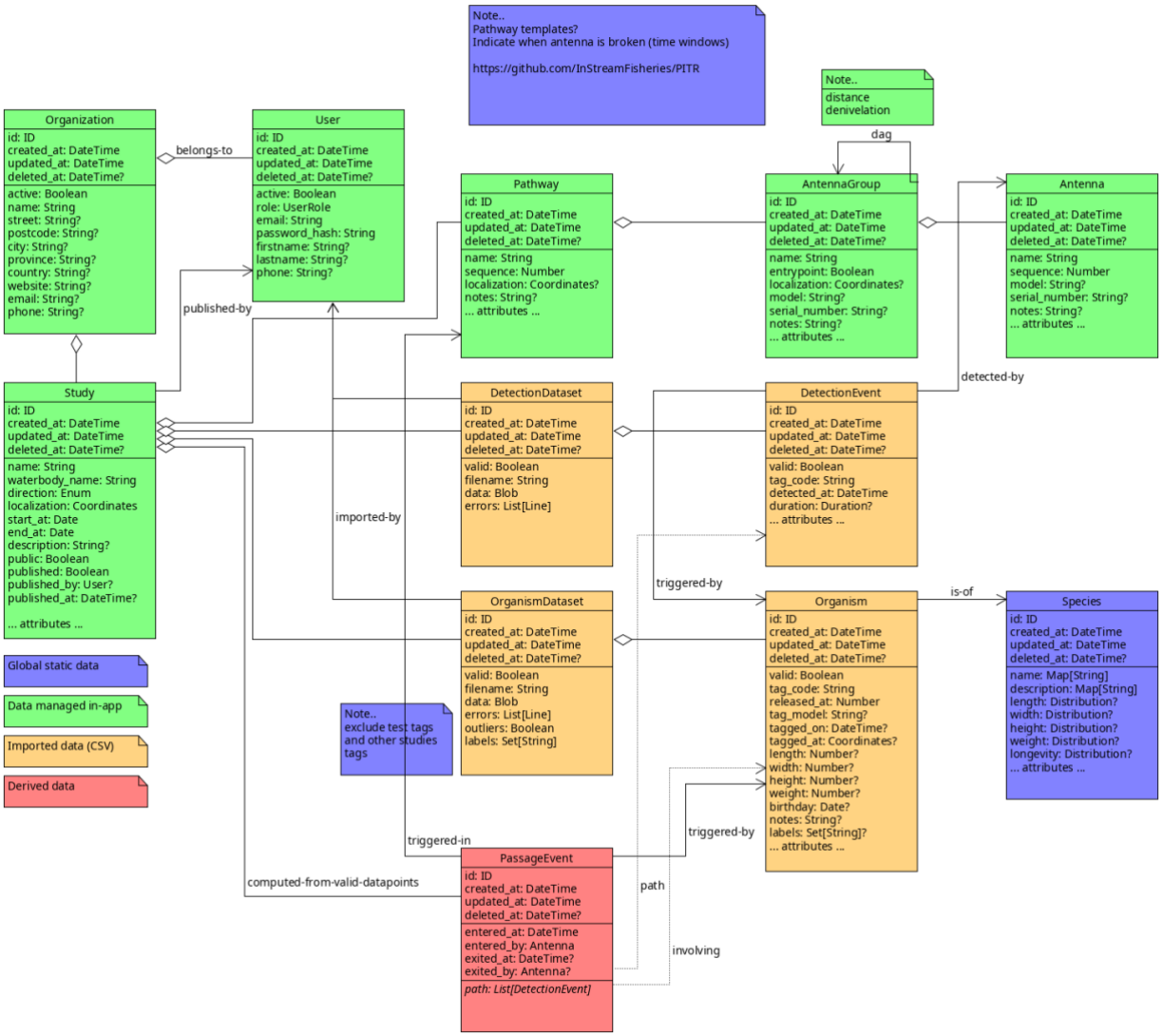


Abbildung 5-3: Datenmodell des Webtools zum Methoden- und Bewertungsstandard für PIT-Tagging-Studien.

5.2 Datenaufbereitung

5.2.1 Übersicht

Das Webtool braucht drei Grundlagen, um die Auswertungen sowie die Bewertung einer Studie durchzuführen:

1. Tabelle «Individuen»
2. Tabelle «Detektionen»
3. Erfassung der «Topologie» einer Studie

Die Tabelle «Individuen» (Tabelle 5-1) enthält alle notwendigen Informationen über die markierten Fische einer Studie. Diese Daten stammen aus den Befischungen resp. den Markierungskampagnen.

Die Tabelle «Detektionen» (Tabelle 5-2) enthält alle Detektionen, die die Lesegeräte über die Studienlaufzeit registriert haben. Es ist nicht nötig, die Rohdaten vor dem Einlesen ins Webtool zu bereinigen.

Die «Topologie» beschreibt den Versuchsaufbau. Sie enthält alle wichtigen Punkte einer Studie, vom Unterwasser über die Fischaufstiegshilf(en) bis ins Oberwasser, die geografisch referenziert werden können. Das sind die Fangstandorte, Rückgabestandorte und die Standorte der Doppelantennen. Wichtig ist, dass all diese Standorte (Point-of-interest) einer Studie in allen Tabellen sowie in der Topologie gleich benannt werden.

5.2.2 Daten-Tabellen

Die beiden Tabellen «Individuen» und «Detektionen» werden im CSV-Format hochgeladen. Als Trennzeichen bei den CSV-Dateien können Komma (,) und Semikolon (;) verwendet werden. Diese Voreinstellung kann in der Benutzerverwaltung vorgenommen werden.

Wichtig ist, dass die Spalten richtig beschriftet sind, damit das Webtool die Daten den korrekten Inhalten zuordnen kann. Dem Dokument sind vorkonfigurierte Beispieltabellen beigelegt. Die Tabellen müssen nur die Spalten enthalten, die als Pflichtfeld vorgegeben sind. Die anderen Spalten können entweder leer gelassen oder gar nicht erfasst (resp. gelöscht) werden. Beispielsweise reicht für die Tabelle «Individuen» eine Spalte mit der Überschrift «tag» (PIT-Tag-Nummer) und eine mit der Überschrift «species» (Fischart).

Um jedoch die Längenverteilung der markierten Fische sowie eine Analyse der Längenselektivität durchführen zu können, müssen mehr Informationen angegeben werden. Wir empfehlen daher, die Tabelle «Individuen» mindestens mit folgenden Informationen abzufüllen:

- PIT-Tag-Nummer (tag)
- Fischart (species)
- Länge (length)
- Gewicht (weight)
- Datum der Markierung (tagged_on)
- Fangstandort (captured_at)
- Rückgabestandort (released_at)

Werden diese Informationen berücksichtigt, erhält der Benutzer vertiefte Analyse- und Filtermöglichkeiten innerhalb des Webtools.

Achtung: Beachten Sie, dass alle Import-Tabellen in Unicode codiert sind (UTF-8).

Tabelle 5-1: Alle Felder der Tabelle «Individuen».

Spaltenbeschriftung[1]	Typ[2]	Pflichtfeld[3]	Beschreibung
tag	String	Ja	Number of PIT tag; must be unique in study
tag_type	String	Nein	eg. HDX, 12 mm, 23 mm or else
species	String	Ja	Name of species (must match defined species, *see ch. 5.4*)
length	Number	Nein	Length of fish in millimeter
width	Number	Nein	Width of fish in millimeter
height	Number	Nein	Height of fish in millimeter
weight	Number	Nein	Weight of fish in gram
age	Number	Nein	Age in year
tagged_on	Date/datetime	Nein	When tag was implanted
tagged_by	String	Nein	Email of user (must be member of organization)
captured_on	Date/datetime	Nein	Date when fish was captured
captured_by	String	Nein	Email of user (must be member of organization)
captured_at	String	Nein	Location of catch (must match point-of-interest in setup)
captured_with	String	Nein	Name of method (must match defined methods)
released_on	Date/datetime	Nein	Date when fish was released
released_by	String	Nein	Email of user (must be member of organization)
released_at	String	Nein	Location (must match point-of-interest in setup)
label	String	Nein	User-defined label (*displayed and filterable*)
description	String	Nein	Optional description of individual
valid	Boolean	Nein	Individual validity in study (default to true)

[1] Spaltenbeschriftung: Diese Namen müssen verwendet werden, damit das Webtool die Daten richtig zuordnet.
[2] Typ: vgl. Kapitel XX
[3] Pflichtfeld: Nur die Pflichtfelder (ja/blau) müssen angegeben werden, um eine Studie auswerten zu können. Wir empfehlen mindestens auch die grünen Felder auszufüllen.

Tabelle 5-2: Alle Felder der Tabelle «Detektionen».

Spaltenbeschriftung[1]	Typ[2]	Pflichtfeld[3]	Beschreibung
tag	String	Ja	Must match existing individual
detected_on	Datetime	Ja	Time of event
detected_for	Number	Nein	Duration of event in second (eg. 0.123)
detected_by	String	Ja	Name of antenna array (must match study setup, eg. “WY2”)
detected_by_antenna	String	Ja	Name of antenna (eg. “121”)
valid	Boolean	Nein	Event validity in study (default to true)

[1] Spaltenbeschriftung: Diese Namen müssen verwendet werden, damit das Webtool die Daten richtig zuordnet.
[2] Typ: vgl. Kapitel XX
[3] Pflichtfeld: Nur die Pflichtfelder (ja/blau) müssen angegeben werden, um eine Studie auswerten zu können.

5.2.3 «Topologie» der Studie

1. Erfassung alle relevanten Standorte einer Studie

Abbildung 5-4: In der Abbildung oben ist als Beispiel der Studienaufbau resp. die Toplogie des Hochrheinprojekts beim Kraftwerk Augst dargestellt.

Die Topologie der Studie wird über sogenannte «Point-of-interest» ( ), das sind die Fang- und Rückgabestandorte, und «Fischaufstiegshilfen» (→) definiert. Alle Fang- und Rückgabestandorte müssen in der Topologie erfasst werden, damit das Webtool diese erkennt. Die Antennen werden innerhalb einer «Fischaufstiegshilfen» definiert (vgl. unten).

Die beiden Punkte «Downstream» und «Upstream» sind fix und können nicht verändert werden. Sie dienen als Hilfe bei der Visualisierung der Topologie.

Die Punkte «100.3» sowie «100.4» waren zwei Rückgabestandorte der Beispielstudie, einer links- und der andere rechtsufrig. Sie werden übereinander dargestellt, da sie in der Abfolge der Standorte der gleichen Sequenz zugeordnet wurden (hier «1», unterhalb der «Fischaufstiegshilfen»).

Danach folgen die drei «Fischaufstiegshilfen», ein Raugerinnebeckenpass (RGB), ein Schlitzpass sowie ein Fischlift. Sie wurden ebenfalls einer Sequenz zugeordnet (hier «2»), da ein Fisch, der z.B. in Punkt «100.3» ausgesetzt wurde, einen der drei Aufstiegswege frei nutzen kann.

Als letztes folgt der Punkt «Augst/Wyhlen». Er bezeichnet den Fangstandort der Fische, der in der Zählkammer des Kraftwerks lag. Der Fangstandort wurde der Sequenz «3» zugeordnet und erscheint deshalb an dritter Stelle.

2. Erfassung aller Antennen einer Fischaufstiegshilfe

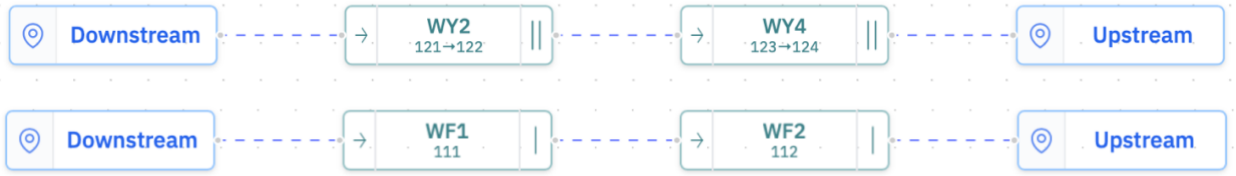


Abbildung 5-5: Der obere Versuchsaufbau (RGB) beschreibt zwei Standorte mit Doppelantennen («WY2» und «WY4») sowie den ihnen zugeordneten Antennen («121»/«122» resp. «123»/«124»). Der untere Versuchsaufbau (Fischlift) beschreibt zwei Standorte mit Einzelantennen («WF1» und «WF2») sowie den ihnen zugeordneten Antennen («111» und «112»).

Wird eine «Fischaufstiegshilfe» erfasst, müssen die Standorte der Doppel- und Einzelantennen (z.B. «WY2») sowie die Antennen-Namen (hier «121» und «122») angeben werden. Die Reihenfolge der Antennen muss stimmen. Es können Doppelantennen-Standorte (||) und Einzelantennen-Standorte (|) erfasst werden.

Wichtig ist für das Webtool, dass alle Detektionen einen *Standort-Namen* («detected_by») sowie einen *Antennen-Namen* («detected_by_antenna») enthalten. Nur dann ist die korrekte Zuordnung innerhalb des Webtools möglich.

5.3 Datenformate

5.3.1 Boolean (wahr/falsch)

- Wahr: «true» oder «1» oder «j»/«ja» oder «o»/«oui» oder «y»/«yes»
- Falsch: «false» oder «0» oder «n»/«nein» oder «n»/«non» oder «n»/«no»

5.3.2 Nummern

- Integer (z.B. «42»)
- Floating-points mit Punktnotation (z.B. «3.14»)

5.3.3 Datum

Achtung: Datum zwingend vierstellig angeben (gültig ist nur «01.01.2025» nicht «01.01.25»).

- YYYY-MM-DD
- YYYY/MM/DD
- DD-MM-YYYY
- DD/MM/YYYY
- DD.MM.YYYY

5.3.4 Zeit und Datum

Gleich wie Datumsformate mit dem Zeit-Suffix:

- <date> <space> hh:mm:ss.sss
- <date> <space> hh:mm:ss
- <date> <space> hh:mm

5.3.5 Georeferenzierter Standort

Höhe ist fakultativ:

- LV03: X <space> Y <space> ALT (z.B. «601561.25 199635.43 506.2»)
- LV95: E <space> N <space> ALT (z.B. «2601561.3 1199635.5 506.2»)
- WGS84: LAT <space> LON <space> ALT (z.B. «46.94780 7.45914 506.2»)

5.4 Artenliste

Unter «species» in der Tabelle «Individuen» wird der Artname erfasst (Tabelle 5-3). Man ist frei, die wissenschaftliche Bezeichnung oder den Artnamen in Deutsch, Französisch oder Englisch zu verwenden. Es ist auch möglich, verschiedene Sprachen zu mischen. Pro Sprache sind mehrere Artnamen möglich, gekennzeichnet durch das Trennzeichen «/». Nur ein Name muss angegeben werden. Wichtig ist, dass der Artname mit einer Bezeichnung in der unten aufgeführten Liste übereinstimmt. Die Liste ist nicht definitiv. Fehlende oder falsche Artnamen können der WA21 mitgeteilt werden. Der Anzeigename im Webtool ist immer die wissenschaftliche Bezeichnung.

Achtung: Beachten Sie, dass alle Import-Tabellen in Unicode codiert sind (UTF-8).

Tabelle 5-3: Alle Namen, die unter «species» (Tabelle «Individuen») aktuell verwendet werden können (Stand: 17.02.2025). Es braucht jeweils pro Art resp. Zeile nur einen Namen für die korrekte Zuordnung. Der Anzeigename im Tool ist immer die wissenschaftliche Bezeichnung einer Fischart.

Name wissenschaftlich	Name deutsch	Name englisch	Name französisch
Abramis brama	Brachsmen / Brachsen / Blei	Bream	Brème
Alburnoides bipunctatus	Schneider	Spirlin	Spirlin
Alburnus alburnus	Laube / Ukelei	Common bleak	Ablette
Anguilla anguilla	Aal	Eel	Anguille
Barbatula barbatula	Schmerle / Bachschmerle / Bartgrundel	Stone loach	Loche franche
Barbus barbus	Barbe	Barbel	Barbeau
Blicca bjoerkna	Blicke / Güster	White bream	Brème bordelière
Carassius gibelio	Giebel / Silberkarausche	Gibel carp / Purssian carp	Carassin argenté / Carpe prussienne
Chondrostoma nasus	Nase / Nasus	Common nase	Hotu
Coregonus sp.	Felchen	Whitefish	Corégone
Cottus gobio	Groppe / Koppe	Bullhead	Chabot
Cyprinus carpio	Karpfen	Carp	Carpe
Esox lucius	Hecht	Pike	Brochet
Gobio gobio	Gründling	Gudgeon	Goujon
Gymnocephalus cernua	Kaulbarsch	Ruffe	Grémille
Lepomis gibbosus	Sonnenbarsch	Pumpkinseed	Perche soleil
Leuciscus aspius	Rapfen / Schied	Asp	Aspe
Leuciscus leuciscus	Hasel	Common dace	Vandoise
Leuciscus souffia	Strömer	Souffia	Blageaon
Lota lota	Trüsche / Quappe	Burbot	Lotte / Lote / Lote de rivière
Neogobius melanostomus	Schwarzmeergrundel / Schwarzmundgrundel	Round goby	Gobie à taches noires
Oncorhynchus mykiss	Regenbogenforelle	Rainbow trout	Truite arc-en-ciel
Perca fluviatilis	Egli / Flussbarsch / Barsch	Perch	Perche
Phoxinus sp.	Elritze	Minnow	Vairon
Ponticola kessleri	Kesslergrundel	Kesslers goby	Gobie de Kessler
Pseudorasbora parva	Blaubandbärbling	Stone moroko	Pseudorasbora parva
Rutilus rutilus	Rotauge	Roach	Gardon
Salmo trutta	Bachforelle / Atlantische Forelle / Forelle / Seeforelle	Brown trout / Trout	Truite de rivière / Truite de lac / Truite atlantique / Truite fario / Truite
Sander lucioperca	Zander	Pikeperch / Zander / Sander	Sandre / Sandre doré européen
Scardinius erythrophthalmus	Rotfeder	Rudd	Rotengle
Scardinius hesperidicus	Schwarzfeder / Italienische Rotfeder / Scardola padana	Italian rudd	Rotengle italien
Silurus glanis	Wels	Catfish	Silure glane

Fortsetzung Tabelle 5-3.

Name wissenschaftlich	Name deutsch	Name englisch	Name französisch
Squalius cephalus	Alet / Döbel	Chub	Chevesne
Thymallus thymallus	Äsche	Grayling	Ombre
Tinca tinca	Schleie	Tench	Tanche

6 Literatur

AARESTRUP, K., LUCAS, M. & HANSEN, J. 2003. Efficiency of a nature-like bypass channel for sea trout (Salmo trutta) ascending a small Danish stream studied by PIT telemetry. *Ecology of freshwater fish,* 12**,** 160-168.

ARMINGER, P., FISCHER, A., GUMPINGER, C., SCHÖLZEL, N., WILMSMEIER, L. & PETER, A. 2022. Methodenstandard für die Fischzählung mit Reusen. *Merkblatt Sanierung Fischgängigkeit.* Dübendorf: Wasseragenda 21.

BAIER, E. 2016. Erfolgskontrolle der Fischtreppe Steffstep in Kollbrunn. Hinwil: WRH Walter Reist Holding AG.

BAIER, E. 2021. Mustervorlagen Biologische Wirkungskontrolle. *Merkblatt Sanierung Fischgängigkeit.* Dübendorf: Wasseragenda 21.

BENITEZ, J.-P., DIERCKX, A., MATONDO, B. N., ROLLIN, X. & OVIDIO, M. 2018. Movement behaviours of potamodromous fish within a large anthropised river after the reestablishment of the longitudinal connectivity. *Fisheries Research,* 207**,** 140-149.

BREITENSTEIN, M., KIRCHHOFER, A., HOPPLER, L., BRUPPACHER, L. & FLÜCK, M. 2019a. Wiederherstellung der Fischwanderung. Fischaufstiegshilfen beim Haupt- und Dotierkrafwerk, Kraftwerk Rüchlig. Aarau: Kraftwerk Rüchlig AG.

BREITENSTEIN, M., KIRCHHOFER, A., HOPPLER, L., BRUPPACHER, L. & FLÜCK, M. 2019b. Wirkungskontrolle Fischaufstiegshilfe DKW Rupperswil-Auenstein. Bern: Kraftwerke Rupperswil-Auenstein.

DE OLIVEIRA, E. & TETARD, S. USE OF PASSIVE INTEGRATED TRANSPONDER TAGS TO ANALYSE THE BEHAVIOUR OF ELVERS AND YELLOW EELS IN SPECIFIC EEL PASSES AND IN A MULTISPECIES FISHWAY. 11TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOHYDRAULICS, 2016.

DODD, J. R., COWX, I. G. & BOLLAND, J. D. 2017. Efficiency of a nature-like bypass channel for restoring longitudinal connectivity for a river-resident population of brown trout. *Journal of environmental management,* 204**,** 318-326.

DUMOUTIER, Q. & CAUDRON, A. 2017. Barrage du Saut du Moine. Evaluation de la franchissabilité de la passe à poissons. Suivi 2014/2015.: EDF.

FORTY, M., SPEES, J. & LUCAS, M. C. 2016. Not just for adults! Evaluating the performance of multiple fish passage designs at low-head barriers for the upstream movement of juvenile and adult trout Salmo trutta. *Ecological Engineering,* 94**,** 214-224.

KARLSSON, R. 2013. Passage efficiency and migration behavior for adult Atlantic salmon at a Half-Ice Harbor fish ladder.

KIRCHHOFER, A., BREITENSTEIN, M., FLÜCK, M. & HOPPLER, L. 2017. Kraftwerke an der Suhre. Erfolgskontrolle der Fischdurchgängigkeit. Aarau: Sektion Jagd und Fischerei, Kanton Aargau.

KREIENBÜHL, T. 2019. Wirkungskontrolle der sohlengebundenen Krebssperre Pfaffnern (PIT-Tagging). Schlussbericht. Aarau: Kanton Aargau, Abteilung Wald, Sektion Jagd und Fischerei.

KREIENBÜHL, T. & DUCOMMUN, A. 2024. Automatisiertes Webtool zur Auswertung und Bewertung von Wirkungskontrollen an Fischaufstiegshilfen mit PIT-Tagging. *Ecqua GmbH.* Dübendorf: Wasseragenda 21.

KREIENBÜHL, T., MÜLLER, J., MINNIG, S. & ANGST, C. 2024a. Verhalten von Fischen an Biberdämmen. Untersuchungen mit PIT-Tags. *Ecqua GmbH.* Neuenburg: Info fauna - Biberfachstelle.

KREIENBÜHL, T., MÜLLER, J., PETER, A., SCHÖLZEL, N. & DUCOMMUN, A. 2024b. Merkblatt: Methodenstandard für die Wirktungskontrolle von Fischausfstiegshilfen mit PIT-Tagging. Aus der Praxis, für die Praxis. . *Ecqua GmbH.* Dübendorf: Wasseragenda 21.

LAFLEUR, T. 2018. Etude par Pit-Tag du comportement de plusieurs espèces de poissons migrateurs dans différents dispositifs de franchissement. *Dans le cadre du Master 2 Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques.* Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement: EDF Recherche et Développement.

MATONDO, B. N. & OVIDIO, M. 2018. Decreased stock entering the Belgian Meuse is associated with the loss of colonisation behaviour in yellow-phase European eels. *Aquatic Living Resources,* 31**,** 7.

OVIDIO, M., SONNY, D., DIERCKX, A., WATTHEZ, Q., BOURGUIGNON, S., DE LE COURT, B., DETRAIT, O. & BENITEZ, J. 2017. The use of behavioural metrics to evaluate fishway efficiency. *River research and applications,* 33**,** 1484-1493.

PETER, A., ARMINGER, P., FISCHER, A., GUMPINGER, C., WILMSMEIER, L. & SCHÖLZEL, N. 2022. Methodenstandard für die Erhebung des Migrationspotenzials. *Merkblatt Sanierung Fischgängigkeit.* Dübendorf: Wasseragenda 21.

PITSCH, M. & MOCKENHAUPT, B. 2015. Passierbarkeit in unterschiedlichen Abschnitten einer Fischaufstiegsanlage in Schlitzpassbauweise. *Tagungsband zur BAW-& BFG-Kolloquiumsreihe „Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswassertrassen***,** 105-111.

PLOMB, J., ZAUGG, J. & ZAUGG, B. 2020. Contrôle des effets. Rapport d'évaluation du suivi de fonctionnalité et d'efficacité. *Gorges de Court, Droit de force hydraulique n° 53012.* Commune de Court: Adrien Dubuis Kraftwerke AG.

SCHÖLZEL, N., WILMSMEIER, L. & PETER, A. 2020. Schlussbericht PIT-Tagging am KW Schiffmühle und Aue an der Limmat 2017 - 2020. Baden: Limmatwerke AG.

SCHWEVERS, U., ADAM, B. & MÖGELTÖNDER, S. 2020. PIT-Tagging Hochrhein. Bern: Bundesamt für Umwelt, BAFU.

TÉTARD, S., DE OLIVEIRA, E. & LINÉ, K. 2015. Untersuchungen zur Auffindbarkeit und Passierbarkeit der FAA Gambsheim/Rhein für Salmoniden und Cypriniden. *Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen*, 87.

TRAVADE, F., SCHAEFFER, F. & DE OLIVEIRA, E. 2013. Comportement des salmonidés migrateurs franchissant la passe à poisson de Gambsheim (Rhin). *Utilisation de la technique RFID. Rapport EDF R&D LNHE H-P76-2012-01804-FR. FOTO*.

VOLLSET, K. W., LENNOX, R. J., THORSTAD, E. B., AUER, S., BÄR, K., LARSEN, M. H., MAHLUM, S., NÄSLUND, J., STRYHN, H. & DOHOO, I. 2020. Systematic review and meta-analysis of PIT tagging effects on mortality and growth of juvenile salmonids. *Reviews in fish biology and fisheries,* 30, 553-568.

WILMSMEIER, L., ARMINGER, P., FISCHER, A., GUMPINGER, C., SCHÖLZEL, N. & PETER, A. 2022. Methodenstandard für Fischzählungen mit Zählbecken. *Merkblatt Sanierung Fischgängigkeit.* Dübendorf: Wasseragenda 21.

ZAUGG, C., BOLLER, L., DÖNNI, W. & GUTHRUF, J. 2016. Massnahmeumsetzung Sanierung Fischgängigkiet. Handbuch Wirkungskontrollen. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

ZAUGG, C. & KREIENBÜHL, T. 2024a. Wirkungskontrolle der Fischaufstiegshilfe und des Fischschutzes bei der Wasserfassung Bruggwitig, Schils, Kanton St. Gallen. *Aquarius GmbH & Ecqua GmbH.* St. Gallen: St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke (SAK).

ZAUGG, C. & KREIENBÜHL, T. 2024b. Wirkungskontrolle der Fischaufstiegshilfen beim hydraulischen Kraftwerk Beznau, Aare, Kanton Aargau. *Aquarius GmbH & Ecqua GmbH.* Baden: Axpo AG.