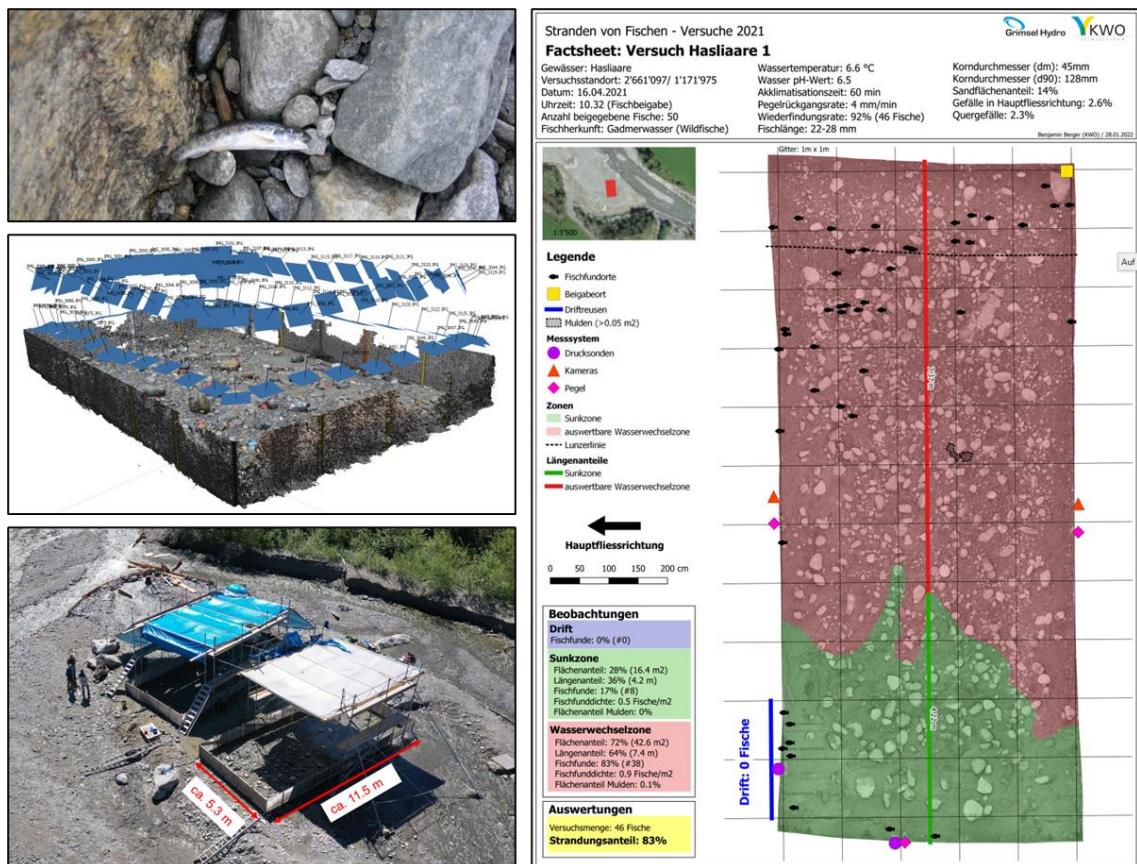


Stranden von Fischen

Strandungsversuche in der Hasliaare mit wild emergierten Bachforellenlarven im Jahr 2021

Fachstelle Ökologie der Kraftwerke Oberhasli AG



Innertkirchen, 21.06.2022

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Impressum

Auftraggeber:	Bundesamt für Umwelt (BAFU), Sektion Wasserkraft, CH-3003 Bern <i>Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)</i>
Auftragnehmer:	Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) / Grimsel Hydro Steffen Schweizer Leiter Fachstelle Ökologie KWO Telefon direkt +41 33 982 20 19 Mobil +41 76 491 61 29 steffen.schweizer@kwo.ch
Autoren (Text):	<i>Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) / Grimsel Hydro</i> Benjamin Berger, Matthias Meyer, Basil Wagner, Robin Hochgesand
Begleitung:	<i>Bundesamt für Umwelt (BAFU)</i> Lorenzo Gorla <i>Fischereiinspektorat (FI) des Kantons Bern</i> Karin Gafner Martin Flück <i>Amt für Wasser und Abfall (AWA) des Kantons Bern</i> Kathrin Schwendemann <i>EAWAG</i> Dr. Nico Bätz <i>Fischbiologe</i> Dr. Peter Büsser
Hinweis:	Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.
Bilder Titelseite:	oben links: Peter Baumann, Limnex AG Übrige Bilder: KWO

Inhalt

1	Einleitung und Auftrag	4
2	Grundlagen und Bewilligungen	6
2.1	Standort zur Durchführung der Strandungsversuche 2021	6
2.2	Herkunft der Versuchsfische	6
2.3	Tierschutzbewilligung	7
3	Methoden	7
3.1	Durchführung von Strandungsversuchen	7
3.1.1	Modifikation der Versuchsanlage	7
3.1.2	Modifikation des Messsystems	9
3.1.3	Modifikation des biologischen Konzepts	10
3.1.4	Modifikation der Factsheets	10
3.2	Auswertungsmethoden für Strandungsversuche	11
3.2.1	Definition von strandungsspezifischen Kenngrößen	11
3.2.2	Modifikationen bei der statistischen Auswertung des Einflusses der Pegelrückgangsrates	12
3.2.3	Modifikationen bei der räumlichen Auswertung des Einflusses der Wasserwechselzone	13
4	Resultate der Strandungsversuche in der Hasliaare	14
4.1	Fischalter	14
4.2	Ergebnisse und Daten	15
4.3	Statistische und räumliche Auswertungen der Versuchsreihen	17
4.3.1	Einordnung in die bestehende Bewertung der Vollzugshilfe "Schwall Sunk – Massnahmen"	17
4.3.2	Einfluss der Pegelrückgangsrates	18
4.3.3	Einfluss des Anteils trockenfallender Fläche	20
4.3.4	Einfluss der Pegelrückgangsrates und der Wasserwechselzone	23
5	Diskussion und Schlussfolgerungen	27
5.1	Versuchsdurchführung und Auswertungen	27
5.2	Ökologische Interpretation der Strandungsversuche von 2021	27
5.3	Strandung in natürlichen Fließgewässersystemen	30
6	Weiteres Vorgehen	31
7	Literatur	32
8	Anhang	34
8.1	Factsheets der Versuche 2021	34
8.2	Bericht zum Stranden von Fischen von 2019	35
8.3	Bachelorarbeit zur Auswertung der Strandungsversuche von 2021 (Robin Hochgesand)	36

1 Einleitung und Auftrag

Mit der im Jahr 2011 in Kraft getretenen Revision des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) sollen wesentlichen Beeinträchtigungen, die durch künstliche Abflussregime verursacht werden, mit verhältnismässigem Aufwand bis 2030 behoben werden. Dafür sind in erster Linie bauliche Massnahmen vorgesehen. Schweizweit wurden rund 100 Kraftwerksanlagen, die eine wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall Sunk verursachen, als sanierungspflichtig ausgeschieden.

Um die erforderlichen Untersuchungen hinsichtlich Schwall Sunk effizient, zielgerichtet und schweizweit vergleichbar vorzunehmen, hat der Bund eine Vollzugshilfe erarbeitet. In dieser Vollzugshilfe "Schwall Sunk – Massnahmen" (VZH-M) sind verschiedene Indikatoren gelistet, mit deren Hilfe der Einfluss von Schwall Sunk auf das Gewässer untersucht werden kann.

Wenn infolge einer Reduktion der turbinierten Wassermenge der Abfluss im Vorfluter abnimmt, können vorher benetzte Flächen trockenfallen (diese Flächen werden als Wasserwechselzonen bezeichnet). Dabei besteht das Risiko, dass aquatische Organismen, wie Fischlarven, stranden. In der VZH-M wird dieser Aspekt durch den Indikator „Stranden von Fischen“ berücksichtigt. Die Bewertung dieses Indikators hängt sowohl von der Pegelrückgangsrate als auch vom Ausmass der Wasserwechselzone ab. Zudem werden für die verschiedenen Altersstadien von Bachforellen und Äschen unterschiedliche Vorgaben zum Erreichen einer bestimmten Bewertungsklasse verwendet.

Die Herleitung des Indikators "Stranden von Fischen" basiert auf Strandungsversuchen, die von der BOKU Wien in Versuchsrinnen in Lunz mit Fischlarven aus einer Brutanstalt durchgeführt wurden (vgl. Auer et al. 2014).

Da bei der Herleitung der Bewertungsklassen des Indikators "Stranden von Fischen" vor allem die Versuchsergebnisse von Auer et al. (2014) verwendet wurden, drängte sich die Frage auf, ob vergleichbare Ergebnisse und Vorgaben hinsichtlich der Pegelrückgangsraten bei Versuchen mit Wildfischen unter realen Bedingungen im freien Gewässer resultieren und inwieweit eine grössere Wasserwechselzone das Strandungsrisiko vergrössern kann.

Die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) haben eine der ersten Schwall Sunk Sanierungen der Schweiz an der Hasliaare umgesetzt. Zur Schwalldämpfung wurde im Jahr 2016 ein Beruhigungsbecken als Zwischenspeicher zwischen den Kraftwerken und der Wasserrückgabe in Betrieb genommen. Der Zwischenspeicher inkl. Stollen hat ein Volumen von 80'000 m³ (Schweizer et al. 2016). Mit der Realisierung des Beruhigungsbeckens und des Stollens in Innertkirchen ist die KWO in der Lage, die Geschwindigkeiten bei den Abflussänderungen in der Hasliaare deutlich zu dämpfen. Gemäss Sanierungsverfügung erfolgt über mehrere Jahre eine Wirkungskontrolle. Die Ergebnisse der 1-Jahreswirkungskontrolle liegen bereits vor und sind in Schweizer et al. (2021) publiziert.

Die Sektion Wasserkraft des Bundesamts für Umwelt (BAFU) beauftragte die Fachstelle Ökologie der KWO zusätzliche gewässerökologische Fragestellungen an der Schwall Sunk sanierten Hasliaare zu untersuchen. Die erweiterten Untersuchungen, neben der standardisierten biologischen Wirkungskontrolle, sind in dem Projekt "Monitoring plus" zusammengefasst. In einem Projektteil davon wurde das Stranden von Fischen mit Feldversuchen im Jahr 2019 vertieft untersucht (Schlussbericht im Anhang 8.2).

In diesem Projektteil wurde eine Methode zur Durchführung von Strandungsversuchen in freien Fliessgewässern entwickelt und insgesamt 21 Strandungsversuche nach dieser Methode durchgeführt (schematische Darstellung des Versuchsaufbaus, vgl. Abb. 1). Dabei wurden Versuchsflächen verwendet, die eine maximale Wasserwechselzone von rund 6 m ermöglichten. Bei diesen Versuchen wurden Pegelrückgangsraten von 0.18 cm/min bis 0.92 cm/min untersucht (vgl. Anhang 8.2).

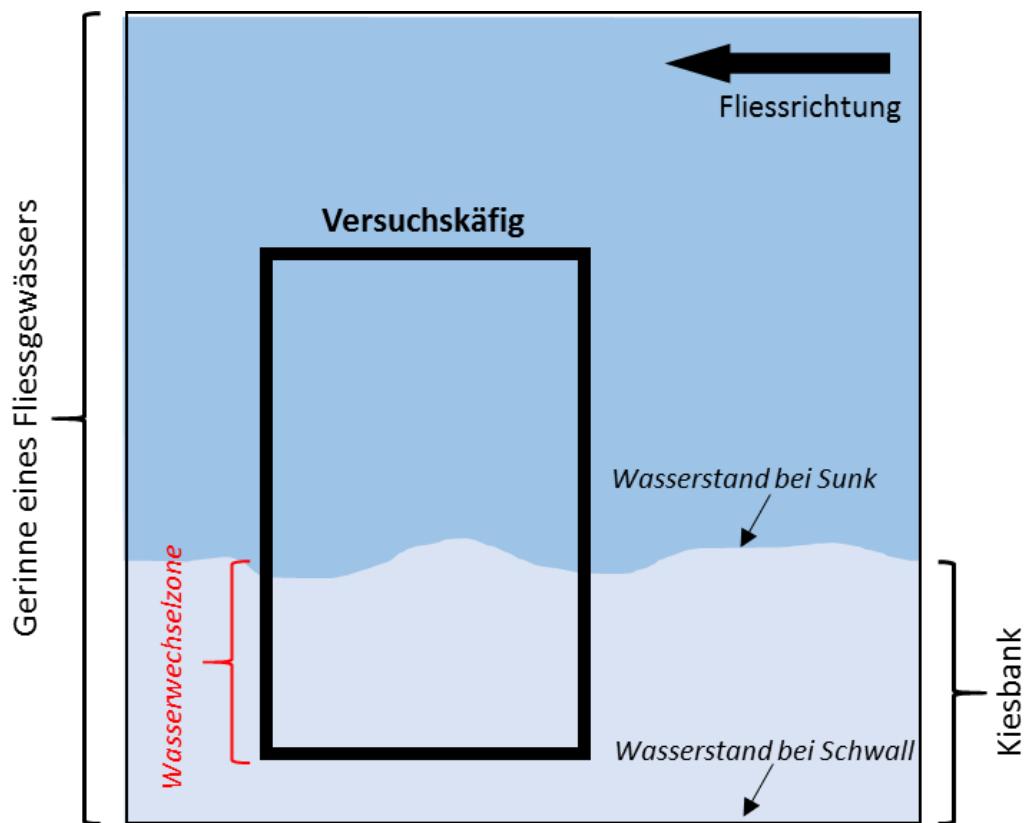


Abb. 1: schematische Darstellung der Versuchsanordnung nach Anhang 8.2

Bei den Ergebnissen der Versuche von 2019 konnte ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Länge der Wasserwechselzone und einer damit verbundenen (deutlichen) Erhöhung des Strandrungsrisikos festgestellt werden. Bei den anderen untersuchten Parametern, wie der Pegelrückgangsrates, konnte dagegen lediglich ein geringer Einfluss auf das Stranden von Forellenlarven nachgewiesen werden. Dies kann wahrscheinlich darauf zurückgeführt werden, dass die Bandbreite der untersuchten Pegelrückgangsrates relativ gering war (vgl. Anhang 8.2).

Daher wurde aus den Versuchen von 2019 das Fazit gezogen, dass die Durchführung von weiteren Strandrungsversuchen mit einer grösseren Wasserwechselzone und mit einer deutlich grösseren Bandbreite an Pegelrückgangsrates, für ein besseres Prozessverständnis für das Stranden von Fischen notwendig sind. Die Sektion Wasserkraft des Bundesamts für Umwelt (BAFU) beauftragte daraufhin die Fachstelle Ökologie der KWO, die Strandrungsversuche von 2019 weiterzuführen und erneut 18 Strandrungsversuche im Jahr 2021 mit vergrößerter Wasserwechselzone und breiterem Pegelrückgangsspektrum durchzuführen.

Da in diesem Auftrag keine Auswertung der Strandrungsversuche vorgesehen war, wurde in Absprache mit dem Auftraggeber die Auswertung der Wasserwechselzonen und Pegelrückgangsrates durch eine Bachelorarbeit unterstützt. Die Fachstelle Ökologie der KWO übernahm dabei die fachliche Führung und hat die Auswertungen eng begleitet und kontrolliert.

Der vorliegende Bericht dokumentiert sowohl das Vorgehen bei den 18 Strandrungsversuchen als auch die Resultate und Auswertungen.

2 Grundlagen und Bewilligungen

2.1 Standort zur Durchführung der Strandungsversuche 2021

Die Strandungsversuche im Jahr 2021 wurden in Absprache mit dem Auftraggeber in der Restwasserstrecke in Innerkirchen durchgeführt (vgl. Abb. 2). Dieser Standort im Geschiebesammler oberhalb der Gemeinde Innerkirchen ([2661107](#), [1171970](#)) hat sich bereits bei den Versuchen im Jahr 2019 bewährt (vgl. Anhang 8.2, Versuchsreihe 2). Die Regulierung der Pegelrückgangsraten konnte wie bereits im Jahr 2019 durch ein Rückhaltesystem mit integriertem Regulierorgan vorgenommen werden. Dieses Prinzip hat sich bewährt und wurde analog umgesetzt (vgl. Anhang 8.2). Der Aufbau der Versuchsanlage inkl. aller notwendigen Anlagenteile (vgl. Abb. 2 und Kap. 3.1.1) wurde hinsichtlich des Hochwasserschutzes vorgängig mit dem Oberingenieurskreis (OIK) abgeklärt. Die Versuchsanlage und der Durchführungsstandort wurden unter der Voraussetzung, dass ein Ausbau bei angekündigten extremen Hochwasserereignissen erfolgt, genehmigt.



Abb. 2: Versuchsanlage und Regulierbauwerk der Strandungsversuche 2021 im Geschiebesammler oberhalb der Gemeinde Innerkirchen.

2.2 Herkunft der Versuchsfische

Für die Versuche wurden analog zu den Versuchen im Jahr 2019 (vgl. Anhang 8.2) Wildfische aus der Restwasserstrecke des Gadmerwassers aus der Fuhrenebene verwendet. Dieser Gewässerabschnitt des Gadmerwassers hat ein hohes Reproduktionsaufkommen. Des Weiteren kann sichergestellt werden, dass für die Strandungsversuche keine Nachkommen der stark geschützten Lebensform Seeforelle verwendet werden.

Auf die Verwendung von Zuchtfischen wurde für die Strandungsversuche verzichtet, weil Fische aus Zuchtbetrieben kein an Strömung angepasstes Leistungsvermögen haben und deshalb auch das arttypische Verhalten bei Strömung fraglich ist (Adam & Lehmann 2011).

Die Versuchsfische werden mittels Elektobefischung gefangen. Diese Methode ist vergleichsweise schonend. Die Fische werden dabei, solange sie nicht in Berührung mit der Anode kommen, physisch nicht geschädigt und der während dem Fang entstandene Stress wird relativ rasch abgebaut, so dass die Brütlinge spätestens nach wenigen Stunden keine Verhaltensauffälligkeiten mehr zeigen.

Wer im Kanton Bern ein Elektrofangergerät zum Fang von Wildfischen einsetzen möchte, muss gemäss Direktionsverordnung über die Fischerei (FIDV) Art. 7 beim zuständigen Fischereiaufseher ein Gesuch um eine Bewilligung einreichen. Diese wurde für die entsprechenden Untersuchungszeiträume erteilt.

Nach den Versuchen wurden die Fische wieder an ihre Entnahmestelle im Gewässer zurückgebracht.

2.3 Tierschutzbewilligung

Nach Abklärungen von Dr. Peter Büsser mit dem Amt für Veterinärwesen des Kantons Bern wurden die Strandungsversuche nicht als Tierversuche eingestuft.

3 Methoden

3.1 Durchführung von Strandungsversuchen

Grundsätzlich wurden die Strandungsversuche nach der im Jahr 2019 (vgl. Anhang 8.2) entwickelten Methode zur Durchführung von Strandungsversuchen in freien Fliessgewässern durchgeführt. Die Durchführung erfolgte unter der Verantwortlichkeit der selben Personen wie im Jahr 2019, um die Integrität der Versuche zu gewährleisten.

Aufgrund von Erkenntnissen aus den bisherigen Erhebungen und auftragsspezifischen Vorgaben wurden jedoch verschiedene Modifikationen am Untersuchungsdesign vorgenommen. Diese Modifikationen werden nachfolgend beschrieben.

3.1.1 Modifikation der Versuchsanlage

Gemäss Auftrag (vgl. Kap.1) sollen die Strandungsversuche mit einer vergrösserten Wasserwechselzone durchgeführt werden. Deshalb wurde die Versuchsfläche entsprechend auf rund 11 m x 5 m vergrössert (vgl. In Abbildung 3 ist ersichtlich, dass die Versuchsfläche im Vergleich zu den Strandungsversuchen im Jahr 2019 mehr als doppelt so gross ist. Auch die maximal zu untersuchende Länge der Wasserwechselzone vergrössert sich von rund 6 m auf rund 11 m.

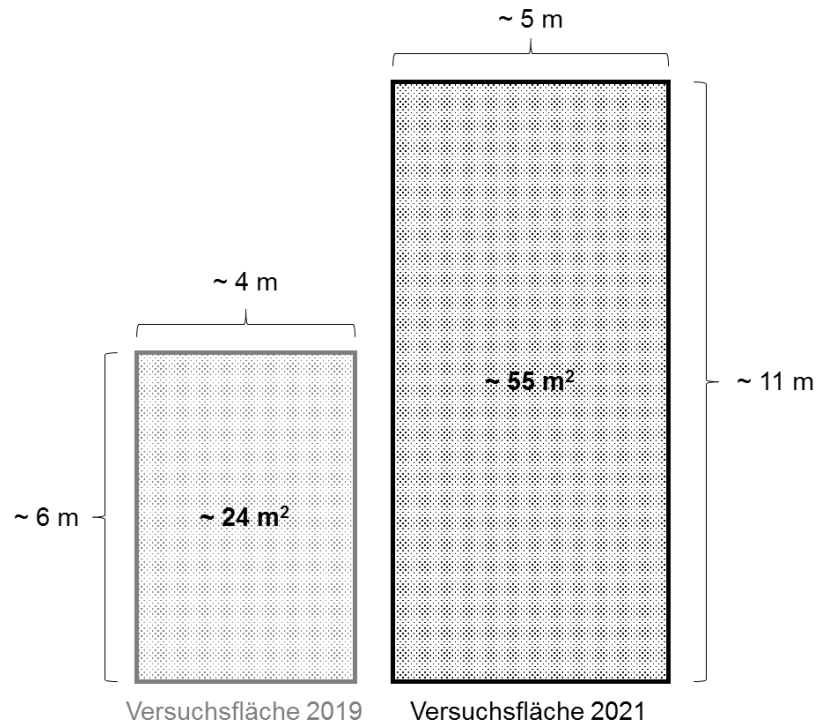


Abb. 3: Vergleich der Versuchsflächen von 2019 (links) und 2021 (rechts).

Da durch diese Vergrößerung die Einrichtung der Versuchsanlage sehr aufwändig wird, wurde in Absprache mit dem Projektteam entschieden, zwei Anlagen für die ganzen 18 Versuche fest einzubauen und nicht wie bis anhin bei jedem Versuch eine neue Installation vorzunehmen (vgl. Abb. 4). Durch den abwechselungsweisen Einsatz der Versuchsflächen können eventuell nicht gefundene, tote Fische von vorhergehenden Versuchen anhand des Aspektes/Aussehens der Kiemen identifiziert werden. Dadurch ist die korrekte Erfassung des Strandrungsanteils jederzeit gewährleistet.

Neben dem geringeren Einbauaufwand haben fest eingebaute Versuchsanlagen auch den Vorteil, dass die Bedingungen konstanter sind. Um die Beschattung bei dieser Anlagengrösse zu gewährleisten, wurden zwei Gerüste aufgestellt an denen Planen befestigt werden können. Schliesslich wurde auch die Morphologie innerhalb der Anlage mit einem Bagger gestaltet und nachträglich von Hand weiter modelliert.



Abb. 4: Flugaufnahme der beiden Versuchsanlagen

3.1.2 Modifikation des Messsystems

In Tabelle 1 werden die vorgenommenen Modifikationen am Messsystem aufgeführt und beschrieben. In Abbildung 5 sind diese Modifikationen bildlich dargestellt. Auf die Messung bzw. Dokumentation von Fließgeschwindigkeiten mit PTV und potentiellen Fischunterständen wurde bei den Strandungsversuchen im Jahr 2021 verzichtet.

Tab. 1: Modifikationen des Messsystems

Untersuchungsraster:	Aufgrund der vergrößerten Versuchsfläche wurde das Untersuchungsraster entsprechend angepasst (vgl. Abb. 5, farbige Punkte).
Gefälle:	Das Gefälle in Hauptfließrichtung wird anhand von fünf Einzelmessungen (vgl. Abb. 5, blaue Linien) und das Quergefälle anhand von neun Einzelmessungen (vgl. Abb. 5, pinke Linien) erhoben. Aus den Einzelmessungen wird jeweils der Mittelwert gebildet.
Sandflächen & Korngrößenverteilung:	Die Versuchsfläche wird neu in fünf Quadranten anstelle von nur vier eingeteilt, aus denen jeweils ein Quadrat von 1x1 m für die Bestimmung der Sandfläche und Korngrößen verwendet wird.
Bestimmung der Pegelrückgangsraten:	Bei der Bestimmung der Pegelrückgangsrate des Versuches wurde bei der Definition des Startpegels eine minimale Anpassung vorgenommen. Der Startpegel ist neu das 10% Perzentil des Pegels während der Akklimatisationsphase und nicht mehr der Minimalwert. Dadurch reagiert die Auswertungsmethode weniger auf Fehlmesswerte und ist insgesamt robuster. Die Unterschiede bei der Bestimmung der Pegelrückgangsrate sind ohne das Vorhandensein von Fehlmesswerten minimal.

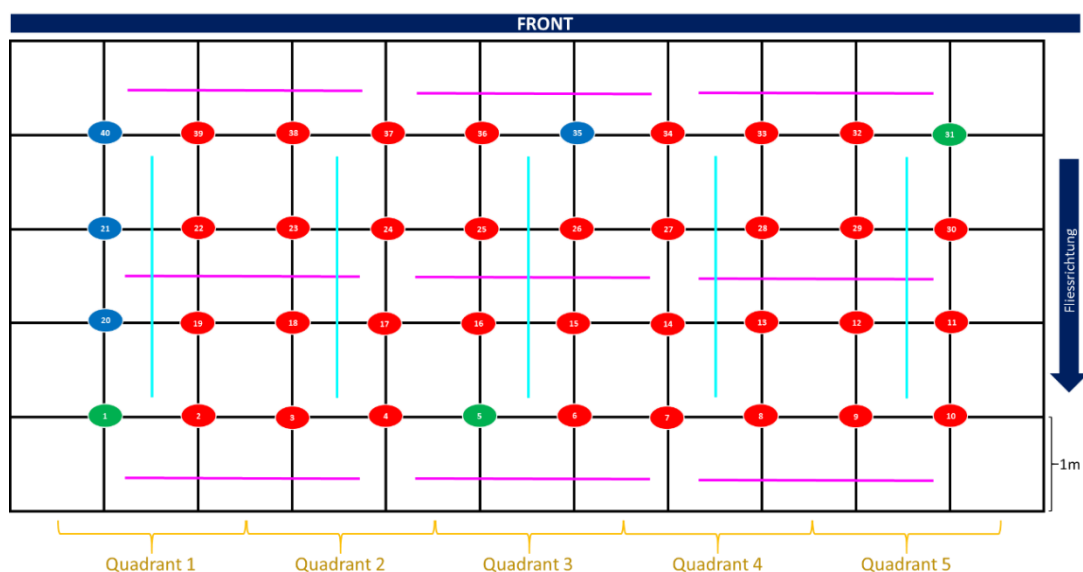


Abb. 5: neues Untersuchungsraster in der vergrößerten Versuchsanlage

3.1.3 Modifikation des biologischen Konzepts

In Tabelle 2 werden die vorgenommenen Modifikationen am biologischen Konzept aufgeführt und beschrieben.

Tab. 2: Modifikationen des biologischen Konzepts

Beigabemenge:	Die Beigabemenge wurde auch bei der vergrößerten Versuchsfläche in Absprache mit dem Projektteam auf 50 Fische definiert. Aufgrund des verbreiterten Versuchskäfigs hat sich die Fläche des potentiellen Habitats in der Akklimatisationsphase geringfügig um 20% vergrößert.
Fischsuche:	Es wird die gleiche Fischsuche durchgeführt, wie bei den Strandungsversuchen aus dem Jahr 2019 (vgl. Anhang 8.2). Jedoch wird aufgrund der grösseren Versuchsfläche die maximale Suchzeit auf eine Stunde festgelegt (ohne eine fundierte Fischsuche wären alle Fische gestorben).
Bestimmung Driftanteil	Die Bestimmung des Driftanteils erfolgt analog der Versuchsreihe 2 von 2019 (vgl. Anhang 8.2) mit einer Driftreuse.

3.1.4 Modifikation der Factsheets

Für jeden Versuch wird ein Factsheet gemäss Anhang 8.2 erstellt, auf dem alle wichtigen Daten zusammengefasst werden (vgl. Abb. 6). Das Factsheet beinhaltet neu auch die Auswertungen zum Strandungsanteil.

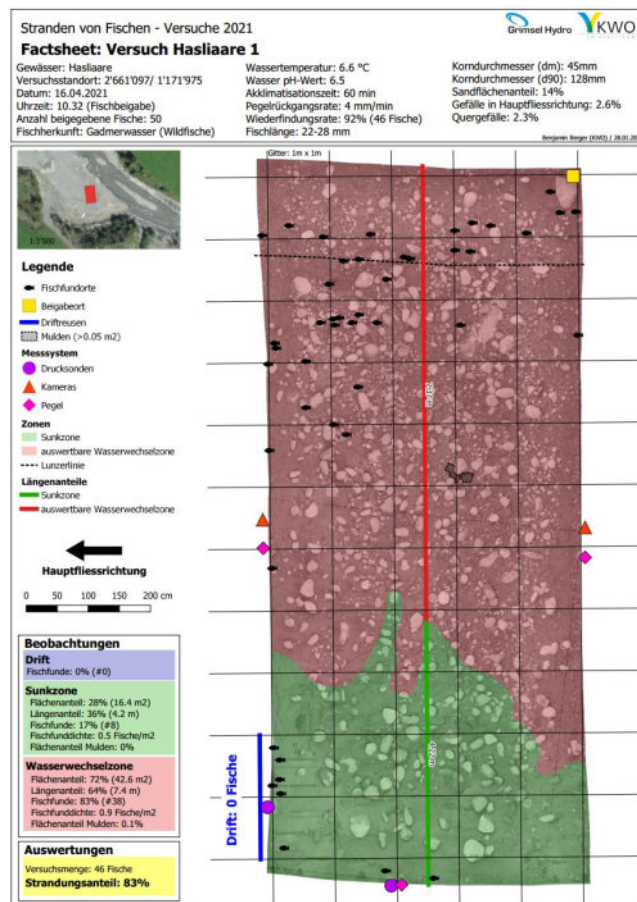


Abb. 6: Beispiel eines Factsheets.

3.2 Auswertungsmethoden für Strandungsversuche

Die Auswertungsmethoden wurden grösstenteils von 2019 (vgl. Anhang 8.2) übernommen. Die Durchführung erfolgte unter der Verantwortlichkeit der selben Personen wie im Jahr 2019, um die Integrität der Versuche zu gewährleisten.

Grundsätzlich wird bei den Auswertungen auf die Pegelrückgangsrates und Wasserwechselzone fokussiert. Die Methode zur Einordnung in die bestehende Bewertung der VZH-M wird identisch umgesetzt und auf die räumliche Auswertung der Fliessgeschwindigkeiten wird verzichtet. Sowohl bei der statistischen als auch bei der räumlichen Analyse des Einflusses der Wasserwechselzone wurden Modifikationen vorgenommen. Diese Modifikationen werden nachfolgend offengelegt.

Die Ausführung der Auswertungen der Strandungsversuche im Jahr 2021 erfolgte im Rahmen der Bachelorarbeit von Robin Hochgesand (vgl. Anhang 8.3) unter enger Begleitung der zuständigen Personen der Fachstelle Ökologie der KWO.

3.2.1 Definition von strandungsspezifischen Kenngrössen

Hier werden die Definitionen der strandungsspezifischen Kenngrössen gezeigt. Diese Kenngrössen sind entscheidend zur Klassierung der Versuchsfische und bilden die Grundlage für die statistische Auswertung. Die Definitionen sind identisch mit denen von 2019 (vgl. Anhang 8.2).

Beigabemenge B_M = Anzahl in die Versuchsanlage beigegebene Fische. Bei allen Versuchen werden 50 Fische beigegeben.

Wiederfindemenge W_M = Anzahl der wiedergefundenen Fische nach dem Suchprozess.

Wiederfindungsrate W_R [%] = Anteil der wiedergefundenen Fische nach dem Suchprozess.

$$W_R = \frac{W}{B} * 100 \text{ [%]}$$

Driftmenge D_M = Anzahl Fische die beim Versuch in der Driftrinne oder der Driftreuse gefunden werden.

Driftanteil D_A [%] = Anteil der verdrifteten Fische an der Wiederfindemenge.

$$D_A = \frac{D}{W} * 100 \text{ [%]}$$

Versuchsmenge V_M = Anzahl Fische, die für die Auswertung des Strandungsversuches genutzt werden können

$$V_M = W_M - D_M$$

Strandungsmenge Str_M = Anzahl gestrandeter Fische in der Wasserwechselzone

Strandungsanteil Str_A [%] = Anteil an gestrandeten Fischen in der Wasserwechselzone. Dabei wird die Versuchsmenge verwendet.

$$Str_A = \frac{Str_M}{V_M} * 100 \text{ [%]}$$

Sunkmenge $Sunk_M$ = Anzahl Fische, die es geschafft haben, in der Sunkzone zu bleiben (wurden nicht verdriftet und sind nicht gestrandet).

Sunkanteil ***Sunk_A*** [%] = Anteil Fische in der Sunkzone. Dabei wird die Versuchsmenge verwendet

$$Sunk_A = \frac{Sunk_M}{V_M} * 100 \text{ [%]}$$

Mortalitätsmenge ***M_M*** = Anzahl Fische bei denen beim Suchprozess der Tod festgestellt wurde.

Mortalitätsrate ***M_R*** [%] = Anteil toter Fische an der Beigabemenge.

$$M_R = \frac{M_M}{B_M} * 100 \text{ [%]}$$

3.2.2 Modifikationen bei der statistischen Auswertung des Einflusses der Pegelrückgangsrates

Die Auswertung des Einflusses der Pegelrückgangsrates erfolgt analog der Methode von 2019 (vgl. Anhang 8.2) mittels deskriptiver Statistik. Dabei werden die Daten als Streudiagramme und Boxplots dargestellt und interpretiert. Der Aufbau eines Boxplots ist in Abbildung 7 illustriert und entspricht der Definition von 2019 (vgl. Anhang 8.2).

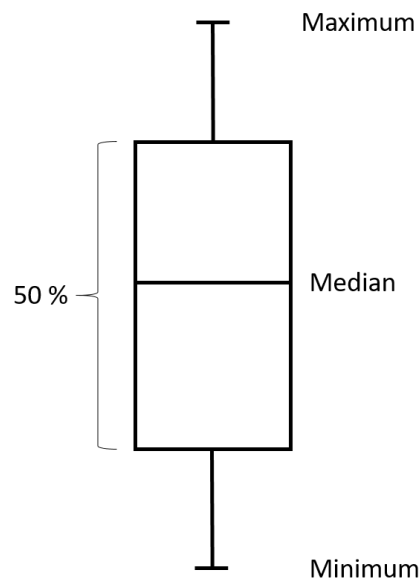


Abb. 7: Aufbau eines Boxplots.

Die Gruppierung der Strandungsversuche anhand der Pegelrückgangsrates für die Boxplots wird gegenüber 2019 (vgl. Anhang 8.2) modifiziert. In Tabelle 3 wird die Gruppeneinteilung für die Darstellung der Boxplots gezeigt.

Tab. 3: Definition der Gruppen und Gruppeneinteilungskriterien

Gruppe	Kriterium für Gruppeneinteilung
Gruppe 1	Pegelrückgangsrates < 0.3 cm/min
Gruppe 2	Pegelrückgangsrates ≥ 0.3 cm/min
Gruppe 3	Pegelrückgangsrates < 1.0 cm/min
Gruppe 4	Pegelrückgangsrates ≥ 1.0 cm/min

3.2.3 Modifikationen bei der räumlichen Auswertung des Einflusses der Wasserwechselzone

Die räumliche Auswertung des Einflusses der Wasserwechselzone wird analog 2019 (vgl. Anhang 8.2) anhand der Summenkurven des Strandungsanteils vorgenommen. Als Modifikation zu 2019 (vgl. Anhang 8.2) werden die Diagramme mit den Summenkurven zusätzlich auch als Boxplots anhand des Flächenanteils der Wasserwechselzone und der Wasserwechselzone in Metern dargestellt. Die Gruppierung ist in Tabelle 4 gezeigt.

Tab. 4: Definition der Gruppen und Gruppeneinteilungskriterien

Gruppe	Kriterium Flächenanteil	Kriterium WWZ in Metern
Gruppe 1	< 10%	< 1 m
Gruppe 2	10 - 20%	1 – 2 m
Gruppe 3	20 - 30%	2 – 3 m
Gruppe 4	30 - 40%	3 – 4 m
Gruppe 5	40 - 50%	4 – 5 m
Gruppe 6	≥ 50%	≥ 5 m

Schliesslich werden die gemäss Tabelle 4 als Boxplots dargestellten Summenkurven noch gemäss der Gruppeneinteilung aus Tabelle 3 für die Pegelrückgangsraten unterteilt und dargestellt.

4 Resultate der Strandungsversuche in der Hasliaare

Die Versuchsreihe aus dem Jahr 2021 besteht aus insgesamt 18 Versuchen, die im Zeitraum vom 16. April bis 28. Mai 2021 durchgeführt wurden. Nachfolgend werden die Ergebnisse dieser Versuchsreihe gezeigt.

4.1 Fischalter

Zur Bestimmung des Fischalters "Emergenzpeak (850°d)" für die 18 Strandungsversuche in 2021, erfolgten zur Forellenlaichzeit im Jahr 2020 Laichgrubenkartierung auf der Fuhrenebene. Die ersten Laichgruben konnten am 07.11.2020, die letzten am 26.11.2020 dokumentiert werden. Bei der Begehung am 03.12.2020 wurden keine neuen Laichgruben bestätigt. Das Peak Spawning wurde auf den 20.11.2020 datiert. Durch die Daten von Temperaturloggern im Gadmerwasser konnte der Emergenzpeak für die jeweiligen Eiablagezeitpunkte ermittelt werden (siehe Tab. 5).

Tab. 5: Herleitung des Emergenzpeaks für die jeweiligen Eiablagezeitpunkte anhand von Temperaturdaten.

Eiablage Datum	Emergenzzeitpunkt 850°d
01. November 2020	23. März 2021
15. November 2020	08. April 2021
20. November 2020	13. April 2021
26. November 2020	18. April 2021

In dem Gewässerabschnitt, wo die Versuchsfische entnommen werden sollten, konnten ab dem 13.04.2021 ausreichend emergierte Forellenlarven nachgewiesen werden. Alle dokumentierten Forellenlarven entsprachen gemäss Meyer et al. (2018) der Kategorie 3 – Forellenlarven ohne Dottersack. Der erste Strandungsversuch wurde am 16.04.2021 bei einem Fischalter zwischen 1001°d (Eiablagedatum: 01.11.2021) und 842°d (Eiablagedatum: 26.11.2021) realisiert. In der Tabelle 6 ist das Datum des jeweiligen Strandungsversuchs mit dem errechneten Fischalter aufgeführt.

Aufgrund der Altersberechnung kann das Fischalter für die Versuchsreihe 2021 auf wenige Tage bis Wochen nach der Emergenz bestimmt werden.



Abb. 8: Versuchsfische für den Strandungsversuch bei der Befischung vom 13.04.2021. Die Forellenlarven entsprechen gemäss Meyer et al. (2018) der Kategorie 3 – ohne Dottersack.

Tab. 6: Die Termine der Strandungsversuche in der Restwasserstrecke 2021 mit dem jeweiligen errechneten Fischalter.

Datum	Versuch	Tagesgrade (Eiablage am 01.11.2020)	Tagesgrade (Eiablage am 15.11.2020)	Tagesgrade (Eiablage am 20.11.2020)	Tagesgrade (Eiablage am 26.11.2020)
16.04.2021	1	1001	903	874	842
21.04.2021	2	1034	936	907	875
23.04.2021	3	1048	951	921	889
27.04.2021	4	1077	980	950	918
28.04.2021	5	1084	987	958	925
29.04.2021	6	1091	993	964	932
04.05.2021	7	1123	1026	996	964
09.05.2021	8	1156	1059	1029	997
16.05.2021	9	1201	1104	1075	1043
17.05.2021	10	1209	1111	1082	1050
18.05.2021	11	1216	1119	1089	1057
19.05.2021	12	1223	1125	1096	1064
20.05.2021	13	1230	1133	1103	1071
21.05.2021	14	1237	1140	1110	1078
25.05.2021	15	1267	1170	1140	1108
26.05.2021	16	1274	1177	1148	1115
28.05.2021	17	1290	1192	1163	1131
28.05.2021	18	1290	1192	1163	1131

4.2 Ergebnisse und Daten

In den Tabellen 7 und 8 sind die strandungsspezifischen Kenngrössen und die Messergebnisse der 18 Strandungsversuche zusammengefasst.

Die durchschnittliche Wiederfindungsrate liegt bei 98% (diese Fische wurden nach den Versuchen zurück ins Gadmerwasser gebracht, vgl. Kap. 2.2). Beim Suchprozess wurden über alle 18 Versuche insgesamt 18 Fische tot gefunden, was 2% der Versuchsfische entspricht. Weiter muss davon ausgegangen werden, dass der grössere Anteil der Fische, die nicht gefunden werden konnten (21 Fische), ebenfalls nicht überleben konnten. Der Strandungsanteil lag bei den Versuchen zwischen 0% und 100%.

Tab. 7: strandungsspezifische Kenngrössen für die Versuche 2021

Versuch	Beigabemenge (B_M)	Wiederfindemenge (W_M)	Wiederfindungsrate (W_R) [%]	Driftmenge (D_M)	Driftanteil (D_A) [%]	Versuchsmenge (V_M)	Strandungsmenge (Str_M)	Strandungsanteil (Str_A) [%]	Sunkmenge ($Sunk_M$)	Sunkanteil ($Sunk_A$) [%]	Mortalitätsmenge (M_M)	Mortalitätsrate (M_R) [%]
V1	50	46	92%	0	0%	46	38	83%	8	17%	5	10%
V2	50	48	96%	0	0%	48	48	100%	0	0%	0	0%
V3	50	43	86%	0	0%	43	23	53%	20	47%	0	0%
V4	50	48	96%	0	0%	48	12	25%	36	75%	1	2%
V5	50	50	100%	1	2%	49	4	8%	45	92%	1	2%
V6	50	50	100%	0	0%	50	50	100%	0	0%	0	0%
V7	50	48	96%	0	0%	48	23	48%	25	52%	0	0%
V8	50	47	94%	1	2%	46	38	83%	8	17%	3	6%
V9	50	50	100%	1	2%	49	4	8%	45	92%	3	6%
V10	50	50	100%	1	2%	49	25	51%	24	49%	0	0%
V11	50	49	98%	0	0%	49	25	51%	24	49%	0	0%
V12	50	50	100%	1	2%	49	39	80%	10	20%	0	0%
V13	50	50	100%	0	0%	50	0	0%	50	100%	0	0%
V14	50	50	100%	0	0%	50	49	98%	1	2%	1	2%
V15	50	50	100%	0	0%	50	7	14%	43	86%	3	6%
V16	50	50	100%	0	0%	50	10	20%	40	80%	0	0%
V17	50	50	100%	0	0%	50	34	68%	16	32%	0	0%
V18	50	50	100%	0	0%	50	35	70%	15	30%	1	2%

Die Pegelrückgangsraten liegen zwischen 0.02 cm/min und 4.18 cm/min. Diese Pegelrückgangsraten werden gemäss VZH-M mit "sehr gut" bis "schlecht" bewertet. Der Anteil der Wasserwechselzone liegt zwischen 67% und 95%. Gemäss VZH-M wird dieser Anteil mit "schlecht" bewertet.

Tab. 8: Messergebnisse der abiotische Parameter bei den Versuchen 2021

Versuch	Wassertemperatur (°C)	pH-Wert	PRR Sonde 1 (cm/min)	PRR Sonde 2 (cm/min)	PRR (cm/min)	Korndurchmesser d_{90} [mm]	Korndurchmesser d_{50} [mm]	Sandfläche [%]	Gefälle Hauptflussrichtung [%]	Quergefälle [%]	Sunkzone [m ²]	WWZ [m ²]	Untersuchungsfläche [m ²]	Sunkzone [%]	WWZ [%]	Fläche Mulden in WWZ [m ²]	Flächenanteil Mulden an WWZ [%]
V1	6.6	6.5	0.42	0.41	0.42	45	128	14%	2.6	2.3	16.4	42.6	59.0	28%	72%	0.05	0.1%
V2	6.7	7	1.99	1.81	1.90	42	129	12%	2.6	2.1	19.3	39.2	58.5	33%	67%	1.00	2.5%
V3	6.9	6.5	0.39	0.35	0.37	51	158	11%	1.4	1.7	17.6	43.2	60.7	29%	71%	1.20	2.8%
V4	7.0	7	0.10	0.10	0.10	73	196	19%	2.1	2.9	16.5	41.9	58.3	28%	72%	0.72	1.7%
V5	8.0	7	0.05	0.05	0.05	59	167	11%	2.6	2.4	16.9	43.7	60.6	28%	72%	1.03	2.4%
V6	6.8	7	4.18	4.17	4.18	60	184	6%	2.8	2.1	6.3	52.4	58.6	11%	89%	1.36	2.6%
V7	6.8	6.5	0.16	0.16	0.16	65	188	18%	2.4	2.6	15.8	42.9	58.7	27%	73%	1.33	3.1%
V8	6.9	6.5	1.07	1.07	1.07	48	141	16%	2.4	2.3	16.4	44.2	60.5	27%	73%	1.43	3.2%
V9	6.7	6.5	0.09	0.08	0.08	60	170	20%	2.1	2.4	11.8	46.7	58.5	20%	80%	1.17	2.5%
V10	7.4	6.5	0.61	0.61	0.61	53	139	31%	2.6	1.9	8.9	49.2	58.1	15%	85%	1.76	3.6%
V11	7.8	6.5	0.56	0.56	0.56	68	178	23%	2.1	2.2	16.1	44.4	60.5	27%	73%	0.87	2.0%
V12	6.3	6.5	3.98	3.35	3.66	69	197	43%	2.8	1.9	3.9	53.9	57.7	7%	93%	0.73	1.4%
V13	8.5	6.5	0.02	0.02	0.02	53	153	18%	1.6	2.1	14.9	45.6	60.5	25%	75%	0.43	0.9%
V14	7.3	6.5	2.60	2.62	2.61	65	149	36%	3.0	1.9	5.9	52.1	58.0	10%	90%	0.46	0.9%
V15	7.8	6.5	0.13	0.12	0.13	74	163	51%	2.4	1.7	9.7	48.4	58.0	17%	83%	1.05	2.2%
V16	7.5	6.5	0.09	0.08	0.09	60	138	24%	2.6	1.7	6.5	51.4	57.9	11%	89%	0.78	1.5%
V17	6.4	6.5	1.51	1.21	1.36	82	180	47%	2.6	2.1	2.6	55.4	58.0	5%	95%	0.58	1.0%
V18	8.4	6.5	0.85	0.70	0.78	60	146	37%	2.6	1.6	3.4	54.7	58.1	6%	94%	0.18	0.3%

4.3 Statistische und räumliche Auswertungen der Versuchsreihen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der statistischen und räumlichen Auswertungen der durchgeführten Strandungsversuche gezeigt. Die Auswertungen wurden im Rahmen der Bachelorarbeit von Robin Hochgesand (vgl. Anhang 8.3) durchgeführt. Die Fachstelle Ökologie hat die Auswertungen stets eng begleitet und kontrolliert.

4.3.1 Einordnung in die bestehende Bewertung der Vollzugshilfe "Schwall Sunk – Massnahmen"

Die durchgeführten Strandungsversuche werden anhand der Bewertung der VZH-M eingeordnet. Dazu wird sowohl die Pegelrückgangsrate als auch der Anteil trockenfallender Fläche der Versuche verwendet (vgl. Tab. 7 und 8).

In Abbildung 9 ist die Einordnung der Versuche in die Aggregationsmatrix der VZH-M gezeigt. In horizontaler Richtung wird die Bewertung des Anteils trockenfallender Fläche aufgeführt. Es ist ersichtlich, dass die Versuche alle in der Kategorie "schlecht" für diesen Parameter liegen. Die durch die Videoanalysen bestimmte Wasserwechselzone (vgl. Kap. 3.1.2) liegt für sämtliche Versuche oberhalb der Klassengrenze von 50% der gesamten Versuchsfläche (methodenbedingt). In vertikaler Richtung wird die Bewertung der Pegelrückgangsrate gezeigt. Dabei sind neun Versuche der Kategorie "schlecht", ein Versuch der Kategorie "unbefriedigend", ein Versuch der Kategorie "mässig" und sieben Versuche der Kategorie "sehr gut" zuzuweisen.

Hinsichtlich der Gesamtbewertung befinden sich 10 Versuche in der Kategorie "schlecht", ein Versuch in der Kategorie "unbefriedigend" und sieben sind als "gut" bewertet. Eine Gesamtbewertung von "sehr gut" erhält kein Versuch.

		Kriterium: Anteil trockenfallender Fläche				
		Sehr gut	gut	mässig	unbefriedigend	schlecht
Kriterium: Pegelrückgangsrage	schlecht					2 6 8 10 11 12 14 17 18
	unbefriedigend					1
	mässig					3
	gut					
	sehr gut					4 5 7 9 13 15 16

Abb. 9: Einordnung der Versuche in die bestehende Bewertungsmatrix nach VZH-M

Die Einordnung zeigt, dass mit dem Untersuchungsdesign und der Methode zur Bestimmung des Anteils an trockenfallender Fläche nur eine Kategorie der Wasserwechselzone beurteilt werden kann (Auswertung nach vollständiger Versuchsdurchführung). Mit einer räumlichen Analyse der Fischfundorte (vgl. Kap. 3.2.3) können weitere Aussagen hinsichtlich der Wasserwechselzone gemacht werden.

4.3.2 Einfluss der Pegelrückgangsrage

In Abbildung 10 ist das Streudiagramm der Pegelrückgangsrage der zwanzig durchgeführten Versuche in der Hasliaare dargestellt. Auf der X-Achse werden die Pegelrückgangsrage und auf der Y-Achse der Strandungsanteil abgebildet. Zusätzlich wird die Diagrammfläche anhand der Wertefunktion der VZH-M für die Pegelrückgangsrage eingefärbt.

Der Strandungsanteil im Bewertungszustand sehr gut liegt zwischen 0 % und 48 %. Versuch 7 zeigt mit 48 % einen erheblich höheren Strandungsanteil als die restlichen Versuche dieses Bewertungszustandes (Median = 14 %, Mittelwert = 18 %). Im Bewertungszustand "schlecht" liegt der Strandungsanteil zwischen 51 % und 100 % (Median 80 %, Mittelwert 78 %). Über alle 18 Versuche ist ein erhöhter Strandungsanteil bei schnelleren Pegelrückgangsraten erkennbar.

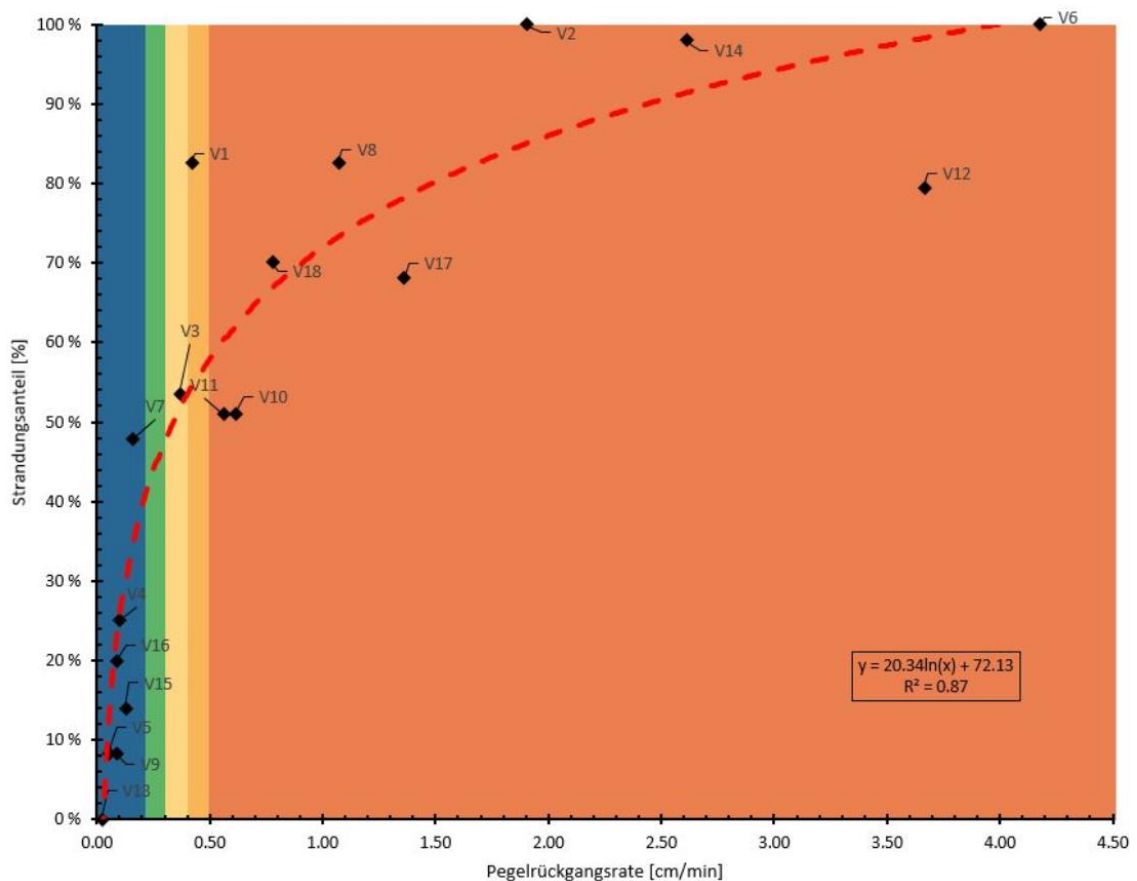


Abb. 10: Streudiagramm der Pegelrückgangsrage

Die berechnete logarithmische Trendlinie zeigt den deutlich erkennbaren Zusammenhang zwischen Pegelrückgangsrage und Strandungsanteil. Das Bestimmtheitsmass der Trendlinie für die Versuche liegt bei $R^2 = 0.87$.

In Abbildung 11 ist die Einteilung der Strandungsversuche in zwei Gruppen hinsichtlich der Pegelrückgangsrage mittels einer roten Linie dargestellt. Die Gruppierung erfolgt aufgrund der Bewertungszustände der VZH-M in Gruppe 1 (Pegelrückgangsrage < 0,3 cm/min; sehr gut und gut) und Gruppe 2 (Pegelrückgangsrage $\geq 0,3$ m/min; "mässig", "unbefriedigend" und "schlecht")

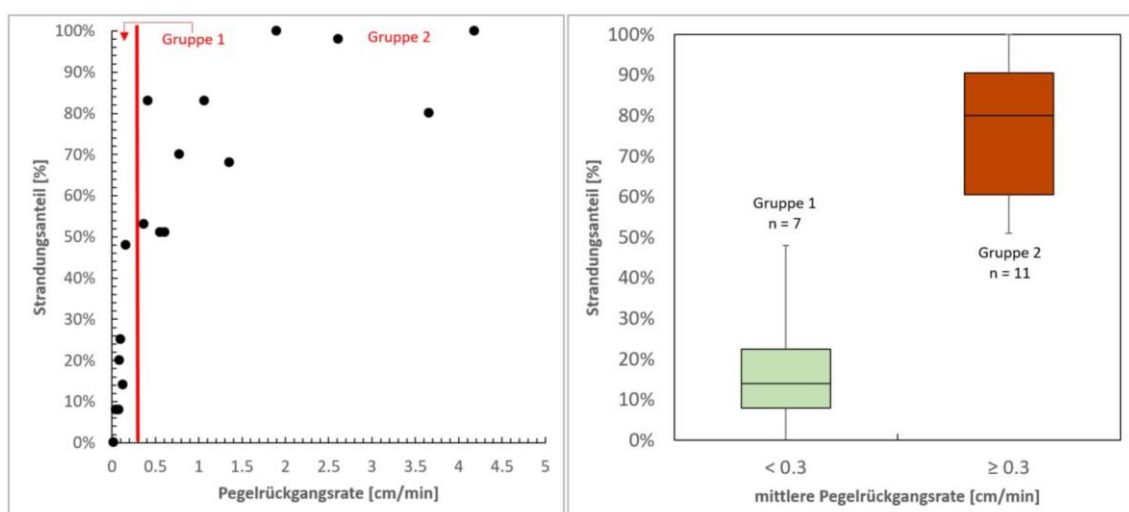


Abb. 11: Streudiagramm der Pegelrückgangsraten (links) und Boxplots für die Gruppen 1 und 2 gemäss Tabelle 3.

Mittels Boxplots wird die Streuung innerhalb der zwei Gruppen dargestellt (vgl. Abb. 11). Dabei lässt sich ein großer Unterschied im Median der Gruppen feststellen (Gruppe 1 = 14 %, Gruppe 2 = 80 %). Die Quantile und Extremwerte liegen in Gruppe 1 enger zusammen als in Gruppe 2, wobei auch bei Gruppe 2 keine große Abweichung vom Median vorliegt. Anhand der Boxplots wird der im Streudiagramm (vgl. Abb. 10) festgestellte Zusammenhang zwischen Pegelrückgangsrate und Strandungsanteil verdeutlicht.

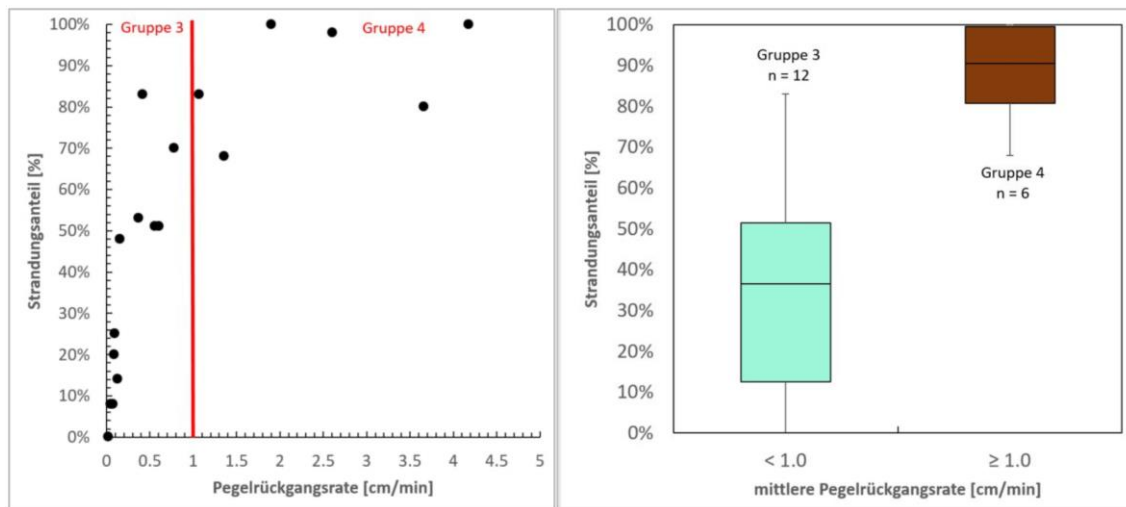


Abb. 12: Streudiagramm der Pegelrückgangsraten (links) und Boxplots für die Gruppen 3 und 4 gemäss Tabelle 3

In Abbildung 12 wird die Streuung einer weiteren Gruppierung in Gruppe 3 ($< 1,0$ cm/min) und Gruppe 4 ($\geq 1,0$ cm/min) betrachtet. Dabei zeigt sich bezüglich der Abweichung vom Median ein umgekehrtes Bild wie in Gruppe 1 und 2 (vgl. Abb. 11). Die Quantile und Extremwerte in Gruppe 4 liegen deutlich enger zusammen als in Gruppe 3. In Gruppe 3 beträgt das Minimum = 0 % und das Maximum = 83 %. Dabei lässt sich ein grosser Unterschied im Median der Gruppen feststellen (Gruppe 3 = 37 %; Gruppe 4 = 91 %). Anhand der Boxplots (vgl. Abb. 11 und 12) wird der im Streudiagramm (vgl. Abb. 10) festgestellte Zusammenhang zwischen Pegelrückgangsrate und Strandungsanteil verdeutlicht. Dabei zeigt sich eine deutliche Tendenz bei Pegelrückgangsraten $< 0,3$ cm/min und $\geq 1,0$ cm/min. Zwischen 0,3 und $< 1,0$ cm/min zeigt sich ein undeutlicheres Bild.

4.3.3 Einfluss des Anteils trockenfallender Fläche

Abbildung 13 zeigt für jeden Versuch eine Summenkurve der gestrandeten Fische. Auf der X-Achse ist die Wasserwechselzone [m] gezeigt. Dagegen ist auf der Y-Achse der Strandungsanteil [%] der Fische aufgetragen. Die Summenkurve zeigt die kumulierte Distanz der gestrandeten Fische zur Grundlinie der Versuchsfläche. Das Ende der Summenkurve zeigt den von der Grundlinie am entferntesten gestrandeten Fisch an. Aus der Abbildung ist daher nicht die maximale Länge der Wasserwechselzone ablesbar, sondern nur die minimale Länge (Ende der Summenkurve). Durch die Analyse mit Hilfe einer kumulierten Summenkurve ist in X-Richtung keine Abnahme des Strandungsanteils möglich.

Vier Summenkurven (V9, V5, V15 und V16) verlaufen flacher als die Übrigen. Anhand der deutlich ansteigenden Summenkurven lässt sich ein klarer Zusammenhang zwischen zunehmendem Strandungsanteil und längerer Wasserwechselzone feststellen.

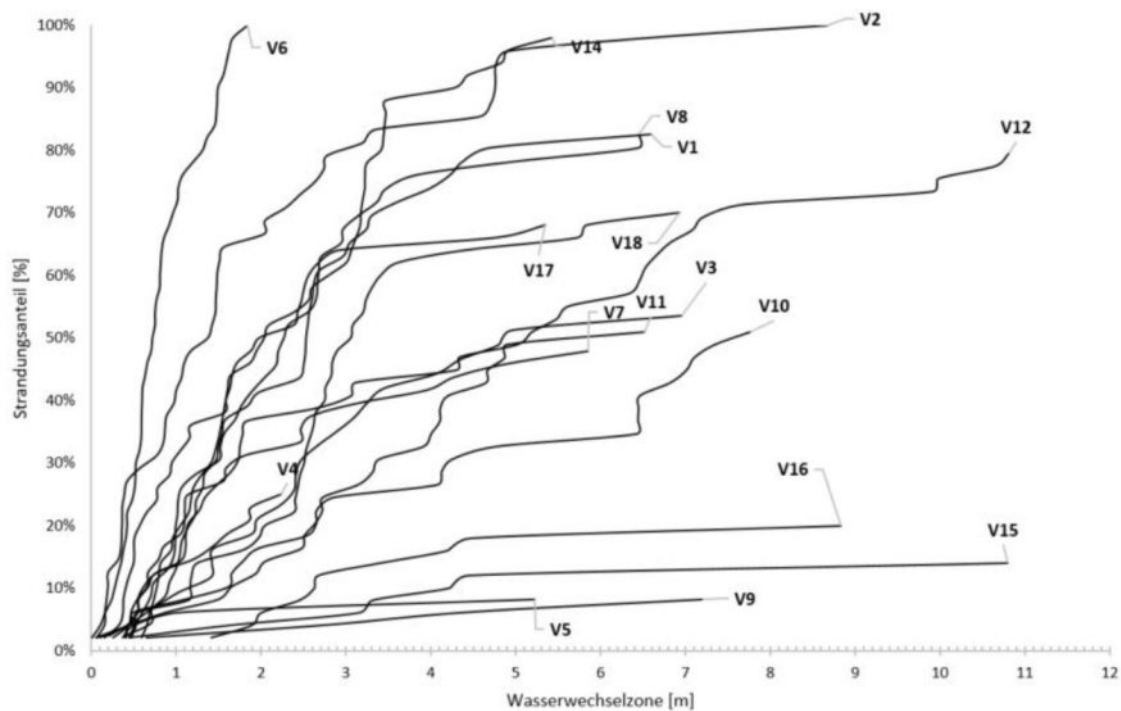


Abb. 13. Summenkurven für die 18 Versuche. Die Summenkurve startet jeweils bei dem Wasserwechselzonenwert bei welchem der erste Fisch des jeweiligen Versuches gestrandet ist.

Abbildung 14 zeigt die Wasserwechselzone [%] auf der X-Achse und den Strandungsanteil [%] auf der Y-Achse. Zur Vergleichbarkeit mit der VZH-M ist die Wasserwechselzone als Anteil an der gesamten Versuchsfläche dargestellt. Der Hintergrund ist mit den Farben der Bewertungszustände für die Wasserwechselzone nach VZH-M eingefärbt.

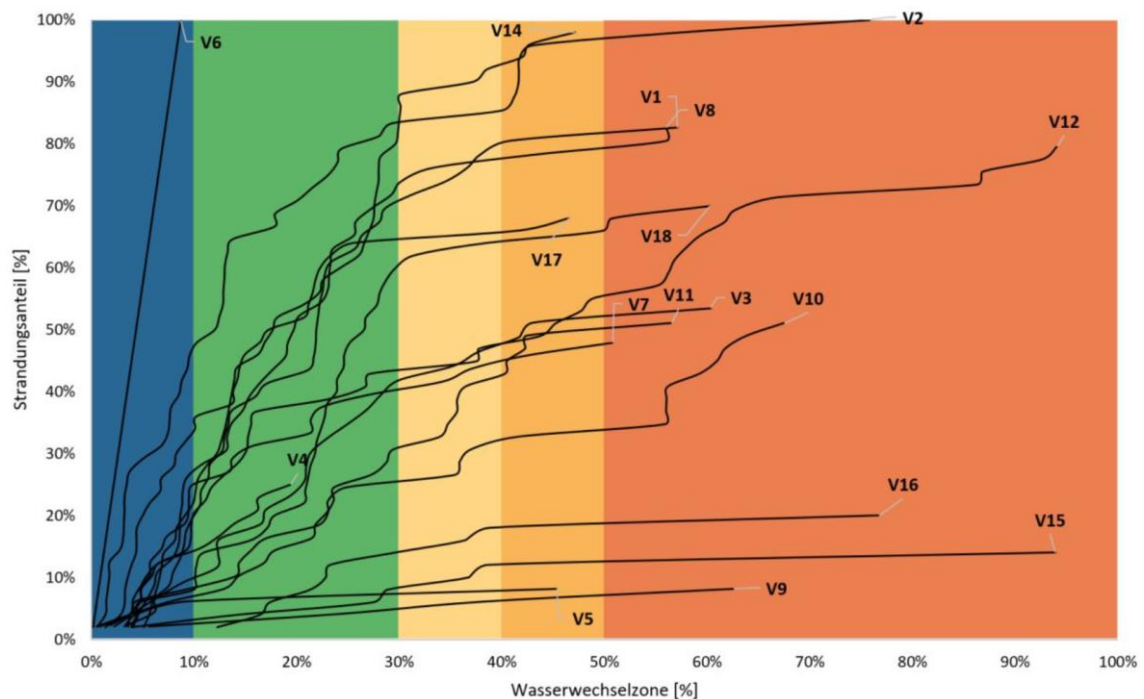


Abb. 14: Summenkurven für die 18 Versuche mit Einordnung in die Wertefunktion der VZH-M.

Um den Einfluss der Wasserwechselzone detaillierter zu untersuchen, wurde für jeden Versuch der Strandungsanteil für die fünf Bewertungszustände nach VZH-M sowie einem weiteren Zustand (< 20 %) bestimmt

(Gruppeneinteilung gemäss Tabelle 4). In Abbildung 15 wird mittels Boxplots die Streuung des Strandungsanteils innerhalb der Bewertungszustände der Wasserwechselzone dargestellt.

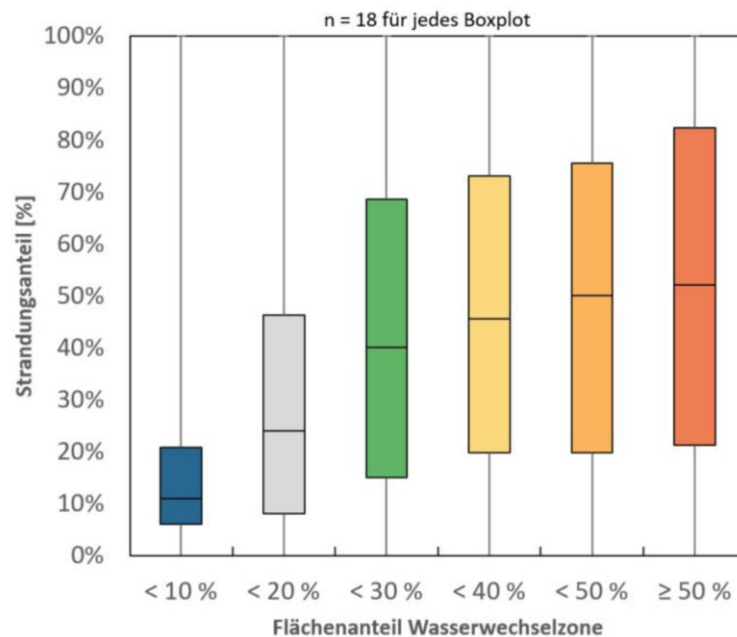


Abb. 15: Darstellung der Boxplots des Flächenanteils der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil

Der Median sowie das 75%-Quantil des Strandungsanteils nehmen im Verlauf der Bewertungszustände stetig zu. Dabei lässt sich ein großer Unterschied im Median der Klassen sehr gut (Median = 11 %) und < 20 % (Median = 24 %) sowie den übrigen Klassen feststellen. Wird eine Wasserwechselzone von ≥ 10 % bzw. ≥ 20 % erreicht, steigt der Strandungsanteil (im Median) erheblich an. Die Quantile liegen in Klasse "sehr gut" eng zusammen. Bei den anderen Bewertungszuständen weichen die Quantile jedoch stark vom Median ab. Die Extremwerte sind für alle Klassen gleich (Minimum = 0 %, Maximum = 100 %).

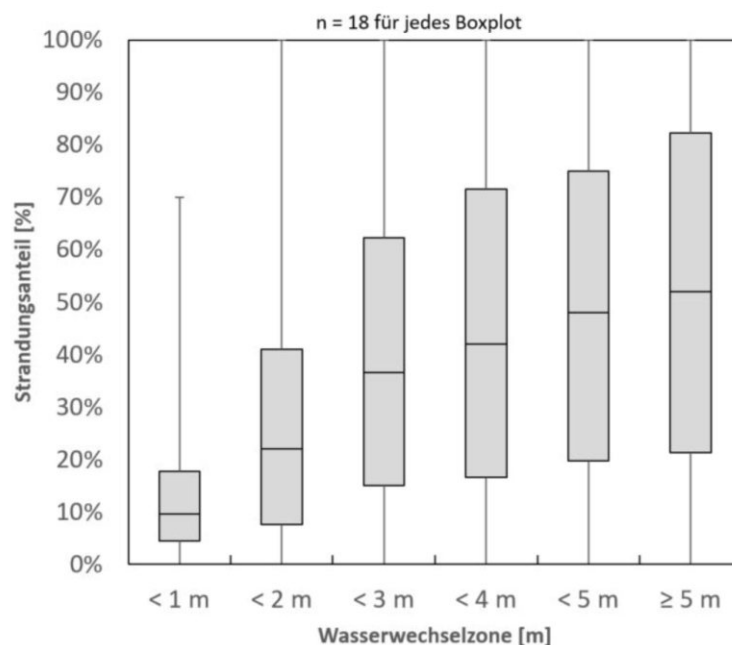


Abb. 16: Darstellung der Boxplots der Länge der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil

Abbildung 16 zeigt den Strandungsanteil mit dessen Streuung mit zunehmender Länge der Wasserwechselzone. Dabei zeigt sich im Median und dem 75%-Quantil eine sehr ähnliche Entwicklung wie in Abbildung 15. Das Maximum bei einer Wasserwechselzone von unter 1 m liegt bei 70 %. Bei einer Wasserwechselzone

von > 1 m steigt das Maximum auf 100 %. Anhand der Boxplots (vgl. Abb. 15 und 16) lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Wasserwechselzone und dem Strandungsanteil erkennen.

4.3.4 Einfluss der Pegelrückgangsrate und der Wasserwechselzone

In Abbildung 17 werden analog zu Abbildung 14 die Summenkurven der 18 Strandungsversuche aufgezeigt. Auf der X-Achse ist die Wasserwechselzone [%] und auf der Y-Achse der Strandungsanteil [%] aufgetragen. Zusätzlich sind die Summenkurven mit den Farben der Bewertungsklassen der VZH-M für die Pegelrückgangsrate eingefärbt. Dadurch lassen sich erste Aussagen für den kombinierten Effekt der Pegelrückgangsrate und der Wasserwechselzone treffen.

Analog zu Abbildung 14 zeigt sich eine Zunahme der gestrandeten Fische mit grösser werdender Wasserwechselzone. Vier von sechs Summenkurven mit der Zustandsklasse "sehr gut" verlaufen flach und zeigen trotz "schlechter" Wasserwechselzone einen geringen Strandungsanteil auf. Einzig Versuch 7 (V7) zeigt einen deutlich steileren Verlauf als die restlichen Summenkurven der Zustandsklasse "sehr gut".

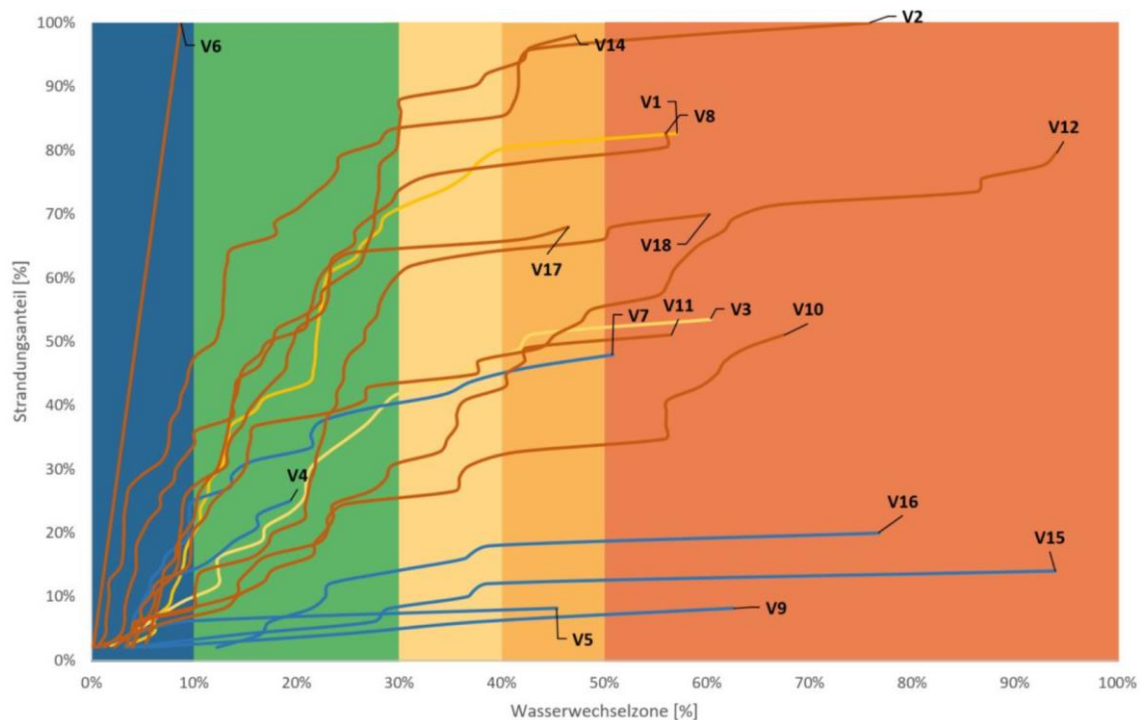


Abb. 17: Summenkurven für die 20 Versuche. Die Farben der Kurven entsprechen der jeweiligen Beurteilung der Pegelrückgangsraten gemäss Bewertung VZH-M des jeweiligen Versuches. Die Zonen auf der X-Achse (Wasserwechselzone) entsprechen ebenfalls der Wertefunktion der VZH-M.

Anhand dieser Einfärbung lässt sich neben der Zunahme des Strandungsanteils mit grösser werdender Wasserwechselzone eine Tendenz von einem Verlauf von der Zustandsklasse "sehr gut" (blau) zur Zustandsklasse "schlecht" (rot) erkennen. Allerdings zeigt sich zwischen den sehr flachen und sehr steilen Summenkurven ein diffuses Bild aus Summenkurven jeglicher Zustandsklassen.

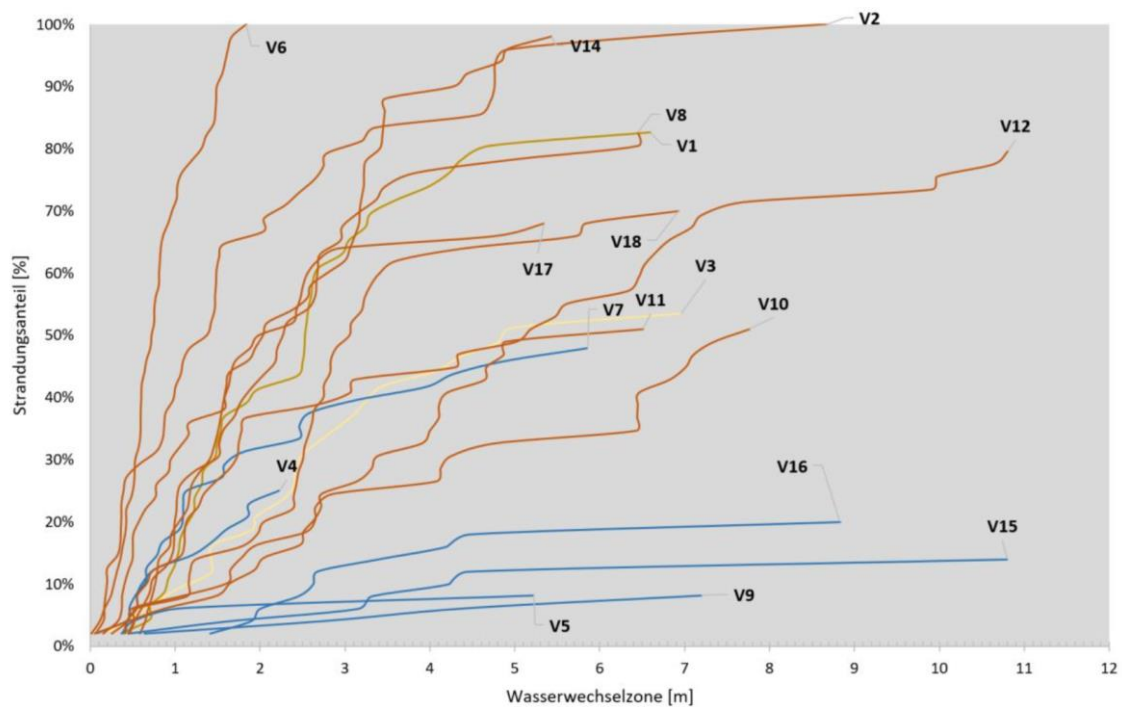


Abb. 18: Summenkurven der Versuchsreihe. Die Farben der Summenkurven entsprechen der jeweiligen Bewertung der Pegelrückgangsrates nach VZH-M.

In Abbildung 18 sind die nach VZH-M eingefärbten Summenkurven des Strandungsanteils der einzelnen Versuche auf die Länge der Wasserwechselzone in Meter aufgetragen. Dabei zeigt sich die gleiche Tendenz wie in Abbildung 17.

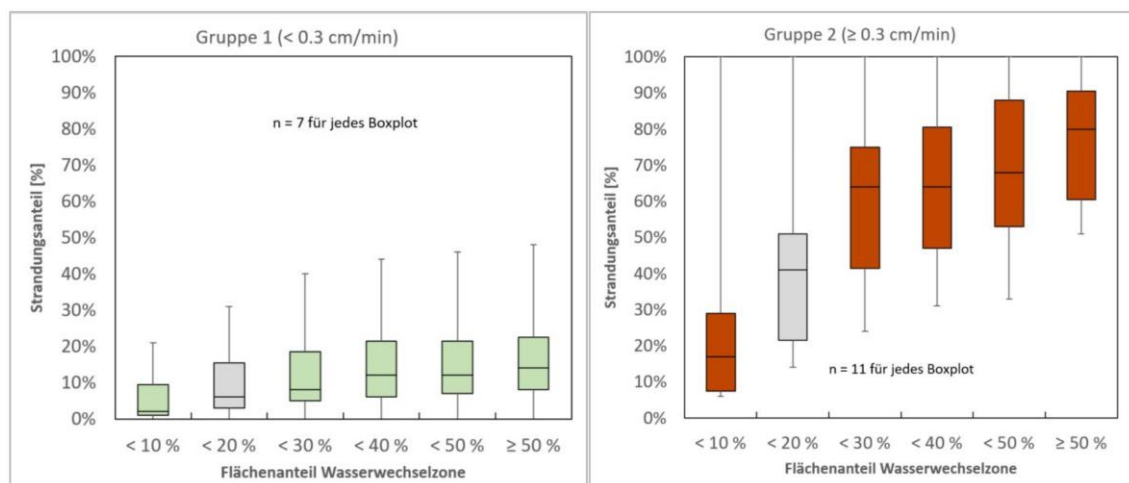


Abb. 19: Boxplots der Gruppe 1 und Gruppe 2 für verschiedene Flächenanteile der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil.

In Abbildung 19 sind die Boxplots der Gruppe 1 ($< 0,3 \text{ cm/min}$) und Gruppe 2 ($\geq 0,3 \text{ cm/min}$) für verschiedene Ausdehnungen der Wasserwechselzone dargestellt. Anhand der Einteilungen lassen sich Aussagen bezüglich des Einflusses der Wasserwechselzone auf die Streuung des Strandungsanteils bei tiefen und hohen Pegelrückgangsrates treffen.

In Gruppe 1 werden die Versuche ($n = 7$) mit einer Pegelrückgangsrates $< 0,3 \text{ cm/min}$ dargestellt. Das Minimum des Strandungsanteils für alle Wasserwechselzonen liegt bei 0 %. Das Maximum steigt von 21 % bis 48 % und der Median von 2 % bis 14 %. In Gruppe 2 werden die Versuche ($n = 11$) mit einer Pegelrück-

gangsrate $\geq 0,3$ cm/min dargestellt. Das Maximum für alle Wasserwechselzonen liegt bei 100 % Strandungsrate. Das Minimum steigt von 6 % bis 51 % und der Median von 17 % bis 80 %. Die Streuung um den Median ist in Gruppe 2 in allen Wasserwechselzonen grösser als in Gruppe 1.

In Gruppe 1 lässt sich ein deutlicher Anstieg des Medians zwischen der Bewertungsklasse < 10 % und < 20 % feststellen. Der Anstieg zwischen diesen Bewertungsklassen ist in Gruppe 2 erheblich deutlicher ausgeblendet. Zusätzlich gibt es einen ähnlich starken Anstieg zur nächsten Bewertungsklasse < 30 %. Im Vergleich steigt der Strandungsanteil in Gruppe 2 zwischen "sehr gut" und < 20 % sowie zwischen < 20 % und "gut" deutlicher an als in Gruppe 1.

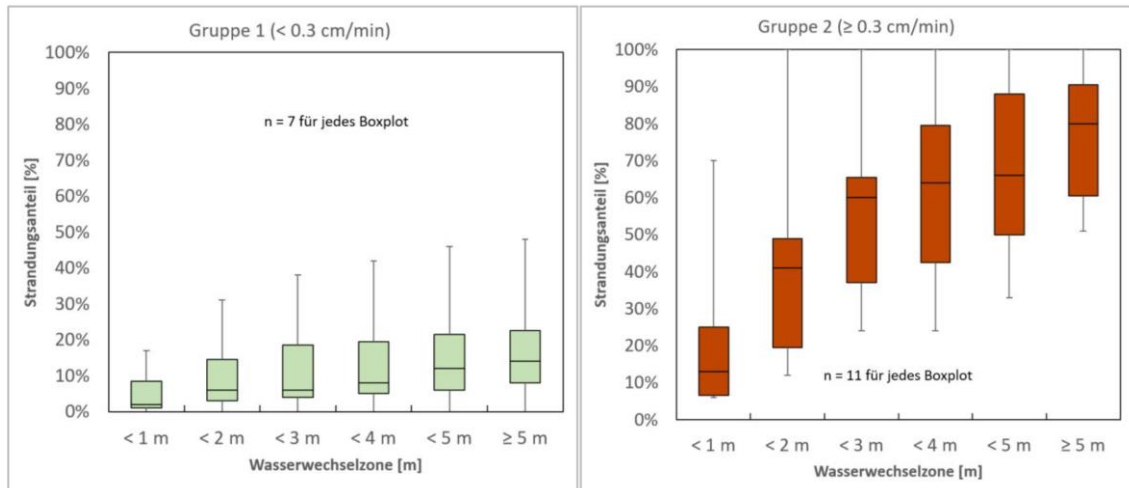


Abb. 20: Boxplots der Gruppe 1 und Gruppe 2 für verschiedene Längen der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil.

In den Boxplots in Abbildung 20 ist die Wasserwechselzone wiederum in metrischer Skala dargestellt. Der Median sowie das 75%-Quantil steigen analog zu Abbildung 19 in beiden Gruppen fast identisch an. In Gruppe 2 ($\geq 0,3$ cm/min) liegt bei einer Wasserwechselzone unter 1 m eine maximale Strandungsrate von 70 % vor. Bei einer Wasserwechselzone über 1 m steigt das Maximum auf 100 %.

Weiterhin werden in Abbildung 21 auch die Gruppen 3 und 4 bezüglich des kombinierten Einflusses der Pegelrückgangsrates und der Wasserwechselzone auf den Strandungsanteil mittels Boxplots dargestellt.

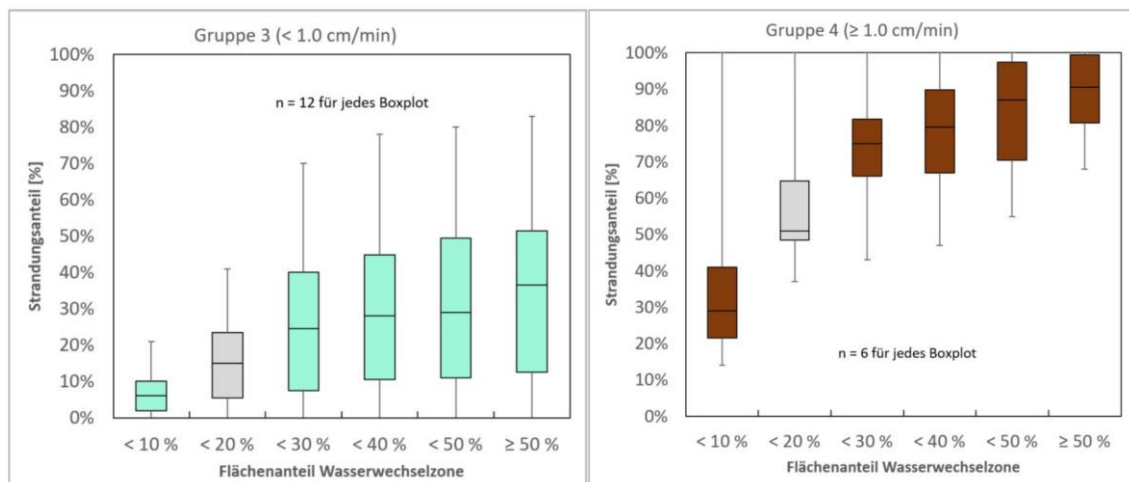


Abb. 21: Boxplots der Gruppe 3 und Gruppe 4 für verschiedene Flächenanteile der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil.

In Gruppe 3 werden die Versuche ($n = 12$) mit einer Pegelrückgangsrates $< 1,0$ cm/min dargestellt. Das Minimum des Strandungsanteils für alle Wasserwechselzonen liegt bei 0 %. Das Maximum steigt von 21 % bis 83 % und der Median von 6 % bis 37 %. In Gruppe 4 werden die Versuche ($n = 6$) mit einer Pegelrückgangsrates $\geq 1,0$ cm/min dargestellt. Das Maximum für alle Wasserwechselzonen liegt bei 100 % Strandungsrate.

Das Minimum steigt von 14 % bis 68 % und der Median von 30 % bis 91 %. Die Streuung um den Median vergrößert sich in Gruppe 3 im Vergleich zur Gruppe 1. In Gruppe 4 hingegen zeigt sich tendenziell eher eine Verringerung der Streuung im Vergleich zur Gruppe 2.

Analog zu den Gruppen 1 und 2 zeigt sich auch in Gruppe 3 und 4 ein deutlicher Anstieg des Medians zwischen $< 10\%$ und $< 20\%$. Dieser ist in Gruppe 4 stärker ausgeprägt als in Gruppe 3 (vgl. Abb. 19 und 21).

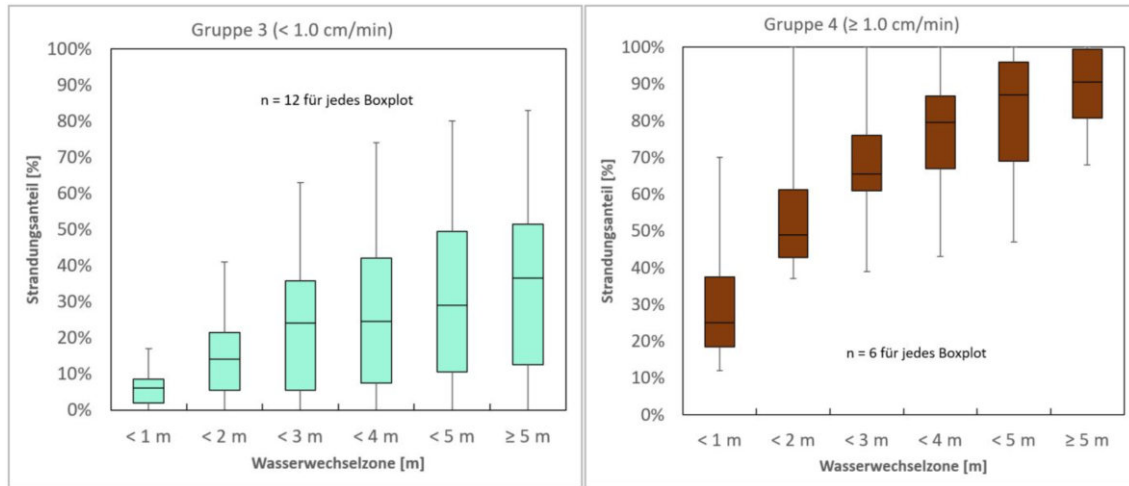


Abb. 22: Boxplots der Gruppe 3 und 4 für verschiedene Längen der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil

In den Boxplots in Abbildung 22 ist die Wasserwechselzone wiederum in metrischer Skala dargestellt. Der Median sowie das 75%-Quantil steigen analog zu Abbildung 21 in beiden Gruppen fast identisch an. In Gruppe 4 ($\geq 1,0$ cm/min) liegt bei einer Wasserwechselzone unter 1 m eine maximale Strandungsrate von 70 % vor. Bei einer Wasserwechselzone über 1 m steigt das Maximum auf 100 %. Bei einer Pegelrückgangsrate von $< 0,3$ cm/min steigen die Strandungsanteile mit zunehmender Wasserwechselzone nur sehr gering an. Bei der Betrachtung von Pegelrückgangsraten $\geq 0,3$ cm/min und $< 1,0$ cm/min zeigt sich eine große Streuung um den Median der Strandungsanteile. Anhand der Boxplots (vgl. Abb. 19, 20, 21 und 22) lässt sich ein klarer Zusammenhang zwischen einem erhöhten Strandungsanteil sowie hohen Pegelrückgangsraten von $\geq 1,0$ cm/min und einer zunehmenden Wasserwechselzone erkennen.

5 Diskussion und Schlussfolgerungen

5.1 Versuchsdurchführung und Auswertungen

Die Versuchsdurchführung wurde gemäss der Methode von 2019 (vgl. Anhang 8.2) erfolgreich umgesetzt. Gegenüber den Versuchen von 2019 wurden die beiden Versuchsanlagen dauerhaft installiert und damit konnte der Aufwand für Auf- und Abbau stark reduziert werden.

Dagegen führte die Vergrösserung der Versuchsanlage im Vergleich zu den Versuchen von 2019 zu einem erheblichen Mehraufwand beim aufwändigen Suchprozess. Aufgrund des gut eingespielten Teams konnte eine sehr hohe Wiederfindungsrate (durchschnittlich 98%) erreicht werden und lag damit deutlich über den Wiederfindungsraten von 2019 (vgl. Anhang 8.2) und den Versuchen in Lunz (vgl. Auer et al. (2014), rund 50% im Durchschnitt).

Aufgrund der grösseren Versuchsfläche waren gegenüber den Versuchen von 2019 kleinere Modifikationen am Messsystem und dem biologischen Konzept notwendig. Diese Modifikationen sind im Prinzip ein Hochskalieren auf die Vergrösserung der Anlage und erlauben daher eine sehr gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit den Versuchen von 2019.

Aus fachlicher und praktischer Sicht wären sicherlich deutlich mehr Versuchsdurchführungen sowie die Untersuchung einer noch grösseren Wasserwechselzone wünschenswert. Trotzdem bieten die Versuche von 2019 und 2021 eine sehr gute Datengrundlage und erlauben eine Interpretation hinsichtlich den Zusammenhängen zwischen Wasserwechselzone, Pegelrückgangsraten und dem Strandungsrisiko von Forellenlarven.

In einem nächsten Schritt werden zusätzlich die Versuche von 2019 und die von 2021 gemeinsam ausgewertet. Diese Arbeiten erfolgen im Rahmen der Aufträge Monitoring plus und Überarbeitung der Vollzugshilfe (vgl. Kap. 6).

5.2 Ökologische Interpretation der Strandungsversuche von 2021

Die Resultate in Kapitel 4.3.2 zeigen, dass im Rahmen der insgesamt 18 durchgeführten Strandungsversuche ein Zusammenhang zwischen den untersuchten Pegelrückgangsraten (0.02 cm/min bis 4.18 cm/min) und dem Strandungsanteil gefunden werden kann. Durch die Aufteilung des Datensatzes in Gruppen (vgl. Abb. 11 und 12) kann aufgezeigt werden, dass bei höheren Pegelrückgangsraten auch höhere Strandungsraten zu beobachten sind. Die berechnete logarithmische Trendlinie zeigt den deutlich erkennbaren Zusammenhang zwischen der Pegelrückgangsraten und dem Strandungsanteil (vgl. Abb. 10). Nur beim Versuch 13 mit einer Pegelrückgangsraten von 0.02 cm/min wurden keine gestrandeten Fische beobachtet. Oberhalb dieser Pegelrückgangsraten sind immer Fische gestrandet. Zwischen 0.1 cm/min und 1 cm/min zeigt sich kein eindeutiges Muster, dabei streuen die Strandungsraten zwischen rund 15% und 85%. Bei Pegelrückgangsraten > 1 cm/min wurden sehr hohe Strandungsraten mit über 70% beobachtet. Die Ergebnisse von 2021 legen also aufgrund des Strandungsverhaltens eine grobe Einteilung der Pegelrückgangsraten in drei Klassen nahe (< 0.1 cm/min, 0.1 bis 1 cm/min und > 1 cm/min). Diese Interpretation der Ergebnisse wird in Abbildung 23 visuell dargestellt.

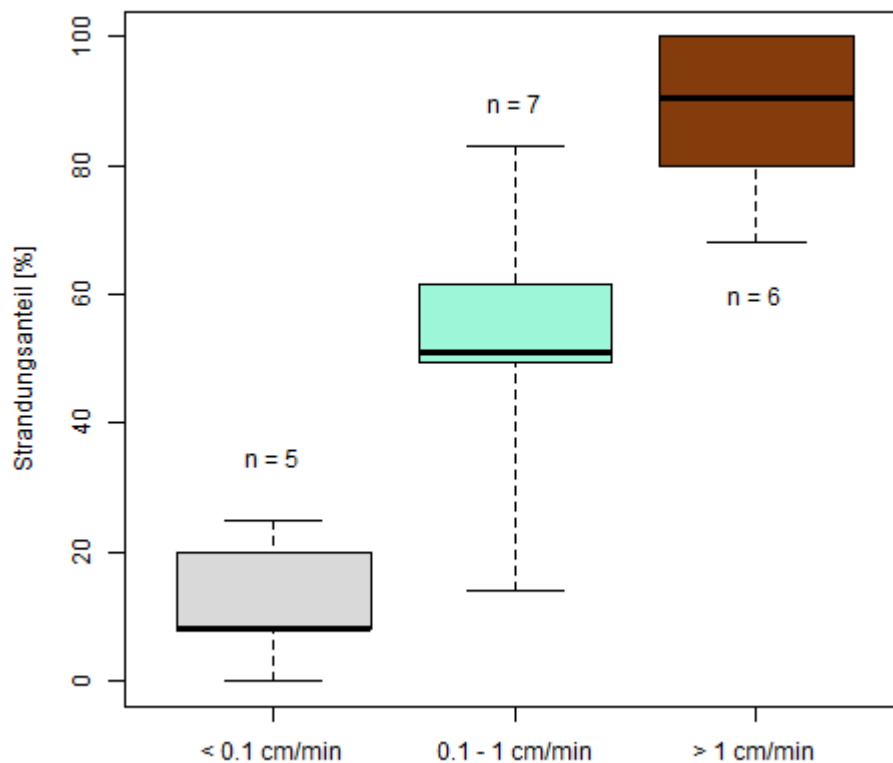


Abb. 23: Boxplots zu den Strandungsanteilen gruppiert in drei Pegelrückgangsklassen.

Im Rahmen der Auswertungen hinsichtlich der Wasserwechselzone (vgl. Kap. 4.3.3) zeigt sich, dass der Strandungsanteil mit zunehmender Wasserwechselzone grösser wird. Dieser Zusammenhang ist deshalb eindeutig, weil das Trockenfallen von Flächen die Grundvoraussetzung für das Stranden von Fischen ist und somit einen entscheidenden Parameter bei der Strandungsproblematik darstellt. Mit den durchgeführten Versuchen und den Auswertungen der Summenkurven können Aussagen zu Wasserwechselzonen von maximal 10 m gemacht werden. Die Analysen zeigen, dass der Median des Strandungsanteils über alle 18 Versuche bei Wasserwechselzonen <10% bzw. <1 m bei rund 10% liegt (vgl. Abb. 15 und 16). Bei Wasserwechselzonen <20% bzw. <2 m steigt der Medianwert deutlich an und liegt bei rund 20-25%. Bei Wasserwechselzonen <30% bzw. 3 m ist wiederum eine starke Zunahme des Medians auf rund 35-40% zu beobachten. Oberhalb einer Wasserwechselzone von 30% bzw. 3 m flacht die Zunahme des Strandungsanteils ab. Bei Wasserwechselzonen >50% bzw. 5 m liegt der Median des Strandungsanteils bei rund 50% und ändert sich danach kaum.

Bei der kombinierten Betrachtung des Einflusses der Wasserwechselzone und der Pegelrückgangsrates (vgl. Kap. 4.3.4) kann ein negativer Synergieeffekt der beiden Parameter festgestellt werden. Dies bedeutet, dass bei höherer Pegelrückgangsrates und grosser Wasserwechselzone tendenziell mehr Fische stranden. Bei den Versuchen mit Pegelrückgangsrates <0.3 cm/min (n = 7) können auch bei Wasserwechselzonen von >50% bzw. 5 m lediglich Strandungsanteile von rund 10% (Medianwert) beobachtet werden (vgl. Abb. 19 und 20). Bei den Versuchen mit Pegelrückgangsrates <1 cm/min (n = 12) liegt der Median der Strandungsanteile bei einer Wasserwechselzone von <10% bzw. 1 m unter 10%. Bei grösseren Wasserwechselzonen nimmt der Medianwert deutlich zu (bis auf rund 40% bei Wasserwechselzonen von >50%). Bei den Versuchen mit Pegelrückgangsrates >1 cm/min (n = 6) liegt der Strandungsanteil bereits bei sehr kleinen Wasserwechselzonen (<10% bzw. 1m) oberhalb 20% (Medianwert).

In der Abbildung 24 wird die kombinierte Betrachtung unter Berücksichtigung von den drei vorgeschlagenen Pegelrückgangsklassen (vgl. Abb. 23) dargestellt. Dabei zeigt sich, dass bei sämtlichen drei Pegelrückgangsklassen der Strandungsanteil ungefähr bis zu einer Wasserwechselzone von 4.5 m zunimmt.

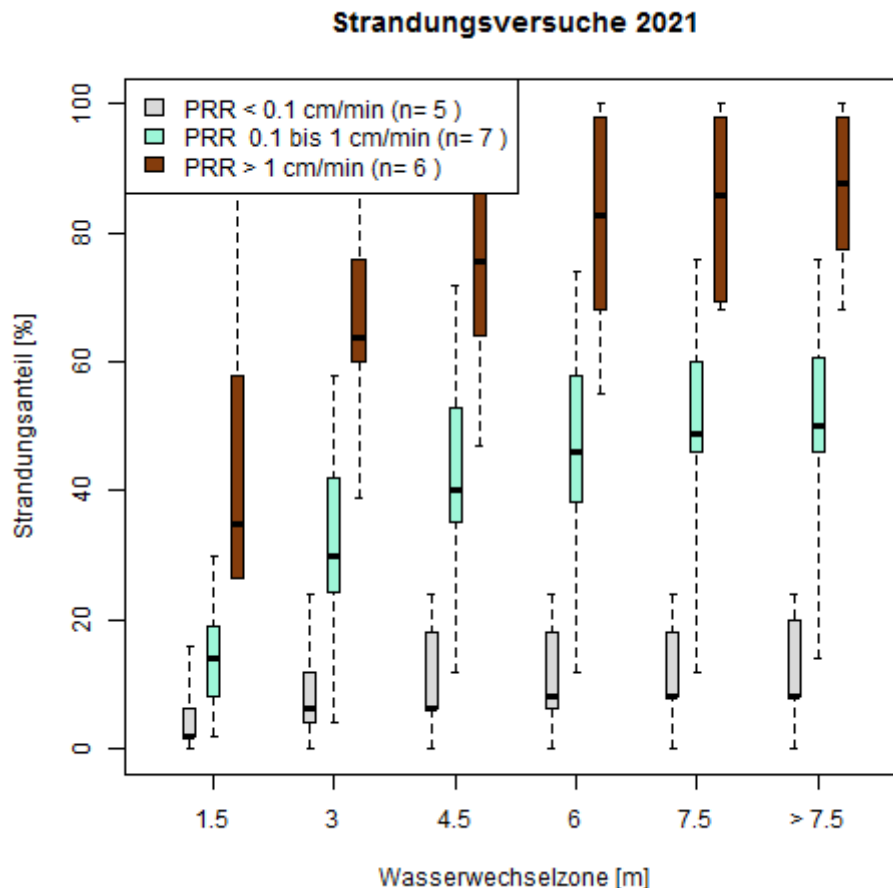


Abb. 24: Boxplots zu den Strandungsanteilen gruppiert in drei Pegelrückgangsklassen in Abhängigkeit der Wasserwechselzone.

Die Auswertungen zeigen, dass sowohl die Pegelrückgangsraten als auch die Wasserwechselzone einen deutlichen Einfluss auf das Stranden von Fischen haben. Jedoch zeigen die z.T. relativ grossen Streuungen innerhalb der untersuchten Gruppierungen von Versuchen auch, dass weitere Parameter einen Einfluss auf das Strandungsverhalten haben müssen. Da die Anzahl der Versuche ($n=18$) im Gegensatz zu der Anzahl infrage kommender Parameter (wie z.B. Korngrössenverteilung, Neigung der Sohle, Unterstände, Fischalter) relativ klein ist, sind weitergehende Aussagen nicht möglich.

Hinsichtlich der VZH-M stellt sich aufgrund der Resultate der 18 Strandungsversuche die Frage, ob die zurzeit verwendete Bewertungsmatrix und die geltenden Schwellenwerte bei der Pegelrückgangsraten und der Wasserwechselzone die effektiven Prozesse beim Stranden von Fischen wiedergeben. Die Resultate der Strandungsversuche von 2021 deuten darauf hin, dass einerseits die Einteilung der Pegelrückgangsraten in der VZH-M in Millimeterschritten zwischen 0.2 cm/min und 0.5 cm/min zu fein aufgelöst ist. Andererseits werfen die Resultate auch die Frage auf, ob die Verwendung einer prozentualen Wasserwechselzone in der VZH-M für alle Gewässer sinnvoll ist.

Die Strandungsversuche von 2021 zeigen, dass bei den Pegelrückgangsraten eher eine grobe Aufteilung in drei Klassen (s.o.) sinnvoll erscheint und dass bereits bei kleinen Wasserwechselzonen und hohen Pegelrückgangsraten hohe Strandungsraten beobachtet werden konnten. Die aus den Strandungsversuchen von 2021 (und 2019) gewonnen Erkenntnisse werden bei der Überarbeitung der Vollzugshilfe Schwall Sunk Massnahmen berücksichtigt (vgl. Kap. 6).

5.3 Strandung in natürlichen Fliessgewässersystemen

Nur wenn die natürliche Situation hinsichtlich des Strandens von Fischen in Fliessgewässersystemen bekannt ist, können adäquate Aussagen bezüglich der anthropogenen Beeinflussung der Strandungsraten getroffen werden. Somit ist eine Untersuchung natürlicher Fliessgewässersysteme äusserst wichtig. Im Rahmen von Monitoring Plus sind daher Untersuchungen mit einem numerisch hydraulischen Modell vorgesehen, die eine natürliche Morphologie und Hydrologie abbilden (vgl. Kap. 6). Damit wären Aussagen zu natürlichen Pegelrückgangsraten, Wasserwechselzonen und der Frequenz von solchen Ereignissen möglich. Diese Erkenntnisse sollen bei einer möglichen Überarbeitung der Vollzugshilfe Schwall Sunk Massnahmen ebenfalls zu den Erkenntnissen aus Strandungsversuchen einfliessen.

6 Weiteres Vorgehen

Basierend auf den Strandungsversuchen aus dem Jahr 2021 und deren Auswertung werden weiterführende Analysen vorgenommen, um das Stranden von Fischen detaillierter zu verstehen. Folgende Auswertungen sind im Rahmen diverser Aufträge von Grimsel Hydro geplant:

- Im Rahmen des Auftrages Monitoring plus werden die Strandungsversuche von 2019 und 2021 zusammengeführt und die Auswertungen gemäss der entwickelten Methode (vgl. Anhang 8.2) werden anhand des gesamten Datensatzes, der 38 Strandungsversuche umfasst, durchgeführt. Durch die Verwendung dieses erweiterten Datensatzes können robustere Aussagen erzielt und Tendenzen besser erkannt werden.
- Im Rahmen des Auftrages Monitoring plus wird zudem die Auswertungsmethodik von 2019 (vgl. Anhang 8.2) erweitert, indem die Summenkurven der Strandungsanteile detaillierter ausgewertet werden. Primär sollen die bisher verwendeten Grenzen für die trockenfallenden Breiten und die Gruppierung der Pegelrückgangsraten variiert werden.
- Im Rahmen des Auftrages Monitoring plus wird schliesslich das natürliche Strandungsrisiko anhand von numerisch hydraulischen Berechnungen bei natürlicher Morphologie und Hydrologie untersucht / modelliert. Damit sind Aussagen zu natürlichen Pegelrückgangsraten, Wasserwechselzonen und der Frequenz solcher Ereignisse abschätzbar. Dafür wird die natürliche Morphologie der Hasliaare nachgebildet und die Abflüsse der Lutschine auf die Hasliaare übertragen (mit entsprechendem Korrekturfaktor).
- Im Auftrag zur Überarbeitung der Vollzugshilfe Schwall Sunk Massnahmen werden weitere Auswertungen der Strandungsversuche von 2019 und 2021 hinsichtlich einer möglichen Optimierung der Sanierungspraxis (Überarbeitung der Bewertungsmatrix) erfolgen. Dabei werden auch die Versuche von Auer et al. (2014) in den Versuchsrinnen in Lunz und die oben genannten weiteren Auswertungsschritte berücksichtigt werden.

- Adam B. & Lehmann B. (2011): Ethohydraulik, Grundlagen, Methoden und Erkenntnisse. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011.
- Auer, S., Fohler, N., Zeiringer, B., Führer, S. und Schmutz, S. (2014): Drift und Stranden von Äschen und Bachforellen während der ersten Lebensstadien (Experimentelle Untersuchungen zur Schwallproblematik). – Wien: Universität für Bodenkultur.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU) & Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) (2018): Fachinformation Tierversuche. Tierversuchsbewilligungen bei Untersuchungen, Bestandeserhebungen und Forschungsprojekten an Wildtierpopulationen 4.03. Bern, 10 S.
- Elliott J.M. (1984): Numerical changes and population regulation in young migratory trout *Salmo trutta* in a Lake District stream. *Journal of Animal Ecology*, 53: P. 327-350.
- Elliott, J.M. (1989): The critical-period concept for juvenile survival and its relevance for population regulation in young sea trout, *Salmo trutta*. *Journal of Fish Biology* 35: S. 91-98.
- Elliott, J.M. (1994): Quantitative ecology and the brown trout. Oxford: Oxford University Press.
- Friedrichsen, U. (2011): Agilität Gestern, Heute und Morgen: Eine Bestandsaufnahme und ein Blick in die Zukunft. <https://public.centerdevice.de/578762ad-9630-4a13-b610-d3ecb128ddd4>. Zugriff: 25.08.20
- Greter, R. (2017): Methodenkonzept. Bewertung der Strandung von Fischen in Schwall/Sunk beeinflussten Gewässern. Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wädenswil.
- Halleraker J. H., Saltveit S. J., Harby A., Arnekleiv J. V., Fjeldstad H. P. & Kohler B. (2003): Factors influencing stranding of juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River research and applications*, 19, S. 589-603
- Irvine R. L., Oussoren T., Baxter J. S. & Schmidt D. C. (2009): The effects of flow reduction rates on fish stranding in British Columbia, Canada. *River Research and Applications*, 25, S. 405–415.
- Meyer, M., Greter, R., Schweizer, S., Baumgartner, J., Schläppi, S. und Büsser, P. (2018): Untersuchungen zum Emergenzzeitraum von *Salmo trutta* in der Hasliaare in 2018. Fachbericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt.
- Saltveit S. J., Halleraker J. H., Arnekleiv J. V. & Harby A. (2001): Field experiments on stranding in juvenile Atlantic Salmon (*Salmo Salar*) and Brown Trout (*Salmo Trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropedaking. *Regulated Rivers: Research & Management*, 17, S. 609–622
- Schweizer, S., Schmidlin, S., Bieri, M., Büsser, P., Meyer, M., Money, J., Schläppi, S., Schneider, M., Tonolla, D., Tuhtan, J. und Wächter, K. (2016): Die erste Schwall-Sanierung der Schweiz: Die Hasliaare als Fallbeispiel. *WasserWirtschaft* 1, 2016: S. 10-15.
- Schweizer, S., Lundsgaard-Hansen, L., Meyer, M., Schläppi, S., Berger, B., Baumgartner, J., Greter, R., Büsser, P., Flück, M., Schwendemann, K. (2021): Die Schwall-Sunk-Sanierung der Hasliaare. Erste Erfahrungen nach Inbetriebnahme und ökologische Wirkungskontrolle. *Wasser Energie Luft*, Heft 1, S. 1-8.
- Snowden, D. J. & Boone, M. E. (2007): A leader's framework for decision making. *harvard business review*, 85(11): 68.

Statista (2015): Statistik-Lexikon: Definition Deskriptive Statistik. http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/49/deskriptive_statistik/. Zugriff 08.01.2016.

Tonolla D.; Chaix O.; Meile T.; Zurwerra A.; Büsler P.; Oppliger S.; Essyad K. (2017): Schwall Sunk – Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1701: 133 S.

Unfer G. (2012): Zur Ökologie der Bachforelle unter besonderer Berücksichtigung des ersten Lebensjahres. Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement (IHG), Department Wasser Atmosphäre-Umwelt (WAU), Universität für Bodenkultur Wien (BOKU): 97 S

8 Anhang

8.1 Factsheets der Versuche 2021

Factsheet: Versuch Hasliaare 1

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'097/ 1'171'975
Datum: 16.04.2021
Uhrzeit: 10.32 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 6.6 °C
Wasser pH-Wert: 6.5
Akklimatisationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 4 mm/min
Wiederfindungsrate: 92% (46 Fische)
Fischlänge: 22-28 mm

Korndurchmesser (dm): 45mm
Korndurchmesser (d90): 128mm
Sandflächenanteil: 14%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.6%
Quer Gefälle: 2.3%

Benjamin Berger (KWO) / 28.01.2022



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

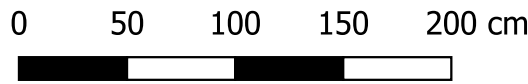
Zonen

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone
- Lunzerlinie

Längenanteile

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone

Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 0% (#0)

Sunkzone

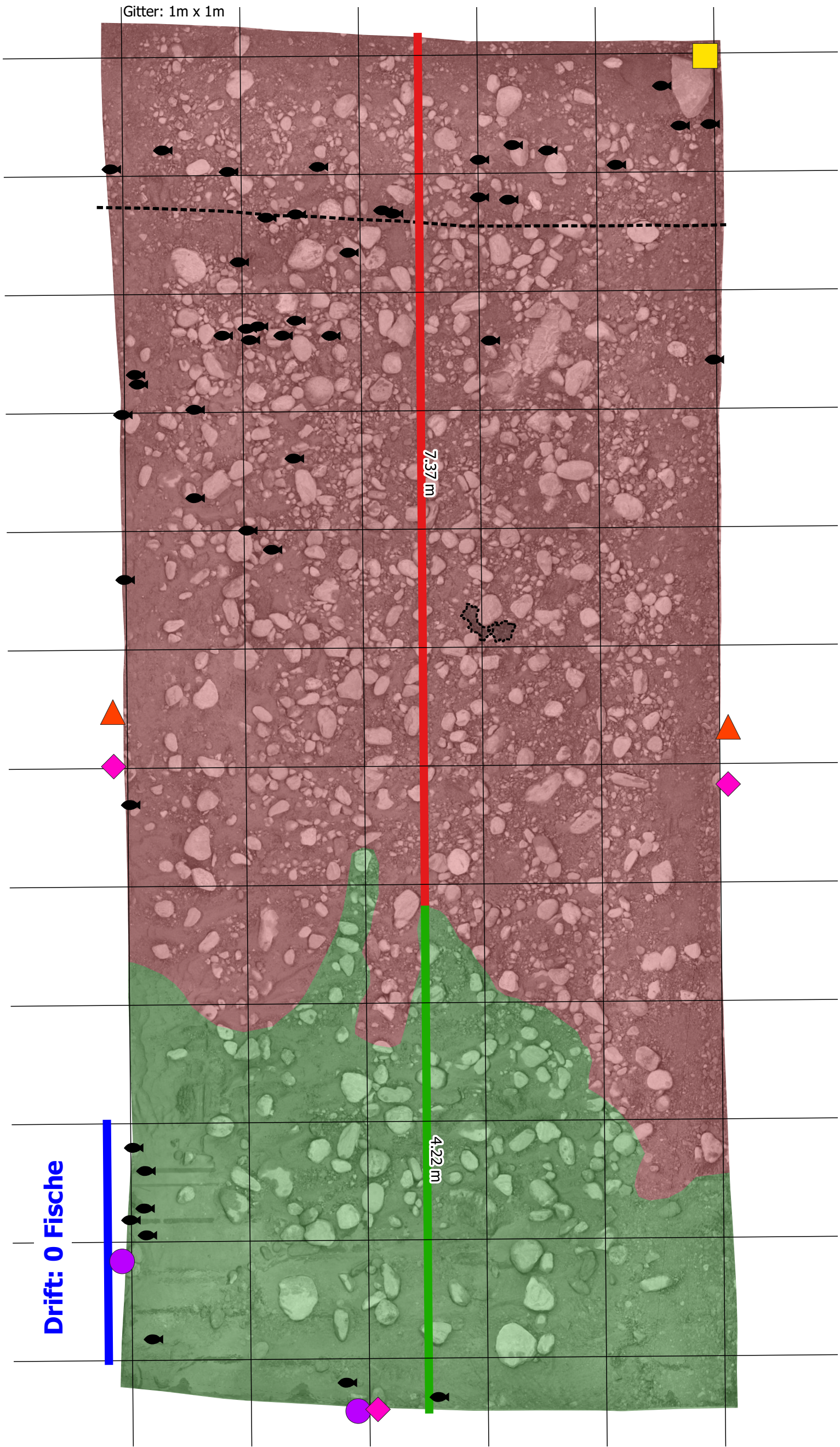
Flächenanteil: 28% (16.4 m2)
Längenanteil: 36% (4.2 m)
Fischfunde: 17% (#8)
Fischfunddichte: 0.5 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 72% (42.6 m2)
Längenanteil: 64% (7.4 m)
Fischfunde: 83% (#38)
Fischfunddichte: 0.9 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0.1%

Auswertungen

Versuchsmenge: 46 Fische
Strandungsanteil: 83%



Factsheet: Versuch Hasliaare 2

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'097 / 1'171'975
Datum: 21.04.2021
Uhrzeit: 09.29 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 6.7 °C
Wasser pH-Wert: 7
Akklimatisationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrage: 19 mm/min
Wiederfindungsrate: 96% (48 Fische)
Fischlänge: 24-35 mm

Korndurchmesser (dm): 42mm
Korndurchmesser (d90): 129mm
Sandflächenanteil: 12%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.6%
Quergefälle: 2.1%

Benjamin Berger (KWO) / 28.01.2022



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

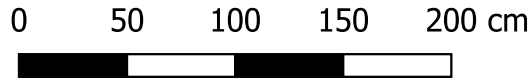
Zonen

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone
- Lunzerlinie

Längenanteile

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone

Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 0% (#0)

Sunkzone

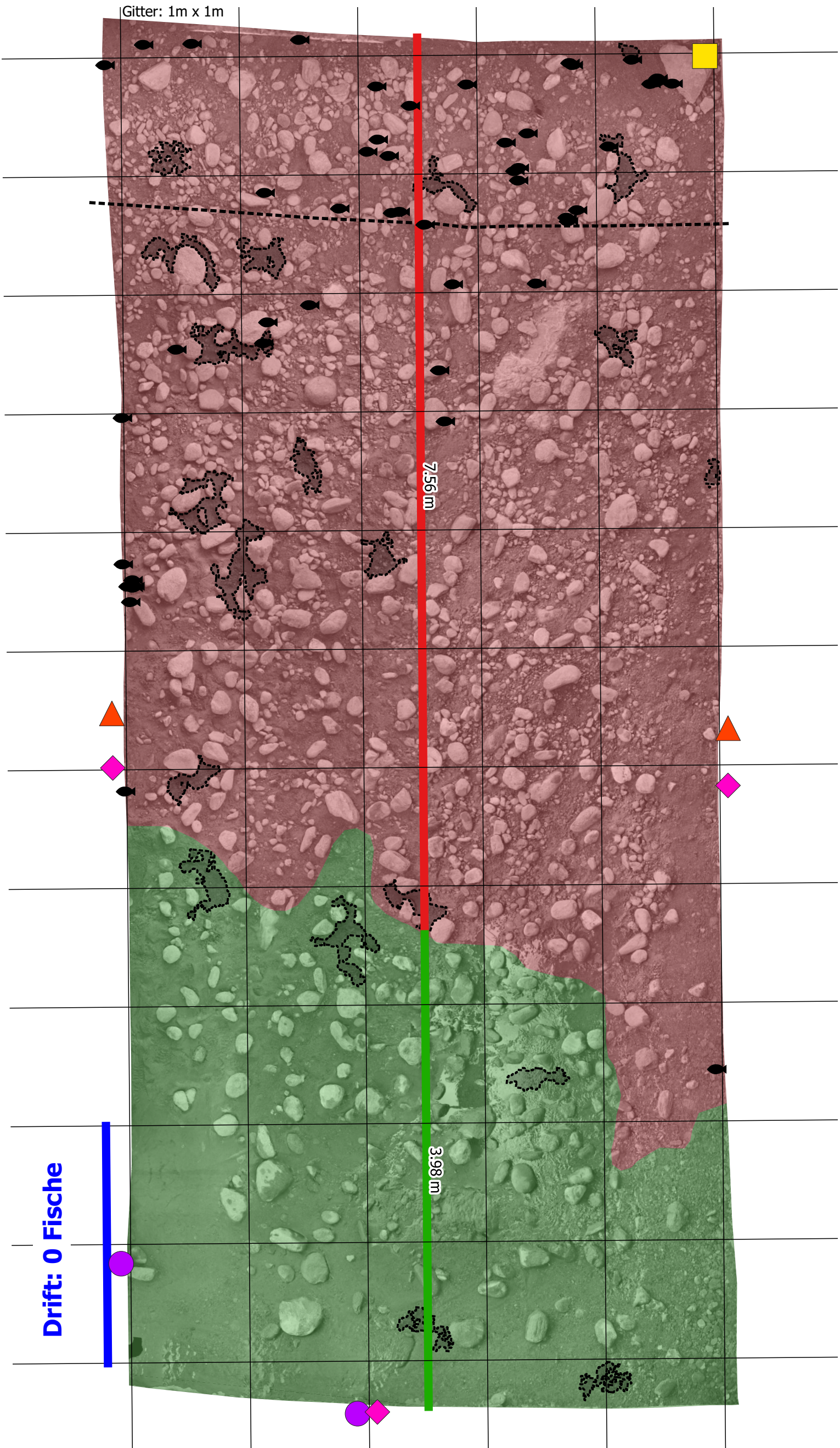
Flächenanteil: 33% (19.3 m2)
Längenanteil: 34% (4 m)
Fischfunde: 0% (#0)
Fischfunddichte: 0 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 1.9%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 67% (39.2 m2)
Längenanteil: 66% (7.6 m)
Fischfunde: 100% (#48)
Fischfunddichte: 1.2 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 2.5%

Auswertungen

Versuchsmenge: 48 Fische
Strandungsanteil: 100%



Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'097 / 1'171'975
Datum: 23.04.2021
Uhrzeit: 09.19 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 6.9 °C
Wasser pH-Wert: 6.5
Akklimatisationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrage: 4 mm/min
Wiederfindungsrate: 86% (43 Fische)
Fischlänge: 24-35 mm

Korndurchmesser (dm): 51mm
 Korndurchmesser (d90): 158mm
 Sandflächenanteil: 11%
 Gefälle in Hauptfliessrichtung: 1.4%
 Quergefälle: 1.7%

1:1'500

 Fischfundorte
 Beigabeort
 Driftreusen
 Mulden (>0.05 m²)

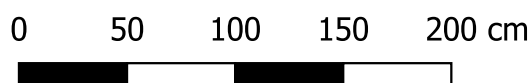
 Drucksonden
 Kameras
 Pegel

 Sunkzone
 auswertbare Wasserwechselzone
 Lunzerlinie

■ Sunkzone
■ auswertbare Wasserwechselzone



Hauptfliessrichtung



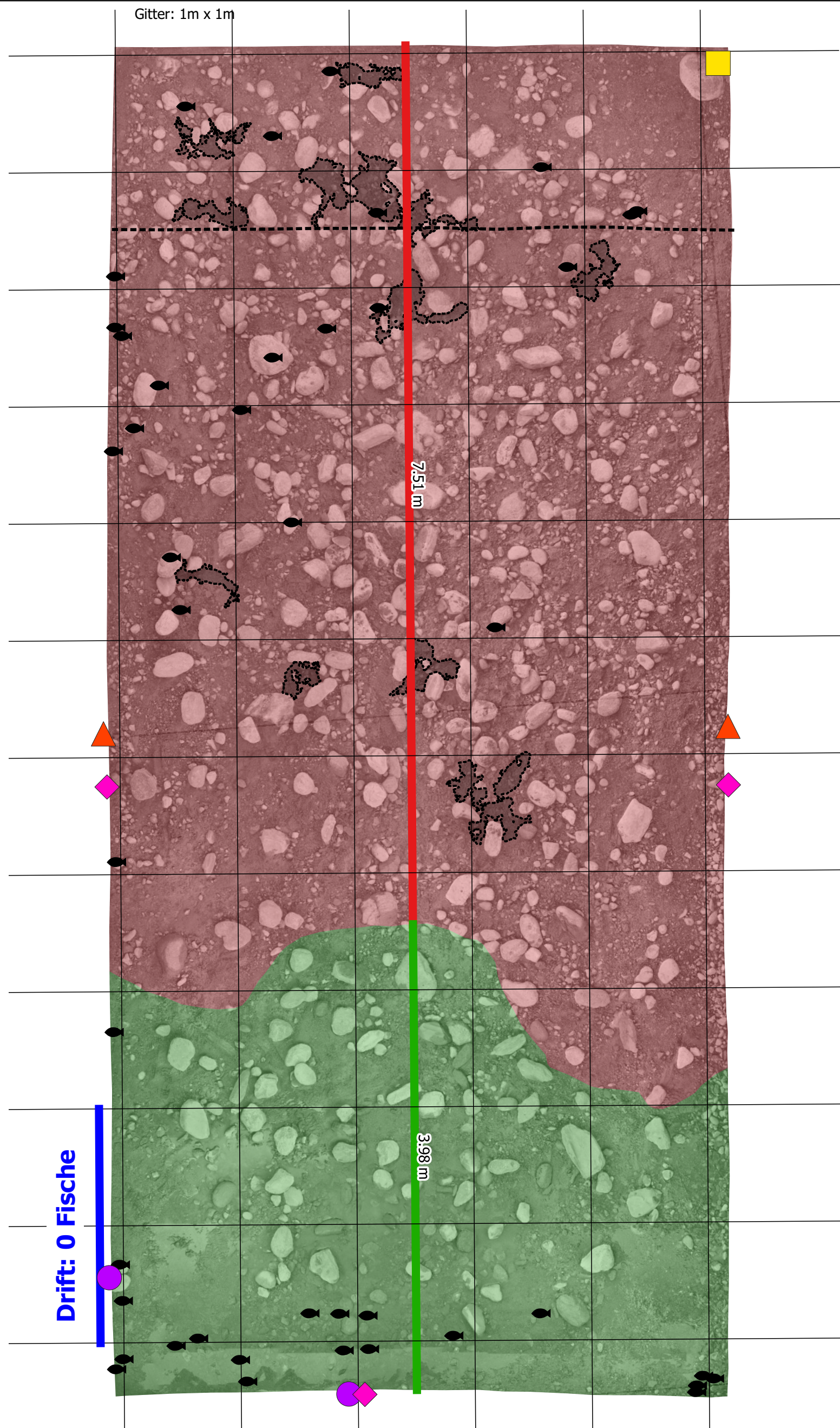
Fischfunde: 0% (#0)

Flächenanteil: 29% (17.6 m²)
Längenanteil: 35% (4 m)
Fischfunde: 47% (#20)
Fischfunddichte: 1.1 Fische/m²
Flächenanteil Mulden: 0%

Flächenanteil: 71% (43.2 m2)
Längenanteil: 65% (7.5 m)
Fischfunde: 53% (#23)
Fischfunddichte: 0.5 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 2.8%

Versuchsmenge: 43 Fische

Strandungsanteil: 53%



Factsheet: Versuch Hasliaare 4

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'097 / 1'171'975
Datum: 27.04.2021
Uhrzeit: 08.47 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 7 °C
Wasser pH-Wert: 7
Akklimatisationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 1 mm/min
Wiederfindungsrate: 96% (48 Fische)
Fischlänge: 24-37 mm

Korndurchmesser (dm): 73mm
Korndurchmesser (d90): 196mm
Sandflächenanteil: 19%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.1%
Quer Gefälle: 2.9%

Benjamin Berger (KWO) / 31.01.2022



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

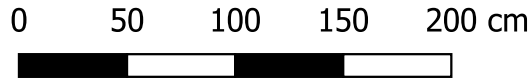
- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone
- Lunzerlinie

Längenanteile

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone



Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 0% (#0)

Sunkzone

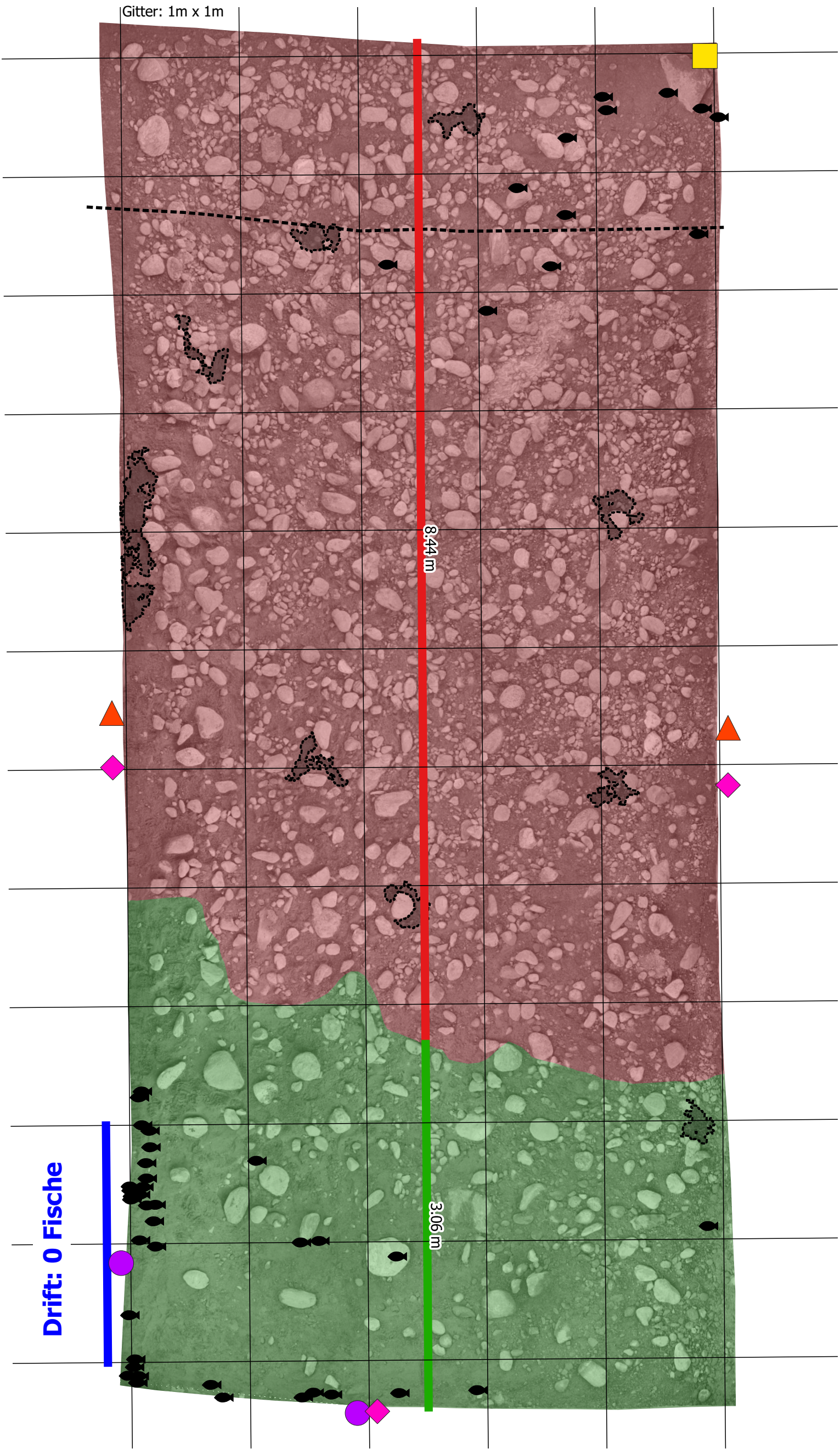
Flächenanteil: 28% (16.5 m2)
Längenanteil: 27% (3.1 m)
Fischfunde: 75% (#36)
Fischfunddichte: 2.2 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0.3%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 72% (41.9 m2)
Längenanteil: 73% (8.4 m)
Fischfunde: 25% (#12)
Fischfunddichte: 0.3 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 1.7%

Auswertungen

Versuchsmenge: 48 Fische
Strandungsanteil: 25%



Factsheet: Versuch Hasliaare 5

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'097 / 1'171'975
Datum: 28.04.2021
Uhrzeit: 08.57 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 8 °C
Wasser pH-Wert: 7
Akklimatisationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrage: 0.5 mm/min
Wiederfindungsrate: 100% (50 Fische)
Fischlänge: 24-36 mm

Korndurchmesser (dm): 59mm
Korndurchmesser (d90): 167mm
Sandflächenanteil: 11%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.6%
Quergerälle: 2.4%

Benjamin Berger (KWO) / 31.01.2022



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

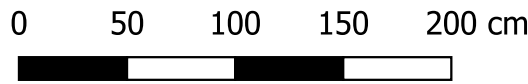
Zonen

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone
- Lunzerlinie

Längenanteile

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone

Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 2% (#1)

Sunkzone

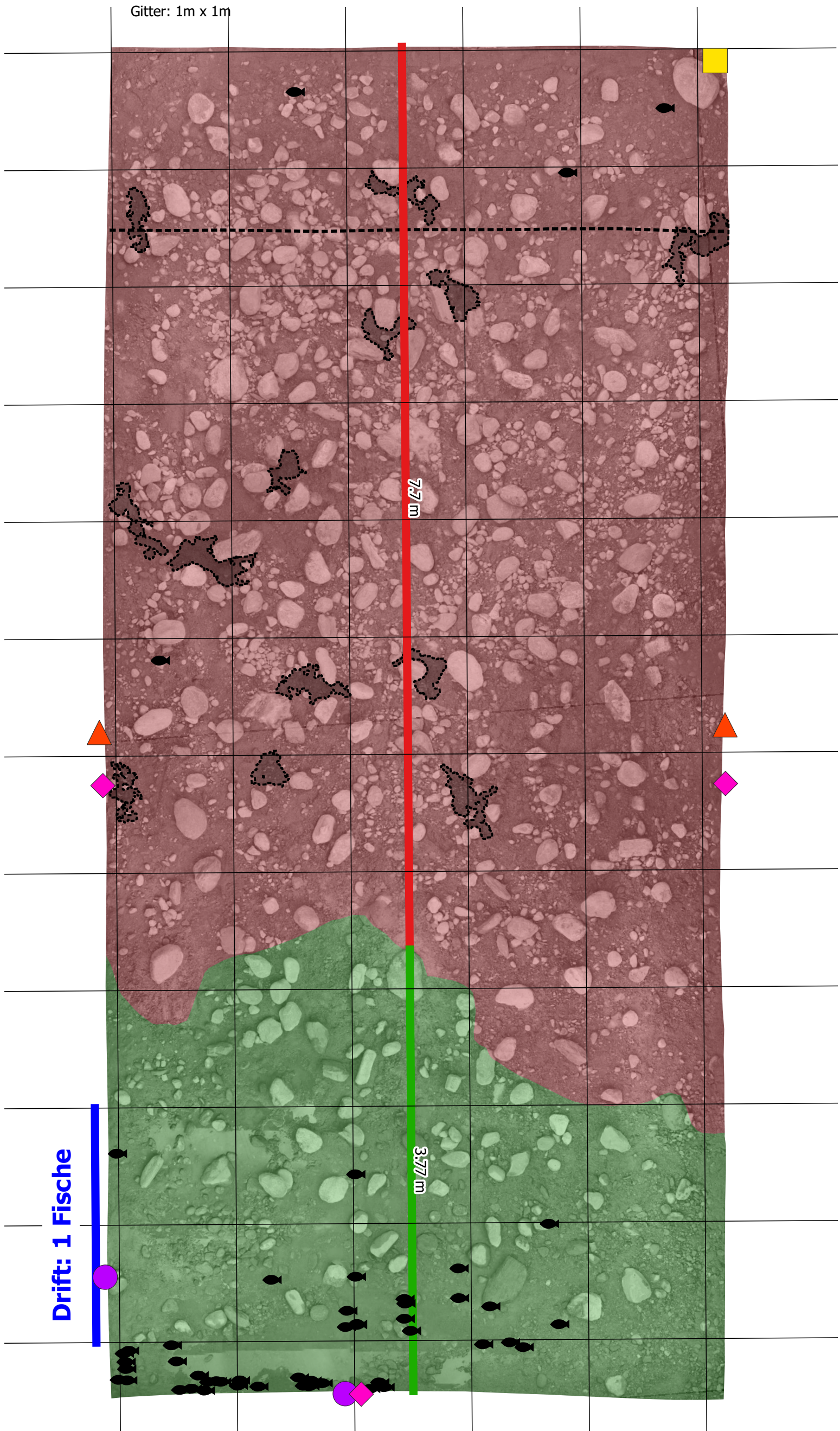
Flächenanteil: 28% (16.9 m2)
Längenanteil: 33% (3.8 m)
Fischfunde: 90% (#45)
Fischfunddichte: 2.7 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 72% (43.7 m2)
Längenanteil: 67% (7.7 m)
Fischfunde: 8% (#4)
Fischfunddichte: 0.1 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 2.4%

Auswertungen

Versuchsmenge: 49 Fische
Strandungsanteil: 8%



Factsheet: Versuch Hasliaare 6

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'097 / 1'171'975
Datum: 29.04.2021
Uhrzeit: 08.26 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 6.8 °C
Wasser pH-Wert: 7
Akklimatisationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrage: 42 mm/min
Wiederfindungsrate: 100% (50 Fische)
Fischlänge: 24-36 mm

Korndurchmesser (dm): 60mm
Korndurchmesser (d90): 184mm
Sandflächenanteil: 6%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.8%
Quergefälle: 2.1%

Benjamin Berger (KWO) / 31.01.2022



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

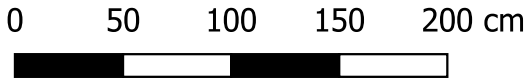
Zonen

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone
- Lunzerlinie

Längenanteile

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone

Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 0% (#0)

Sunkzone

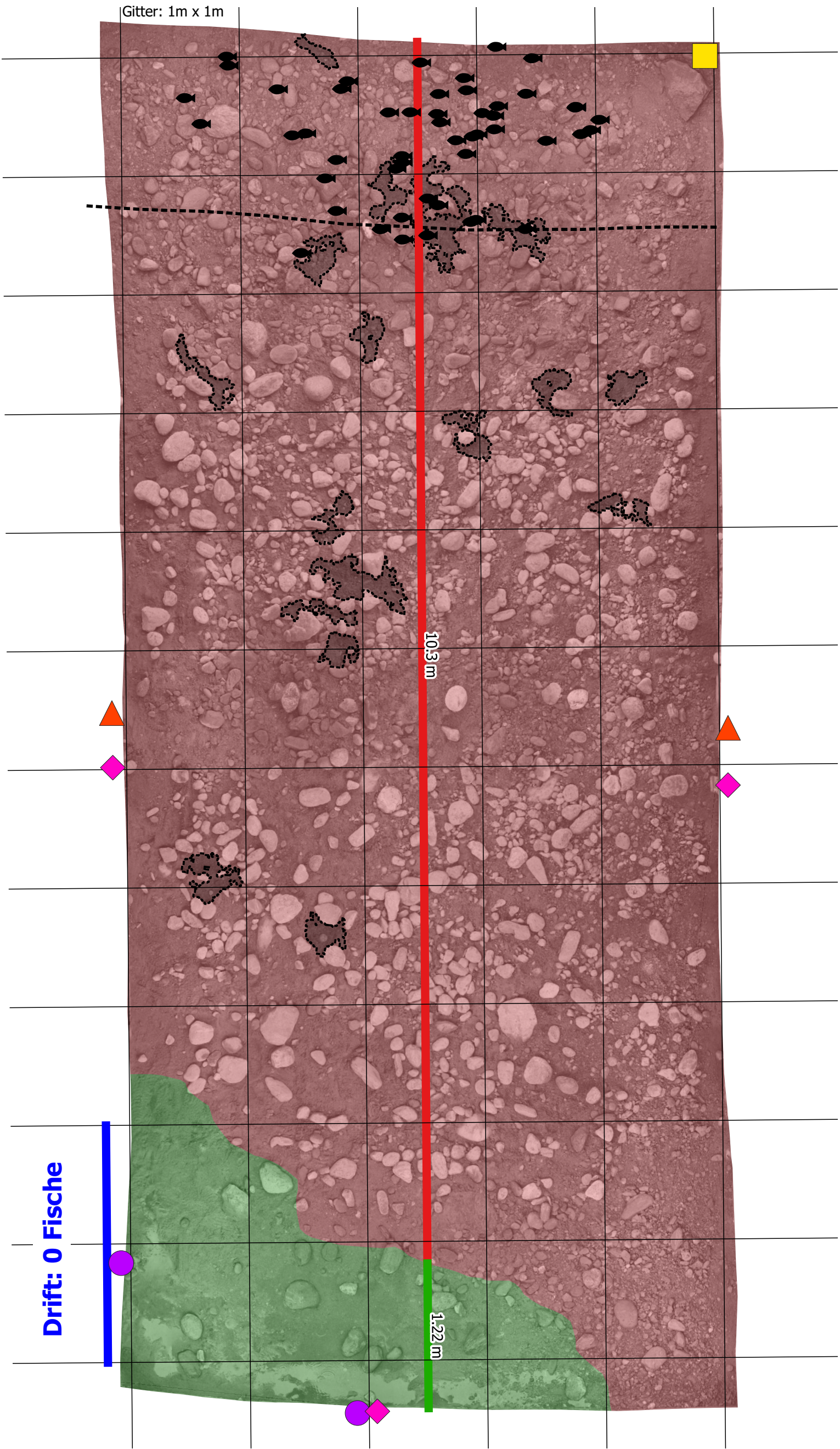
Flächenanteil: 11% (6.3 m2)
Längenanteil: 11% (1.2 m)
Fischfunde: 0% (#0)
Fischfunddichte: 0 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 89% (52.4 m2)
Längenanteil: 89% (10.3 m)
Fischfunde: 100% (#50)
Fischfunddichte: 1 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 2.6%

Auswertungen

Versuchsmenge: 50 Fische
Strandungsanteil: 100%



Factsheet: Versuch Hasliaare 7

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2°66'1"O 47°1'17"N
Datum: 04.05.2021
Uhrzeit: 09.31 (Fischbeigabe)
Anzahl beigeegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 6.8 °C
Wasser pH-Wert: 6.5
Akklimatisationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 2 mm/min
Wiederfindungsrate: 96% (48 Fische)
Fischlänge: 24-35 mm

Korndurchmesser (dm): 65mm
Korndurchmesser (d90): 188mm
Sandflächenanteil: 18%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.4%
Quer Gefälle: 2.6%

Benjamin Berger (KWO) / 31.01.2022



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

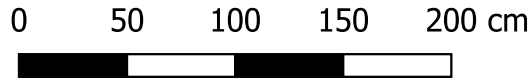
Zonen

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone
- Lunzerlinie

Längenanteile

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone

Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 0% (#0)

Sunkzone

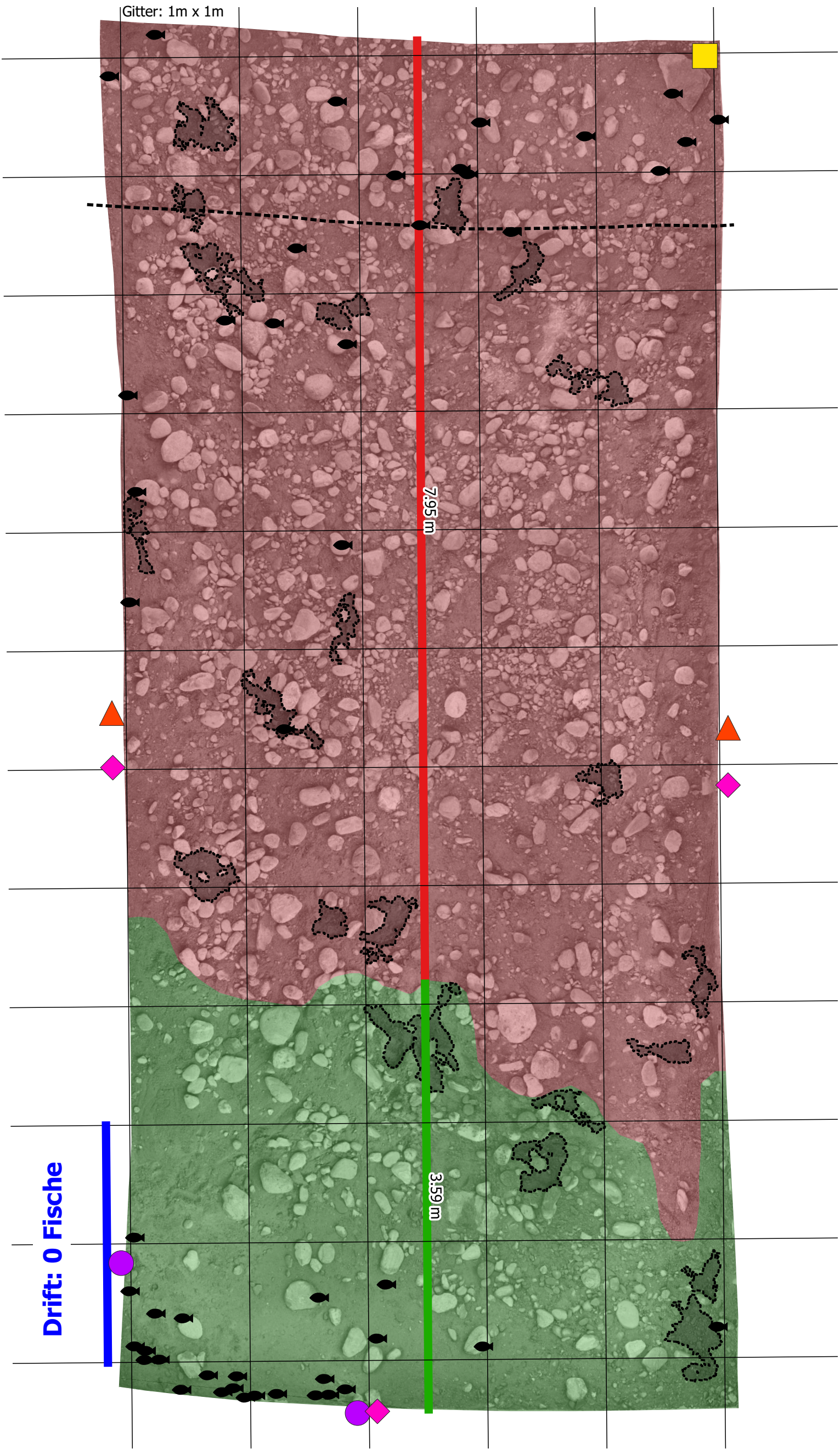
Flächenanteil: 27% (15.8 m2)
Längenanteil: 31% (3.6 m)
Fischfunde: 52% (#25)
Fischfunddichte: 1.6 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 4.1%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 73% (42.9 m2)
Längenanteil: 69% (8 m)
Fischfunde: 48% (#23)
Fischfunddichte: 0.5 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 3.1%

Auswertungen

Versuchsmenge: 48 Fische
Strandungsanteil: 48%



Factsheet: Versuch Hasliaare 8

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'097 / 1'171'975
Datum: 09.05.2021
Uhrzeit: 09.10 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 6.9 °C
Wasser pH-Wert: 6.5
Akklimatisationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrage: 11 mm/min
Wiederfindungsrate: 94% (47 Fische)
Fischlänge: 24-43 mm

Korndurchmesser (dm): 48mm
Korndurchmesser (d90): 141mm
Sandflächenanteil: 16%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.4%
Quergefälle: 2.3%

Benjamin Berger (KWO) / 31.01.2022



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

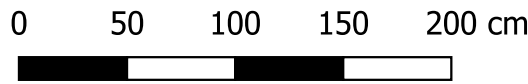
- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone
- Lunzerlinie

Längenanteile

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone



Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 2% (#1)

Sunkzone

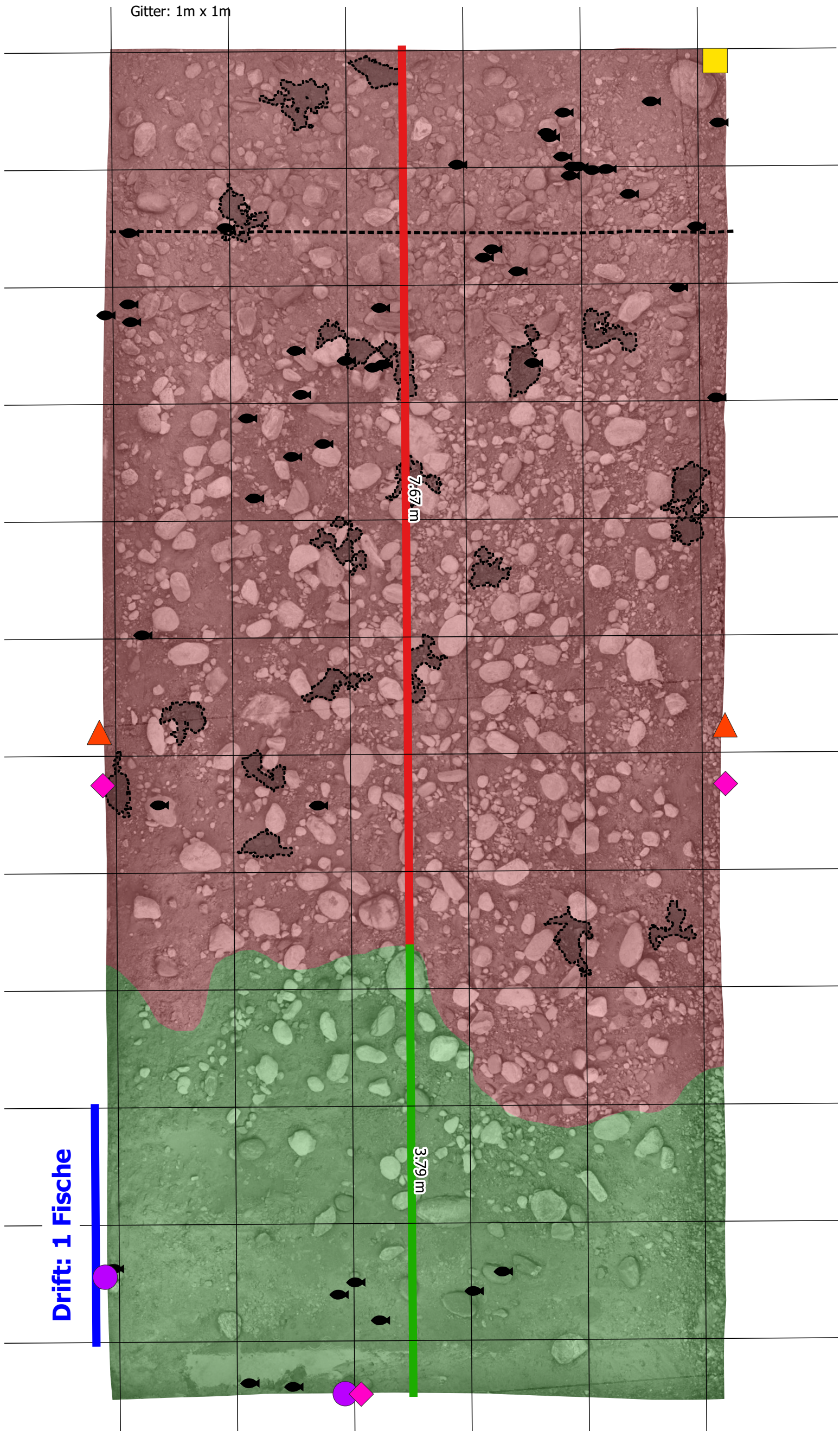
Flächenanteil: 27% (16.4 m2)
Längenanteil: 33% (3.8 m)
Fischfunde: 17% (#8)
Fischfunddichte: 0.5 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 73% (44.2 m2)
Längenanteil: 67% (7.7 m)
Fischfunde: 81% (#38)
Fischfunddichte: 0.9 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 3.2%

Auswertungen

Versuchsmenge: 46 Fische
Strandungsanteil: 83%



Factsheet: Versuch Hasliaare 9

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2°66'1"097 / 1°17'1"975
Datum: 16.05.2021
Uhrzeit: 09.35 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 6.7 °C
Wasser pH-Wert: 6.5
Akklimatisationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 1 mm/min
Wiederfindungsrate: 100% (50 Fische)
Fischlänge: 24-36 mm

Korndurchmesser (dm): 60mm
Korndurchmesser (d90): 170mm
Sandflächenanteil: 20%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.1%
Quer Gefälle: 2.4%

Benjamin Berger (KWO) / 31.01.2022



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

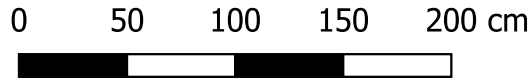
Zonen

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone
- Lunzerlinie

Längenanteile

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone

Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 2% (#1)

Sunkzone

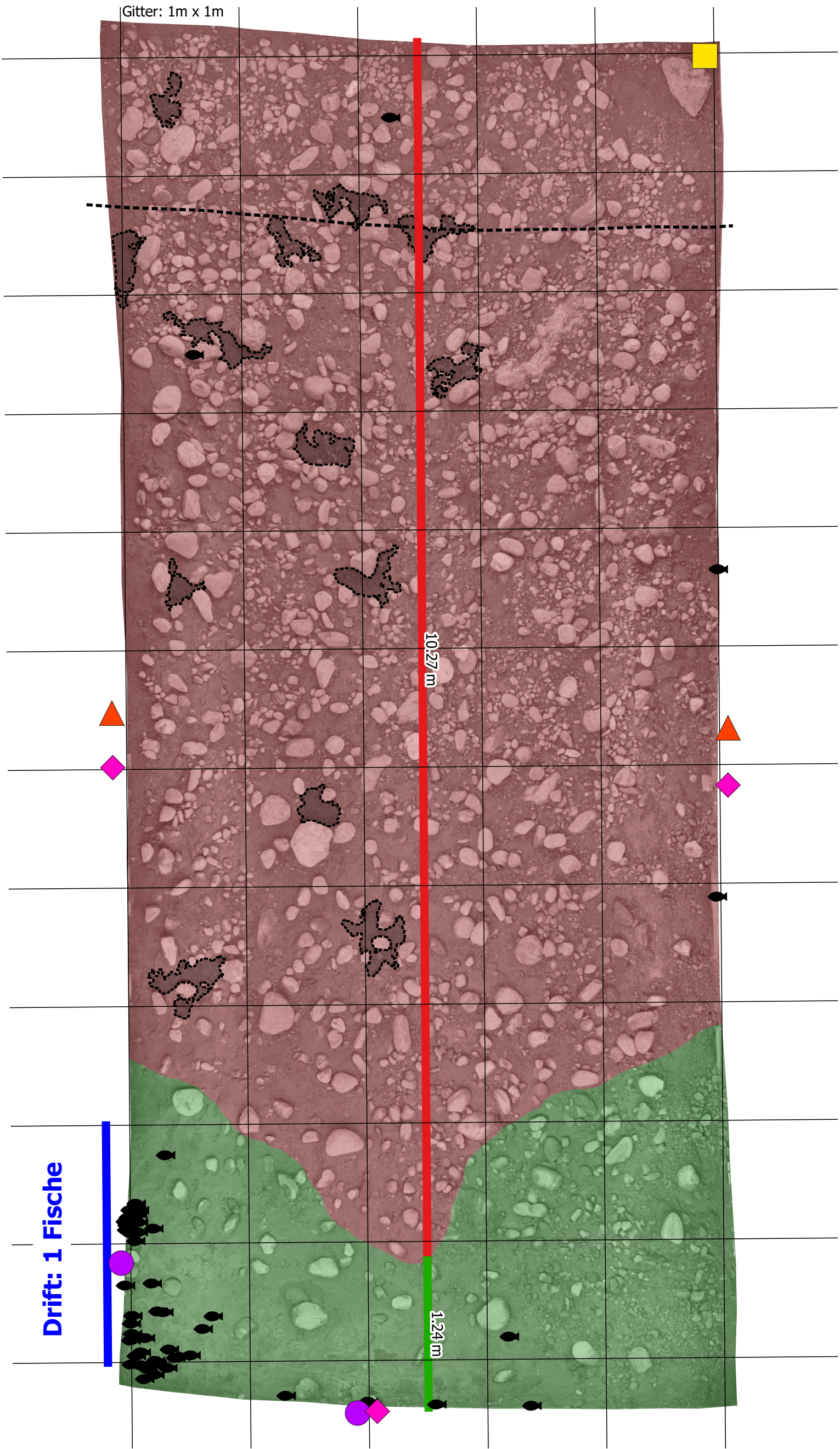
Flächenanteil: 20% (11.8 m2)
Längenanteil: 11% (1.2 m)
Fischfunde: 90% (#45)
Fischfunddichte: 3.8 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 80% (46.7 m2)
Längenanteil: 89% (10.3 m)
Fischfunde: 8% (#4)
Fischfunddichte: 0.1 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 2.5%

Auswertungen

Versuchsmenge: 49 Fische
Strandungsanteil: 8%



Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'097 / 1'171'975
Datum: 17.05.2021
Uhrzeit: 11.24 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 7.4 °C
Wasser pH-Wert: 6.5
Akklimatisationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrage: 6 mm/min
Wiederfindungsrate: 100% (50 Fische)
Fischlänge: 20-38 mm

Korndurchmesser (dm): 53mm
 Korndurchmesser (d90): 139mm
 Sandflächenanteil: 31%
 Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.6%
 Quergefälle: 1.9%

1:1'500

 Fischfundorte
 Beigabeort
 Driftreusen
 Mulden ($>0.05 \text{ m}^2$)

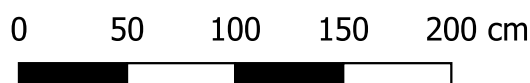
- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

 Sunkzone
 auswertbare Wasserwechselzone
 Lunzerlinie

■ Sunkzone
■ auswertbare Wasserwechselzone



Hauptfliessrichtung

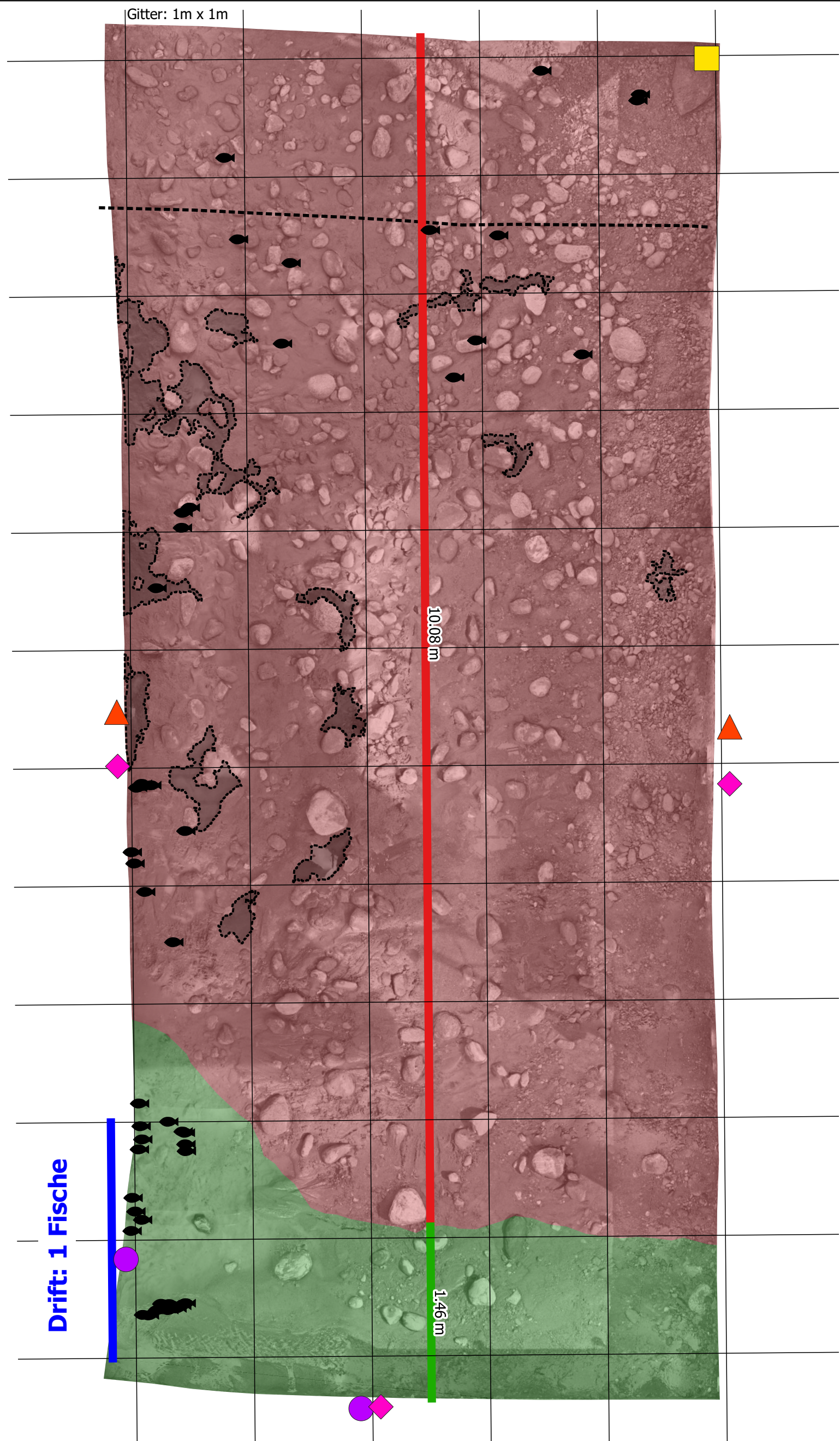


Fischfunde: 2% (#1)

Flächenanteil: 15% (8.9 m²)
Längenanteil: 13% (1.5 m)
Fischfunde: 48% (#24)
Fischfunddichte: 2.7 Fische/m²
Flächenanteil Mulden: 0%

Flächenanteil: 85% (49.2 m2)
Längenanteil: 87% (10.1 m)
Fischfunde: 50% (#25)
Fischfunddichte: 0.5 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 3.6%

Versuchsmenge: 49 Fische
Strandungsanteil: 51%



Factsheet: Versuch Hasliaare 11

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'097 / 1'171'975
Datum: 18.05.2021
Uhrzeit: 10.14 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 7.8 °C
Wasser pH-Wert: 6.5
Akklimatisationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 6 mm/min
Wiederfindungsrate: 98% (49 Fische)
Fischlänge: 24-40 mm

Korndurchmesser (dm): 68mm
Korndurchmesser (d90): 178mm
Sandflächenanteil: 23%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.1%
Quer Gefälle: 2.2%

Benjamin Berger (KWO) / 31.01.2022



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

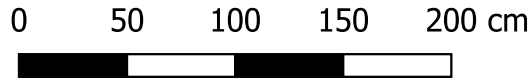
Zonen

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone
- Lunzerlinie

Längenanteile

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone

Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 0% (#0)

Sunkzone

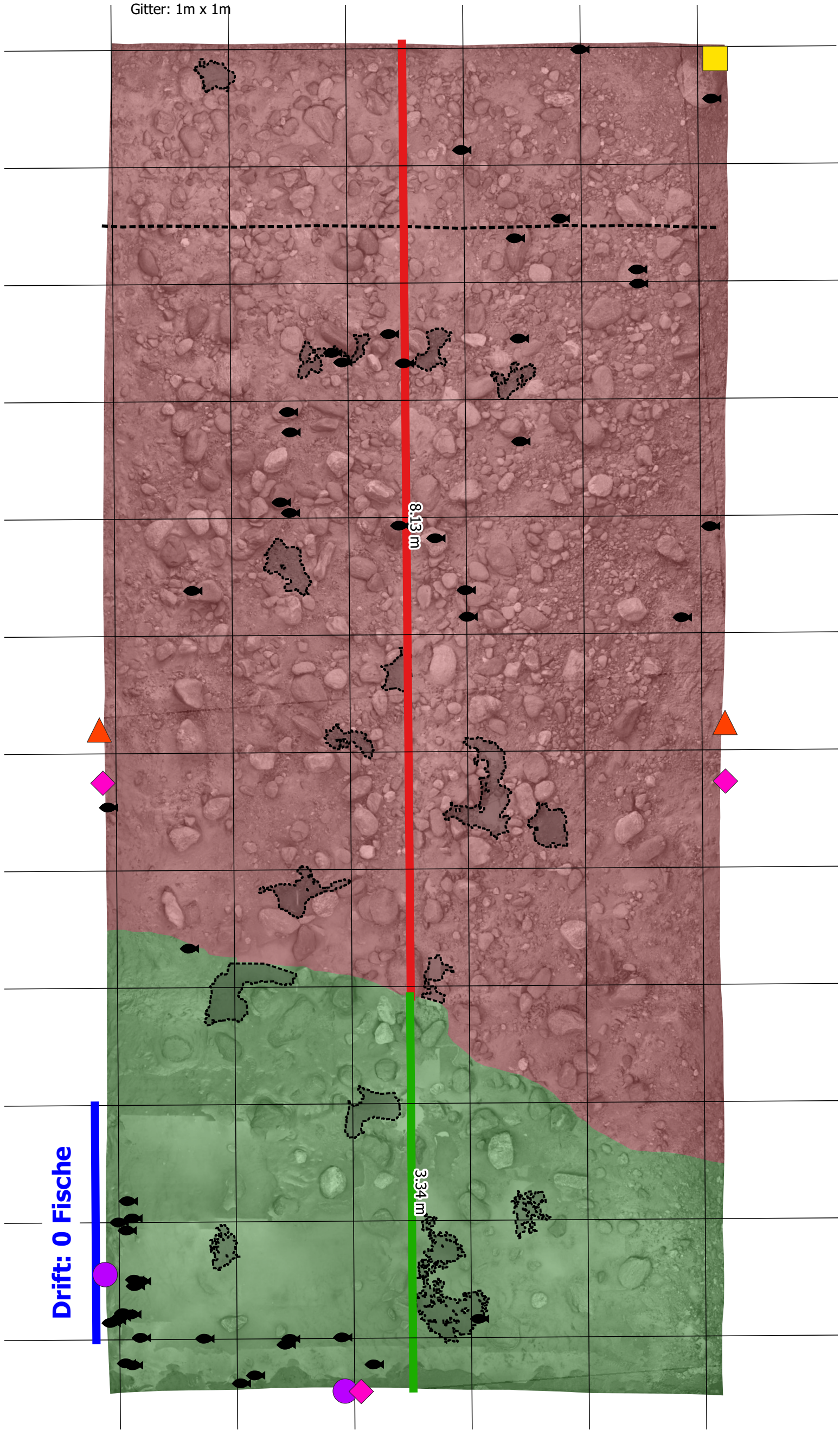
Flächenanteil: 27% (16.1 m2)
Längenanteil: 29% (3.3 m)
Fischfunde: 49% (#24)
Fischfunddichte: 1.5 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 4.1%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 73% (44.4 m2)
Längenanteil: 71% (8.1 m)
Fischfunde: 51% (#25)
Fischfunddichte: 0.6 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 2%

Auswertungen

Versuchsmenge: 49 Fische
Strandungsanteil: 51%



Factsheet: Versuch Hasliaare 12

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'097 / 1'171'975
Datum: 19.05.2021
Uhrzeit: 09.16 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 6.3 °C
Wasser pH-Wert: 6.5
Akklimatisationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 37 mm/min
Wiederfindungsrate: 100% (50 Fische)
Fischlänge: 24-40 mm

Korndurchmesser (dm): 69mm
Korndurchmesser (d90): 197mm
Sandflächenanteil: 43%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.8%
Quergefälle: 1.9%

Benjamin Berger (KWO) / 31.01.2022



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

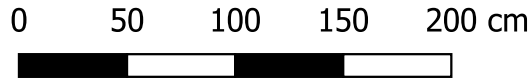
- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone
- Lunzerlinie

Längenanteile

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone



Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 2% (#1)

Sunkzone

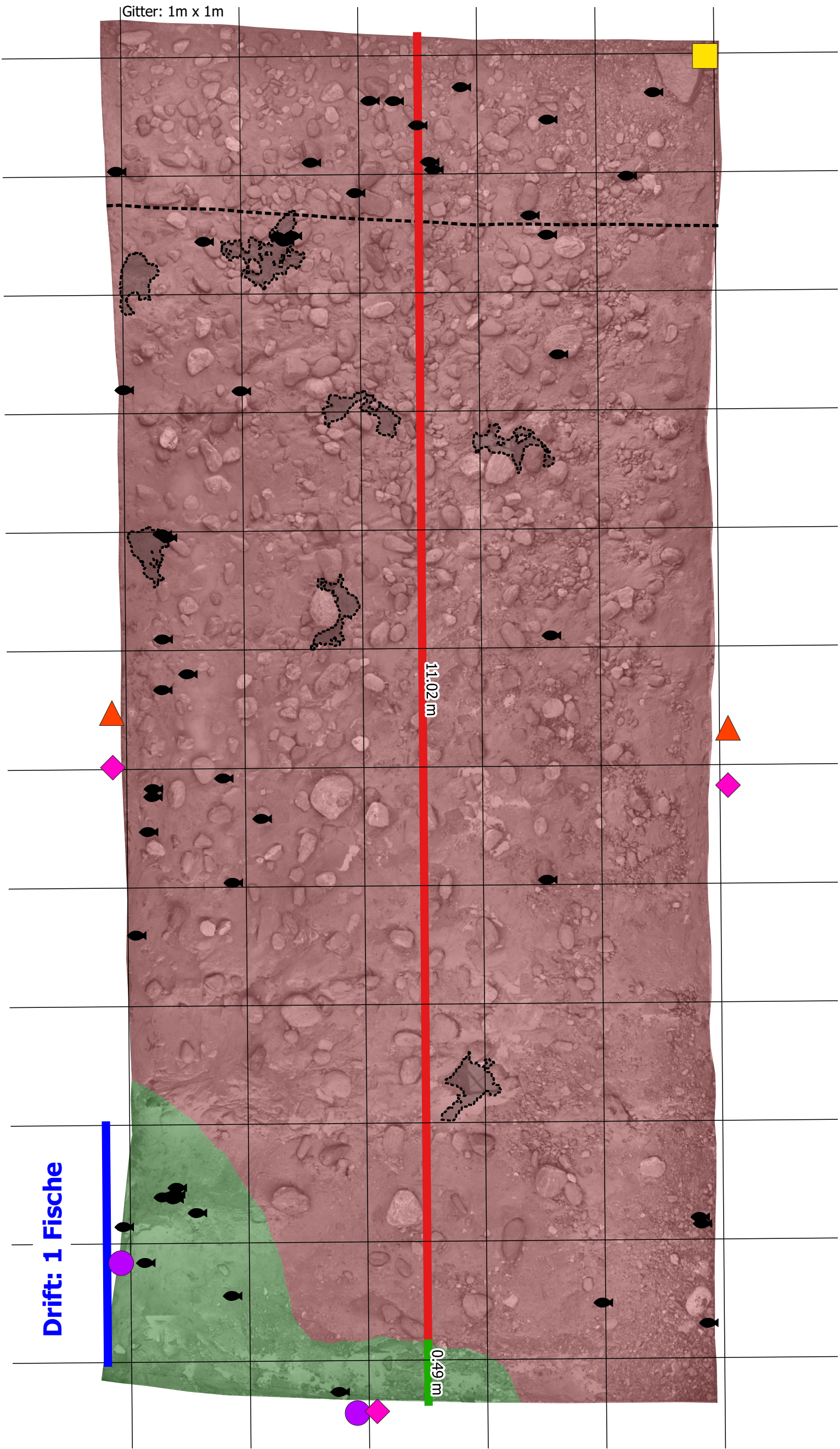
Flächenanteil: 7% (3.9 m2)
Längenanteil: 4% (0.5 m)
Fischfunde: 20% (#10)
Fischfunddichte: 2.6 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 93% (53.9 m2)
Längenanteil: 96% (11 m)
Fischfunde: 78% (#39)
Fischfunddichte: 0.7 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 1.4%

Auswertungen

Versuchsmenge: 49 Fische
Strandungsanteil: 80%



Factsheet: Versuch Hasliaare 13

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'097 / 1'171'975
Datum: 20.05.2021
Uhrzeit: 07.48 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 8.5 °C
Wasser pH-Wert: 6.5
Akklimatisationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 0.2 mm/min
Wiederfindungsrate: 100% (50 Fische)
Fischlänge: 20-43 mm

Korndurchmesser (dm): 53mm
Korndurchmesser (d90): 153mm
Sandflächenanteil: 18%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 1.6%
Quer Gefälle: 2.1%

Benjamin Berger (KWO) / 31.01.2022



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)

Messsystem

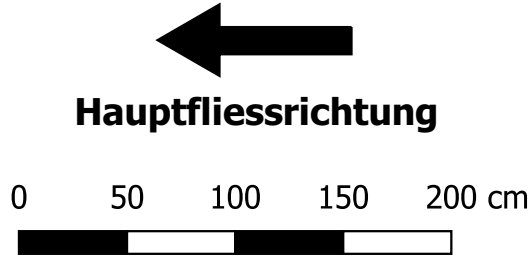
- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone
- Lunzerlinie

Längenanteile

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 0% (#0)

Sunkzone

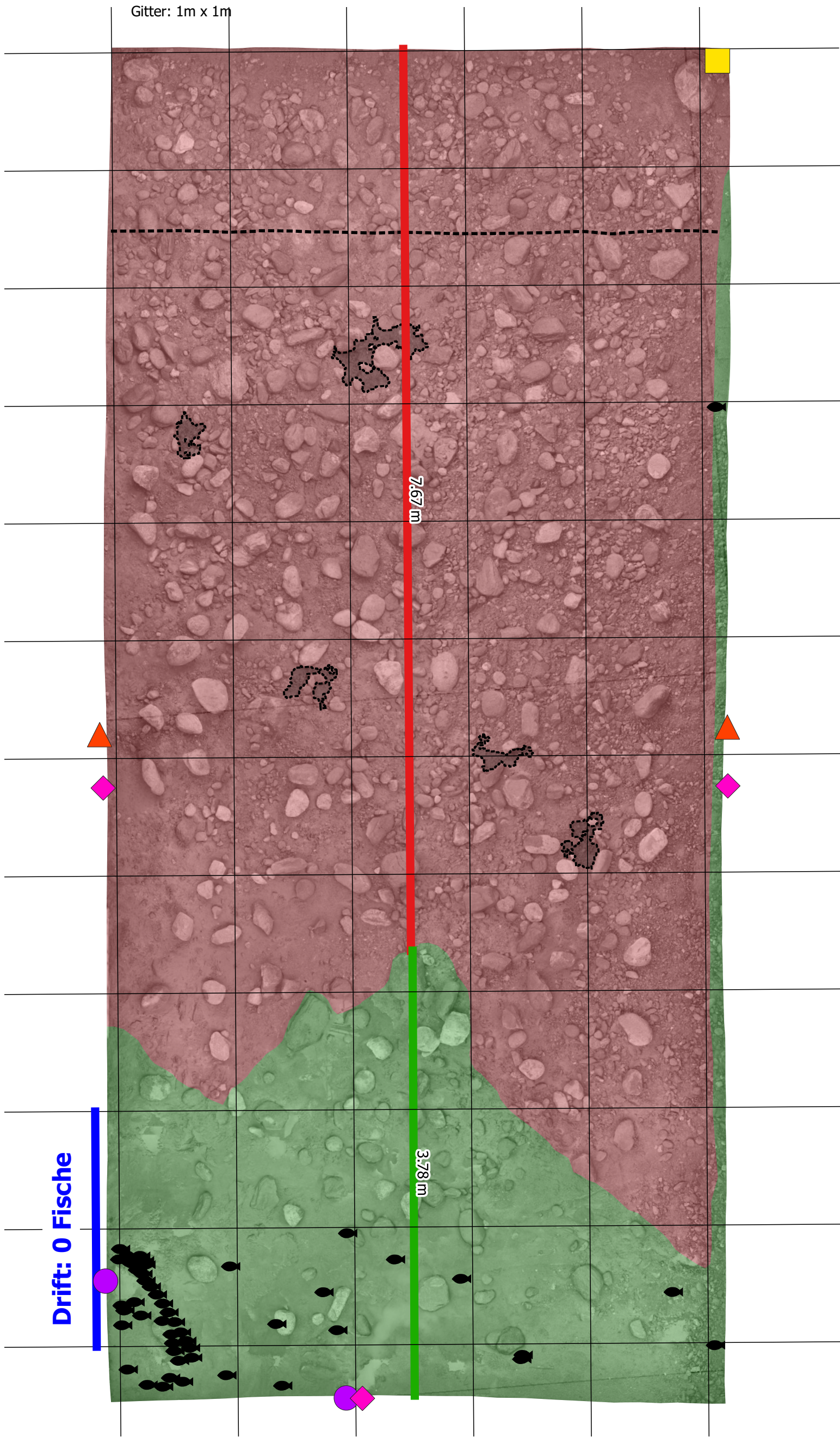
Flächenanteil: 25% (14.9 m2)
Längenanteil: 33% (3.8 m)
Fischfunde: 100% (#50)
Fischfunddichte: 3.4 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 75% (45.6 m2)
Längenanteil: 67% (7.7 m)
Fischfunde: 0% (#0)
Fischfunddichte: 0 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0.9%

Auswertungen

Versuchsmenge: 50 Fische
Strandungsanteil: 0%



Factsheet: Versuch Hasliaare 14

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'097 / 1'171'975
Datum: 21.05.2021
Uhrzeit: 09.19 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 7.3 °C
Wasser pH-Wert: 6.5
Akklimatisationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrage: 26 mm/min
Wiederfindungsrate: 100% (50 Fische)
Fischlänge: 26-41 mm

Korndurchmesser (dm): 65mm
Korndurchmesser (d90): 149mm
Sandflächenanteil: 36%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 3%
Quergefälle: 1.9%

Benjamin Berger (KWO) / 31.01.2022



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

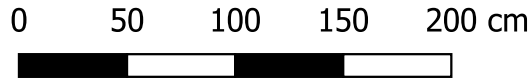
- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone
- Lunzerlinie

Längenanteile

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone



Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 0% (#0)

Sunkzone

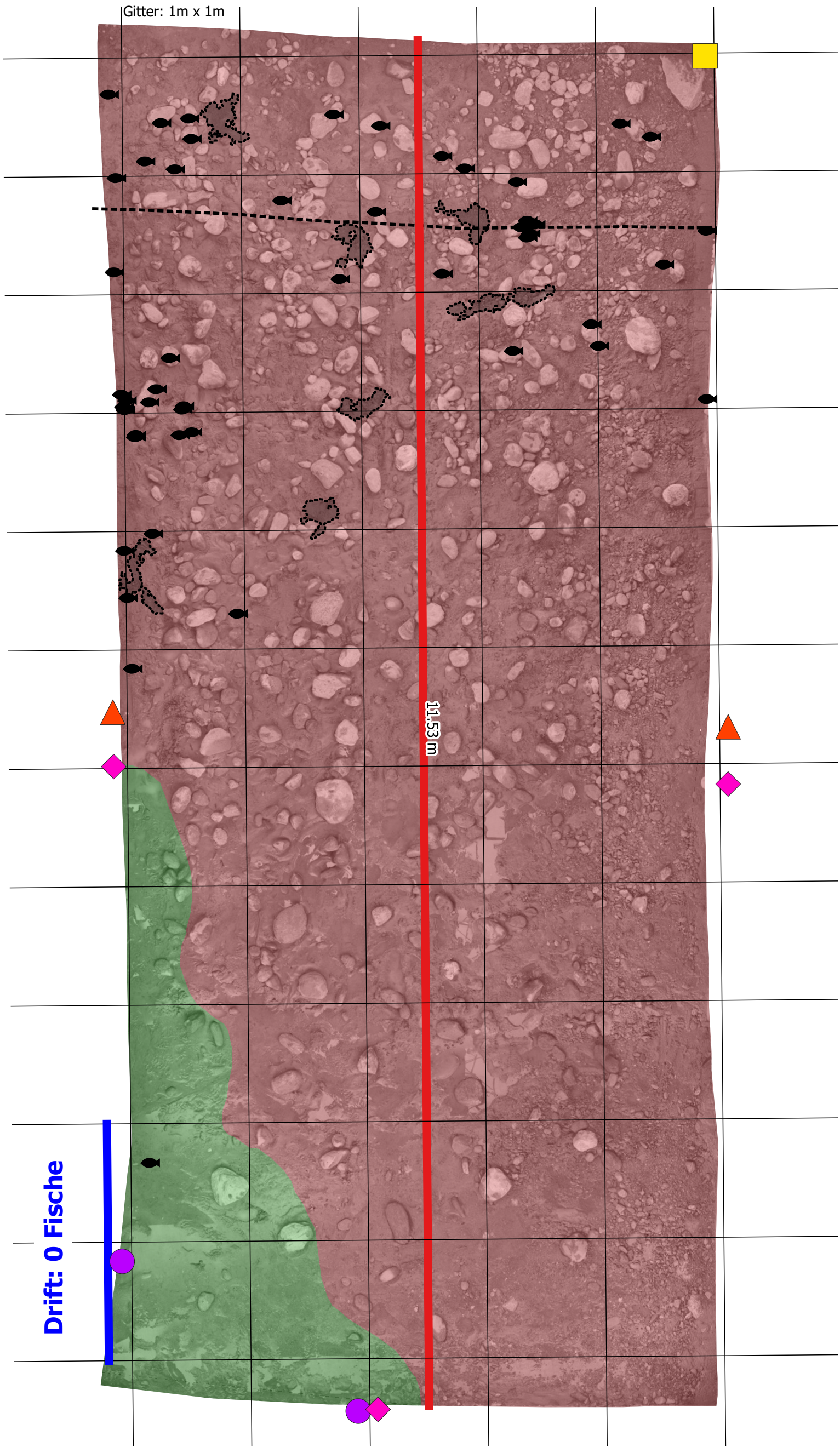
Flächenanteil: 10% (5.9 m2)
Längenanteil: 0% (0 m)
Fischfunde: 2% (#1)
Fischfunddichte: 0.2 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 90% (52.1 m2)
Längenanteil: 100% (11.5 m)
Fischfunde: 98% (#49)
Fischfunddichte: 0.9 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0.9%

Auswertungen

Versuchsmenge: 50 Fische
Strandungsanteil: 98%



Factsheet: Versuch Hasliaare 15

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'097 / 1'171'975
Datum: 25.05.2021
Uhrzeit: 09.40 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 7.8 °C
Wasser pH-Wert: 6.5
Akklimationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 1 mm/min
Wiederfindungsrate: 100% (50 Fische)
Fischlänge: 20-52 mm

Korndurchmesser (dm): 74mm
Korndurchmesser (d90): 163mm
Sandflächenanteil: 51%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.4%
Quergefälle: 1.7%

Benjamin Berger (KWO) / 31.01.2022



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

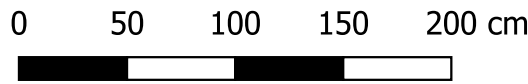
- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone
- Lunzerlinie

Längenanteile

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone



Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 0% (#0)

Sunkzone

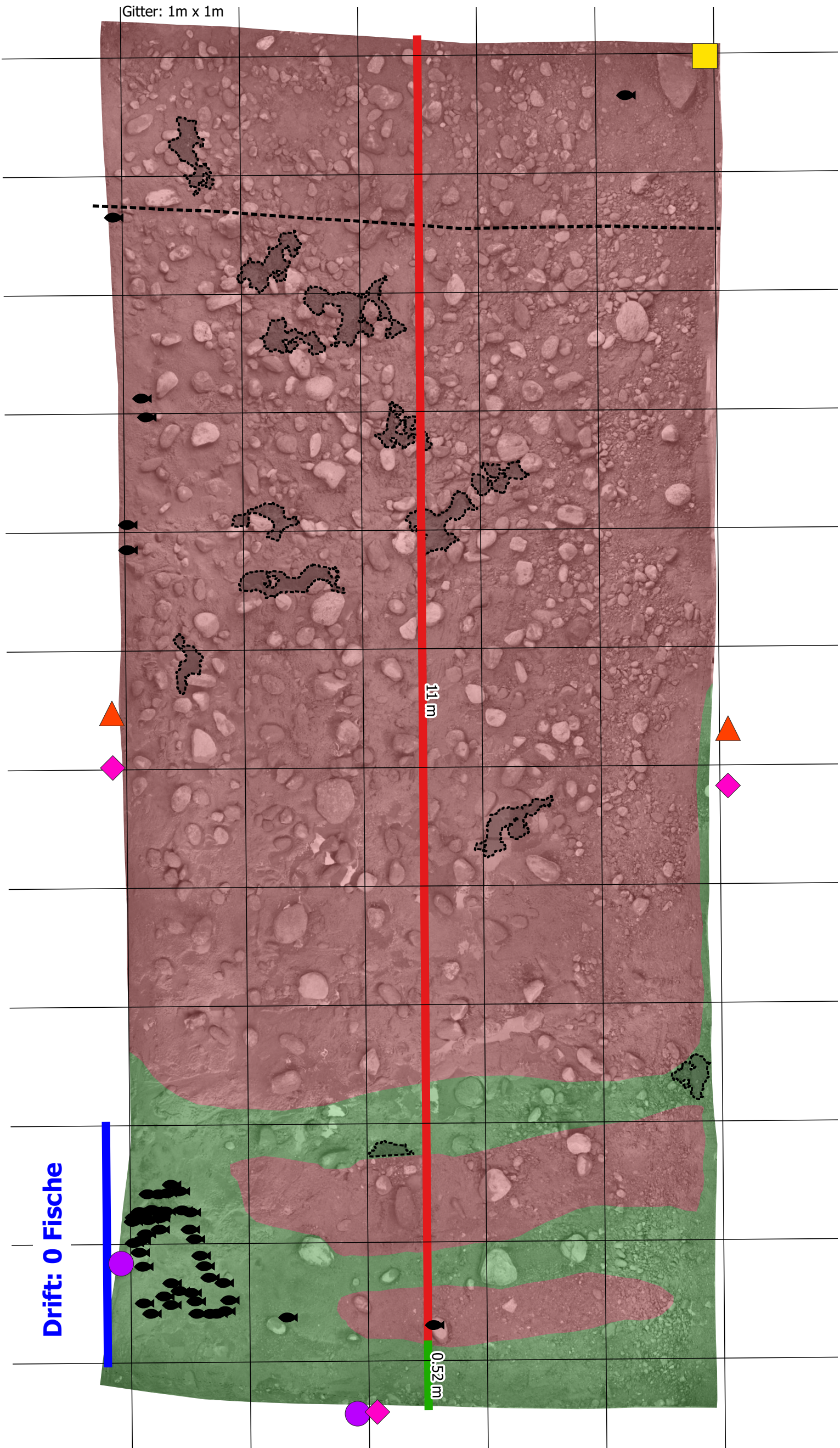
Flächenanteil: 17% (9.7 m2)
Längenanteil: 5% (0.5 m)
Fischfunde: 86% (#43)
Fischfunddichte: 4.4 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0.9%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 83% (48.4 m2)
Längenanteil: 95% (11 m)
Fischfunde: 14% (#7)
Fischfunddichte: 0.1 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 2.2%

Auswertungen

Versuchsmenge: 50 Fische
Strandungsanteil: 14%



Factsheet: Versuch Hasliaare 16

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'097 / 1'171'975
Datum: 26.05.2021
Uhrzeit: 08.27 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 7.5 °C
Wasser pH-Wert: 6.5
Akklimationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 1 mm/min
Wiederfindungsrate: 100% (50 Fische)
Fischlänge: 22-46 mm

Korndurchmesser (dm): 60mm
Korndurchmesser (d90): 138mm
Sandflächenanteil: 24%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.6%
Quer Gefälle: 1.7%

Benjamin Berger (KWO) / 31.01.2022



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

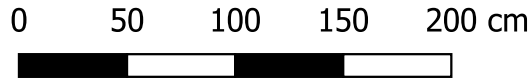
- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone
- Lunzerlinie

Längenanteile

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone



Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 0% (#0)

Sunkzone

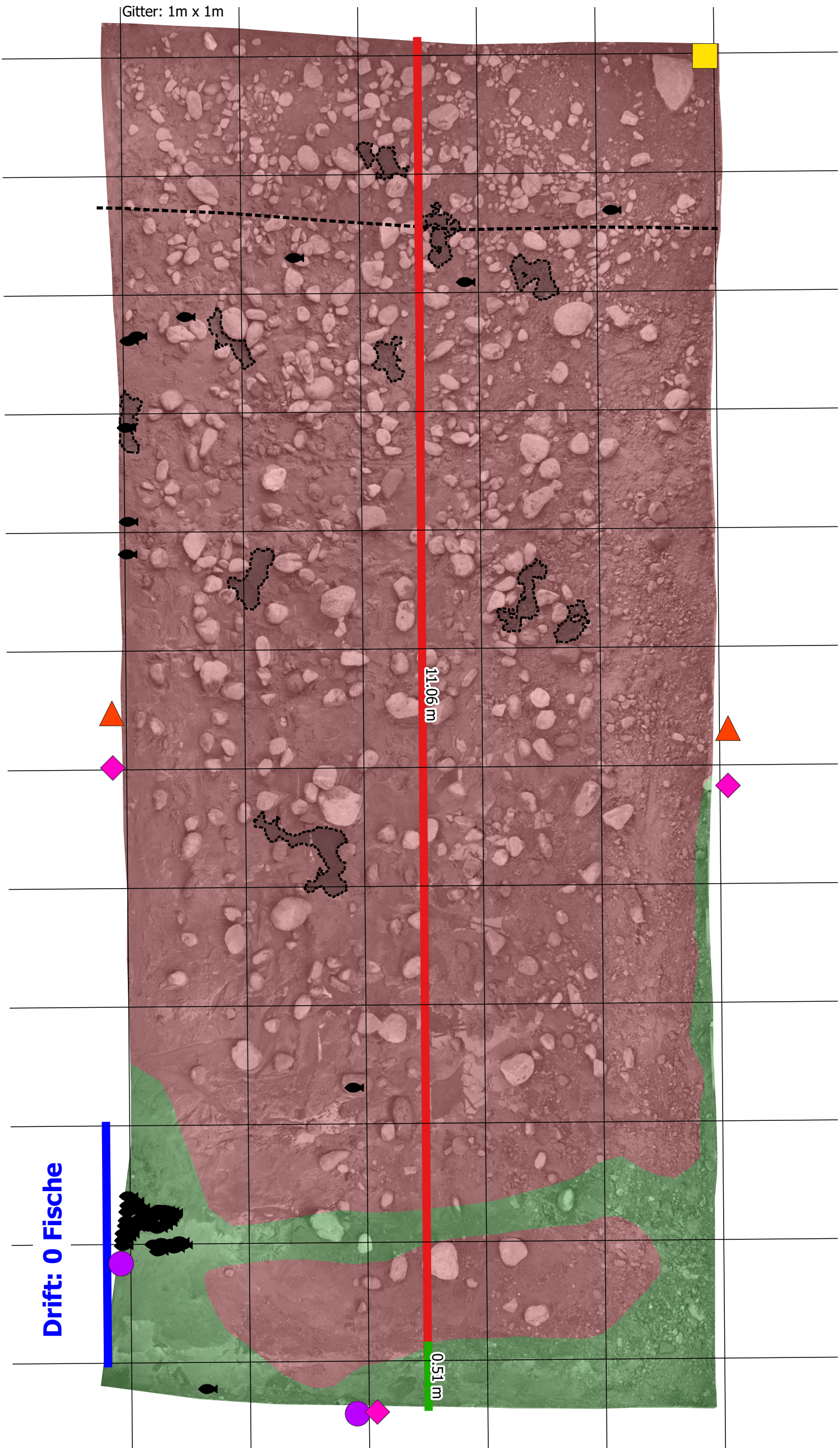
Flächenanteil: 11% (6.5 m2)
Längenanteil: 4% (0.5 m)
Fischfunde: 80% (#40)
Fischfunddichte: 6.1 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 89% (51.4 m2)
Längenanteil: 96% (11.1 m)
Fischfunde: 20% (#10)
Fischfunddichte: 0.2 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 1.5%

Auswertungen

Versuchsmenge: 50 Fische
Strandungsanteil: 20%



Factsheet: Versuch Hasliaare 17

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'097 / 1'171'975
Datum: 28.05.2021
Uhrzeit: 07.13 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 6.4 °C
Wasser pH-Wert: 6.5
Akklimatisationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 14 mm/min
Wiederfindungsrate: 100% (50 Fische)
Fischlänge: 23-41 mm

Korndurchmesser (dm): 82mm
Korndurchmesser (d90): 180mm
Sandflächenanteil: 47%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.6%
Quer Gefälle: 2.1%

Benjamin Berger (KWO) / 31.01.2022



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

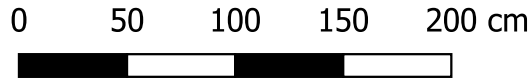
- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone
- Lunzerlinie

Längenanteile

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone



Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 0% (#0)

Sunkzone

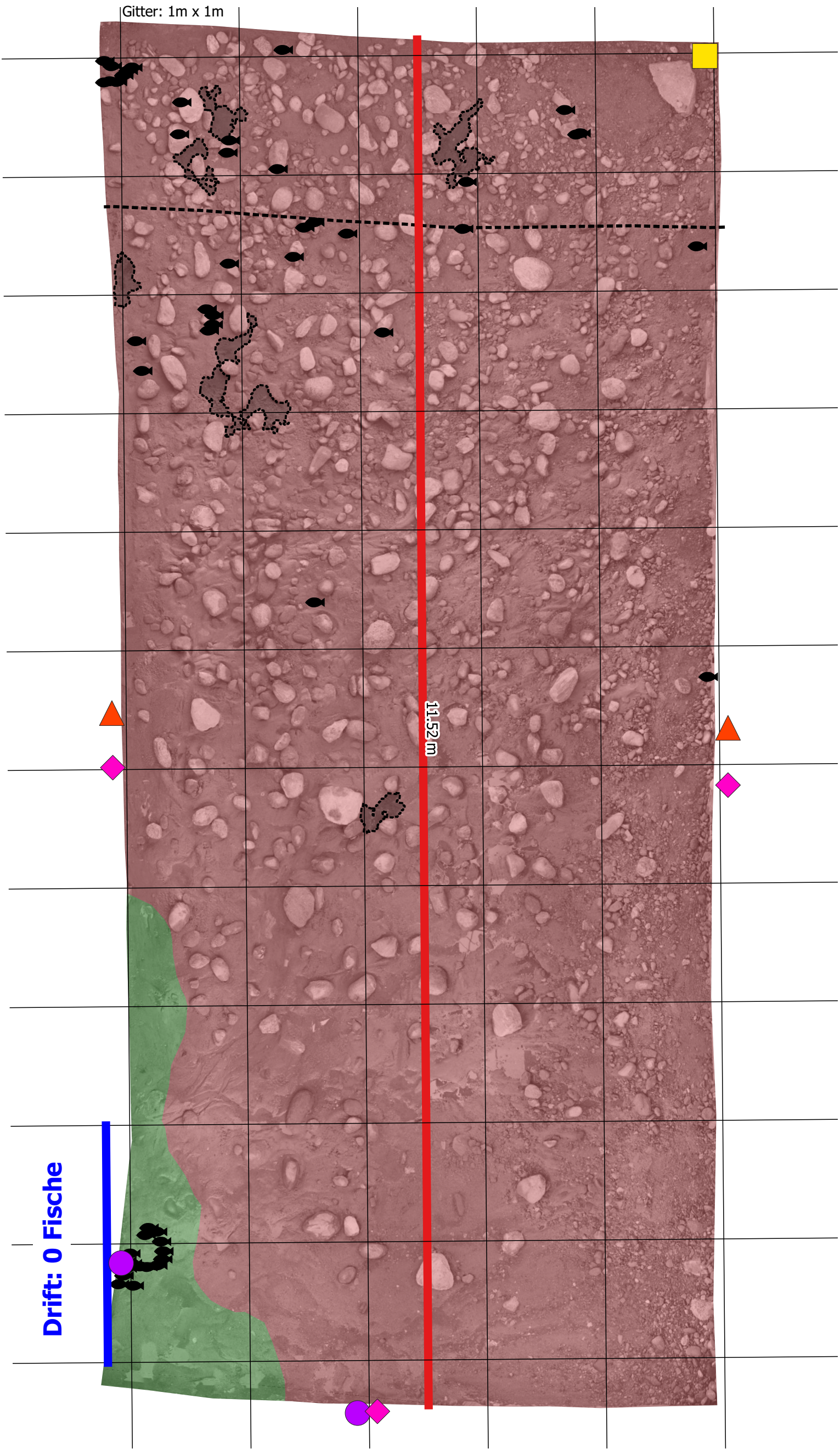
Flächenanteil: 5% (2.6 m2)
Längenanteil: 0% (0 m)
Fischfunde: 32% (#16)
Fischfunddichte: 6.1 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 95% (55.4 m2)
Längenanteil: 100% (11.5 m)
Fischfunde: 68% (#34)
Fischfunddichte: 0.6 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 1%

Auswertungen

Versuchsmenge: 50 Fische
Strandungsanteil: 68%



Factsheet: Versuch Hasliaare 18

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'097 / 1'171'975
Datum: 28.05.2021
Uhrzeit: 10.37 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 8.4 °C
Wasser pH-Wert: 6.5
Akklimatisationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 8 mm/min
Wiederfindungsrate: 100% (50 Fische)
Fischlänge: 28-45 mm

Korndurchmesser (dm): 60mm
Korndurchmesser (d90): 146mm
Sandflächenanteil: 37%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.6%
Quer Gefälle: 1.6%

Benjamin Berger (KWO) / 31.01.2022



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

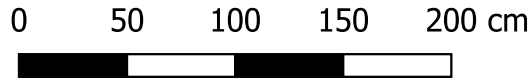
Zonen

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone
- Lunzerlinie

Längenanteile

- Sunkzone
- auswertbare Wasserwechselzone

Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 0% (#0)

Sunkzone

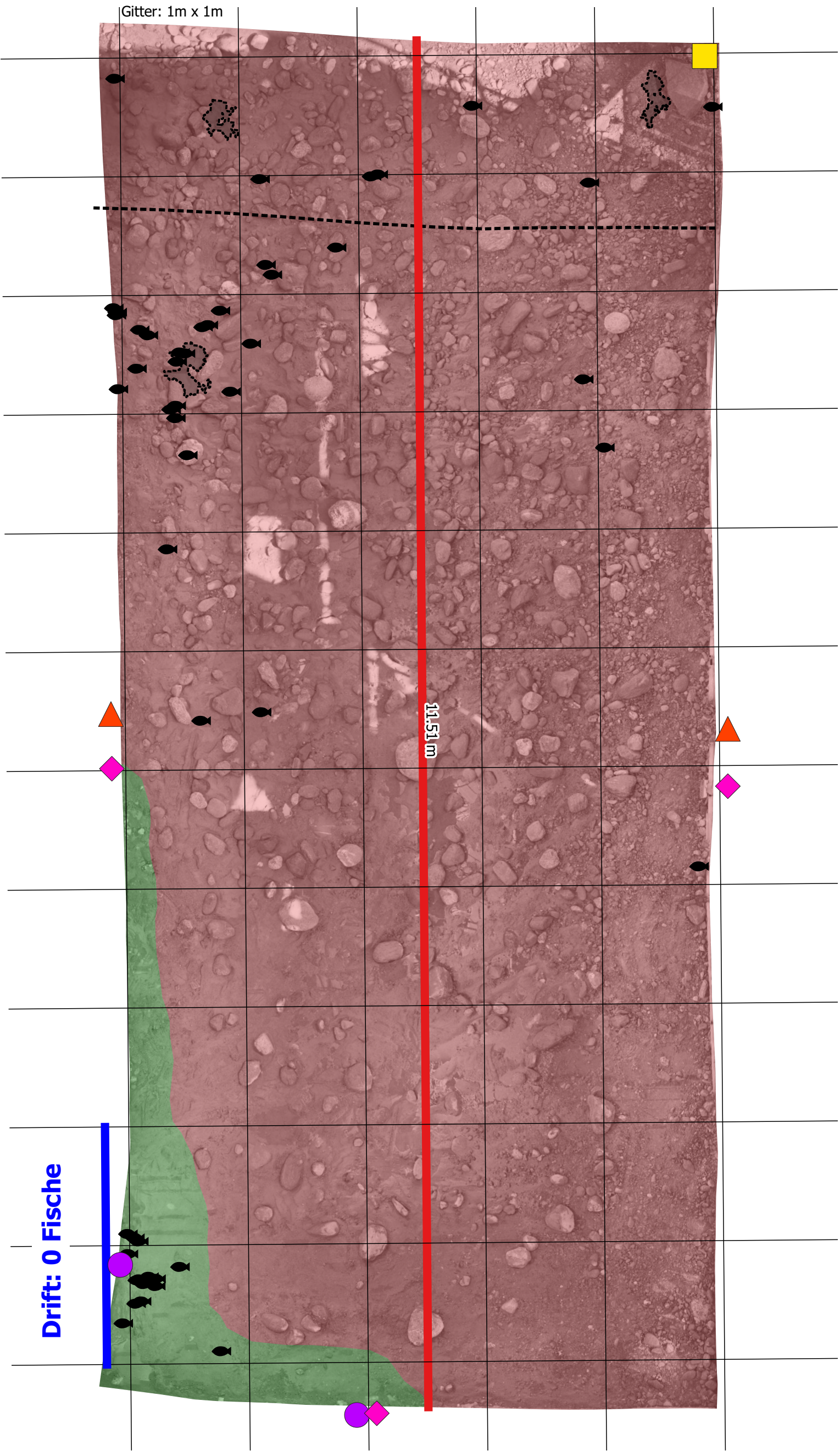
Flächenanteil: 6% (3.4 m2)
Längenanteil: 0% (0 m)
Fischfunde: 30% (#15)
Fischfunddichte: 4.5 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 94% (54.7 m2)
Längenanteil: 100% (11.5 m)
Fischfunde: 70% (#35)
Fischfunddichte: 0.6 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0.3%

Auswertungen

Versuchsmenge: 50 Fische
Strandungsanteil: 70%

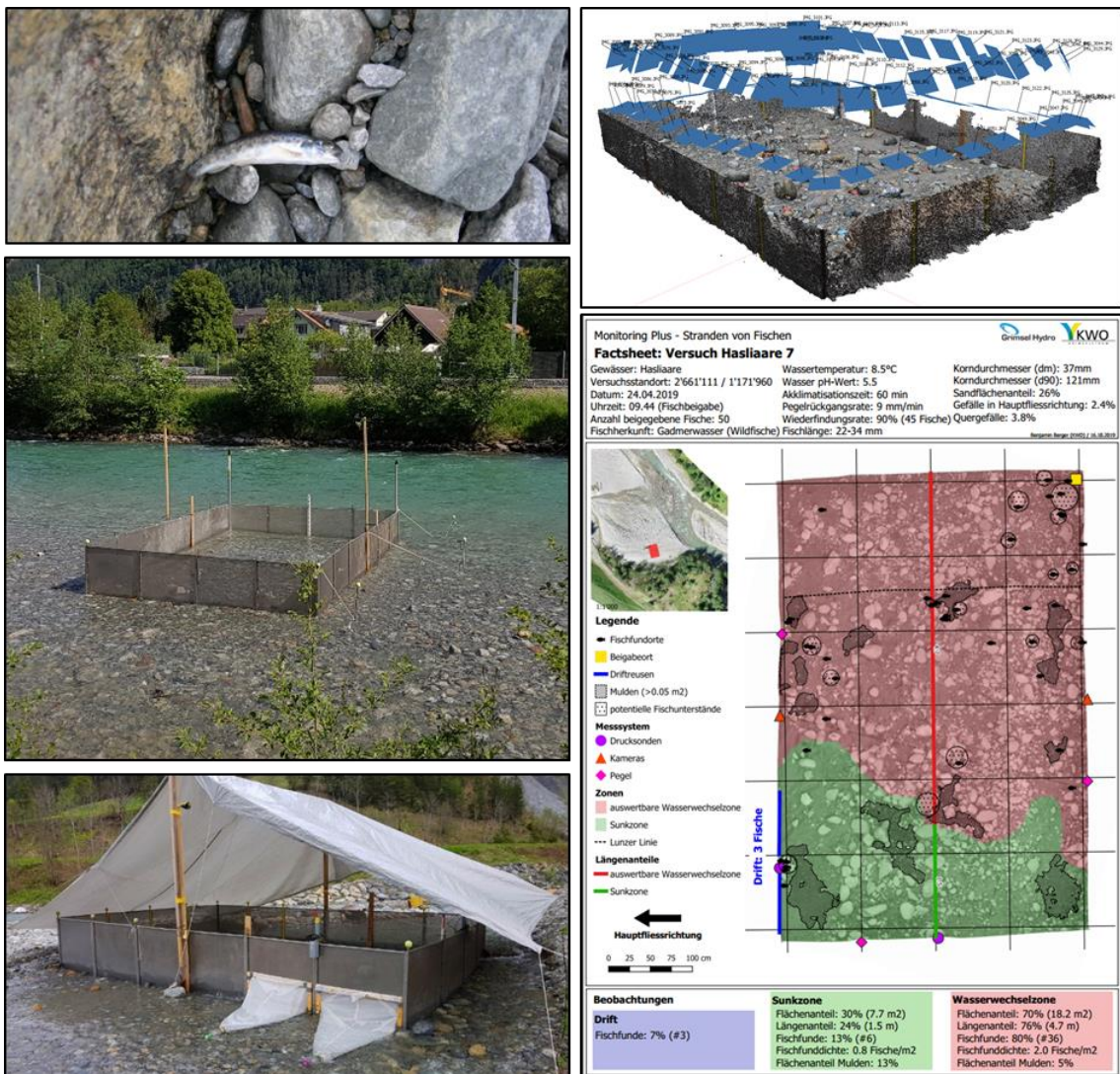


8.2 Bericht zum Stranden von Fischen von 2019

Stranden von Fischen

Entwicklung eines Versuchsdesigns für Strandungsversuche in freien Fließgewässern und Durchführung von Strandungsversuchen in der Hasliaare mit wild emergierten Bachforellenlarven

Fachstelle Ökologie der Kraftwerke Oberhasli AG



Innertkirchen, 13.10.2020

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Titelbilder:

Oben links: Peter Baumann, Limnex AG

Übrige Bilder: KWO

Impressum

Auftraggeber:	Bundesamt für Umwelt (BAFU), Sektion Wasserkraft, CH-3003 Bern <i>Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).</i>
Auftragnehmer	Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) / Grimsel Hydro Steffen Schweizer Leiter Fachstelle Ökologie KWO Telefon direkt +41 33 982 20 19 Mobil +41 76 491 61 29 steffen.schweizer@kwo.ch
Autoren (Text):	<i>Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) / Grimsel Hydro</i> Benjamin Berger, Matthias Meyer, Jan Baumgartner, Sandro Schläppi
Begleitung:	<i>Bundesamt für Umwelt (BAFU):</i> Lucie Lundsgaard-Hansen <i>Fischereiinspektorat (FI) des Kantons Bern</i> Karin Gafner Martin Flück <i>Amt für Wasser und Abfall (AWA) des Kantons Bern</i> Kathrin Schwendemann <i>EAWAG</i> Dr. Nico Bätz <i>Fischbiologe</i> Dr. Peter Büsser
Hinweis:	Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Zusammenfassung

Die Fachstelle Ökologie der Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) wurde durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU, Sektion Wasserkraft) beauftragt, neben der Realisierung der standardisierten biologischen Wirkungskontrolle für die schwall sanierte Hasliaare, zusätzliche Untersuchungen hinsichtlich Schwall-Sunk-Fragstellungen durchzuführen. Diese erweiterten Untersuchungen, sind in dem Projekt "Monitoring plus" zusammengefasst. Das Ziel war unter anderem eine Methode zu entwickeln, mit welcher die Strandrungsrate in Schwall-Sunk beeinflussten Fließgewässern überprüft werden kann und entsprechende Strandrungsversuche durchzuführen. Der Fokus der Strandrungsversuche liegt auf der Verwendung von wilden Bachforellenlarven (wenige Tage bis Wochen nach der Emergenz aus dem Interstitial). Neben dem Fischalter bzw. Entwicklungsstadium der Bachforelle sollten insbesondere die Pegelrückgangsraten von 3 bis 5 mm/min (gemäss Vollzugshilfe "Schwall-Sunk – Massnahmen", Indikator F2, Klasse Gelb bis Orange) untersucht werden. Die Ergebnisse der Strandrungsversuche sollen mit den Versuchen in der Versuchsrinne in Lunz (vgl. Auer et al. 2014) verglichen werden können.

Die Entwicklung der Methode zur Überprüfung des Strandens von Fischen sowie die Durchführung von zwei Versuchsreihen erfolgte in enger Betreuung durch eine Begleitgruppe.

Die Erkenntnisse aus den Vorversuchen zur Entwicklung der Methode wurden im Rahmen der Begleitgruppe regelmässig präsentiert und fachliche Inputs in den weiteren Prozess aufgenommen.

Ein modular aufgebauter Versuchskäfig wurde entwickelt, im Rahmen der Vorversuche getestet und bei den Strandrungsversuchen eingesetzt. Dieser kann entsprechend der Fragestellung beliebig vergrössert werden. Der Versuchskäfig hat die Eigenschaft, die ausserhalb der Versuchsfläche vorherrschenden abiotischen Parameter auch innerhalb der Versuchsfläche weitestgehend abzubilden. Gleichzeitig können selbst kleinste Forellenlarven den Untersuchungsbereich nicht passieren. Als Grundlage zur Herleitung des Fischalters und des Entwicklungsstadiums wurden im Frühjahr 2018 Emergenzboxenversuche durchgeführt.

Zur Bestimmung des Alters der Versuchsfische der Versuchsreihen 2019 erfolgte zur Laichzeit 2018 eine Dokumentation der Laichzeit sowie des Peak Spawnings. Durch die Installation von Temperaturloggern konnte das Alter der Forellenlarven nachvollzogen werden und der im Auftrag definierte Durchführungszeitpunkt hinsichtlich des Fischalters bestimmt werden.

Insgesamt wurden vier Strandrungsversuche in der Schwallstrecke der Hasliaare im Jahr 2018 realisiert. Zur flexibleren Versuchsdurchführung wurde im Rahmen der Begleitgruppe entschieden, die Versuchsreihe im Jahr 2019 in die Restwasserstrecke der Hasliaare zu verlegen. An diesem Standort konnten 17 weitere Strandrungsversuche durchgeführt werden.

Die Wiederfinderate der Versuchsfische lag zwischen 70 und 98 % (Durchschnitt: 92%).

Die Ergebnisse der Strandrungsversuche wurden im Rahmen von zwei Workshops mit der Begleitgruppe interpretiert und diskutiert. Bei den Ergebnissen konnte ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Länge der Wasserwechselzone und der deutlichen Erhöhung des Strandrungsrisikos festgestellt werden.

Bei den anderen untersuchten Parametern, wie der Pegelrückgangsraten, dem Längs- und Quergefälle, der Korngrösse d_{90} , der Fließgeschwindigkeit oder der Topografie (Muldenstrukturen) konnte lediglich ein geringer Einfluss auf das Stranden von Forellenlarven nachgewiesen werden. Beim Fischalter (wenige Tage bis Wochen nach der Emergenz) der Versuchsfische war ebenfalls kein deutlicher Alterseffekt hinsichtlich des Strandrungsrisikos ersichtlich.

Es ist davon auszugehen, dass für die Beschreibung des Strandrungsrisikos von Forellenlarven kein Parameter alleine entscheidend ist. Auch eine Kombination aus zwei Parametern, zeigte bei der Auswertung keine eindeutigen Beziehungen. Die Resultate und Beobachtungen zeigen vielmehr auf, dass die Kombination der unterschiedlichen Einflussfaktoren, gepaart mit dem individuellen Fischverhalten für die Erklärung des Strandrungsverhaltens verantwortlich ist. Allerdings gilt dabei das Trockenfallen von Flächen (entstehen einer Wasserwechselzone) als zentrale Voraussetzung für den Strandrungsprozess.

Aufgrund der Ergebnisse, Auswertungen und Beobachtungen empfehlen die Autoren die Strandrungsversuche mit einer Vergrösserung der Wasserwechselzone auf 12 m, Durchführung mit deutlich grösseren Unterschieden zwischen den Pegelrückgangsraten und mit einem höheren Fischalter, z.B. mit Forellen-Sömmerlingen, fortzuführen.

Inhalt

Zusammenfassung	3
1 Einleitung und Forschungskonzept	6
2 Projektablauf und Begleitung	8
3 Entwicklung eines Untersuchungsdesigns für Strandungsversuche in Fliessgewässern	10
3.1 Versuchsanlage und Messsysteme	10
3.1.1 Versuchsanlage	10
3.1.2 Messsystem zur Erfassung von verschiedenen abiotischen Parameter	12
3.2 Biologisches Konzept	18
3.2.1 Tierversuchsbewilligung	18
3.2.2 Fischherkunft der Versuchsfische	19
3.2.3 Zwischenhälterung	19
3.2.4 Fischbeigabe und Akklimatisationszeit	20
3.2.5 Herleitung Fischalter	20
3.2.6 Definition Beigabemenge	21
3.2.7 Driftanteil	22
3.2.8 Fischsuche	22
3.3 Entwickeltes Versuchskonzept (resultierendes Untersuchungsdesign)	23
3.3.1 Fang und Zwischenhälterung Versuchsfische	23
3.3.2 Ablauf der Strandungsversuche	24
3.3.3 Factsheets	25
4 Auswertungsmethoden für Strandungsversuche	26
4.1 Definition von strandungsspezifischen Kenngrössen	26
4.2 Einordnung in die bestehende Bewertung der Vollzugshilfe "Schwall-Sunk – Massnahmen"	27
4.3 Analyse des Einflusses von verschiedenen Parameter auf das Stranden	27
4.4 Räumliche Auswertung des Einflusses der Wasserwechselzone	28
4.5 Räumliche Auswertung der Fliessgeschwindigkeiten	30
4.6 Beobachtung des Verhaltens von Fischlarven	30
5 Resultate der Strandungsversuche in der Hasliaare	31
5.1 Versuchsreihe 1	31
5.1.1 Standort	31
5.1.2 Steuerung Pegelrückgangsrates und Schwall-Sunk Abfluss	31
5.1.3 Fischalter	32
5.1.4 Ergebnisse und Daten	32
5.2 Versuchsreihe 2	33
5.2.1 Standort	33
5.2.2 Steuerung Pegelrückgangsrates und Schwall-Sunk Abfluss	34
5.2.3 Fischalter	34
5.2.4 Ergebnisse und Daten	36
5.3 Statistische und räumliche Auswertungen der Versuchsreihen	37
5.3.1 Einordnung in bestehende Bewertung der Vollzugshilfe "Schwall-Sunk – Massnahmen"	37
5.3.2 Einfluss der Pegelrückgangsrates	38
5.3.3 Einfluss des Anteils trockenfallender Fläche	40
5.3.4 Einfluss weiterer Parameter	42
5.3.5 Einfluss der Pegelrückgangsrates und der Wasserwechselzone	47
5.4 Beobachtetes Verhalten von Fischlarven	48
6 Diskussion	50
6.1 Entwicklung des Versuchsdesigns	50
6.2 Vergleich mit den Strandungsversuchen von Auer et al. (2014)	51

6.3	Strandungsversuche in der Hasliaare – Gesamtinterpretation	53
7	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	57
7.1	Betrachtete Einflussfaktoren auf das Stranden von Fischen	57
7.2	Strandung in natürlichen Fliessgewässersystemen	57
7.3	Synthese	59
7.4	Empfehlungen für die Vollzugshilfe „Schwall-Sunk - Massnahmen“	59
7.5	Empfehlungen für weitere gewässerökologische Untersuchungen	60
8	Literatur	62
9	Anhang	64
9.1	Factsheets der Versuchsreihen 1 und 2	64
9.2	Alternatives Flussdiagramm inkl. Beschreibung	65

1 Einleitung und Forschungskonzept

Mit der 2011 in Kraft getretenen Revision des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) sollen die wesentlichen Beeinträchtigungen, die durch das künstliche Abflussregime verursacht werden, mit verhältnismässigem Aufwand bis 2030 behoben werden. Dafür sind in erster Linie bauliche Massnahmen vorgesehen. Schweizweit wurden rund 100 Kraftwerksanlagen, die eine wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk verursachen, als sanierungspflichtig ausgeschieden.

Die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) haben eine der ersten Schwall-Sunk Sanierungen der Schweiz an der Hasliaare umgesetzt. Zur Schwalldämpfung wurde im Jahr 2016 ein Beruhigungsbecken als Zwischenspeicher zwischen den Kraftwerken und der Wasserrückgabe in Betrieb genommen. Der Zwischenspeicher inkl. Stollen hat ein Volumen von 80'000 m³ (Schweizer et al. 2016). Mit der Realisierung des Beruhigungsbeckens und des Stollens in Innertkirchen ist die KWO in der Lage die Abflussanstiege in der Hasliaare zu dämpfen. Derzeit wird gemäss Vollzugshilfe eine 10-jährige biologische Wirkungskontrolle dieser Sanierung durchgeführt.

Die Sektion Wasserkraft des Bundesamts für Umwelt (BAFU) beauftragte die Fachstelle Ökologie der KWO zusätzliche gewässerökologische Fragestellungen an der Schwall- Sunk sanierten Hasliaare zu untersuchen. Die erweiterten Untersuchungen, neben der standardisierten biologischen Wirkungskontrolle, sind in dem Projekt "Monitoring plus" zusammengefasst. In einem Projektteil soll das Stranden von Fischen vertieft untersucht werden. Die Beschreibung und Umsetzung dieses Projektteils wird im vorliegenden Bericht behandelt.

Wenn infolge einer Reduktion der turbinierten Wassermenge der Abfluss im Vorfluter abnimmt, können vorher benetzte Flächen trockenfallen (diese Flächen werden als Wasserwechselzonen bezeichnet). Dabei besteht das Risiko, dass aquatische Organismen, wie Fischlarven, stranden. Zum besseren Verständnis dieser negativen ökologischen Auswirkungen wurden von der BOKU Wien in Versuchsrieten in Lunz Strandungsversuche mit Fischlarven aus einer Brutanstalt durchgeführt (vgl. Auer et al. 2014). Auf Basis dieser Untersuchungen wurde der Indikator „Stranden von Fischen“ für die Vollzugshilfe „Schwall-Sunk - Massnahmen“ (VZH-M, Tonolla et al. 2017) entwickelt. Die Bewertung dieses Indikators hängt sowohl von der Pegelrückgangsrate als auch von der Wasserwechselzone ab. Zudem werden für die verschiedenen Altersstadien von Bachforellen unterschiedliche Vorgaben zum Erreichen einer bestimmten Bewertungsklasse verwendet. Für das Erreichen eines guten Zustands müssen die Pegelrückgangsraten kleiner als der Grenzwert von 3 mm/min ausfallen. Der kritische Bereich für die Pegelrückgangsraten liegt dabei gemäss den Untersuchungen von Auer et al. (2014) zwischen 3 und 5 mm/min. Diese Vorgaben führen dazu, dass bei der Dimensionierung einer Sanierungsmassnahme bzw. von Stauvolumen für die Sanierung häufig dieser Indikator massgebend ist. Die grosse Bedeutung der Pegelrückgangsraten für die Entwicklung von Sanierungsmassnahmen ist in der Regel auch durch die technischen Möglichkeiten gegeben. Während die Pegelrückgangsraten durch ein Ausgleichsbecken oder betriebliche Massnahmen beeinflusst werden kann, kann der Anteil der Wasserwechselzone häufig nur durch eine viel teurere Direktableitung reduziert werden.

Da bei der Herleitung der Bewertungsklassen des Indikators "Stranden von Fischen" vor allem die Versuchsergebnisse von Auer et al. (2014) verwendet wurden, drängt sich die Frage auf, ob vergleichbare Ergebnisse und Vorgaben hinsichtlich der Pegelrückgangsraten bei Versuchen mit Wildfischen unter realen Bedingungen im freien Gewässer resultieren.

Eine umfangreiche Literaturrecherche (Greter 2017) hat gezeigt, dass ähnliche Studien, wie die Studie von Lunz, in freiem Fliessgewässer durchgeführt wurden (z.B. Saltveit et al. 2001) oder auch Studien mit Wildfisch (Halleraker et al. 2003). Jedoch gibt es keine Untersuchungen, welche das Strandungsrisiko von wild emergierten Bachforellen im freien Fliessgewässer mit Fokus auf die Pegelrückgangsraten im oben genannten sensiblen Bereich (3 bis 5 mm/min) untersuchen.

Der Fokus der Arbeiten im Rahmen von "Monitoring plus" wurde somit auf die Entwicklung eines geeigneten Untersuchungsdesigns sowie der Durchführung von Strandungsversuchen gelegt. Dabei sollen insbesondere die Ergebnisse zu derselben Fragestellung von den Versuchen in Lunz (Auer et al. 2014) reproduziert

und überprüft werden. Im Gegensatz zu den Versuchen in Lunz sollen die Strandrungsversuche mit wild emigrierten Bachforellen sowie im freien Fließgewässer durchgeführt werden. Weiter soll der Fokus auf den in den Versuchen von Lunz bestimmten sensiblen Bereich der Pegelrückgangsraten von 3 bis 5 mm/min gelegt werden. Zusätzlich sollen weitere möglicherweise den Strandrungsanteil beeinflussende Parameter während den Versuchen gemessen werden, um deren Einfluss beurteilen zu können.

Aufgrund dieser Ausgangslage wurden folgende **Forschungsfragen** definiert:

- 1) Welches Untersuchungsdesign eignet sich für die Untersuchung des Strandrungsverhaltens von wild emigrierten larvalen Bachforellen in freien Fließgewässern bei einem Pegelrückgang von 3 bis 5 mm/min?
- 2) Welche Strandrungsanteile und welches Verhalten ergeben sich bei der Durchführung von Versuchen gemäss dem unter (1) entwickelten Untersuchungsdesign?

Aus diesen beiden Forschungsfragen wurden folgende **Projektphasen** definiert:

- 1) Entwicklung eines Untersuchungsdesigns
- 2) Durchführung und Auswertung von Strandrungsversuchen.

Abgeleitet aus den Forschungsfragen und den Rahmenbedingungen wurde folgendes grundlegende Forschungskonzept entwickelt:

Mit dem Untersuchungsdesign sollen Strandrungsanteile von wilden Bachforellen in Schwall-Sunk beeinflussten Gewässerabschnitten bestimmt werden können. Dies bedingt einen mobilen Versuchsaufbau, der temporär im Gewässer eingebaut werden kann. Dazu wird ein Versuchskäfig entwickelt in dem die Versuche durchgeführt werden können. Dieser Versuchskäfig kann beispielsweise auf einer Kiesbank aufgebaut werden, die bei Schwall vollständig überflutet ist und bei Sunk teilweise trockenfällt (vgl. Abb.1).

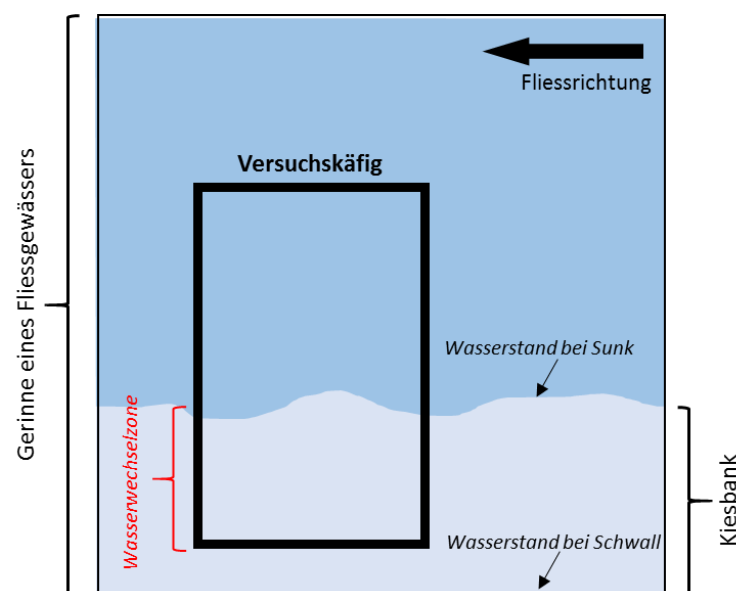


Abb. 1: Grundlegende Idee einer Versuchsanlage im freien Fließgewässer

Der grundsätzliche Ablauf eines Strandrungsversuches in einem Versuchskäfig ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Zuerst wird der Versuchskäfig im Gewässerabschnitt bei Sunkabfluss eingebaut und anschliessend geflutet (Schwallabfluss). Sobald der Schwall erreicht ist, werden die Fische beigegeben und es erfolgt eine Akklimatisationsphase, bei der sich die Fische frei bewegen können. Nach dieser Phase wird der Wasserstand entsprechend der erforderlichen Pegelrückgangsraten zurückgefahren. Dies ist die eigentliche

Versuchsphase (V). Sobald der Sunkzustand erreicht ist, beginnt die Suche der Fische innerhalb des Versuchskäfigs.

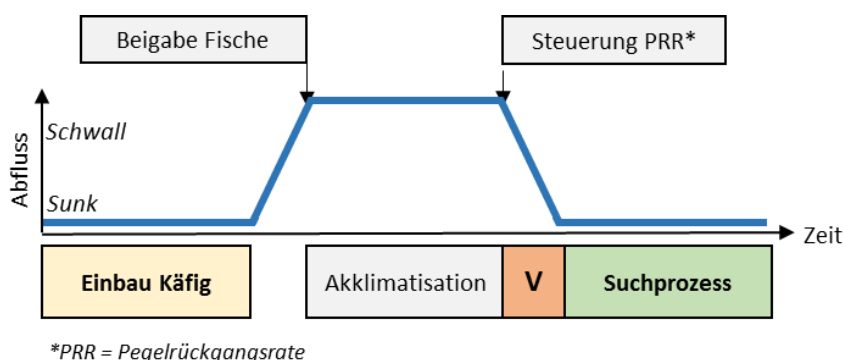


Abb. 2: grundlegender Versuchsablauf in einem Versuchskäfig. (V=Versuch)

2 Projektablauf und Begleitung

Die Entwicklung des Versuchsdesigns zur Überprüfung des Strandens von Fischen (Projektphase 1) sowie die Durchführung von zwei Versuchsreihen im Jahr 2018 und 2019 mit insgesamt 21 Strandungsversuchen (Projektphase 2) erfolgte in einer Begleitgruppe bestehend aus Vertretern von Umweltbüros, Kanton und Bund.

Nachfolgend sind die Teilnehmer/-innen der Begleitgruppe alphabetisch aufgeführt:

- **Dr. Nico Bätz**, Surface Waters Research, EAWAG
- **Dr. Peter Büsser**, Fischbiologe
- **Martin Flück**, Leiter Fischereiaufsichtskreis 1, Fischereiinspektorat BE
- **Karin Gafner**, Bereichsleiterin Wassernutzung, Fischereiinspektorat BE
- **Lucie Lundsgaard-Hansen**, Stv. Sektionschefin, Sektion Sanierung Wasserkraft, BAFU
- **Kathrin Schwendemann**, Stv. Fachbereichsleiterin Wasserzinsen, Abteilung Wassernutzung, Amt für Wasser und Abfall BE

Zur Entwicklung des Versuchsdesigns wurden Vorversuche durchgeführt, wobei die Erkenntnisse aus diesen regelmässig im Rahmen der Begleitgruppe präsentiert und diskutiert wurden. Fachliche Inputs aus der Begleitgruppe wurden in den weiteren Prozess aufgenommen. Teilweise wurden die Vorversuche und die im Rahmen dieses Berichtes vorgestellten Strandungsversuche im Feld begleitet und/oder direkt durch die Mitglieder der Begleitgruppe unterstützt.

Die Strandungsversuche wurden in zwei Etappen (Versuchsreihe 1 und 2) durchgeführt, um weitere Erkenntnisse und Optimierungen am entwickelten Versuchsdesign vornehmen zu können.

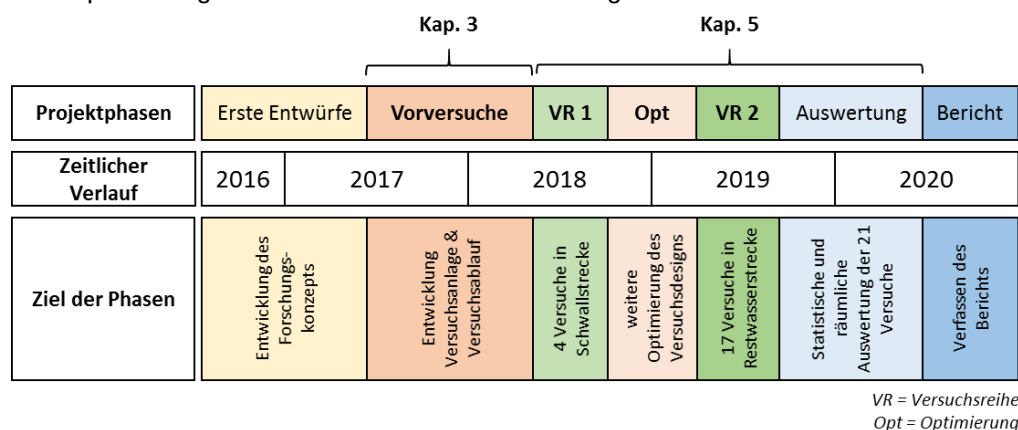


Abb. 3: Projektphasen und zeitlicher Ablauf des Projektes

In der Abbildung 3 sind die verschiedenen durchgeführten Phasen in einem zeitlichen Verlauf dargestellt. Im gesamten Projektverlauf wurde aufgrund der zahlreichen Abhängigkeiten von Zwischenresultaten rollend geplant. Die Inhalte der nächsten Projektphase wurden erst nach Abschluss und Auswertung sowie umfangreichen Diskussionen im Projektteam und der Begleitgruppe bestimmt.

Die Entwicklung des Untersuchungsdesigns wird in Kapitel 3 beschrieben (inkl. der Optimierungen). Die Beschreibung der Versuchsdurchführung und die Darstellung der Resultate und Auswertungen in Kapitel 5. Die Diskussion sowie die Schlussfolgerungen folgen in den Kapiteln 6 und 7.

3 Entwicklung eines Untersuchungsdesigns für Strandrungsversuche in Fliessgewässern

In einem ersten Schritt musste ein Untersuchungsdesign für die Strandrungsversuche in freien Fliessgewässern entwickelt werden. Während einige Aspekte hinsichtlich der Versuchsdurchführung gemäss dem Konzept der Versuche von Auer et al. (2014) durchgeführt werden konnten, mussten viele weitere Aspekte insbesondere hinsichtlich der Verwendung von Wildfischen und der Durchführung im freien Fliessgewässer neu entwickelt werden. Bei dieser Entwicklung flossen auch Erkenntnisse und Schlussfolgerungen von Untersuchungen im freien Fliessgewässer ein (z.B. Saltveit et al. 2001 oder Irvine et al. 2009). Bei der Entwicklung des Untersuchungsdesigns wurden im Projektteam und in der Begleitgruppe laufend neue Ideen und Ansätze entwickelt, welche helfen sollten das Projektziel zu erreichen. Diese Ideen und Ansätze wurden jeweils in kleinen Versuchsreihen (sogenannten Vorversuchen) umgesetzt respektive getestet. Im Rahmen der praktischen Umsetzung zeigte sich in diesen Vorversuchen sehr deutlich, welche Ideen und Ansätze funktionieren und welche nicht. Im folgenden Kapitel wird dieser aufwendige aber notwendige "Trial-and-Error-Prozess" mit Fokus auf die resultierenden Erkenntnisse beschrieben. Dabei wird in einem ersten Teil die Entwicklung der abiotischen Aspekte des Untersuchungsdesigns (vgl. Kap. 3.1) beschrieben und in einem zweiten Teil wird auf das entwickelte biologische Konzept (vgl. Kap. 3.2) für die Versuchsdurchführung eingegangen.

3.1 Versuchsanlage und Messsysteme

Im folgenden Kapitel wird beschrieben wie die Versuchsanlage konzipiert und entwickelt wurde. Weiter werden sämtliche verwendete Messsysteme beschrieben. Diese werden für die Messung der unterschiedlichen abiotischen Parameter, welche das Strandrungsverhältnis beeinflussen könnten, beschrieben. Welche Parameter gemessen werden sollen, wurde aus der Literatur und der Diskussion in der Begleitgruppe abgeleitet.

3.1.1 Versuchsanlage

Der Strandrungsanteil der wilden Bachforellen soll gemäss Forschungskonzept in einem Fliessgewässer untersucht werden können (vgl. Kap. 1). Dazu ist ein geeignetes Gefäss notwendig, das temporär in einem Gerinne eingebaut werden kann. Dieses Gefäss wurde im Rahmen der Vorversuche entwickelt und laufend optimiert.

Art. 48 des Wasserbaugesetzes (WBG) verlangt die Einholung einer Wasserbaupolizeibewilligung für solche Anlagen, da diese die Sicherheit und die Gestaltung des Gewässerbettes beeinflussen kann. Die Wasserbaupolizeibewilligung wurde durch das OIK Kreis I, nach Durchführung eines kleinformigen Pilotversuchs (zur Abschätzung des Einflusses auf die HW-Sicherheit bzw. Stabilität bei Hochwasser) und nach jeweiliger Beurteilung der geplanten Einbauten vor Ort, erteilt. Diese Bewilligungen wurden für sämtliche Test- und Untersuchungsstandorte separat eingeholt.

Der Versuchskäfig muss für eine erfolgreiche Versuchsdurchführung folgende Eigenschaften erfüllen:

- ➔ Geringe Beeinflussung der abiotischen Bedingungen (Wassertiefe, Strömungsgeschwindigkeit, Trübung, Wassertemperatur, usw.)
- ➔ Undurchlässig für Forellenlarven
- ➔ Hohe Standfestigkeit auch bei hohen Abflüssen bzw. hydraulischen Kräften (Schwall)
- ➔ Mobiler Aufbau damit an unterschiedlichen Standorten Versuche durchgeführt werden können.
- ➔ Modularer Aufbau damit verschieden grosse Versuchsflächen realisiert werden können

Im Rahmen einer Bachelorarbeit (Greter 2017) sowie den Vorversuchen wurden in Zusammenarbeit mit der Werkstatt von Grimsel Hydro verschraubbare Lochblechelemente mit einer Länge von rund 1 m und einer Höhe von 1.5 m entwickelt und hergestellt. Durch die Verschraubung dieser Elemente können unterschiedlich grosse Versuchsflächen konstruiert werden.

Durch die Vorversuche, bei denen verschiedene Käfiggrößen und Einbauweisen getestet wurden, konnte durch die Begleitgruppe die Versuchskäfiggröße auf 6 m x 4 m festgelegt werden. Die 24 m² grosse Versuchsfläche ermöglicht die Durchführung von Strandrungsversuchen mit einer ausreichenden Anzahl an larvalen und juvenilen Versuchsindividuen für die anschliessende statistische Auswertung. Des Weiteren kann eine hohe Wiederfindungsrate der Versuchsfische erzielt werden.



Abb. 4 und Abb. 5: Die Versuchskäfige der Strandrungsversuche 2018 (links) und 2019 (rechts).

Die Untersuchungsfläche (6 m x 4 m) wird mit gefärbten Steinen mit einem Untersuchungsraaster mit Abmessungen von rund 1 m x 1 m versehen. Die eingefärbten Steine werden in einem bestimmten Farbmuster ausgelegt (vgl. Abb. 6), damit von jedem Blickwinkel eine eindeutige Orientierung im Käfig möglich ist. Diese Orientierung ist für die Dokumentation der unterschiedlichen Ergebnisse notwendig. Das Untersuchungsraaster dient später bei der Auswertung der räumlichen Orientierung. Die Position der eingefärbten Steine wird mit einem differentiellen GPS (Leica GS 18) genau vermessen (Genauigkeit ± 2 cm).

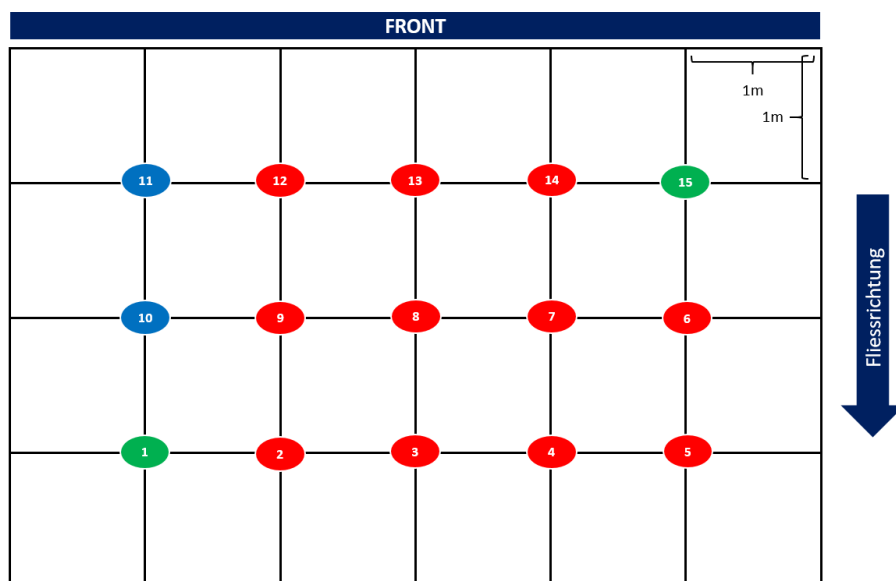


Abb. 6: Untersuchungsraaster im Käfig. Das Farbkonzept erlaubt eine eindeutige Orientierung im Käfig.

Zur Dokumentation und Auswertung verschiedener Parameter wird von jeder Versuchsfläche ein georeferenziertes Luftbild und Höhenmodell erstellt. Dazu wird die Versuchsfläche aus verschiedenen Höhen und Blickwinkeln mit einer Digitalkamera fotografiert (vgl. Abb. 7). Diese Aufnahmen werden photogrammetrisch ausgewertet. Dabei wird unter Verwendung des "structure from motion" (sfm) Ansatzes die Oberfläche konstruiert (3D Modell). Die Georeferenzierung erfolgt anhand der gefärbten Steine (vgl. Abb. 6). Als Produkte entstehen ein Höhenmodell, welches die Oberfläche mit einer Auflösung von 1 cm darstellt, und ein entzerrtes Luftbild, welches eine Auflösung von 1 mm aufweist (vgl. Abb.8).

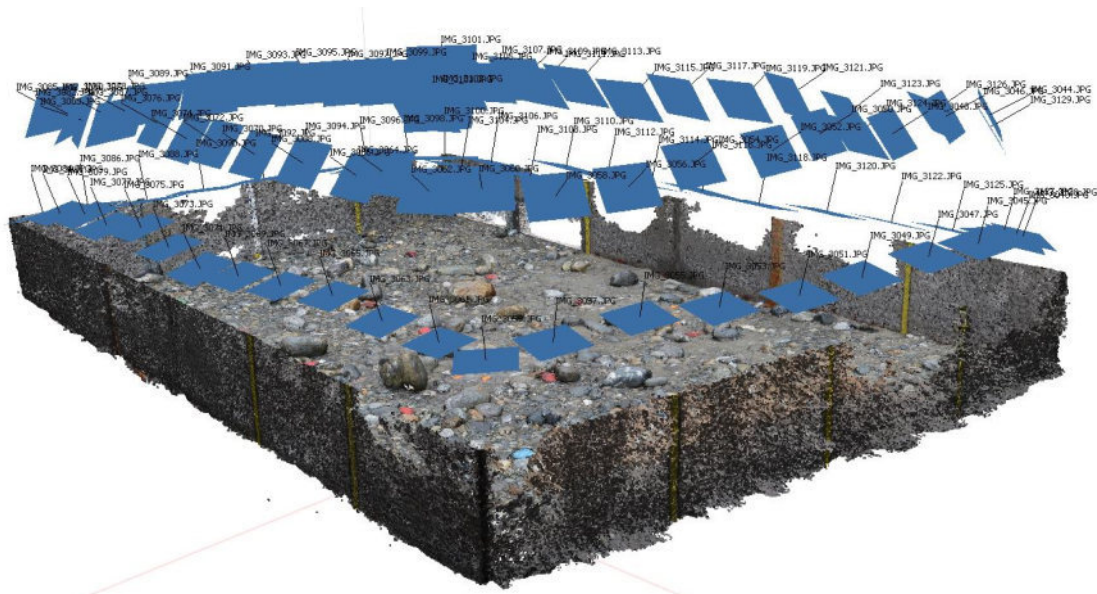


Abb. 7: Aufnahmestandorte der Fotos (blaue Rechtecke) und 3D Modell eines Käfigs

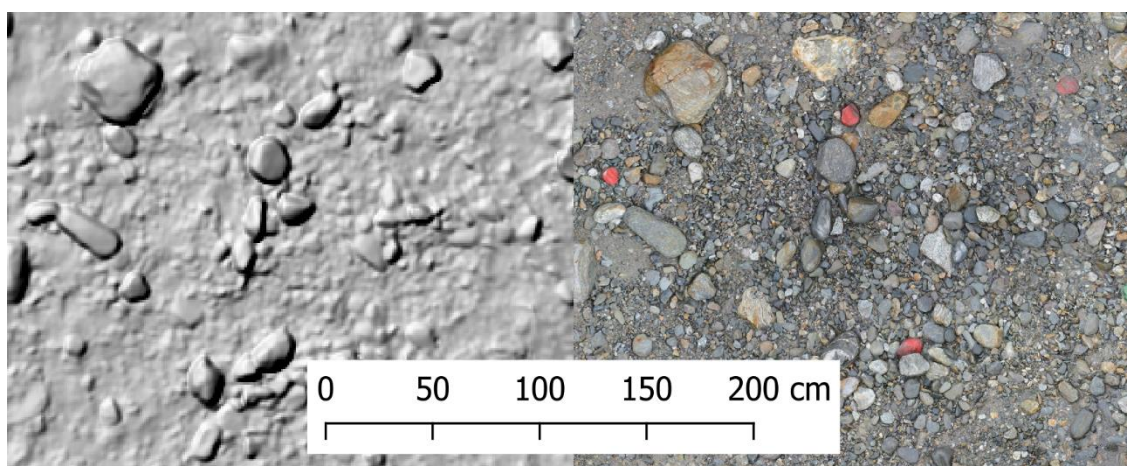


Abb. 8: Luftbild und Höhenmodell.

3.1.2 Messsystem zur Erfassung von verschiedenen abiotischen Parameter

Zusammen mit der Begleitgruppe wurden, basierend auf Literaturstudien sowie den Vorversuchen, verschiedene abiotische Parameter bestimmt, welche den Strandungsanteil potentiell beeinflussen können und während den Versuchen gemessen werden. Das Ziel bei der Bestimmung der Parameter war, dass möglichst viele verschiedene Auswertungen nach den Versuchen möglich sind. Dazu wurde während den Vorversuchen verschiedene Systeme und Ansätze getestet. Nachfolgend wird beschrieben, wie die Parameter im Versuchskäfig gemessen werden.

Pegelrückgangsrage

Die Pegelrückgangsrage beschreibt die Geschwindigkeit mit welcher die Wasseroberfläche während des Versuches sinkt. Zur Erfassung der Pegelrückgangsrage wird an zwei Stellen im Versuchskäfig der Wasserstand (Pegel) in einer zeitlichen Messauflösung von einer Minute während der ganzen Versuchsdauer gemessen. Zur Registrierung der Pegelstände werden Pegelsonden von OTT Hydromet AG (ecoLog 500) und ALTECNO AG (Data-Safe 800) eingesetzt. Die Positionierung im Käfig erfolgt an den zwei tiefsten Stellen im Bereich des Käfigs der nicht trockenfällt (Sunkzone).

Zur Berechnung der effektiven Pegelrückgangsrates anhand der aufgezeichneten Pegeldaten wird folgende Methode verwendet (vgl. Abb. 9):

- 1.) Bestimmung des Startwertes für die Analyse der Pegelrückgangsrates. Dazu wird der minimale Pegelstand während der Akklimatisationsphase (Schwall) der Fische verwendet (Pegel_{Start}). Dieses Vorgehen wird angewendet, da während der Akklimatisationsphase der Wasserstand leicht schwankt. Für diesen Pegelstand wird der Zeitpunkt bestimmt (Zeit_{Start}).
- 2.) Bestimmung des Endwertes für die Analyse. Dieser Pegel (Pegel_{Ende}) wird visuell anhand der dargestellten Daten ermittelt. Dabei wird darauf geachtet, dass die Kurvenabflachung am Ende des Pegelrückganges aus der Analyse ausgeschlossen wird. Ausserdem können eventuelle Extremwerte, die nach der Regulierung des Rückganges auftreten, ausgeschlossen werden. Für diesen Endwert wird der Zeitpunkt bestimmt (Zeit_{Ende}).
- 3.) Berechnung der Zeitdifferenz (Δ Zeit) und der Pegeldifferenz (Δ Pegel).

$$\Delta \text{ Pegel} = \text{Pegel}_{\text{Start}} - \text{Pegel}_{\text{Ende}} \quad [\text{cm}]$$

$$\Delta \text{ Zeit} = \text{Zeit}_{\text{Start}} - \text{Zeit}_{\text{Ende}} \quad [\text{min}]$$

- 4.) Berechnung der Pegelrückgangsrates (PRR) als Quotient der Pegeldifferenz zu der Zeitdifferenz.

$$\text{PRR} = \frac{\Delta \text{ Pegel}}{\Delta \text{ Zeit}} \quad [\text{cm/min}]$$

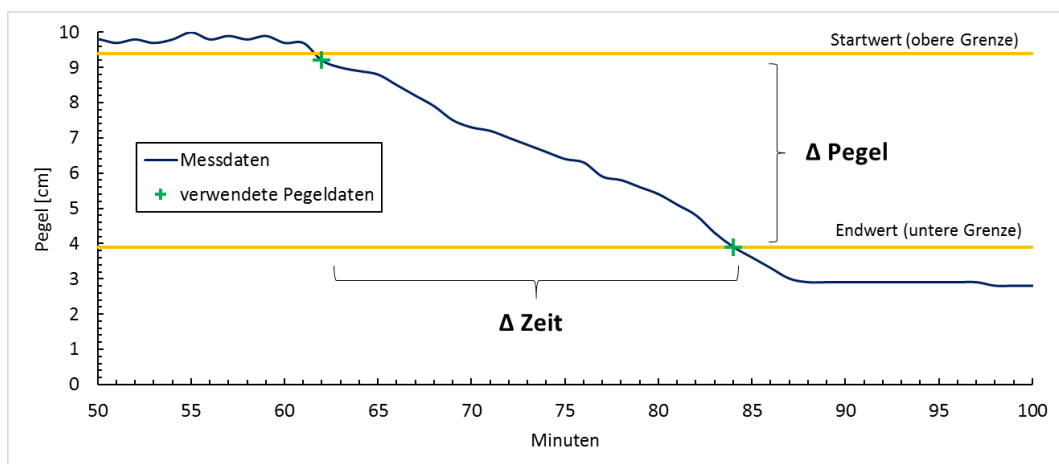


Abb. 9: Illustration der Berechnung der Pegelrückgangsrates. Die zur Berechnung verwendeten Wertepaare sind grün dargestellt.

Mit dieser Methode wird für beide Pegelsonden die Pegelrückgangsrates bestimmt. Die effektive Pegelrückgangsrates für den Versuch wird als Mittelwert beider Pegelsonden definiert.

Wassertemperatur

Die Messung der Wassertemperatur ist in den Pegelsonden von ALTECNO AG und OTT Hydromet AG integriert. Die Wassertemperatur wird von diesen Sonden jede Minute gespeichert. Anschliessend wird der Mittelwert der Wassertemperatur über die Versuchszeit berechnet. Dieser Wert wird als repräsentative Wassertemperatur für den Versuch definiert. Weiter kann überprüft werden, ob während des Versuches starke Schwankungen der Wassertemperatur aufgetreten sind.

Gefälle

Das Gefälle innerhalb des Versuchskäfigs wird sowohl in Richtung der Hauptfliessrichtung als auch rechtwinklig dazu (Quergerälle) bestimmt. Zur Bestimmung wird mit einer 2.5 m langen Messlatte und einem Neigungsmessgerät die Neigung an verschiedenen repräsentativen Stellen gemessen (vgl. Abb. 10). Aus den

Messungen wird schliesslich ein Mittelwert für das Gefälle in Hauptfliessrichtung und das Quergefälle ermittelt.

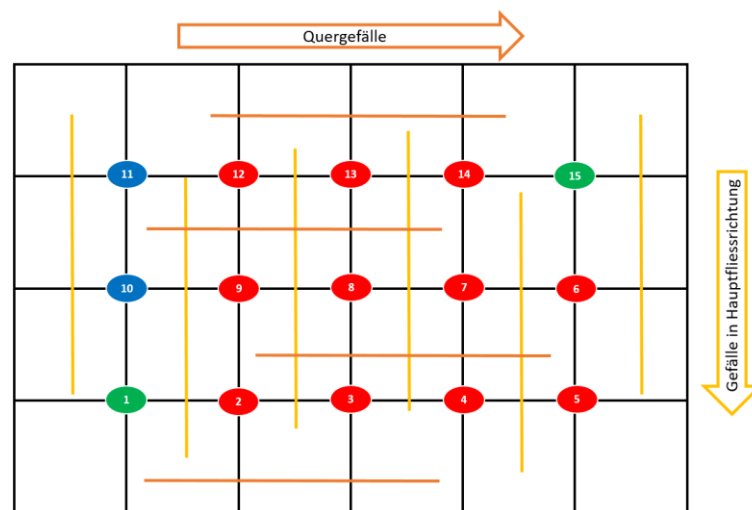


Abb. 10: Prinzip der Messung des Gefälles.

pH-Wert

Der pH-Wert wird mit Hilfe von pH-Wert Teststreifen während der Akklimatisationsphase der Fische bestimmt.

Bestimmung der Wasserwechselzone, der Sunkzone und der Driftzone

Die verschiedenen Zonen der Versuchsfläche werden mit einer GIS-basierten Videoanalyse bestimmt. Während den Versuchen wird die Versuchsfläche kontinuierlich mit zwei Kameras (GOPRO Hero 4) gefilmt (vgl. Abb. 11). In den Videos wird anschliessend der Zeitpunkt des Beginns des Suchprozesses identifiziert. Ausgehend von diesem Zeitpunkt wird ein Standbild erstellt (vgl. Abb. 12), welches den Käfig rund 20 Sekunden vor diesem Zeitpunkt zeigt. Anhand dieser Standbilder, dem Luftbild und den markierten Steinen werden die verschiedenen Zonen in einem GIS digitalisiert.

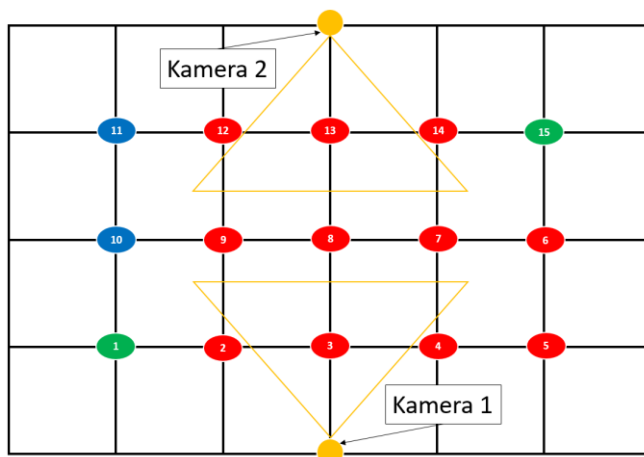


Abb. 11: Standorte der zwei Kameras.



Abb. 12: Beispielbild einer Kamera.

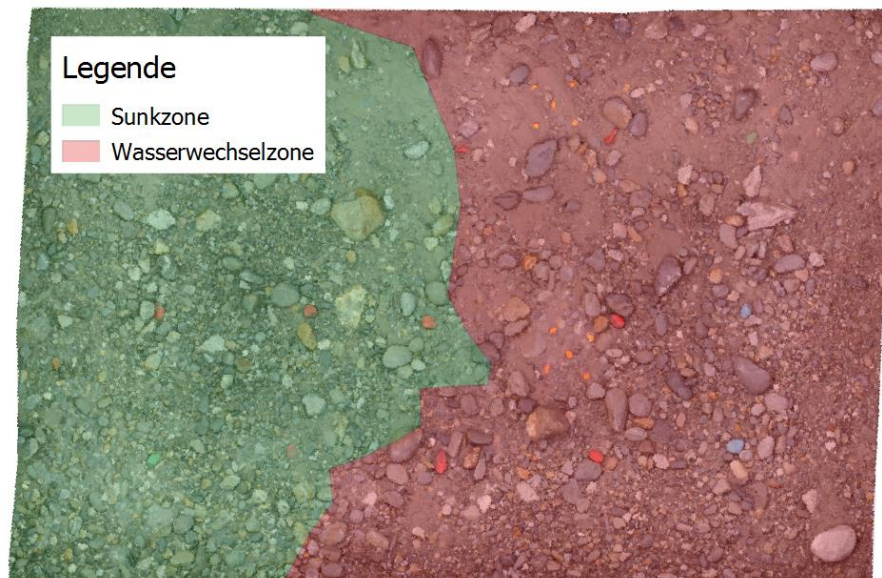


Abb. 13: Beispiel einer im GIS digitalisierten Wasserwechselzone und Sunkzone.

Durch dieses Vorgehen kann die Versuchsfläche in verschiedene Zonen eingeteilt werden (vgl. Abb.13). Da das Luftbild orthorektifiziert ist, kann in einem GIS die effektive Fläche der verschiedenen Zonen vermessen werden. So werden für jeden Versuch die Gesamtfläche des Käfigs und die jeweiligen Flächen der Zonen bestimmt. Diese Flächenangaben werden anschliessend dazu verwendet beispielsweise die Flächenanteile der Wasserwechselzone, die Fischfunddichte (Fische/m²) und weitere versuchsspezifische Parameter zu berechnen.

Zusätzlich wird anhand der digitalisierten Zonen die Länge der Zonen entlang der Mittellinie quer zur Hauptströmung bestimmt, um so die Längenanteile entlang dieser Achse bestimmen zu können.

Bestimmung der Wasserwechselzone nach Auer et al. (2014)

Bei den Versuchen von Auer et al. (2014) wurden bei den Versuchen mit Bachforellen eine Wasserwechselzone von 1.56 m verwendet. Diese Länge wird dazu verwendet, die sogenannte "Lunzerlinie" im Versuchskäfig zu definieren. Diese kann mit Hilfe eines GIS auf dem Luftbild eingemessen werden. Diese Linie definiert den Bereich der Wasserwechselzone für den Vergleich mit Auer et al. (2014).

Potentielle Fischunterstände

Die potentiellen Fischunterstände werden anhand einer Interpretation der Höhenmodelle und Luftbilder von einem Fischexperten kartiert. Dazu wird die Datengrundlage visuell analysiert und es werden jeweils die aus fischökologischer Sicht 15 besten Unterstände markiert und in einem GIS digitalisiert.

Muldenstrukturen

Die Mulden werden durch eine Rasteranalyse des Höhenmodells bestimmt (vgl. Abb.14). Dazu werden mit einem Algorithmus im Höhenmodell die Mulden (Sinks) gefüllt. Eine Mulde wird definiert als abflusslose Senke. Durch die Subtraktion des verfüllten und des ursprünglichen Höhenmodells ergeben sich die Senken innerhalb des Käfigs. Dieses Raster wird anschliessend vektorisiert und die Fläche der Mulden wird berechnet. Die Mulden werden schliesslich gefiltert und nur Mulden mit einer Fläche von > 500 cm² (Fläche von rund 22 cm x 22 cm) werden als fischökologisch relevante Mulden klassiert. Dieser Grenzwert für die Muldenfläche wurde zusammen mit Fischexperten festgelegt. Auf Grundlage der berechneten Flächen der verschiedenen Zonen im Käfig (vgl. oben) kann der Anteil der Muldenflächen berechnet werden.

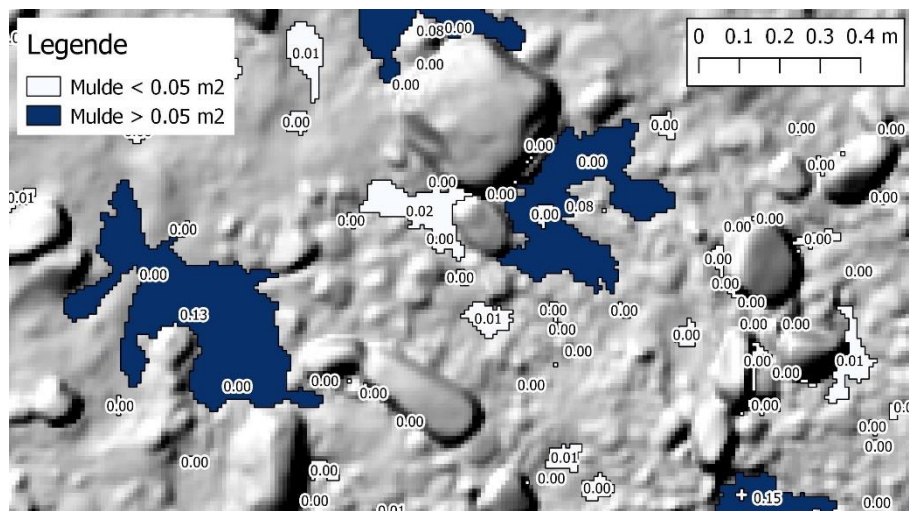


Abb. 14: Rasteranalyse zur Bestimmung der fischökologisch relevanten Muldenstrukturen

Bestimmung der Sandflächen und der Korngrößenverteilung

Die Sandfläche und Korngrößenverteilung wird anhand einer GIS basierten Analyse der hochau aufgelösten Luftbilder bestimmt. Dazu wird die Versuchsfläche in vier Quadranten eingeteilt. Innerhalb dieser Quadranten wird die Verteilung des Geschiebematerials als homogen angenommen. Hingegen gibt es teilweise deutliche Unterschiede zwischen den Quadranten. Jeder der Quadranten wird anschliessend wiederum in sechs Teile aufgeteilt und es wird mit einem Zufallsgenerator eine Stichprobe aus jedem Quadranten gewählt (vgl. Abb. 15).

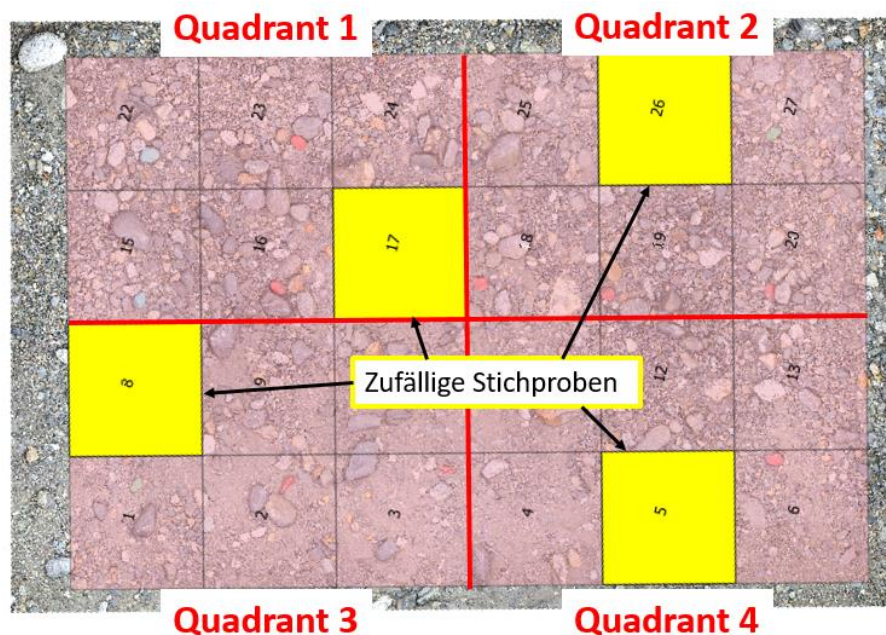


Abb. 15: zufällige Auswahl von vier Stichproben zur Analyse der Sandfläche und der Korngrößenverteilung.

Zur Bestimmung des Sandflächenanteils wird in einem GIS die vorhandene Sandfläche innerhalb jeder Stichprobe manuell als Polygon digitalisiert. Die Sandfläche ist auf den hochau aufgelösten Luftbildern gut erkennbar und kann mit hoher Zuverlässigkeit erkannt werden. Im GIS wird die Fläche der Sandbedeckung und deren Anteil an der Stichprobengesamtfläche berechnet. Der Mittelwert der Sandflächenanteile der vier Stichproben wird als repräsentativer Sandflächenanteil für den Versuch definiert.

Zur Bestimmung der Korngrößenverteilung im Käfig werden dieselben vier Stichproben von der Sandflächenanalyse verwendet. Die Korngrößenverteilung wird anhand der mittleren Korngrösse d_m und der Korn-

grösse d_{90} , bei der 90% der Körner kleiner als dieser Wert sind, beschrieben. Die Korngrössenanalyse erfolgt auf Grundlage der Luftbilder der vier Stichproben. Die Sandfläche wird bei der Kornanalyse ignoriert. Die Luftbilder werden mit der Software BASEgrain der ETH Zürich, bei der die einzelnen Körner identifiziert und vermessen werden, analysiert (vgl. Abb. 16). Diese Software ergibt für jede Stichprobe einen Wert für d_m und d_{90} . Die Mittelwerte über die vier Stichproben für d_m und d_{90} werden als repräsentative Werte für die Versuchsfläche definiert.

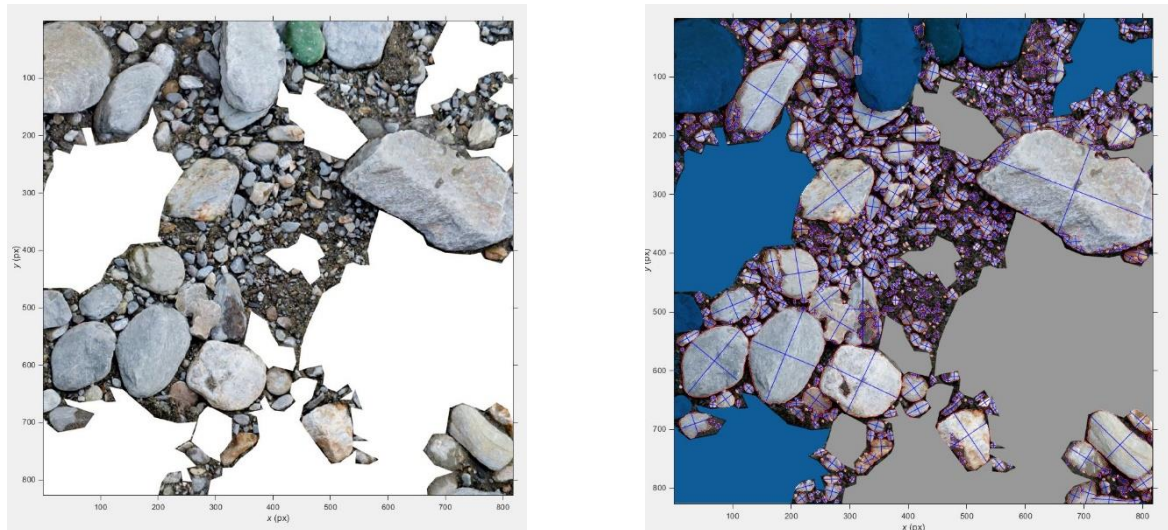


Abb. 16: Ausschnitt aus der Korngrössenanalyse mit der Software BASEgrain. Links: Luftbild mit ignorierten Sandflächen. Rechts: Identifikation und Vermessung der Körner durch die Software BASEgrain (ETH Zürich).

Fliessgeschwindigkeit

Die Fliessgeschwindigkeiten innerhalb des Versuchskäfigs werden mit zwei Methoden bestimmt. Dabei wird die erste Methode bei allen Versuchen angewendet und die zweite Methode nur auf ausgewählte Versuche.

Bei der ersten Methode wird die Fliessgeschwindigkeit bei Schwall kurz vor der Fischbeigabe bestimmt. Dazu wird die minimale, mittlere und maximale Fliessgeschwindigkeit bei jedem gefärbten Stein mit einem Fliessgeschwindigkeitsmessflügel (Schiltknecht MiniAir 20) über die dort vorhandene Wassersäule gemessen und auf einem Protokoll notiert. Zusätzlich wird an jedem Messpunkt die generelle Fliessrichtung (Pfeil) erfasst (vgl. Abb. 17).

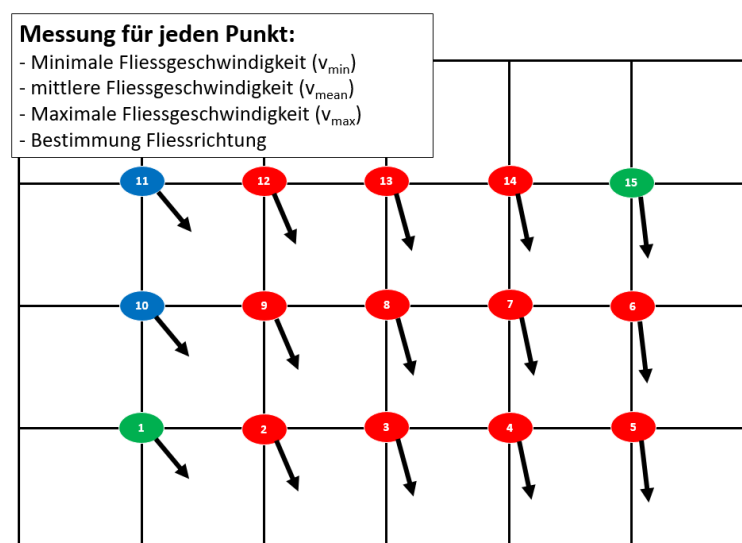


Abb. 17: Messung der Fliessgeschwindigkeiten mit dem Fliessgeschwindigkeitsmessflügel

Bei der zweiten Methode werden die Fliessgeschwindigkeiten anhand der Videoaufnahmen zur Bestimmung der Zonen innerhalb des Käfigs (vgl. oben) bestimmt. Dazu werden Videosequenzen von der Firma photrack AG mit der Methode PTV (Particle Tracking Velocimetry) ausgewertet. Diese Methode identifiziert in der Videosequenz die Bewegungen und berechnet basierend darauf die Fliessgeschwindigkeiten. Die Auswertungen ergeben ein hochaufgelöstes Bild der Fliessgeschwindigkeiten im Käfig für einen bestimmten Zeitpunkt (vgl. Abb.18). Die Methode kann im Gegensatz zu den Flügelmessungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten während des Pegelrückganges angewendet werden.

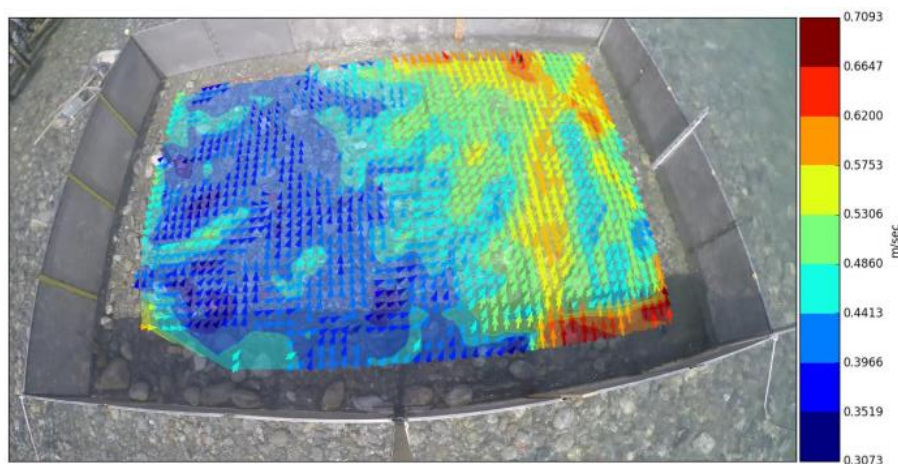


Abb. 18: Beispiel einer PTV Auswertung im Versuchskäfig

Schliesslich werden die beiden Messmethoden verglichen, um die Plausibilität der Messungen sicherzustellen.

3.2 Biologisches Konzept

Nachfolgend werden die wichtigsten Aspekte des biologischen Konzeptes für das Untersuchungsdesign beschrieben. Dabei wird aufgezeigt, wie verschiedene Konzepte oder Vorgehen definiert wurden. Sämtliche Vorgehensweisen wurden im Rahmen der Vorversuche entwickelt und getestet.

3.2.1 Tierversuchsbewilligung

Das zu entwickelnde Untersuchungsdesign sieht Untersuchungen mit wilden Forellen, die wenige Tage bis Wochen alt sind, vor.

"Der Umgang mit freilebenden Wildtieren untersteht einerseits dem Tierschutzgesetz vom 16. Dezember 2005 (TSchG; SR 455), dessen Vollzug den kantonalen Veterinärdiensten übertragen ist, andererseits je nach Tierart und Fragestellung dem Jagdgesetz vom 20. Juni 1986 (JSG; SR 922.0), dem Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz vom 1. Juli 1966 (NHG; SR 451) oder dem Bundesgesetz über die Fischerei vom 21. Juni 1991 (BGF; SR 923.0), für deren Vollzug unterschiedliche Fachstellen der Kantone oder des Bundes zuständig sind" (BAFU & BLV 2018).

Gemäss BAFU & BLV (2018) sowie nach Rücksprache mit den zuständigen Fachstellen (Veterinärdienst Amt für Landwirtschaft und Natur, Fischereiinspektorat) erfordern Versuche, welche die Evaluation einer Durchlässigkeit für Fische bei einem Kraftwerk oder die Überprüfung der Massnahmenwirkung auf Fische resp. der Funktionsfähigkeit der baulichen Sanierungsmassnahmen bestehender Wasserkraftanlagen überprüfen, keine Bewilligung gemäss TSchG. Entsprechend war für die in diesem Bericht beschriebenen Versuche, unter der Voraussetzung, dass die Versuchstiere die grösstmögliche Schonung erfahren, keine Tierversuchsbewilligung notwendig. Die grösstmögliche Schonung wurde gewährleistet, indem nur ausgebildetes Fachpersonal mit langjähriger Erfahrung und Sachkundenachweis Fischerei die Fische gehandhabt haben,

sämtliche Versuchstiere höchstens ein einziges Mal bei einem Versuch eingesetzt wurden und diese nach dem Versuch wieder an ihre Entnahmestelle im Gewässer zurückgebracht wurden.

3.2.2 Fischherkunft der Versuchsfische

Begehungen im Schwall-Sunk beeinflussten Gewässerabschnitt der Hasliaare zur Laichzeit der Forellen haben gezeigt, dass nur wenige Laichgruben nachgewiesen werden konnten. Es ist davon auszugehen, dass ein Grossteil der in der Schwallstrecke vorkommenden juvenilen Forellen aus der Restwasserstrecke der Hasliaare, dem Gadmer- und Urbachwasser sowie dem Wychelbächli in die Schwallstrecke verdriftet werden.

Durch die Begleitgruppe wurde entschieden, Versuchsfische für Versuche aus der Restwasserstrecke des Gadmerwassers aus der Fuhrenebene zu verwenden. Dieser Gewässerabschnitt des Gadmerwassers hat ein hohes Reproduktionsaufkommen. Des Weiteren kann sichergestellt werden, dass für die Strandungsversuche keine Nachkommen der stark geschützten Lebensform Seeforelle verwendet werden.

Auf die Verwendung von Zuchtfischen wurde für die Strandungsversuche verzichtet, weil Fische aus Zuchtbetrieben kein an Strömung angepasstes Leistungsvermögen haben und deshalb auch das arttypische Verhalten bei Strömung fraglich ist (Adam & Lehmann 2011).

Die Versuchsfische werden mittels Elektrofischung gefangen. Diese Methode ist vergleichsweise schonend. Die Fische werden dabei, solange sie nicht in Berührung mit der Anode kommen, physisch nicht geschädigt und der während dem Fang entstandene Stress wird relativ rasch abgebaut, so dass die Brütlinge spätestens nach wenigen Stunden keine Verhaltensauffälligkeiten mehr zeigen.

Wer im Kanton Bern ein Elektrofangergerät zum Fang von Wildfischen einsetzen möchte, muss gemäss Direktionsverordnung über die Fischerei (FIDV) Art. 7 beim zuständigen Fischereiaufseher ein Gesuch um eine Bewilligung einreichen. Diese wurde für die entsprechenden Untersuchungszeiträume erteilt.

3.2.3 Zwischenhälterung

Nach dem Fang in der Restwasserstrecke des Gadmerwassers werden die Fische in eine mit Wasser gefüllte Petrischale gegeben. Diese wird anschliessend auf Millimeterpapier gelegt und die Brütlinge fotografisch dokumentiert und vermessen (kleinster Fisch, grösster Fisch und Durchschnittsgrösse). Danach werden die Forellenlarven in mit Wasser aus dem Gadmerwasser befüllte Transportsäcke gegeben und an den Versuchsstandort transportiert. Am Versuchsstandort wird der Transportsack an einem sicheren Standort (an dem er nicht abgetrieben werden kann) installiert. Dadurch gleicht sich die Wassertemperatur im Sack langsam den Temperaturen am Versuchsstandort an, wodurch die Fische schonend ans Versuchsgewässer akklimatisiert werden. An einem geeigneten Standort, nahe des geplanten Versuchsstandorts, wird das Zwischenhälterungsgefäss eingebaut. Dieses besteht aus einem 1 x 1 m grossen Käfig (4 Elemente des Versuchskäfigs) und ist zusätzlich mit einem feinmaschigen Netz ausgekleidet, was das Handling und die Entnahme der Forellenlarven erleichtern soll (siehe Abb. 19 und 20). Der Käfig sollte so installiert sein, dass der Standort hinsichtlich der hydraulischen Verhältnisse dem natürlichen Habitat der Zielfischgrösse entspricht (Forellenlarven: leicht durchströmt). Nach ausreichender Akklimatisationszeit werden die Fische dem Zwischenhälterungsgefäss beigegeben und mindestens 24 Stunden darin belassen.



Abb. 19 und Abb. 20: Darstellung der Zwischenhälterung der Versuchsfische 2019.

3.2.4 Fischbeigabe und Akklimatisationszeit

Die Brütlinge werden bei Schwall am oberen Ende des Versuchskäfigs (siehe Abb. 21 und 22) eingesetzt. Um eine sofortige Drift der eingesetzten Versuchsfische zu vermeiden, wird der Beigabeort zusätzlich vor der Strömung geschützt. Dazu kommt ein Stein zum Einsatz (b-Achse >40 cm), welcher eine Adaption an die Testbedingungen ohne Abdrift ermöglichen soll. Im Strömungsschatten des Steins werden die Fische beigegeben. Anschliessend haben die Fische 1h Akklimatisationszeit bevor die Sunkphase eingeleitet wird. In dieser Zeit können sich die Fische frei auf der gesamten Untersuchungsfläche bewegen.

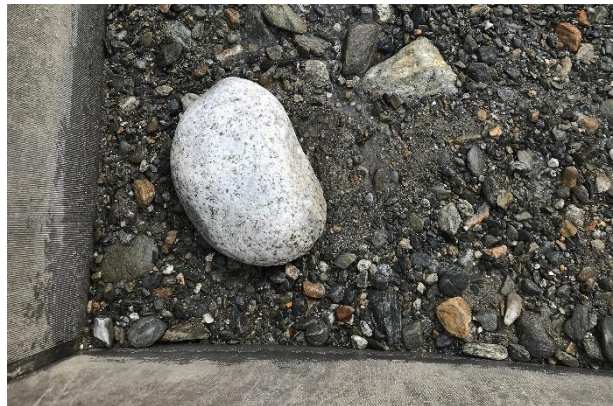


Abb. 21 und Abb. 22: Darstellung des Fischbeigabeortes (Bilder: Reuther).

3.2.5 Herleitung Fischalter

Die Untersuchungen sollen mit wilden Forellen wenige Tage bis Wochen nach der Emergenz aus dem Interstitial realisiert werden.

Im Lebenszyklus der Forelle ist das Stadium einige Tage (bzw. Wochen) nach der Emergenz aus dem Interstitial (Kieslückensystem) besonders anfällig (Elliott 1994). Elliott (1989) nennt diese Phase "Critical Period" in welcher nur die grösseren und schwimmstärkeren Brütlinge (emergierte Forellenlarven) sich an den geeignetsten Standorten halten können und somit eine höhere Überlebenschance haben. Mit zunehmender Grösse werden die Brütlinge schwimmstärker und weniger anfällig (Elliott 1989). Da die Entwicklung der Forellen vom Ei bis zur Emergenz aus dem Interstitial hauptsächlich vom Laichzeitpunkt und der Temperatur abhängig ist, kann der Emergenzzeitpunkt zwischen Gewässern und Jahren variieren.

Um Versuche mit Altersstadien von frisch emergierten Forellen durchführen zu können, ist es essentiell, den Emergenzzeitpunkt exakt bestimmen zu können.

Im Vorfeld der Strandrungsversuche wurde durch Emergenzexperimente bzw. Felduntersuchungen in der Hasliaare der Zeitpunkt der Emergenz der frühesten und spätesten nachgewiesenen Laichgrube zu bestimmen und durch Fotos das genaue Entwicklungsstadium nach der Emergenz zu dokumentieren (Meyer et al. 2018 und 2019). Für die Strandrungsversuche wird empfohlen ausschliesslich Brütlinge der Kategorie 3 – ohne Dottersack zu verwenden. Darum sollten für Strandrungsversuche Wildfische, erst nach dem Erreichen des Emergenzpeaks (850°d), verwendet werden (Meyer et al. 2019).

Zur Bestimmung des Alters der Forellenlarven erfolgen zur Laichzeit 2018 regelmässige Begehungen im Gewässerabschnitt der Versuchsfische. Hierdurch wird der Beginn und das Ende der Laichzeit dokumentiert sowie das Peak Spawning bestimmt. Durch die Installation von Temperaturloggern kann das Alter der Forellenlarven nachvollzogen werden. Testbefischungen dienen der Validierung der Daten.

3.2.6 Definition Beigabemenge

Die Anzahl pro Versuch benötigter Versuchsfische wird anhand mehrerer Kriterien abgeleitet. Einerseits muss die Anzahl Individuen gross genug sein, um bezüglich statistischer Auswertungen aussagekräftige Resultate zu erhalten und andererseits klein genug, dass die Fischdichte selbst die Resultate nicht beeinflusst. Auch sollen die Fische ein möglichst natürliches Verhalten aufweisen, was eventuell durch zu grosse oder kleine Dichten beeinflusst werden könnte. Bei den Strandrungsversuchen in der Hasliaare orientierte man sich an den natürlicherweise in dem Untersuchungsgewässer vorkommenden Fischdichten. Die Forellendichten variieren je nach Altersklasse stark, weshalb wiederum der Durchführungszeitpunkt des Versuchs berücksichtigt werden muss. Das heisst, je grösser (älter) die Versuchsfische sind bzw. je später im Jahr der Versuch durchgeführt wird, desto weniger Individuen werden benötigt, da deren natürlicher Platzbedarf zunimmt. Die Einheit Fisch/m² nimmt im Zeitraum nach der Emergenz rasch ab. Nach wenigen Tagen liegt sie gemäss Unfer (2012) bei 25 pro m², nach 2 Wochen sind es noch 3.3 pro m² und Elliot (1984) gibt 2 bis 7 pro m² im Mai/ Juni an.

Bei einer minimal benetzten Versuchsfläche von 24 m², ergibt dies nach Literatur eine Anzahl von Versuchsfischen zwischen 24 (1/m²) und 96 (4/m²) für Versuche im Mai/Juni. Laut Adam & Lehmann (2011) hat sich eine Zahl von 40 Individuen als praktikabel erwiesen, wenn Verhaltensweisen dokumentiert werden sollen.

An der Hasliaare und seinen Zubringern wurden in den letzten 10 Jahren zahlreiche Elektrobefischungen durchgeführt. Dabei handelte es sich meist um Bestandsaufnahmen, die entweder flächig oder als Streifenbefischung am Gewässerrufer durchgeführt wurden. Fischdichten lassen sich deshalb nicht aus allen Untersuchungen herleiten. Flächige Befischungen im Juni 2017 im Gadmerwasser wiesen an verschiedenen Stellen Sömmerlingsdichten von rund 0.2 – 0.3 Fischen / m² auf. In der Restwasserstrecke der Hasliaare konnten im Mai 2009 Dichten von rund 0.5 – 1 Sömmerling / m² abgeschätzt werden (Streifenbefischung mit 180m x 2m). Es muss dabei beachtet werden, dass die reale Dichte in beiden Fällen höher einzuschätzen ist (Fangerfolg Elektrofischerei). Zudem ist eine Abschätzung der natürlichen Reproduktionskapazität der beiden Gewässer schwierig, weil sowohl die Morphologie als auch die Abflussverhältnisse nicht mehr dem natürlichen Zustand entsprechen (fehlende Trübung durch Gletschermilch, Restwasserverhältnisse, Verbauten Hochwasserschutz, etc.). Insgesamt kann aber ausgesagt werden, dass die in der Literatur angegebenen Werte für Sömmerlingsdichten auch für die Hasliaare stimmen und unter Berücksichtigung der obigen Angaben im Mai/Juni von einem geschätzten Aufkommen von rund 1 – 2 Tieren / m² gerechnet werden kann. Im Rahmen der Vorversuche wurde mit unterschiedlichen Fischdichten gearbeitet und qualitativ abgeschätzt, ab welcher Dichte eine Beeinflussung beobachtet werden kann.

Unter Berücksichtigung der Literatur, der Befischungen in der Hasliaare sowie den Resultaten der Vorversuche hat die Begleitgruppe entschieden, dass für die Strandrungsversuche mit wild emergierten Bachforellenlarven im Alter von einige Tage bis Wochen nach der Emergenz, pro Versuchsdurchführung eine Anzahl von n = 50 verwendet werden sollen.

3.2.7 Driftanteil

Aufgrund der Strömung werden Fische, insbesondere larvale Tiere, von der Strömung verdriftet. Dieser Effekt ist unabhängig von Strandungsprozessen. Aufgrund dieser Unabhängigkeit müssen die Fische, welche aus der Versuchsfläche verdriftet werden, separat gezählt und registriert werden. In natürlichen Systemen können Fische, welche verdriftet werden ebenfalls nicht Stranden, weil sie aus ihrem Habitat wegbewegt werden.

Im Versuchskäfig auf der Seite zur Gewässermitte hin sowie am Ende des Versuchskäfigs wird eine Driftrinne installiert (siehe Abb. 23). Mit Hilfe dieser Rinne kann die Menge an Versuchsfisch, die sich aus der Driftmenge sowie die Sunkmenge ergibt, bestimmt werden. Eine Unterscheidung der Versuchsfische in Driftmenge und Sunkmenge ist bei diesem methodischen Ansatz, welcher in den Vorversuchen entwickelt wurde und während der Versuchsreihe 1 angewendet wurde, jedoch nicht zuverlässig gegeben.



Abb. 23: Darstellung der Driftrinne im Versuchskäfig.

Weil das Konzept mit der Driftrinne bezüglich der Bestimmung des Driftanteils keine Unterscheidung des Driftanteils und des Sunkanteils zulässt, wurden bei der Versuchsreihe 2 am Ende des Versuchskäfigs zwei jeweils 1 m breite Reusen eingebaut (siehe Abb. 24 und Abb. 25). Die Reusen sind so gestaltet, dass diese zu jeder Versuchszeit geleert werden können. Die Driftreuse wird einmal vor dem Beginn des Pegelrückganges und einmal nach dem Pegelrückgang geleert. Diese Reusen ersetzen die ursprüngliche Driftrinne (vgl. oben).



Abb. 24 und Abb. 25: Die Driftreusen der Versuchsreihe 2 (Bilder: Reuther und Ravessoud).

3.2.8 Fischsuche

Die Fischsuche nach dem Pegelrückgang erfolgt visuell. Hierzu betreten drei bis vier Personen die Versuchsfläche und beginnen mit der Suche der Fische im Versuchskäfig parallel zueinander in einer Linie vom

Ufer zur Gewässermitte hin (siehe Abb. 26). Gefundene Fische werden mittels Kaffeesieb, Feder oder Plastikkarte schonend aufgehoben und in eine mit Wasser gefüllte Plastikschüssel gegeben. Der Fundstandort wird mit einem farbcodierten Fähnchen markiert (Farbcodierung für tot/lebendig). Durch diese Farbcodierung kann die Mortalitätsrate bestimmt werden. Es wird für 40 Minuten, oder bis alle Fische gefunden sind, gesucht. Nach dem Suchprozess werden die Fundstandorte auf einem Feldprotokoll vermerkt und die Anzahl wiedergefundene Fische (Unterscheidung tot/lebendig) wird notiert. Zusätzlich werden die Fundorte mit einem differentiellen GPS (Leica GS 18) genau vermessen. Anhand der Vermessung der Fundstandorte kann später definiert werden, ob ein Fisch in der Sunkzone oder der Wasserwechselzone verblieben ist und somit zur Sunkmenge oder der Strandungsmenge zählt.



Abb.26: Darstellung des Suchprozesses.

3.3 Entwickeltes Versuchskonzept (resultierendes Untersuchungsdesign)

Nachfolgend wird der entwickelte Versuchsablauf detailliert beschrieben, mit dem der Strandungsanteil von Bachforellen in Gewässerabschnitten untersucht werden kann. Dieses Konzept ist das Ergebnis der Vorversuche und den Erfahrungen, welche während den Versuchen gesammelt werden konnten. Dabei werden sämtliche notwendigen Schritte für die Versuchsdurchführung aufgelistet. Die Erläuterung respektive Begründung dieser Schritte finden sich in den Kapiteln 3.2.2 bis 3.2.8. Die Auflistung soll auch eine vom Projektteam unabhängige Reproduktion der Versuche ermöglichen.

3.3.1 Fang und Zwischenhälterung Versuchsfische

Im nachfolgenden wird der Ablauf des Fangs, des Umgangs und der Zwischenhälterung der Versuchsfische stichpunktartig beschrieben:

- Fang der für den Versuchstag (Folgetag) benötigten Anzahl an Versuchsfischen im Gadmerwasser, unterhalb der Fuhrenebene mittels E-Befischung. Pro Versuch werden 50 Forellenlarven benötigt. Die Elektrobefischungen des Gewässerabschnitts erfolgen flussauf, sodass sichergestellt wird, dass jeder Versuchsfisch maximal einmal verwendet wird (vgl. Kap. 3.2.2, 3.2.6).
- Nach dem Fang werden die Fische in eine mit Wasser gefüllte Petrischale gegeben und vermessen.

- Danach werden die Forellenlarven in einem 1 m x 1 m grossen Käfig zwischengehältet (vgl. Kap. 3.2.3)
- Vor dem Strandungsversuch: Entnahme der Versuchsfische aus dem Zwischenhälterungsgefäss und Prüfung der Fischanzahl (n=50) sowie der Vitalität.
- Nach Ablauf des Strandungsversuches werden sämtliche überlebenden Individuen aus der Versuchsfläche, des Driftnetzes sowie die noch Verbleibenden im Zwischenhälterungsgefäss in einen Transportsack gegeben und nach Führen transportiert. Die Rückgabe der Brütlinge erfolgt unterhalb der Entnahmestrecke, sodass sie nicht in die Entnahmestrecke aufsteigen und so allenfalls ein zweites Mal für einen Versuch verwendet werden.

3.3.2 Ablauf der Strandungsversuche

Nachfolgen wird der Ablauf der Strandungsversuche stichpunktartig beschrieben. Dieser Ablauf wird anhand eines Versuchsprotokolls und weiteren Hilfsprotokollen dokumentiert.

Versuchsablauf:

- Installation des 6 m x 4 m grossen Versuchsgefässes an einem geeigneten Standort (bei Sunk muss der Standort grösstenteils trockenfallen und bei Schwall müssen ausreichend Brütlingshabitate vorhanden sein).
- Sicherstellung, dass sich in der Versuchsfläche keine Fischlarven / Fische aus vorgängigen Versuchen oder aus natürlicher Einschwemmung befinden.
- Kontrolle, ob der Versuchskäfig mindestens 20 cm tief eingebaut ist.
- Montage der Driftrinne im Versuchskäfig (Optimierung bei Versuchsreihe 2: Montage von Driftreusen) (vgl. Kap. 3.2.7)
- Optimierung für Versuchsreihe 2: Installation von Sonnenschutzplane (nur bei starkem Sonnenschein um eine Beeinflussung durch die Lichtverhältnisse verhindern zu können. Abdichten der Ränder des Versuchskäfigs mit Sand.
- Nachmodellierung der Versuchsfläche, bei nicht optimalen Bereichen.
- Gefärbte Steine setzen und vermessen.
- Einbau GoPro, Pegel / Temperatursonde.
- Dokumentation der Zeit auf Video: Uhr vor GoPros halten.
- Notieren der Uhrzeit bei Versuchsstart.
- Start Schwall-Situation: Der Käfig wird geflutet bis ganzflächig geeignetes Fischhabitat vorherrscht.
- Dokumentation der Uhrzeit, wenn der Pegel im Käfig konstant ist.
- Kontrolle Käfig nass, evtl. putzen und abdichten.
- Kontrolle Messeinrichtungen Kameras, Pegel und Sonden.
- Aufnahme Fliessgeschwindigkeit.
- Aufnahme pH-Wert.
- Entnahme der Versuchsfische aus dem Zwischenhälterungsgefäss.
- Prüfung der Fischanzahl (n=50) und Vitalität.
- Ab Beigabe der Fische müssen sich alle Personen vom Käfig aus Sichtweite der Fische entfernen.
- Beigabe Versuchsfische.
- Start 1h Akklimatisationsphase unter konstanten Abflussbedingungen im Versuchskäfig.
- Ende der Akklimatisationsphase.
- Start Pegelrückgangsrate.
- Beobachtung von WWZ (Wasserwechselzone).
- Ende Pegelrückgangsrates (der Abfluss wird gesenkt bis zwei Drittel der Versuchsfläche trockengefallen sind).
- Start Suchphase.
- Ende Suchphase (nach 40 min oder wenn alle Versuchsfische gefunden wurden).
- Fischfundorte werden mit GPS und Protokoll aufgenommen.

3.3.3 Factsheets

Für jeden Versuch wird ein Factsheet erstellt, auf dem alle wichtigen Daten zusammengefasst werden (vgl. Abb. 27). Das Factsheet wird in drei Bereiche eingeteilt. Im obersten Bereich werden die Messergebnisse der abiotischen Parameter gezeigt. Im mittleren Bereich werden räumliche Informationen zum Käfig dargestellt. Beispielsweise werden die Fischfundorte, die Zonen und die Mulden abgebildet. Im untersten Bereich werden die Beobachtungen der Anzahl gefundenen Fische in der Driftzone (blau), der Sunkzone (grün) und der Wasserwechselzone (rot) festgehalten.

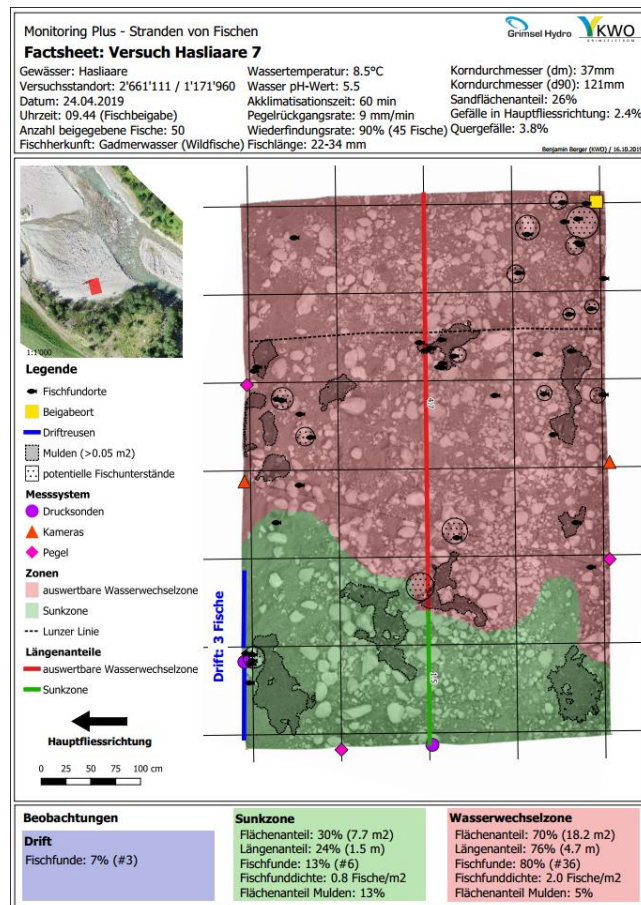


Abb. 27: Beispiel eines Factsheets.

4 Auswertungsmethoden für Strandungsversuche

Nachfolgend werden die verschiedenen Auswertungsmethoden für die Strandungsversuche beschrieben. Bei den Methoden werden die bei den Strandungsversuchen erhobenen Daten hinsichtlich den Fischen und den abiotischen Parametern verwendet und können somit bei allen Versuchen, die nach dem Versuchsdesign aus Kapitel 3 durchgeführt werden, angewendet werden. Es gibt sowohl statistische Auswertungsmethoden als auch räumliche Ansätze. Ausserdem werden Vorgehen zur reinen Beobachtung des Fischverhaltens angewendet.

4.1 Definition von strandungsspezifischen Kenngrössen

Nachfolgend werden verschiedene strandungsspezifische Kenngrössen definiert. Diese Kenngrössen sind entscheidend zur Klassierung der Versuchsfische und bilden die Grundlage für die statistische Auswertung.

Beigabemenge B_M = Anzahl in den Versuchskäfig beigegebene Fische. Bei allen Versuchen werden 50 Fische beigegeben.

Wiederfindemenge W_M = Anzahl der wiedergefundenen Fische nach dem Suchprozess.

Wiederfindungsrate W_R [%] = Anteil der wiedergefundenen Fische nach dem Suchprozess.

$$W_R = \frac{W}{B} * 100 \text{ [%]}$$

Driftmenge D_M = Anzahl Fische die beim Versuch in der Driftrinne oder der Driftreuse gefunden werden.

Driftanteil D_A [%] = Anteil der verdrifteten Fische an der Wiederfindemenge.

$$D_A = \frac{D}{W} * 100 \text{ [%]}$$

Versuchsmenge V_M = Anzahl Fische, die für die Auswertung des Strandungsversuches genutzt werden können

$$V_M = W_M - D_M$$

Strandungsmenge Str_M = Anzahl gestrandete Fische in der Wasserwechselzone

Strandungsanteil Str_A [%] = Anteil an gestrandeten Fische in der Wasserwechselzone. Dabei wird die Versuchsmenge verwendet.

$$Str_A = \frac{Str_M}{V_M} * 100 \text{ [%]}$$

Sunkmenge $Sunk_M$ = Anzahl Fische, die es geschafft haben in der Sunkzone zu bleiben (wurden nicht verdriftet und sind nicht gestrandet).

Sunkanteil $Sunk_A$ [%] = Anteil Fische in der Sunkzone. Dabei wird die Versuchsmenge verwendet

$$Sunk_A = \frac{Sunk_M}{V_M} * 100 \text{ [%]}$$

Mortalitätsmenge M_M = Anzahl Fische bei denen beim Suchprozess der Tod festgestellt wurde.

Mortalitätsrate M_R [%] = Anteil toter Fische an der Beigabemenge.

$$M_R = \frac{M_M}{B_M} * 100 \text{ [%]}$$

4.2 Einordnung in die bestehende Bewertung der Vollzugshilfe "Schwall-Sunk – Massnahmen"

Die durchgeführten Versuche werden anhand der Bewertungsmethode der VZH-M bewertet. Dazu werden die Wertefunktionen für den Anteil trockenfallender Fläche (Wasserwechselzone) und der Pegelrückgangsraten verwendet (vgl. Abb. 28 und 29). Die Gesamtbewertung für jeden Versuch wird mit Hilfe der Aggregationsmatrix der VZH-M (vgl. Abb. 30) bestimmt.

Bewertung	Zustand	Kriterium: Anteil trocken fallender Fläche an gesamter benetzter Fläche
	sehr gut	< 10 %
	gut	≥ 10 < 30 %
	mässig	≥ 30 < 40 %
	unbefriedigend	≥ 40 < 50 %
	mässig-schlecht	≥ 50 %

Abb. 28: Wertefunktion für Wasserwechselzone

Bewertung	Zustand	Kriterium: Pegelrückgangsraten (cm/min)
	sehr gut	< 0,2
	gut	≥ 0,2 < 0,3
	mässig	≥ 0,3 < 0,4
	unbefriedigend	≥ 0,4 < 0,5
	schlecht	≥ 0,5

Abb. 29: Wertefunktion Pegelrückgangsraten

Aggregation der Kriterien «trocken fallender Fläche» und «Pegelrückgangsraten» zur Ermittlung der Gesamtbewertung des Indikators F2*.

		Kriterium: Anteil trocken fallender Fläche an gesamter benetzter Fläche				
		sehr gut	gut	mässig	unbefriedigend	schlecht
Kriterium: Pegelrückgangsraten	schlecht	mässig	unbefriedigend	unbefriedigend	schlecht	schlecht
	unbefriedigend	gut	unbefriedigend	unbefriedigend	unbefriedigend	schlecht
	mässig	gut	mässig	unbefriedigend	unbefriedigend	unbefriedigend
	gut	gut	gut	gut	gut	mässig
	sehr gut	sehr gut	gut	gut	gut	gut

Abb. 30: Aggregationsmatrix zur Gesamtbewertung

4.3 Analyse des Einflusses von verschiedenen Parameter auf das Stranden

Der Einfluss von verschiedenen Parametern auf den Strandungsanteil wird anhand von deskriptiver Statistik untersucht. Deskriptive Statistik ist eine statistische Methode zur Beschreibung und Auswertung von Daten anhand von Grafiken, Tabellen und berechneter Parameter, wie Mittelwerte, Medianwerte, etc. Mit deskriptiver Statistik werden ausschliesslich Aussagen zum Datensatz selbst gemacht (Statista 2015). Diese Form von Auswertung kann in der Regel sehr gut nachvollzogen werden, wodurch die Resultate breit diskutiert werden können. Erfahrungsgemäss kann hingegen die Verwendung von induktiven statistischen Ansätzen dazu führen, dass die Interpretation der Ergebnisse sehr einseitig ausfällt und in Richtung der ausgewerteten Hypothesen bewegt werden.

Um die Bedeutung eines Parameters auf den Strandungsanteil zu beschreiben, werden einerseits die Daten der Strandungsversuche in einem Streudiagramm dargestellt. Dabei werden auf der X-Achse die Werte des jeweiligen Parameters aufgetragen und auf der Y-Achse der entsprechende Strandungsanteil des Versuches. Anhand dieses Streudiagramms können mögliche Zusammenhänge visuell erfasst werden.

Andererseits wird der Einfluss eines Parameters auf die Streuung des Strandungsanteils anhand von einer Gruppierung der Daten und der Darstellung als Boxplot beschrieben. Die Gruppierung wird anhand des zu analysierenden Parameters vorgenommen. In Gruppe 1 werden die 10 Versuche mit den tiefsten Werten für den Parameter und in Gruppe 2 die 10 Versuche mit den höchsten Werte für den jeweiligen Parameter zusammengefasst. Für die beiden Gruppen werden das Maximum und Minimum, die Quartile (25% bzw. 75%) und der Median berechnet. Die Quantile der beiden Gruppen werden anschliessend in einem sogenannten Boxplot dargestellt. Der Aufbau eines Boxplots ist in Abbildung 31 gezeigt. Innerhalb des Kastens befinden sich 50% der Versuche, wobei die Mittellinie dem Medianwert entspricht, die Maximal- bzw. Minimalwerte werden als Antennen dargestellt. Basierend auf den Boxplots für die zwei Gruppen können Aussagen hinsichtlich des Einflusses des Parameters auf die Streuung gemacht werden.

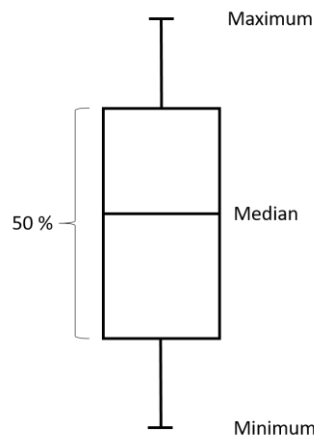


Abb. 31: Aufbau eines Boxplots.

Für den Parameter Pegelrückgangsrates wird eine zusätzliche Gruppierung vorgenommen, die auf der Bewertungsmethode gemäss VZH-M basiert. Dabei werden alle Versuche mit Pegelrückgangsrates von <0.3 cm/min (Klassen blau und grün gemäss VZH-M) in eine Gruppe zusammengefasst und alle Versuche mit Pegelrückgangsrates von 0.4 cm/min bis 0.5 cm/min (Klasse orange gemäss VZH-M) auch in eine Gruppe.

4.4 Räumliche Auswertung des Einflusses der Wasserwechselzone

Der Einfluss der Grösse der Wasserwechselzone kann anhand einer GIS-Analyse untersucht werden. Damit kann gezeigt werden, wie viele Fisch gestrandet wären, falls die Wasserwechselzone kleiner gewesen wäre. Folgende Schritte sind bei der GIS-Analyse notwendig.

1. Selektion der relevanten Fische

Für die Auswertung sind nur Fische relevant, die beim Versuch gestrandet sind (vgl. Abb. 32, blaue Fische). Die nicht gestrandeten Fische (vgl. Abb. 32, orange Fische) werden von dieser Auswertung ausgeschlossen, da sich diese auch nach dem Pegelrückgang in der Sunkzone freibewegen konnten und somit keine zuverlässige Aussage hinsichtlich Fundstandort und somit Distanz möglich ist.

2. Berechnung der Distanz zur Grundlinie des Käfigs

Die Grundlinie des Käfigs befindet sich auf der Seite des Käfigs, die bei den Versuchen trockenfällt. Ausgehend von den relevanten Fischen wird die kürzeste Verbindung zu dieser Grundlinie berechnet.

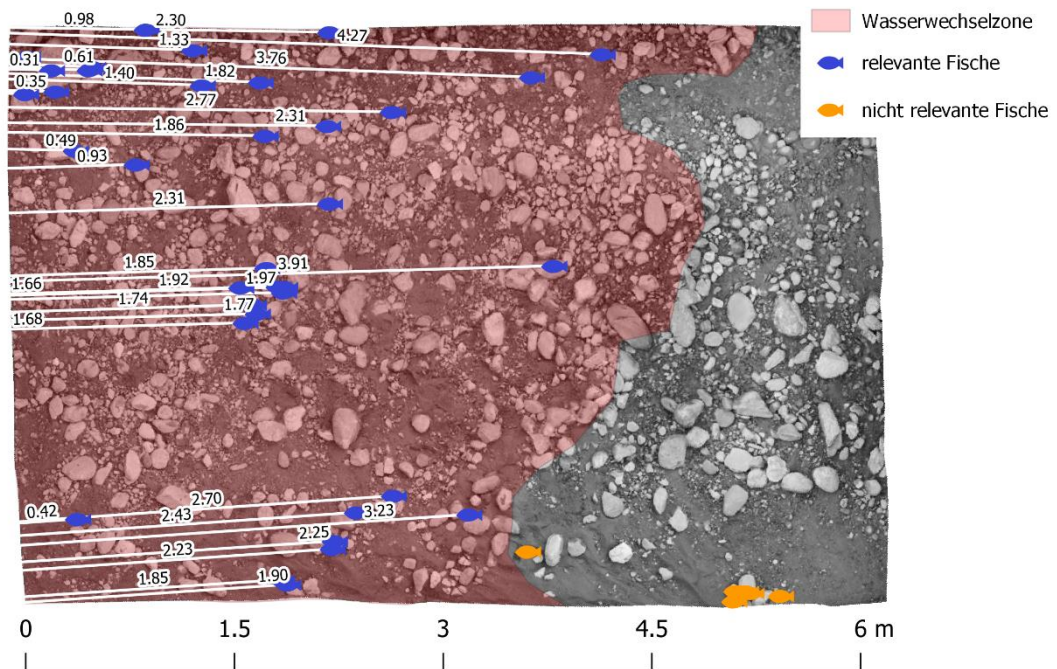


Abb. 32: Selektion und Distanzberechnung für die Auswertung der Wasserwechselzone

3. Aufsummierung der gestrandeten Fische anhand der Distanz zur Grundlinie

Anhand der Distanz zur Grundlinie werden die gestrandeten Fische aufsummiert (vgl. Abb. 33).

4. Umrechnung der Anzahl gestrandeter Fische in den Strandungsanteil

Anhand der Versuchsmenge (vgl. Kap. 4.1) kann für die Summenkurve der gestrandeten Fische der Strandungsanteil für die verschiedenen Grössen der Wasserwechselzone berechnet werden.

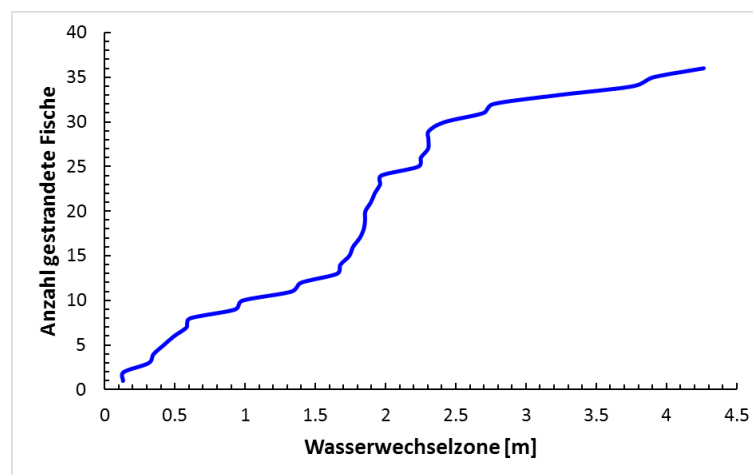


Abb. 33: Summenkurve der gestrandeten Fische

4.5 Räumliche Auswertung der Fließgeschwindigkeiten

Zur räumlichen Auswertung der Fließgeschwindigkeiten werden als Grundlage die mit PTV gemessenen Fließgeschwindigkeiten und die durch Videoanalysen bestimmten Zonen im Versuchskäfig verwendet (vgl. Kap. 3.1.2). Für die Analyse werden die Fließgeschwindigkeiten bei Schwall verwendet. Mit einem GIS wird die mittlere Fließgeschwindigkeit innerhalb der Wasserwechselzone berechnet (vgl. Abb. 34).

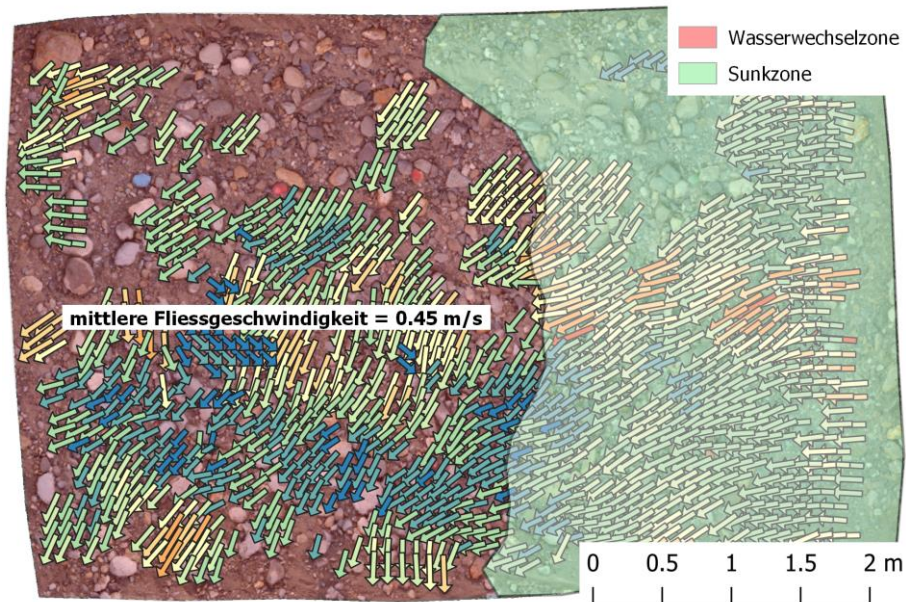


Abb. 34: Auswertung der Fließgeschwindigkeiten

Die berechneten mittleren Fließgeschwindigkeiten in der Wasserwechselzone bei Schwall werden anschließend in einem Streudiagramm gegenüber der Strandrungsrate dargestellt. Durch eine visuelle Interpretation des Diagramms können mögliche Zusammenhänge erkannt werden.

4.6 Beobachtung des Verhaltens von Fischlarven

Bei den Versuchen wird das Verhalten der Fischlarven während den verschiedenen Phasen beobachtet. Mit den zwei installierten Kameras zur Bestimmung der verschiedenen Zonen im Käfig (vgl. Kap. 3.1.2) kann anhand der kontinuierlichen Videoaufnahme das Verhalten der Fischlarven im Käfig über die ganze Versuchszeit beobachtet werden. Das Verhalten wird anhand der Videoaufnahmen durch einen Fischexperten qualitativ beschrieben und interpretiert.

5 Resultate der Strandungsversuche in der Hasliaare

Im Rahmen des Projektes wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt. Die erste Versuchsreihe erfolgte im Frühling des Jahres 2018 in der Schwallstrecke der Hasliaare. Die zweite Versuchsreihe erfolgte anschließend in der Restwasserstrecke der Hasliaare im Frühling 2019. Bei der zweiten Versuchsreihe wurden bereits erste Optimierungen aufgrund der Erkenntnisse aus der ersten Versuchsreihe umgesetzt. Nachfolgend werden die beiden Versuchsreihen beschrieben.

5.1 Versuchsreihe 1

Die erste Versuchsreihe besteht aus insgesamt vier Versuchen (Versuch V1_1 bis V1_4), die im Zeitraum vom 22. bis 23. Mai 2018 durchgeführt wurden. Bei den Versuchen wird das entwickelte Versuchskonzept (vgl. Kap. 3.3) angewendet.

5.1.1 Standort

Als Standort in der Schwallstrecke wurde für die Versuchsreihe im Jahr 2018 eine Kiesbank zwischen der Aaeschlucht und der Gemeinde Meiringen (Höhe Freibad, siehe Abb. 35) ausgewählt.



Abb. 35: Der Versuchsstandort in der Schwallstrecke der Hasliaare für die Versuchsreihe 2018.

5.1.2 Steuerung Pegelrückgangsrates und Schwall-Sunk Abfluss

Die Pegelrückgangsrates im Versuchskäfig wird direkt mit dem Beruhigungsbecken und den Kraftwerksturbinen der Kraftwerksgruppen Innertkirchen 1 und 2 gesteuert (vgl. Abb. 36). Dazu wird für jeden Versuch die angestrebte Pegelrückgangsrates mit der Leitstelle der KWO abgesprochen. Die Leitstelle reguliert dann das Beruhigungsbecken entsprechend. Für die Bestimmung des notwendigen Abflusses (damit die Kiesbank genügend überströmt wird) wurden im Vorfeld mit kontinuierlichen Kameraaufnahmen (Zeitraffer) die Situation auf der Kiesbank bei unterschiedlichen Abflüssen analysiert. Für die Bestimmung des Zusammenhangs zwischen der Abflussänderungsrates beim Beruhigungsbecken und der Pegelrückgangsrates auf der entsprechenden Kiesbank wurde ein Pegelsensor installiert und der Zusammenhang zwischen Abflussänderung, Steuerung der Kraftwerke und resultierenden Pegelrückgangsrates für einen längeren Zeitraum untersucht.



Abb. 36: Beruhigungsbecken in Innertkirchen (Bild: Bernhardt).

5.1.3 Fischalter

Für die vier Strandrungsversuche in der schwallbeeinflussten Kiesbankstrecke der Hasliaare erfolgte keine exakte Altersbestimmung der Versuchsfische mittels Tagesgraden. Für die Versuche V1_1 bis V1_4 wurde das Alter der Forellenlarven auf mehrere Wochen nach der Emergenz geschätzt. Die genaue Bestimmung der Tagesgraden war erst nach der Auswertung der Emergenzversuche (vgl. Kap. 3.2.5) möglich. Diese Versuche liefen parallel zu der ersten Versuchsreihe, weshalb für die Bestimmung des Fischalters für die Versuchsreihe 1 nicht mit der gleichen Güte wie für Versuchsreihe 2 (vgl. Kap 5.2.3) durchgeführt werden konnte.

5.1.4 Ergebnisse und Daten

In den Tabellen 1 und 2 sind die strandungsspezifischen Kenngrößen und die Messergebnisse der Versuchsreihe 1 zusammengefasst. Insgesamt wurden vier Versuche durchgeführt (V1_1 bis V1_4).

Die durchschnittliche Wiederfindungsrate liegt bei 93%. Beim Suchprozess wurden über alle vier Versuche insgesamt 7 Fische tot gefunden, was 4% der Versuchsfische entspricht. Es muss davon ausgegangen werden, dass der grössere Anteil der Fische, die nicht gefunden wurden, ebenfalls nicht überleben konnten (ausser in der Sohle war genügend Wasser bis zum nächsten Schwall). Der Strandrungsanteil lag bei den Versuchen zwischen 33% und 95%.

Tab. 1: strandungsspezifische Kenngrößen für die Versuchsreihe 1

Versuch	Beigabemenge (B _M)	Wiederfindemenge (W _M)	Wiederfindungsrate (W _R) [%]	Driftmenge (D _M)	Driftanteil (D _A) [%]	Versuchsmenge (V _M)	Strandungsmenge (Str _M)	Strandungsanteil (Str _A) [%]	Sunkmenge (Sunk _M)	Sunkanteil (Sunk _A) [%]	Mortalitätsmenge (M _M)	Mortalitätsrate (M _R) [%]
V1_1	50	48	96%	21	44%	27	9	33%	18	67%	3	6%
V1_2	50	47	94%	14	30%	33	18	55%	15	45%	1	2%
V1_3	50	43	86%	13	30%	30	18	60%	12	40%	0	0%
V1_4	50	48	96%	7	15%	41	39	95%	2	5%	3	6%

Bei der Versuchsreihe 1 liegen die Pegelrückgangsraten zwischen 0.18 cm/min und 0.48 cm/min. Diese Pegelrückgangsraten werden gemäss VZH-M mit sehr gut bis unbefriedigend bewertet. Der Anteil der Wasserwechselzone liegt zwischen 63% und 74%. Gemäss VZH-M wird dieser Anteil mit schlecht bewertet.

Tab. 2: Messergebnisse der abiotischen Parameter bei der Versuchsreihe 1

Versuch	Wassertemperatur (°C)	pH-Wert	PRR Sonde 1 (cm/min)	PRR Sonde 2 (cm/min)	PRR (cm/min)	Korndurchmesser d _m [mm]	Korndurchmesser d ₉₀ [mm]	Sandfläche [%]	Gefälle Hauptflussrichtung [%]	Quergerälle [%]	Sunkzone [m ²]	WWZ [m ²]	Untersuchungsfläche [m ²]	Sunkzone [%]	WWZ [%]	Fläche [m ²]	Flächenanteil an WWZ [%]
V1_1	7.0	6	0.18	0.18	0.18	47	111	2%	1.0	3.1	7.9	13.7	21.6	37%	63%	0.37	3%
V1_2	7.7	6	0.50	0.45	0.48	45	110	3%	1.5	2.5	8.5	14.6	23.1	37%	63%	0.85	6%
V1_3	6.5	6	0.43	0.44	0.44	47	118	5%	1.0	1.5	6.0	14.9	20.9	29%	71%	1.95	13%
V1_4	7.7	6	0.26	0.24	0.25	41	94	15%	0.8	2.3	5.7	16.3	22.0	26%	74%	0.97	6%

5.2 Versuchsreihe 2

Die zweite Versuchsreihe besteht aus insgesamt 17 Versuchen (Versuch V2_1 bis V2_17), die im Zeitraum vom 11. April bis 15. Mai 2019 durchgeführt wurden. Zur Durchführung der Versuche wird das entwickelte Versuchskonzept (vgl. Kap. 3.3) angewendet. Aufgrund der Erkenntnisse aus der ersten Versuchsreihe wurden verschiedene Anpassungen vorgenommen (vgl. Kap. 3.3).

5.2.1 Standort

Zur flexibleren Versuchsdurchführung (Unabhängigkeit vom Kraftwerksbetrieb) wurde im Rahmen der Begleitgruppe entschieden, die Versuchsreihe 2 in die Restwasserstrecke der Hasliaare zu verlegen. Der Geschiebesammler oberhalb der Gemeinde Innertkirchen weist entsprechend morphologisch gut geeignete Flächen für das Realisieren von umfangreichen Strandungsversuchen auf (vgl. Abb. 37).



Abb. 37: Der Versuchsstandort in der Restwasserstrecke der Hasliaare für die Versuchsreihe 2019 (Bild: Ravessoud).

5.2.2 Steuerung Pegelrückgangsrate und Schwall-Sunk Abfluss

Die Pegelrückgangsrate wird mit einem einfachen Rückhaltesystem (mit Schalungstafeln) mit integriertem Regulierorgan manuell gesteuert. Dazu wurden vorgängig Testläufe durchgeführt, bei dem das Regulierverhalten überprüft wurde. Für die Versuche wird jeweils zuerst definiert, welche Pegelrückgangsrate für den jeweiligen Versuch angestrebt wird. Diese wird anschliessend von einem geschulten Mitarbeiter entsprechend umgesetzt (vgl. Abb. 38). Ein zweiter Mitarbeiter überprüft während des Rückganges laufend die Entwicklung des Wasserstandes im Käfig (anhand Fernübertragung der Pegeldaten) und gibt dem Mitarbeiter am Regulierorgan Anweisungen zur weiteren Regulierung.



Abb. 38: Regulierung bei den Versuchen 2019 (Bild: Ravessoud).

5.2.3 Fischalter

Zur Bestimmung des Fischalters "Emergenzpeaks (850°d)" für die 17 Strandrungsversuche in 2019, erfolgten zur Laichzeit im Jahr 2018 Begehungen auf der Fuhrenebene zur Laichgrubenkartierung. Die ersten Laichgruben konnten ab dem 05.11.2018, die letzten am 30.11.2018 dokumentiert werden. Das Peak Spawning wurde auf den 15.11.2018 datiert. Durch die Daten von Temperaturloggern im Gadmerwasser konnte der Emergenzpeak für die jeweiligen Eiablagezeitpunkte ermittelt werden (siehe Tabelle 3).

Tab. 3: Herleitung des Emergenzpeaks für die jeweiligen Eiablagezeitpunkte anhand von Temperaturdaten.

Eiablage Datum	Emergenzzeitpunkt 850°d
05. November 2018	18. April 2019
15. November 2018	28. April 2019
30. November 2018	12. Mai 2019

In dem Gewässerabschnitt, wo die Versuchsfische entnommen werden sollten erfolgten zusätzlich regelmäßige Testbefischungen, um die Temperaturherleitung des Emergenzzeitpunktes zu überprüfen.

Ab dem 08.04.2019 konnten fünf emergierte Forellenlarven nachgewiesen werden (siehe Abb. 39). Alle nachgewiesenen Forellenlarven entsprachen gemäss Meyer et al. (2018) der Kategorie 3 – Forellenlarven ohne Dottersack. Zwei Tage später (10.04.2018) waren bereits so viele Forellenlarven emergiert, dass mit den Strandungsversuchen begonnen werden konnte. Der Erste Strandungsversuch wurde am 11.04.2019 realisiert bei 805°d (Eiablagedatum: 05.11.2018). In der Tabelle 4 ist das Datum des jeweiligen Strandungsversuchs mit dem errechneten Fischalter aufgeführt.



Abb. 39: Die ersten nachgewiesenen Forellenlarven vom 08.04.2019 entsprechen gemäss Meyer et al. (2018) der Kategorie 3 – ohne Dottersack.

Tab. 4: Die Termine der Strandungsversuche in der Restwasserstrecke 2019 mit dem jeweiligen errechneten Fischalter.

Datum	Versuch	Tagesgrade (Eiablage 05.11.18)	Tagesgrade (Eiablage 15.11.18)	Tagesgrade (Eiablage 30.11.18)
11.04.2019	V2_1	805	745	655
12.04.2019	V2_2	811	751	661
16.04.2019	V2_3	835	775	685
17.04.2019	V2_4	842	782	692
17.04.2019	V2_5	842	782	692
18.04.2019	V2_6	849	789	699
24.04.2019	V2_7	889	829	739
25.04.2019	V2_8	895	835	745
30.04.2019	V2_9	924	864	774
01.05.2019	V2_10	931	871	781
01.05.2019	V2_11	931	871	781
02.05.2019	V2_12	938	878	788
06.05.2019	V2_13	961	901	811
07.05.2019	V2_14	967	907	817
08.05.2019	V2_15	974	914	824
15.05.2019	V2_16	1019	959	869
15.05.2019	V2_17	1019	959	869

5.2.4 Ergebnisse und Daten

In den Tabellen 5 und 6 sind die strandungsspezifischen Kenngrössen und die Messergebnisse der Versuchsreihe 2 zusammengefasst. Insgesamt wurden 17 Versuche durchgeführt. Beim Versuch 14 sind die Messsysteme ausgefallen, deshalb gibt es keine Ergebnisse für diesen Versuch. Es konnte lediglich die Mortalitätsmenge bestimmt werden.

Die durchschnittliche Wiederfindungsrate liegt bei 91%. Beim Suchprozess wurden über alle 17 Versuche insgesamt 60 Fische tot gefunden, was 7% der Versuchsfische entspricht. Weiter muss davon ausgegangen werden, dass der grössere Anteil der Fische, die nicht gefunden werden konnten, ebenfalls nicht überleben konnten. Der Strandungsanteil lag bei den Versuchen zwischen 26% und 90%.

Tab. 5: strandungsspezifische Kenngrössen für die Versuchsreihe 2

Versuch	Beigabemenge (B _M)	Wiederfindemenge (W _M)	Wiederfindungsrate (W _R) [%]	Driftmenge (D _M)	Driftanteil (D _A) [%]	Versuchsmenge (V _M)	Strandungsmenge (Str _M)	Strandungsanteil (Str _A) [%]	Sunkmenge (Sunk _M)	Sunkanteil (Sunk _A) [%]	Mortalitätsmenge (M _M)	Mortalitätsrate (M _R) [%]
V2_1	50	47	94%	5	11%	42	33	79%	9	21%	2	4%
V2_2	50	48	96%	0	0%	48	43	90%	5	10%	0	0%
V2_3	50	44	88%	2	5%	42	24	57%	18	43%	3	6%
V2_4	50	44	88%	4	9%	40	25	63%	15	38%	0	0%
V2_5	50	47	94%	15	32%	32	21	66%	11	34%	8	16%
V2_6	50	47	94%	19	40%	28	15	54%	13	46%	15	30%
V2_7	50	45	90%	3	7%	42	36	86%	6	14%	0	0%
V2_8	50	49	98%	6	12%	43	11	26%	32	74%	1	2%
V2_9	50	46	92%	5	11%	41	27	66%	14	34%	3	6%
V2_10	50	35	70%	28	80%	7	2	29%	5	71%	0	0%
V2_11	50	44	88%	10	23%	34	28	82%	6	18%	7	14%
V2_12	50	41	82%	2	5%	39	22	56%	17	44%	3	6%
V2_13	50	49	98%	20	41%	29	17	59%	12	41%	6	12%
V2_14	50	keine Daten									3	6%
V2_15	50	49	98%	22	45%	27	17	63%	10	37%	5	10%
V2_16	50	47	94%	16	34%	31	18	58%	13	42%	1	2%
V2_17	50	49	98%	20	41%	29	13	45%	16	55%	3	6%

Bei der Versuchsreihe 2 liegen die Pegelrückgangsraten zwischen 0.18 cm/min und 0.92 cm/min. Diese Pegelrückgangsraten werden gemäss VZH-M mit sehr gut bis schlecht bewertet. Der Anteil der Wasserwechselzone liegt zwischen 53% und 70%. Gemäss VZH-M wird dieser Anteil mit schlecht bewertet.

Tab. 6: Messergebnisse der abiotische Parameter bei der Versuchsreihe 2

Versuch	Wassertemperatur (°C)	pH-Wert	PRR Sonde 1 (cm/min)	PRR Sonde 2 (cm/min)	PRR (cm/min)	Korndurchmesser d_m [mm]	Korndurchmesser d_{90} [mm]	Sandfläche [%]	Gefälle Hauptflussrichtung [%]	Quergerfälle [%]	Sunkzone [m ²]	WWZ [m ²]	Untersuchungsfläche [m ²]	Sunkzone [%]	WWZ [%]	Fläche [m ²]	Flächenanteil an WWZ [%]
V2_1	7.3	6	0.54	0.31	0.42	33	88	12%	1.0	4.6	10.6	14.5	25.1	42%	58%	0.65	4%
V2_2	8.1	5.5	0.24	0.26	0.25	30	88	21%	1.5	1.4	11.8	14.1	25.9	45%	55%	0.61	4%
V2_3	7.6	6	0.21	0.20	0.21	34	101	10%	2.4	4.0	7.9	17.6	25.5	31%	69%	0.31	2%
V2_4	9.5	6	0.37	0.44	0.41	29	86	10%	2.0	3.3	10.9	14.9	25.8	42%	58%	0.26	2%
V2_5	11.9	6	0.41	0.42	0.41	29	76	14%	2.8	4.3	11.4	14.4	25.8	44%	56%	0.00	0%
V2_6	12.5	6	0.49	0.46	0.47	34	97	35%	2.8	4.3	10.3	15.8	26.1	39%	61%	0.17	1%
V2_7	8.5	5.5	1.03	0.80	0.92	37	121	26%	2.4	3.8	7.7	18.2	25.8	30%	70%	0.88	5%
V2_8	8.6	6	0.21	0.20	0.21	44	148	21%	3.0	3.6	10.0	16.6	26.5	38%	62%	0.00	0%
V2_9	9.6	5.5	0.36	0.33	0.34	38	111	16%	1.7	3.5	10.3	15.8	26.1	40%	60%	0.25	2%
V2_10	7.5	5	0.40	0.43	0.41	36	95	32%	1.6	4.1	8.5	18.8	27.3	31%	69%	0.06	0%
V2_11	10.4	5	0.46	0.52	0.49	33	98	16%	1.8	3.7	8.8	17.2	26.0	34%	66%	0.12	1%
V2_12	10.5	5	0.19	0.17	0.18	32	96	16%	2.5	3.7	10.5	15.1	25.6	41%	59%	0.15	1%
V2_13	6.7	5	0.47	0.49	0.48	33	92	10%	1.6	3.4	10.1	15.9	26.0	39%	61%	0.08	1%
V2_15	9.1	5.5	0.76	0.69	0.73	38	113	12%	2.2	3.5	10.3	16.4	26.8	39%	61%	0.05	0%
V2_16	6.6	5	0.41	0.41	0.41	38	121	10%	1.8	3.4	11.6	15.0	26.7	44%	56%	0.00	0%
V2_17	8.1	5	0.20	0.19	0.19	39	128	33%	1.8	2.6	12.3	14.1	26.3	47%	53%	0.18	1%

5.3 Statistische und räumliche Auswertungen der Versuchsreihen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der statistischen und räumlichen Auswertungen der durchgeführten Strandungsversuche gezeigt. Die Auswertungen werden anhand der Auswertungsmethoden in Kapitel 4 vorgenommen.

5.3.1 Einordnung in bestehende Bewertung der Vollzugshilfe "Schwall-Sunk – Massnahmen"

Die durchgeführten Strandungsversuche werden anhand der Bewertung der VZH-M eingeordnet. Dazu wird sowohl die Pegelrückgangsrates als auch der Anteil trockenfallender Fläche der Versuche verwendet (vgl. Tab. 2 und 6).

In Abbildung 40 ist die Einordnung der Versuche in die Aggregationsmatrix der VZH-M gezeigt. In horizontaler Richtung wird die Bewertung des Anteils trockenfallender Fläche aufgeführt. Es ist ersichtlich, dass die Versuche alle in der Kategorie "schlecht" für diesen Parameter liegen. Die durch die Videoanalysen bestimmte Wasserwechselzone (vgl. Kap. 3.1.2) liegt für sämtliche Versuche oberhalb der Klassengrenze von 50% der gesamten Versuchsfläche (methodenbedingt). In vertikaler Richtung wird die Bewertung der Pegelrückgangsrates gezeigt. Dabei sind zwei Versuche der Kategorie "schlecht", zehn Versuche der Kategorie "unbefriedigend", ein Versuch der Kategorie "mässig", vier Versuche der Kategorie "gut" und drei Versuche der Kategorie "sehr gut" zuzuweisen. Die Versuchsreihen decken somit alle Kategorien hinsichtlich der Pegelrückgangsrates ab.



Abb. 40: Einordnung der Versuche in die bestehende Bewertungsmatrix nach VZH-M

(<30%) als auch die höchsten Strandrungsraten mit > 90% bei einer Pegelrückgangsrate von -0.2 cm/min auf.

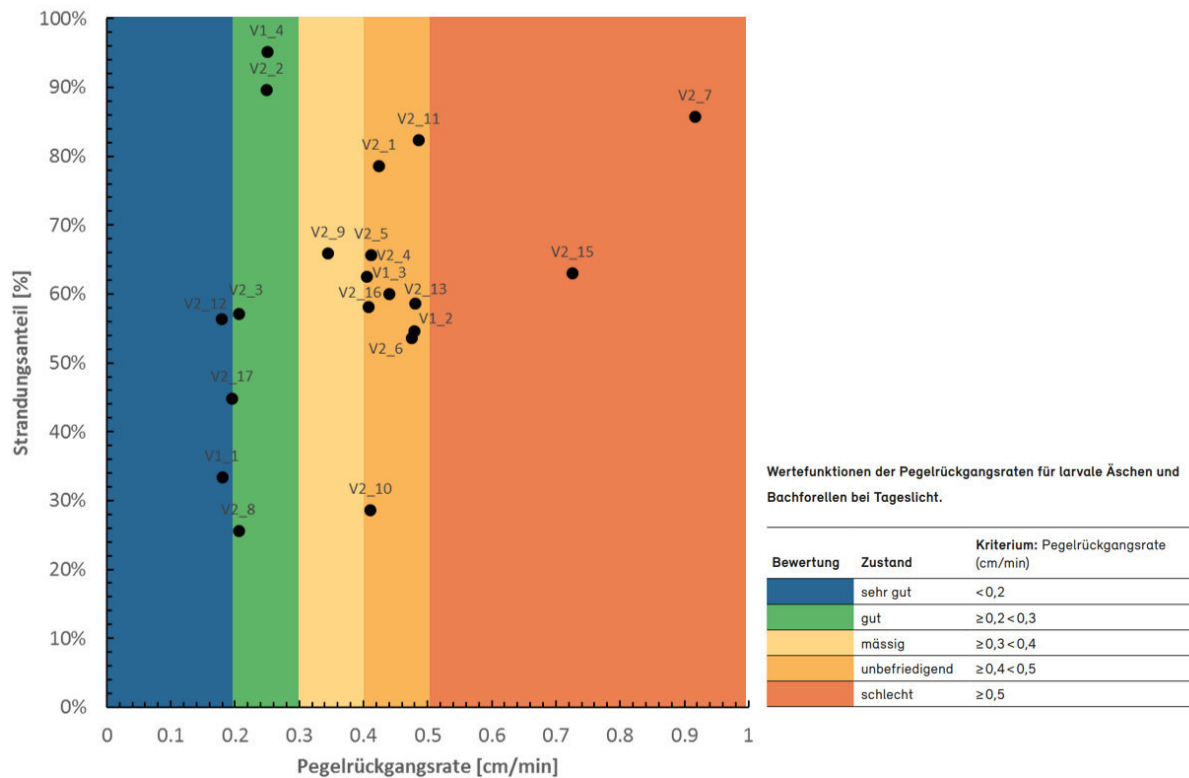


Abb. 41: Streudiagramm der Pegelrückgangsrate

In Abbildung 42 ist die Gruppierung der 20 Versuche in eine "tiefe" und eine "hohe" Gruppe hinsichtlich der Pegelrückgangsrate dargestellt. Die Streuung innerhalb der Gruppen wird anschliessend anhand der Boxplots dargestellt. Die Gruppierung erfolgt dabei durch den Median des untersuchten Parameters und ist als rote Linie in Abbildung 42 dargestellt (Erläuterung vgl. Kap. 4.3). Der Medianwert des Strandrungsanteils der zwei Gruppen unterscheidet sich nur geringfügig (Gruppe 1 = 58%, Gruppe 2 = 61%) und auch die Quartile und Extremwerte zeigen keine markanten Unterschiede. Anhand dieser Boxplots kann kein Zusammenhang zwischen Pegelrückgangsrate und Strandrungsanteil erkannt werden.

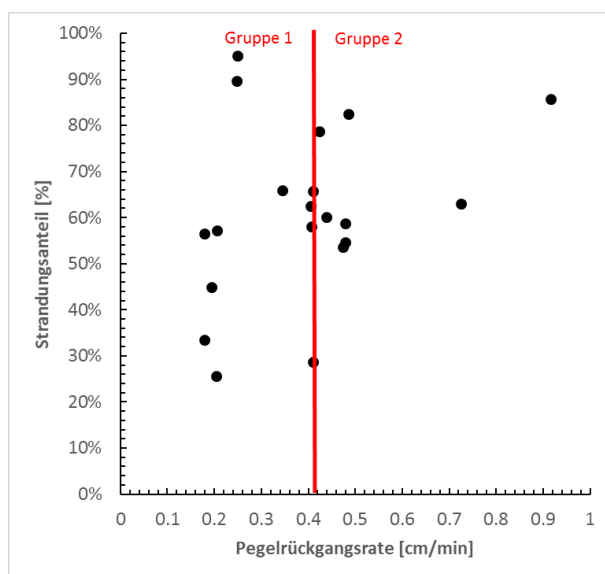


Abb. 42: Streudiagramm der Pegelrückgangsrate und Gruppierung

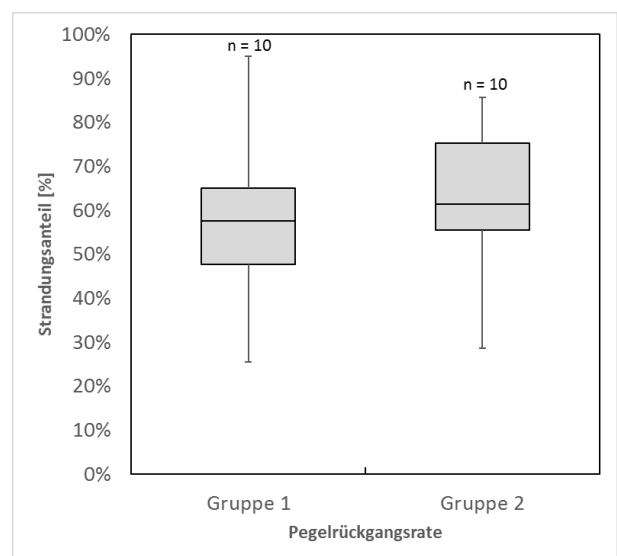


Abb. 43: Boxplots der Gruppe 1 und Gruppe 2. Gruppeneinteilung vgl. Abbildung 42.

In Abbildung 44 ist eine weitere Gruppierung anhand der Wertefunktion der VZH-M gezeigt. Dabei werden die Versuche mit Pegelrückgangsraten von <0.3 cm/min (Klassen blau und grün gemäss VZH-M) in eine Gruppe zusammengefasst und alle Versuche mit Pegelrückgangsraten von 0.4 cm/min bis 0.5 cm/min (Klasse orange gemäss VZH-M) in eine Gruppe. Die mittlere Pegelrückgangsrates für die Gruppe 1 beträgt 0.2 cm/min bzw. 0.4 cm/min für Gruppe 2. Auch diese Boxplots zeigen keinen eindeutigen Unterschied der beiden Gruppen. Die Medianwerte unterscheiden sich marginal (Gruppe 1 = 56%, Gruppe 2 = 59%). Die Quartile und Extremwerte zeigen eine grössere Streuung der Strandungsrate für die Versuche mit geringeren Pegelrückgangsraten als die Versuche mit einer grösseren Rückgangsrates (vgl. Abb. 45).

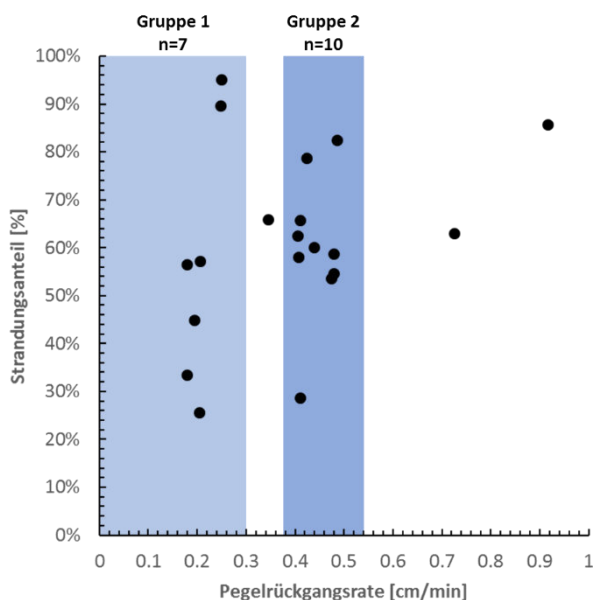


Abb. 44: Streudiagramm der Pegelrückgangsrates und Gruppierung gemäss Wertefunktion der VZH-M.

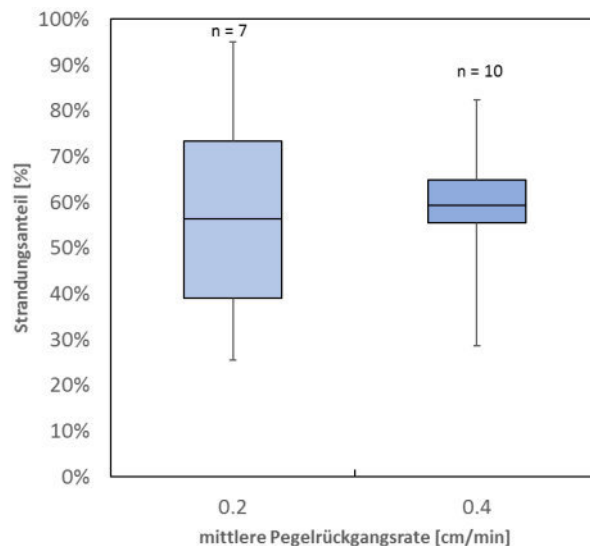


Abb. 45: Boxplots der Gruppe 1 und Gruppe 2. Gruppeneinteilung vgl. Abbildung 44

5.3.3 Einfluss des Anteils trockenfallender Fläche

Der Anteil an trockenfallender Fläche ist ein weiterer wichtiger Parameter hinsichtlich des Strandens von Forellenlarven, denn eine Strandung ist nur möglich, sofern eine Fläche bei Sunk trockenfällt. Diesem Umstand wird in der VZH-M bereits anhand der Bewertungsmatrix Rechnung getragen (vgl. Kap.5.3.1). Anhand der 20 durchgeführten Strandungsversuche in der Hasliaare wird untersucht, welchen Einfluss der Anteil an trockenfallender Fläche auf den Strandungsanteil hat.

Auf Abbildung 46 sind die Summenkurven der 20 durchgeführten Versuche zu sehen. Dabei werden die Versuche der Versuchsreihe 1 in schwarz bzw. die Versuchsreihe 2 in grau abgebildet. Im Diagramm stellt die X-Achse die Distanz zur Grundlinie des Versuchskäfigs dar, resp. die Distanz, die während der Versuchsdurchführung nach und nach trockenfällt. Diese Distanz entspricht somit der Länge der Wasserwechselzone. Auf der Y-Achse wird der Strandungsanteil kumulativ dargestellt. Für die Analyse werden nur Fische verwendet, die im Bereich der Wasserwechselzone gefunden wurden. Die Fische aus der Sunkzone und der Driftzone werden ausgeschlossen, da sich diese auch nach dem Pegelrückgang in der Sunkzone freibewegen konnten und somit nicht gestrandet sind. Das methodische Vorgehen ist im Kapitel 4.4 beschrieben.

Im Diagramm ist erkennbar, dass die Versuche ein diverses Bild des kumulativen Strandungsanteils zeigen. Bei einigen Versuchen wird bereits nach kurzer Wasserwechselzone ein hoher Strandungsanteil erreicht, während bei anderen die Summenkurven viel flacher verlaufen.

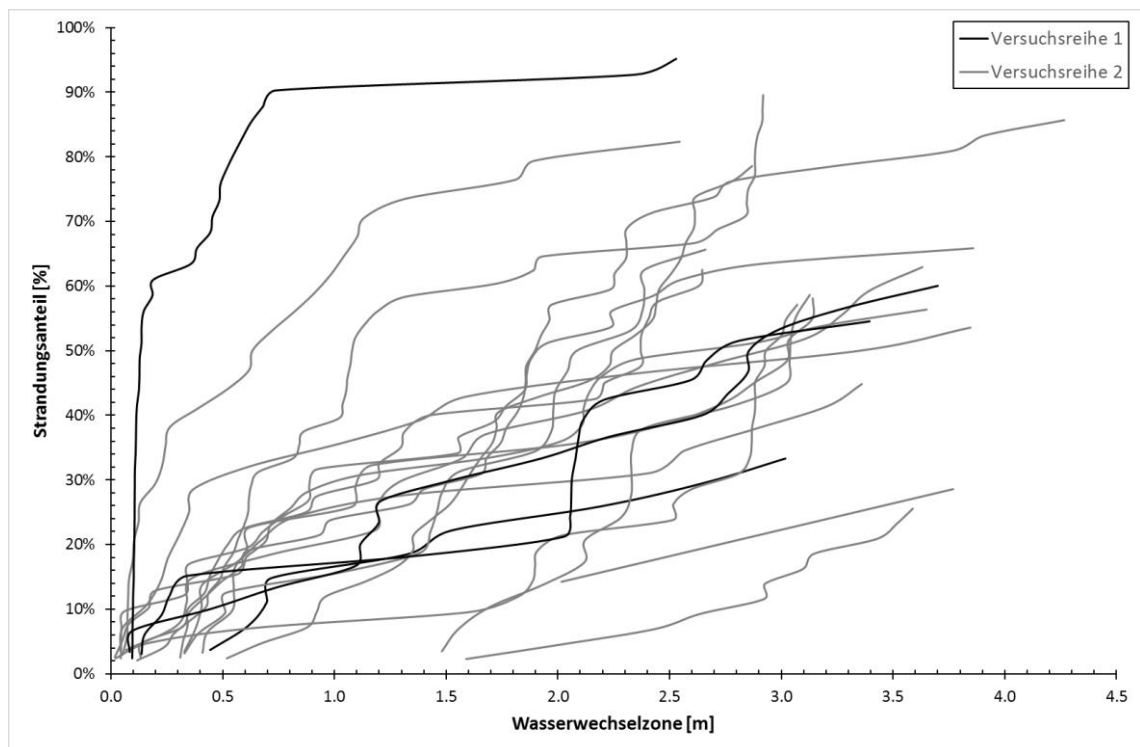


Abb. 46: Summenkurven für die 20 Versuche. Die Summenkurve startet jeweils bei dem Wasserwechselzonenwert bei welchem der erste Fisch des jeweiligen Versuches gestrandet ist.

In Abbildung 47 werden analog zu Abbildung 46 die Summenkurven der 20 Versuche dargestellt. Jedoch wird die Wasserwechselzone in Prozent angegeben. Diese wird auf Basis der Länge des Versuchskäfigs berechnet. Zusätzlich ist die Diagrammfläche anhand der Bewertung des Anteils von trockenfallender Fläche gemäss VZH-M eingefärbt.

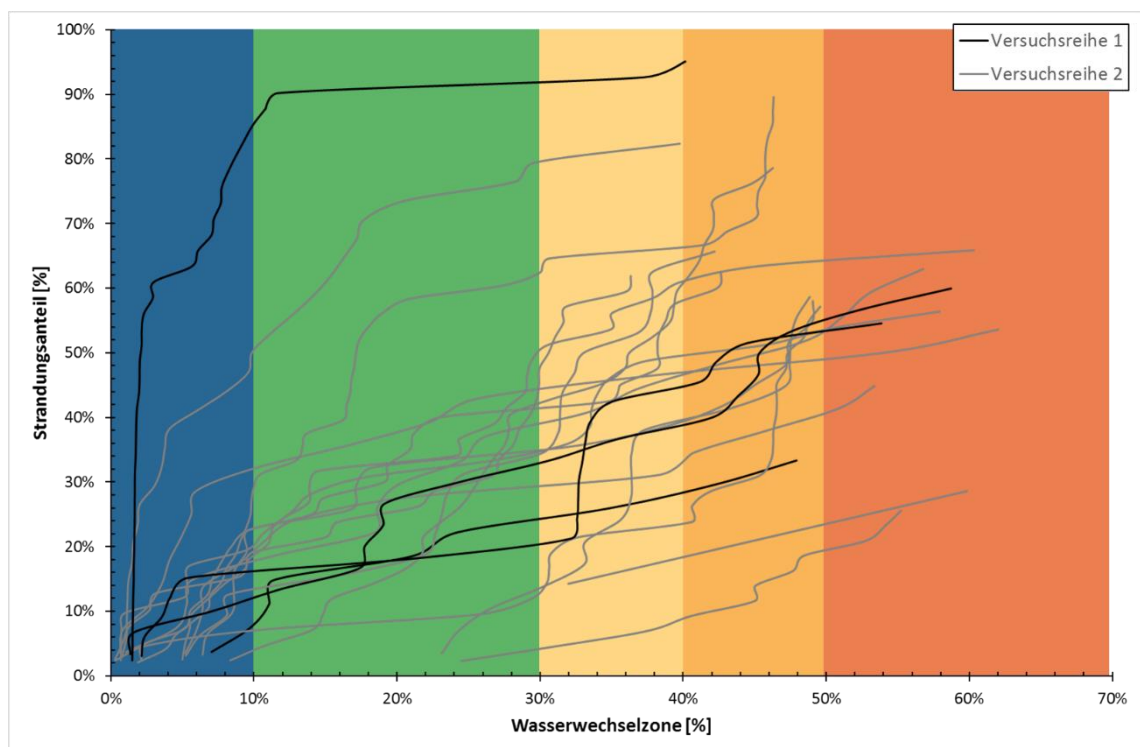


Abb. 47: Summenkurven für die 20 Versuche mit Einordnung in die Wertefunktion der VZH-M.

Die Summenkurven zeigen dasselbe Bild wie in Abbildung 46. Bei beiden Darstellungen ist methodisch bedingt eine Abnahme des Strandungsanteils in X-Richtung nicht möglich. Diese Tendenz (Zunahme des Strandungsanteils mit Zunahme der Wasserwechselzone) ist klar und deutlich zu erkennen.

5.3.4 Einfluss weiterer Parameter

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Untersuchungen hinsichtlich dem Einfluss von weiteren Parametern auf den Strandungsanteil gezeigt. Wie die einzelnen Parameter gemessen werden ist in Kapitel 3.1.2 detailliert beschrieben.

Fischalter (Tagesgrade):

Das Fischalter kann insofern einen Einfluss auf den Strandungsanteil haben, da sich ein Fisch im Laufe der Zeit entwickelt und dadurch beispielsweise schwimmstärker wird. Dadurch sollten ältere Fische tendenziell weniger stranden.

Der Einfluss des Fischalters auf den Strandungsanteil wird nur anhand der Versuchsreihe 2 beurteilt (in Versuchsreihe 1 wird das Fischalter nicht mit diesem Detaillierungsgrad bestimmt). In Abbildung 48 ist das Streudiagramm der 16 ausgewerteten Versuche dargestellt. Auf der X-Achse sind die Tagesgrade nach der Eiablage vom 15.11.2018 dargestellt. Die Strandungsrate wird auf der Y-Achse abgebildet.

Das Streudiagramm zeigt eine gewisse Tendenz, dass der Strandungsanteil mit zunehmendem Fischalter abnimmt. Auch bei der Darstellung mit Boxplots (vgl. Abb. 49) kann diese Tendenz erkannt werden (Medianwerte Gruppe 1 = 64%, Gruppe 2 = 58%). Allerdings ist bei beiden Gruppen eine hohe Streuung des Strandungsanteils erkennbar. Die Gruppierung erfolgt anhand des Medianwertes der Tagesgrade (vgl. Kap. 4.3).

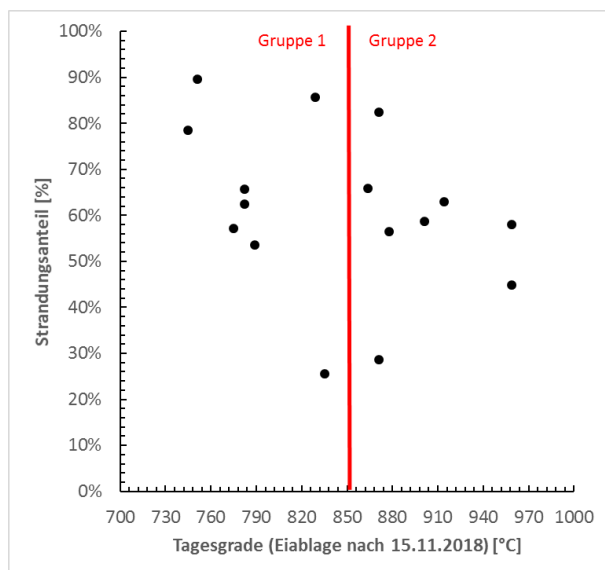


Abb. 48: Streudiagramm des Fischalters

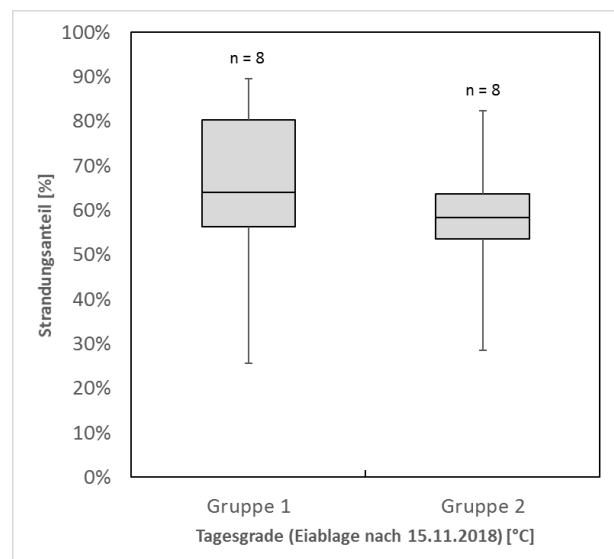


Abb. 49: Boxplots der Gruppe 1 und Gruppe 2 für das Fischalter. Gruppeneinteilung vgl. Abbildung 48.

Quergefälle

Das Quergefälle beeinflusst unter anderem die horizontale Rückzugsgeschwindigkeit der benetzten Fläche. Bei steilem Quergefälle nimmt die benetzte Fläche langsamer ab als bei flachem Quergefälle. Dadurch ist zu erwarten, dass bei steilem Quergefälle der Strandungsanteil tendenziell kleiner ausfallen sollte

In Abbildung 50 ist das Streudiagramm der 20 Versuche für den Einfluss des Quergefälles (X-Achse) auf den Strandungsanteil (Y-Achse) gezeigt. Das Quergefälle liegt zwischen 1.4% und 4.6%. Anhand des Streudiagramms kann kein klarer Zusammenhang zwischen Quergefälle und Strandungsanteil erkannt werden.

Auch die Boxplots (vgl. Abb. 51) der Gruppe 1 (flachere Versuche < 3.5%) und der Gruppe 2 (steilere Versuche > 3.5%) zeigen kein deutliches Bild (Gruppierung gemäss Kap. 4.3). Die Medianwerte unterscheiden sich lediglich um 1% (Gruppe 1 = 59%, Gruppe 2 = 60%) und die Streuung innerhalb der Gruppe ist ähnlich.

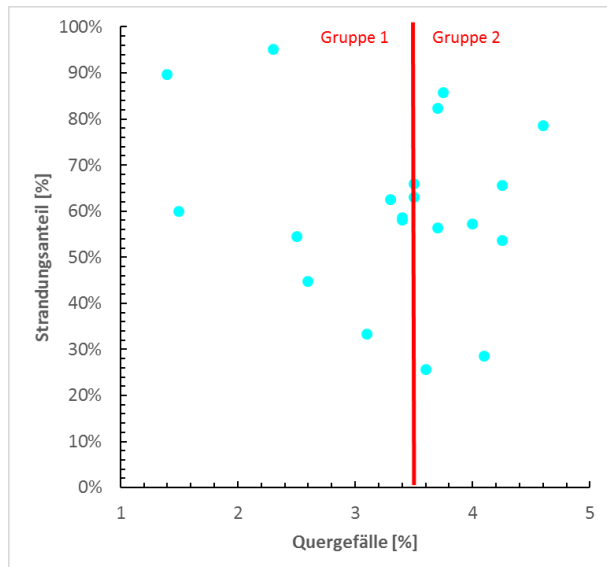


Abb. 50: Streudiagramm des Quergefälles

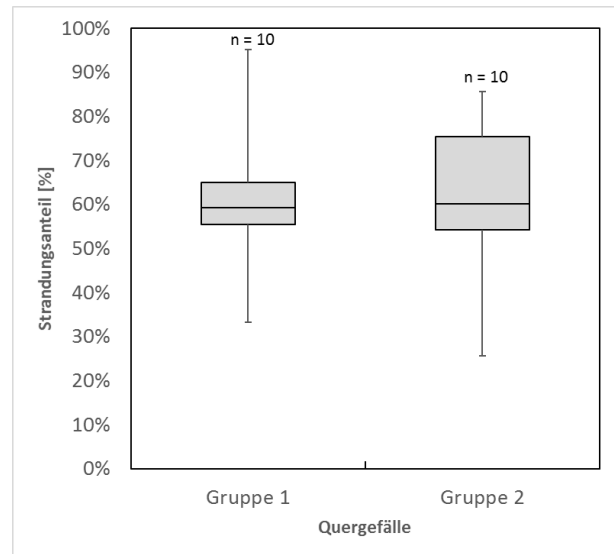


Abb. 51: Boxplots der Gruppe 1 und Gruppe 2 für das Quergefälle. Gruppeneinteilung vgl. Abbildung 50.

Korngrösse d_{90}

Die Korngrösse d_{90} kann unter anderem das Verhalten von Fischlarven beeinflussen, indem grosse Steine einen gewissen Strömungsschutz bieten und möglicherweise auch als Unterstand dienen. Andererseits kann grobes Substrat auch ein Fluchtverhalten auslösen, da dies nicht den Habitatansprüchen von Forellenlarven entspricht. Somit ist die fischökologische Wirkung von d_{90} auf den Strandungsanteil nicht eindeutig bestimmbar.

In Abbildung 52 ist das Streudiagramm der 20 Versuche für den Einfluss der Korngrösse d_{90} (X-Achse) auf den Strandungsanteil (Y-Achse) gezeigt. Die Korngrösse d_{90} liegt zwischen 76mm und 148mm. Tendenziell stranden bei grösserem Korndurchmesser d_{90} weniger Fische.

Die Boxplots (vgl. Abb. 53) der Gruppe 1 (kleines d_{90} < 100mm) und der Gruppe 2 (grosses d_{90} > 100 mm) zeigen eine ähnliche Tendenz (Gruppierung gemäss Kapitel 4.3). Der Boxplot der zweiten Gruppe ist gegenüber dem der Gruppe 1 nach unten in den Bereich von kleineren Strandungsanteilen versetzt.

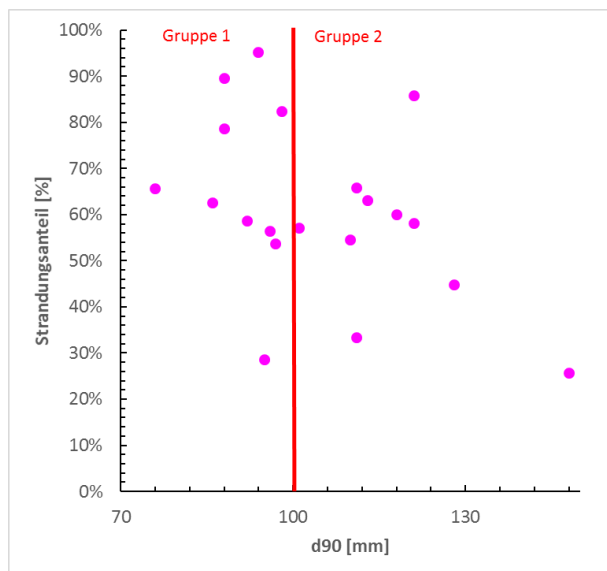


Abb. 52: Streudiagramm der Korngrösse d_{90}

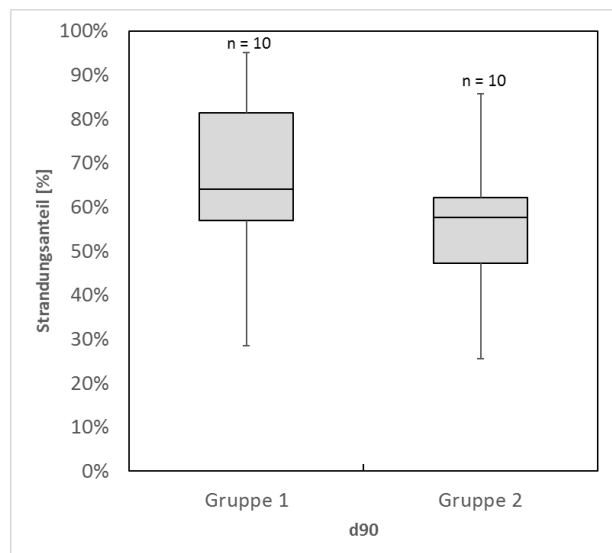


Abb. 53: Boxplots der Gruppe 1 und Gruppe 2. Gruppeneinteilung vgl. Abbildung 52.

Mittlere Korngrösse d_m

Die mittlere Korngrösse kann das Verhalten von Forellenlarven beeinflussen, da Forellenlarven gewisse Habitatansprüche haben. Grundsätzlich kann gemäss dem bei den Versuchen verwendeten Sohlenmaterial erwartet werden, je grösser das d_m ist, desto weniger gut ist das Habitat für Forellenlarven geeignet.

In Abbildung 54 ist das Streudiagramm der 20 Versuche für den Einfluss der Korngrösse d_m (X-Achse) auf den Strandungsanteil (Y-Achse) gezeigt. Die Korngrösse d_m liegt zwischen 29 mm und 47 mm. Im Streudiagramm ist eine ähnliche Tendenz wie bei d_{90} zu sehen. Mit grösserem d_m stranden tendenziell weniger Fische.

Die Boxplots (vgl. Abb. 55) der Gruppe 1 (kleines $d_m < 36$ mm) und der Gruppe 2 (grosses $d_m > 36$ mm) zeigen, dass der Boxplot der Gruppe mit grösserem d_m tendenziell nach unten versetzt zu dem Boxplot der ersten Gruppe liegt. Jedoch ist die Streuung in beiden Gruppen relativ gross.

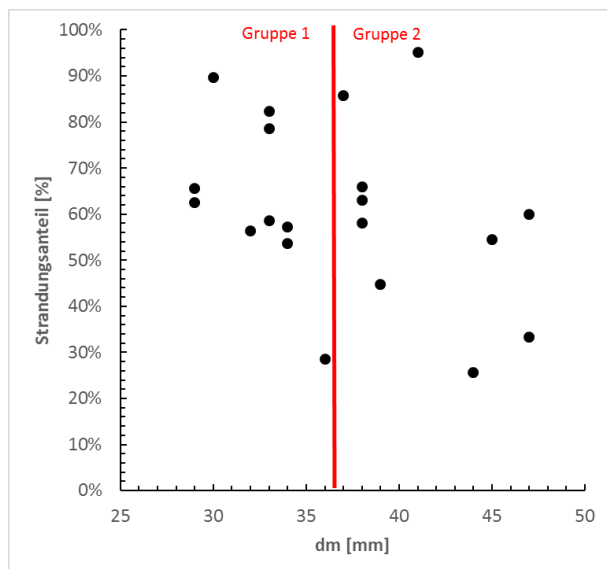


Abb. 54: Streudiagramm der Korngrösse d_m

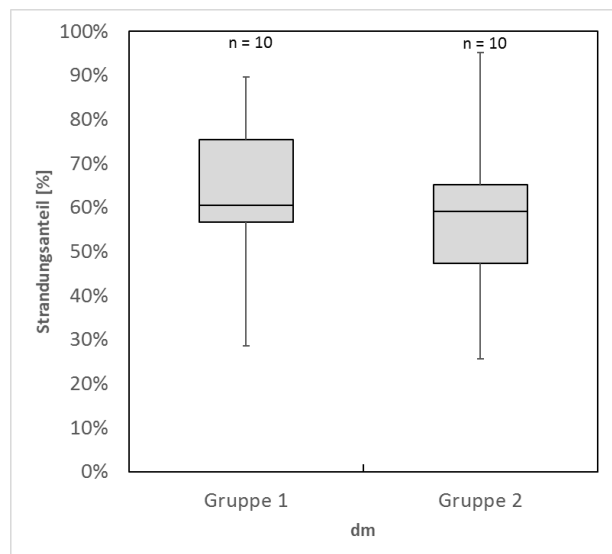


Abb. 55: Boxplots der Gruppe 1 und Gruppe 2. Gruppeneinteilung vgl. Abbildung 54.

Anteil Sandfläche

Die Sandfläche kann das Verhalten von Forellenlarven beeinflussen, da Forellenlarven gewisse Habitatansprüche haben.

In Abbildung 56 ist das Streudiagramm der 20 Versuche für den Einfluss des Sandanteils (X-Achse) auf den Strandungsanteil (Y-Achse) gezeigt. Der Anteil an Sandfläche liegt bei den durchgeführten Versuchsreihen zwischen 2% und 35%.

Die Boxplots (vgl. Abb. 57) zeigen auch keine deutliche Tendenz zu einem Zusammenhang. Die Medianwerte betragen für die erste Gruppe 59% und die zweite Gruppe 61%. Die Streuung innerhalb Gruppe 1 (Sandanteil <15%) ist deutlich geringer als in der Gruppe mit mehr Sandfläche (>15%).

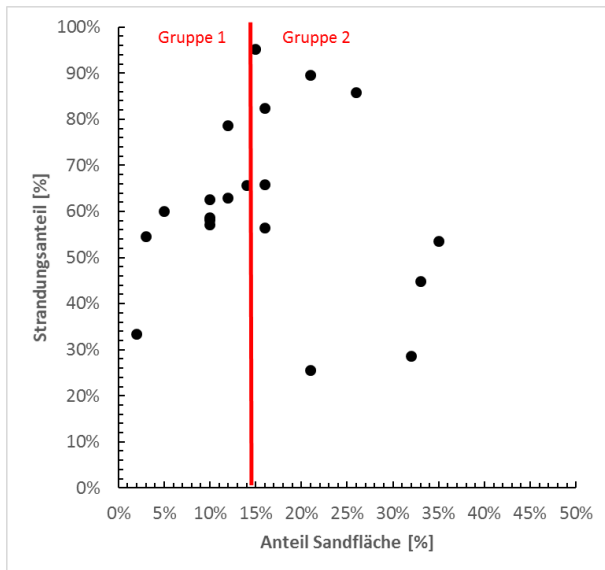


Abb. 56: Streudiagramm des Sandflächenanteils

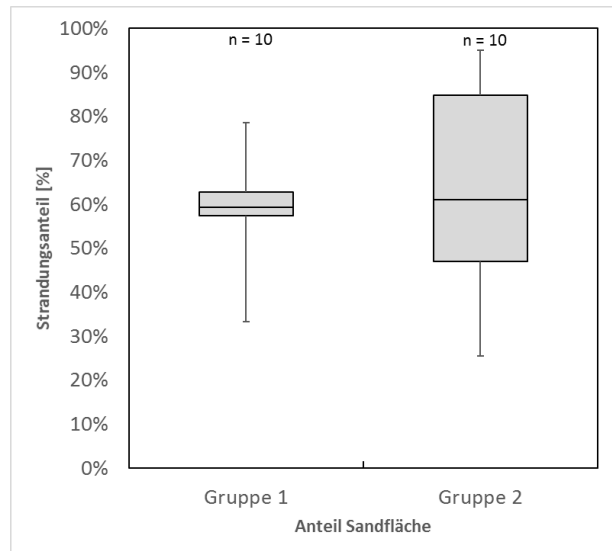


Abb. 57: Boxplots der Gruppe 1 und Gruppe 2. Gruppeneinteilung vgl. Abbildung 56.

Muldenanteil an Wasserwechselzone

Muldenstrukturen (Definition vgl. Kap. 3.1.2) auf Kiesbänken können wiederum das Verhalten von Fischlarven beeinflussen. Auch bei sinkendem Wasserspiegel bleibt in einer Mulde der Wasserstand in Relation zur restliche Fläche höher. Jedoch ist ab einem gewissen Zeitpunkt keine Flucht aus der Mulde mehr möglich. Dadurch ist zu erwarten, dass bei höherem Muldenanteil auch der Strandungsanteil grösser ist.

In Abbildung 58 ist das Streudiagramm der 20 Versuche für den Einfluss des Muldenanteils an der Wasserwechselzone (WWZ) (X-Achse) auf den Strandungsanteil (Y-Achse) gezeigt. 19 Versuche weisen Muldenanteile <6% auf. Ein einzelner Versuch weist 13% an Muldenanteilen auf. Wenn der Ausreisser mit 13% Muldenanteil ignoriert wird, ist die Tendenz ersichtlich, dass der Strandungsanteil höher wird, wenn mehr Mulden vorhanden sind.

Die Boxplots (vgl. Abb. 59) der Gruppe 1 (weniger Mulden <1.5%) und der Gruppe 2 (mehr Mulden >1.5%) zeigen die selbe Tendenz, wie das Streudiagramm. Die Medianwerte betragen für die Gruppe 1 = 57% und die Gruppe 2 = 64%. Die Boxplots sind vertikal verschoben, jedoch ist die Streuung des Strandungsanteils innerhalb der beiden Gruppen ähnlich.

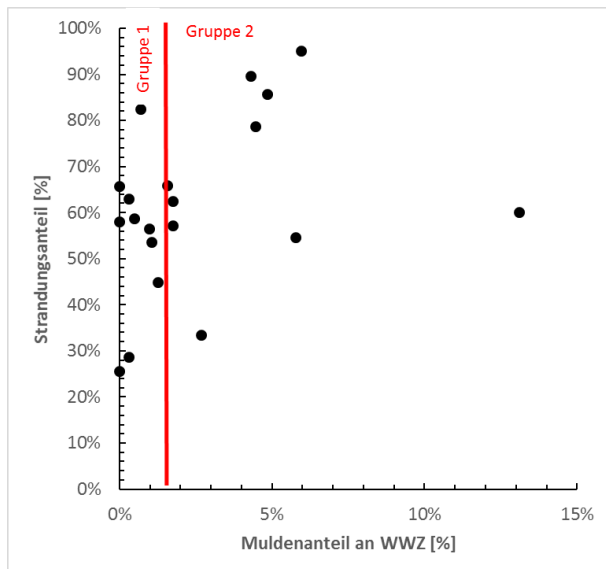


Abb. 58: Streudiagramm des Muldenanteils in der Wasserwechselszone

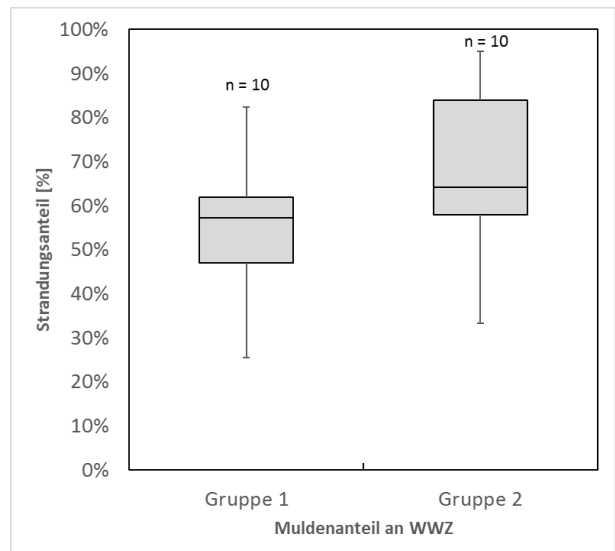


Abb. 59: Boxplots der Gruppe 1 und Gruppe 2. Gruppeneinteilung vgl. Abbildung 58.

Wassertemperatur

Die Wassertemperatur hat aus biologischer Sicht einen Einfluss auf die Fischlarven selbst. Fischlarven haben einen gewissen Optimalbereich und gewisse Toleranzbereiche an Temperaturen. Je nachdem in welchem Bereich sich die Temperatur befindet, kann das Verhalten anders sein.

In Abbildung 60 ist das Streudiagramm der 20 Versuche für den Einfluss der Wassertemperatur (X-Achse) auf den Strandungsanteil (Y-Achse) gezeigt. Die Wassertemperatur lag bei den Versuchen zwischen 6.5 °C und 12.5 °C.

Auch die Boxplots (vgl. Abb. 61) der Gruppe 1 (kältere Versuche <8 °C) und der Gruppe 2 (wärmere Versuche >8 °C) zeigen keinen eindeutigen Trend. Die Medianwerte unterscheiden sich zwar um 5% (Gruppe 1 = 58%, Gruppe 2 = 63%), jedoch ist bei den Boxplots kein vertikaler Versatz erkennbar und der Streubereich innerhalb der Gruppe ist ähnlich.

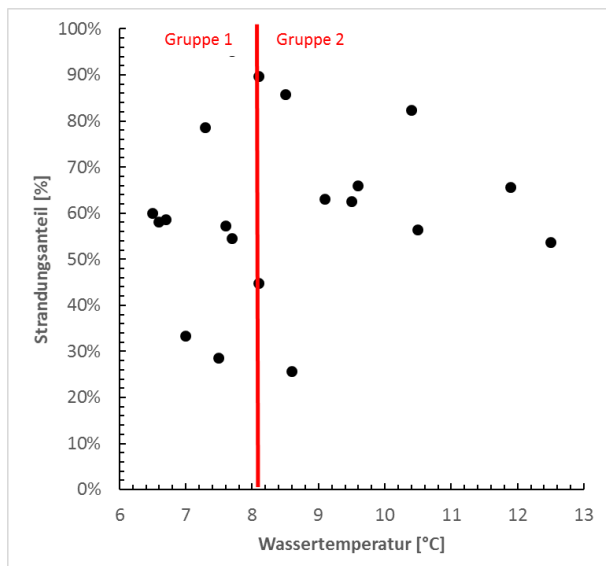


Abb. 60: Streudiagramm der Wassertemperatur

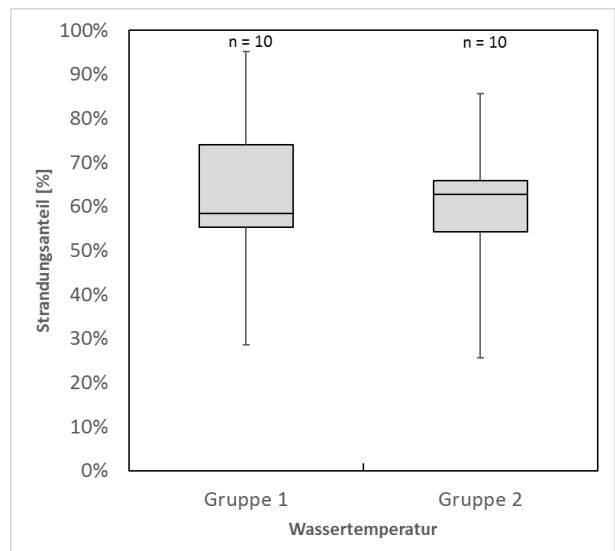


Abb. 61: Boxplots der Gruppe 1 und Gruppe 2. Gruppeneinteilung vgl. Abbildung 60.

Fliessgeschwindigkeit bei Schwall

Die Fliessgeschwindigkeit bei Schwall beeinflusst die Standortwahl einer Forellenlarve und somit den Startpunkt im Versuchskäfig bei einsetzendem Pegelrückgang. Forellenlarven haben einen gewissen Optimalbereich an Fliessgeschwindigkeiten, den sie als Habitat aufsuchen.

In Abbildung 62 ist das Streudiagramm der 9 Versuche mit bestehender PTV Auswertung (in Absprache mit der Begleitgruppe wurde nur eine ausgewählte Gruppe von Versuchen ausgewertet) für die Fliessgeschwindigkeiten abgebildet (für die übrigen Versuche wurde keine PTV Auswertung vorgenommen). Die mittlere Fliessgeschwindigkeit in der Wasserwechselzone bei Schwall liegt zwischen 0.3 m/s und 0.5 m/s.

Visuell kann eine klare Tendenz im Streudiagramm festgestellt werden. Je kleiner die mittlere Fliessgeschwindigkeit ist, desto höher ist der Strandrungsanteil. Dies könnte damit im Zusammenhang stehen, dass bei grossen Fliessgeschwindigkeiten die Fische sich weiträumiger im Käfig ausbreiten und sich somit bei Versuchsbeginn bereits eher viele Fische in oder sehr nahe an der Sunkzone befinden.

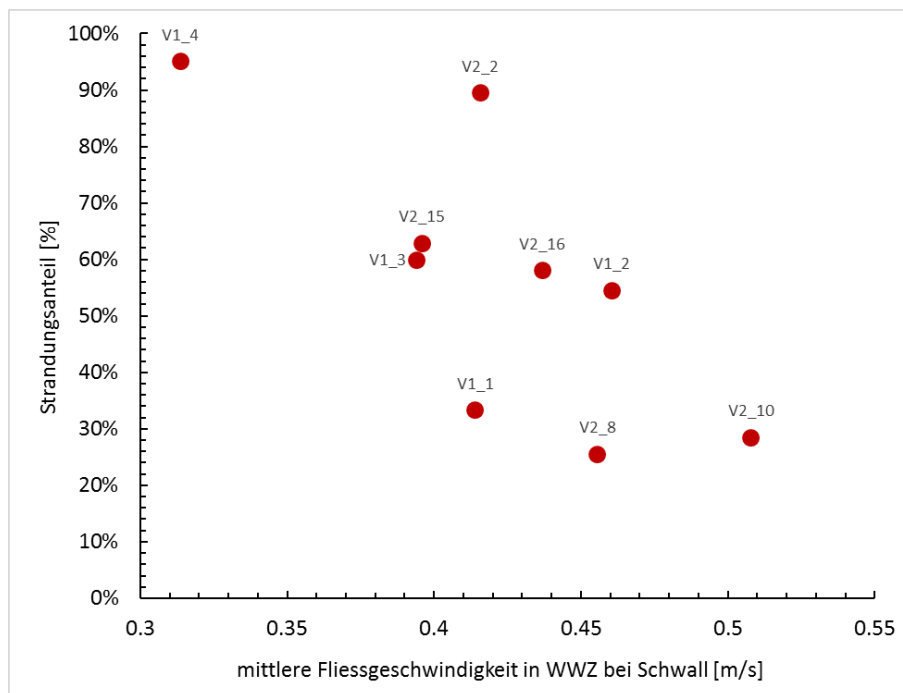


Abb. 62: Streudiagramm der Fliessgeschwindigkeit

5.3.5 Einfluss der Pegelrückgangsrate und der Wasserwechselzone

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Kapitel 5.3.1 bis 5.3.4 zusammengeführt.

In Abbildung 63 sind analog Kapitel 5.3.3 die Summenkurven der 20 durchgeführten Strandrungsversuche gezeigt. Die Summenkurven zeigen den Strandrungsanteil (X-Achse) in Relation zum Anteil der Wasserwechselzone innerhalb des Käfigs. Wie in Kapitel 5.3.3 bereits beschrieben, zeigt die Grafik gut, wie der Anteil an trockenfallender Fläche den Strandrungsanteil beeinflusst. Je grösser die Wasserwechselzone im Versuchskäfig ist, desto höher ist auch der Strandrungsanteil.

Zusätzlich sind in Abbildung 63 die Summenkurven gemäss der Bewertung der VZH-M der Pegelrückgangsrate eingefärbt. In Kapitel 5.3.2 wird aufgezeigt, dass der Einfluss der Pegelrückgangsrate auf den Strandrungsanteil anhand der Versuchsergebnisse nicht eindeutig ist. Die breite Streuung kann auch in Abbildung 63 erkannt werden. Die Bewertung der Pegelrückgangsrate zeigt anhand der Summenkurven kein deutliches Muster. Zu erwarten wäre theoretisch ein Fächer mit einem regenbogenartigen Farbverlauf: von flachen Summenkurven mit der Bewertung der Pegelrückgangsrate "sehr gut" (blau) hin zu steilen Summenkurven mit der Bewertung der Pegelrückgangsrate "schlecht" (rot).

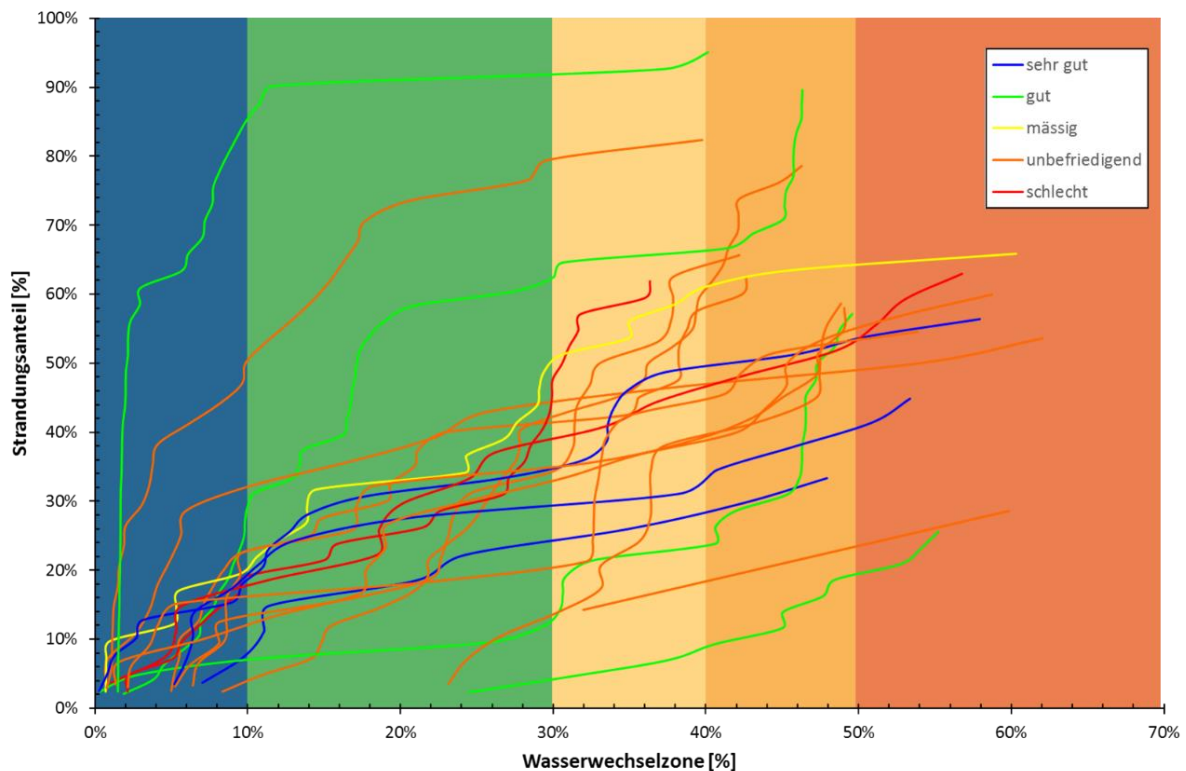


Abb. 63: Summenkurven für die 20 Versuche. Die Farben der Kurven entsprechen der jeweiligen Beurteilung der Pegelrückgangsraten gemäss Bewertung VZH-M des jeweiligen Versuches. Die Zonen auf der X-Achse (Wasserwechselzone) entsprechen ebenfalls der Wertefunktion der VZH-M.

Eine solche regenbogenartige Farbabstufung ist bei den Summenkurven jedoch nicht im Ansatz zu erkennen. Im Gegenteil, es zeigt sich ein unstrukturiertes Durcheinander der verschiedenen Farbtöne / Pegelrückgangsraten. So gibt es für die Bewertungskategorie der Pegelrückgangsraten "gut" sowohl sehr flache als auch sehr steile Summenkurven.

5.4 Beobachtetes Verhalten von Fischlarven

Während den Versuchen verhielten sich die Fische unterschiedlich, wobei gewisse Verhaltensmuster immer wieder beobachtet werden konnten.

In den Versuchen zeigte sich, dass Forellenlarven während des Pegelrückgangs ihren Standort spätestens verlassen (resp. versuchen zu verlassen), wenn die Wassertiefe auf die Einfache-Körperhöhe des Individuums gesunken ist. Spätestens ab diesem Zeitpunkt versucht die Forellenlarve vom aktuellen Standort aktiv abzuwandern.

Befindet sich der Fisch zu diesem Zeitpunkt in einer Muldenstruktur oder Unterstand, der von anderen besetzten Bereichen abgeschnitten ist (kein Wanderkorridor vorhanden), ist das Individuum nicht mehr in der Lage den Standort zu wechseln und wird standen. Meist versucht sich dann die Forellenlarve mit dem versickernden Wasser ins Grobsubstrat zurückzuziehen (wenn am Standort vorhanden). Auf Sandflächen bleiben die Forellenlarven in der Regel an der Oberfläche liegen.

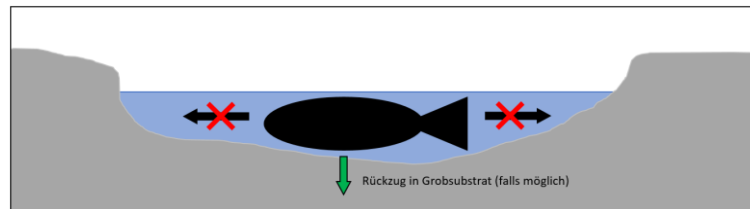


Abb. 64: Verhalten von Forellenlarven sofern Standortwechsel nicht mehr möglich ist.

Ist ein Habitatwechsel möglich, da die umgebenden Bereiche noch benetzt und Wanderkorridore vorhanden sind und/oder sich gerade entwässern, so konnten verschiedene Verhaltensmuster beobachtet werden:

- Aktive Drift mit der Strömung
- Passive Drift mit der Strömung
- Aktives Schwimmen gegen die Strömung in die sich entwässernden Bereiche

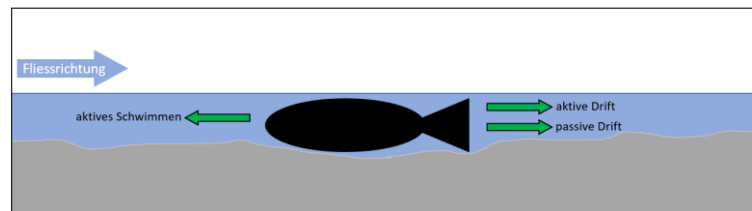


Abb. 65: Verhalten von Forellenlarven sofern ein Standortwechsel noch möglich ist.

Vor allem, dass letzte Verhaltensmuster stellt ein hohes Risiko für das Stranden dar.

6 Diskussion

Nachfolgend werden sowohl das entwickelte Versuchsdesign (vgl. Kap. 6.1) als auch die Resultate der durchgeführten Strandungsversuche in der Hasliaare diskutiert. Die Resultate werden einerseits mit den Ergebnissen von anderen Strandungsversuchen (Auer et al. 2014) verglichen (vgl. Kap. 6.2) und andererseits werden die gewonnen Erkenntnisse aus den Untersuchungen anhand einer Synthese zusammengeführt (vgl. Kap. 6.3).

6.1 Entwicklung des Versuchsdesigns

Mit dem entwickelten Versuchsdesign (vgl. Kap. 3) konnten im Rahmen von zwei Versuchsreihen 20 Versuche zum Stranden von Fischlarven durchgeführt werden. Die zwischen Versuchsreihe 1 und 2 vorgenommenen Optimierungen am Versuchsdesign haben das ursprüngliche Konzept nochmals verbessert. Die Optimierungen haben auf die Auswertungsmöglichkeiten der Strandungsanteile keinen wesentlichen Einfluss.

Der entwickelte Versuchskäfig hat gezeigt, dass das gewählte Material (Lochblech) und der modulare Aufbau einen mobilen Einbau an verschiedenen Standorten im Gerinne ermöglicht. Jedoch muss beachtet werden, dass der Einbau sehr zeitintensiv ist, da der Käfig relativ tief in die Sohle eingebaut werden muss (mindestens 20 cm), um die hydraulischen Kräfte auszuhalten und damit Fische nicht aus dem Käfig entweichen können. Da der Einbau von Hand vorgenommen wurde, konnten nicht mehr als zwei Versuche pro Tag realisiert werden. Der Einsatz eines kleinen Baggers könnte bei einer weiteren Versuchsreihe den Zeitaufwand wahrscheinlich deutlich reduzieren. Ausserdem muss beim Versuchskäfig beachtet werden, dass die Abdichtung des Käfigs mit Sand teilweise einen überhöhten Sandanteil im Käfig (besonders am Rand) verursacht hat und das teilweise gewisse Modellierungen der Versuchsfläche vorgenommen wurden, um das Gefälle und die Morphologie im Käfig zu gestalten. Dadurch lag das Material zu Beginn des Versuches teilweise locker auf der Sohle. Während der Akklimatisationszeit von 60 min, konnte sich der Sand allerdings noch verteilen und infiltrierte teilweise in die Sohle. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die gewählte Untersuchungsstrecke in der Restwasserstrecke eine vergleichbare Morphologie aufweist, wie eine Kiesbank in einer Schwall-Sunk Strecke (Standort wurde in Absprache mit der Begleitgruppe definiert).

Die Grösse der Untersuchungsfläche mit 24 m² stellte sich als ein Kompromiss zwischen einer genügend hohen Anzahl Fische zur statistischen Auswertung und einem möglichst natürlichen Verhalten der Fische (Fischdichte) (vgl. Kap. 3.2.6) heraus. Die gewählte Anzahl Fische von 50 ist aufgrund der Resultate und der Beobachtung des Fischverhaltens für diese Fläche eine geeignete Anzahl von Fischen (Interaktionen von Fischlarven lagen sehr wahrscheinlich im natürlichen Bereich).

Das Messsystem für die abiotischen Parameter lieferte zuverlässige Messwerte. Vor allem das georektifizierte und -referenzierte Bild der Versuchsfläche war im Rahmen der Versuchsauswertung eine zentrale Grundlage. Dieses Bild und das erstellte Höhenmodell ermöglichen eine Vielzahl von Auswertungen und Vermessungen.

Die Bestimmung des Driftanteils konnte mit der Optimierung durch Driftreusen nach der ersten Versuchsreihe nochmals verbessert werden. Durch die Reusen ist eine zuverlässige Trennung der Fischanteile möglich. Jedoch bedingen die Reusen auch einen Mehraufwand hinsichtlich der Unterhaltung der Versuchsanlage. Das Leeren der Reusen erfordert einen sicheren Umgang mit den Fischen. Ausserdem muss die Dichtigkeit der Reuse mehrfach geprüft werden, damit keine Fische während der Versuchsdurchführung verloren gehen.

Die Steuerung der Pegelrückgangsrates auf der gesamten Versuchsfläche stellt eine zentrale Voraussetzung für die Versuche dar. Bei der ersten Versuchsreihe wurde die Pegelrückgangsrates direkt mit den Kraftwerken und dem Beruhigungsbecken in Innertkirchen gesteuert. Dies bedingt zum einen eine gute Vorabklärung des Standorts und der erforderlichen Abflüsse ab dem Kraftwerk und zum anderen einen Kraftwerksbetreiber der seine Kraftwerke entsprechend der gewünschten Pegelrückgangsrates steuern kann. Zusätzlich muss die

Veränderung der Sunkrate im Längsverlauf berücksichtigt werden (Dämpfungseffekte). Bei der zweiten Versuchsreihe konnte die Pegelrückgangsrates dank einem kleinen Rückhaltesystem mit Regulierorgan von Hand von einem Arbeiter gesteuert werden. Dieses Rückhaltesystem bedingt jedoch, einen idealen Standort mit entsprechenden Neigungsverhältnissen. Ausserdem muss beachtet werden, dass der Aufbau des Reguliersystems zusätzlichen Aufwand bedeutet und die Regulierung der Pegelrückgangsrates vor den Versuchen getestet, resp. geübt werden müssen. Grundsätzlich konnte die Steuerung der Pegelrückgangsrates sowohl in der Restwasserstrecke wie auch in der Schwall-Sunk Strecke erfolgreich durchgeführt werden. Die Versuche in der Restwasserstrecke ermöglichten allerdings aufgrund der Unabhängigkeit vom Kraftwerksbetrieb eine grössere zeitliche Flexibilität hinsichtlich dem Versuchsablauf (z.B. kann die Versuchsfläche unmittelbar nach dem kompletten Einbau des Käfigs geflutet werden) und der Kraftwerksproduktion.

Der aufwändige Suchprozess mit der gewählten Suchstrategie und der Anzahl Suchenden im Versuchskäfig hat sich bewährt. Dies zeigen auch die hohen Wiederfindungsanteile von durchschnittlich 92%. Es muss jedoch beachtet werden, dass das Suchen von Forellenlarven auf natürlichem Substrat schwierig ist und einer gewissen Übung bedarf. Ausserdem muss beim "bergen" der gestrandeten Larven mit dem Kaffeesieb, der Feder oder der Plastikkarte äusserste Vorsicht geboten werden, um die Tiere nicht zu verletzen.

Schliesslich kann festgehalten werden, dass das Versuchsdesign grundsätzlich sehr gut funktioniert. Jedoch muss das Team bei der Durchführung sehr gut zusammenarbeiten, um einen reibungslosen Versuchsablauf zu gewährleisten. Auch mit einem eingespielten Team bleiben Strandrungsversuche in freien Fliessgewässern mit der entwickelten Methode eine zeitaufwändige Untersuchung, ermöglichen aber ungemein wichtige Erkenntnisse zum Fischverhalten und zum Verständnis des Strandrungsprozesses.

6.2 Vergleich mit den Strandrungsversuchen von Auer et al. (2014)

Die Strandrungsversuche der Versuchsreihe 1 und 2 in der Hasliaare sind gemäss Auftrag mit den Versuchen von Auer et al. (2014) in Lunz hinsichtlich der Erkenntnisse zum Einfluss der Pegelrückgangsrates auf den Strandrungsanteil zu vergleichen.

Wie einleitend beschrieben, hat die BOKU Wien in Versuchsrinnen in Lunz Strandrungsversuche mit Bachforellenlarven aus einer Brutanstalt durchgeführt. Dies stellt einen wesentlichen Unterschied zu den Versuchen in der Hasliaare dar. Zudem wurden in Lunz insgesamt kleinere Fische verwendet, teilweise auch noch mit vorhandenem Dottersack.

Dabei wurden insgesamt 13 Versuche in einer Versuchsrinne mit vorhandener Muldenstruktur durchgeführt (Versuchsreihe VAo 1_3 in Auer et al. 2014). Bei den Versuchen wurden die Pegelrückgangsrates 0.2 cm/min (n=5), 0.5 cm/min (n=5) und 2.9 cm/min (n=3) untersucht.

Die Versuchsreihe VAo 1_3 von Auer et al. (2014) wird für den Vergleich mit den Versuchsreihen 1 und 2 in der Hasliaare verwendet, da auch bei den Versuchen in der Hasliaare Muldenstrukturen vorhanden waren und so ein Vergleich morphologisch zulässig ist. Auch die übrigen Rahmenbedingungen (vgl. Tab. 7) sind bei den beiden Versuchsdesigns ähnlich, wodurch die Zulässigkeit des Vergleichs bestätigt wird. Lediglich das Substrat (repräsentiert mit der Korngrösse d_{90}) ist bei den Versuchsreihen in der Hasliaare deutlich grösser.

Tab. 7: Vergleich der Rahmenbedingungen der Versuche von Auer et al. (2014) und der Versuche in der Hasliaare

Parameter	Auer et al. (2014)	Versuchsreihe 1 und 2*
Untersuchungsfläche	3.5 m x 20 m	4 m x 6 m
Mulden	ja	ja
Anzahl Fische	100	50
Fischdichte	1.4 Fische/m ²	2.1 Fische/m ²
Korngrösse d90	30 mm	105 mm
Wassertemperatur	7°C	8.5 °C
Kiesbankneigung	5%	3.3%
Längsgefälle	0.5%	1.8%

*Mittelwerte der 20 Versuche

Im Unterschied zu den Strandungsversuchen in der Hasliaare mit Wasserwechselzonen von über 50% (vgl. Kap. 5), wurde in Lunz nur eine Wasserwechselzone mit einer lateralen Ausdehnung von 1.56 m untersucht. Deshalb wird für den Vergleich die Wasserwechselzone der Strandungsversuche aus der Hasliaare analog der Versuche von Lunz mit 1.56 m festgelegt. Diese Zone wird als "Lunzerlinie" bezeichnet (vgl. Kap. 3.1). In Abbildung 66 sind sowohl die Wasserwechselzone der Versuche in der Hasliaare (Wasserwechselzone KWO, pink) als auch die Wasserwechselzone nach Auer et al. (2014) (Wasserwechselzone Lunz, violett) gezeigt.

Aufgrund des gewählten Versuchsdesigns in der Hasliaare können auch für diese Wasserwechselzone die Auswertungen vorgenommen werden. Wird die Wasserwechselzone für die Versuche aus der Hasliaare gemäss der Lunzerlinie festgelegt, ergeben sich für die beiden Versuchsreihen in der Hasliaare Anteile an trockenfallender Fläche von 20% bis 30%.

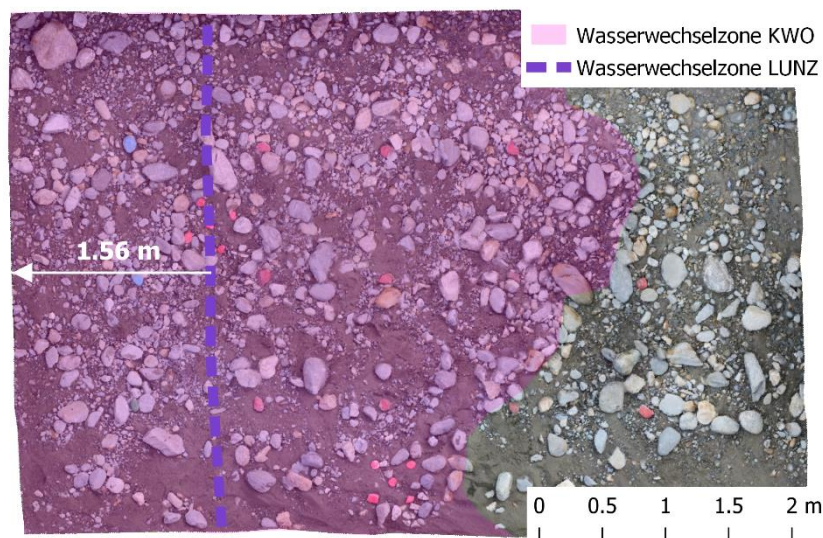


Abb. 66: Wasserwechselzone gemäss KWO und Lunz.

In Abbildung 67 sind die resultierenden Strandungsanteile von Auer et al. (2014) für die unterschiedlichen Pegelrückgangsraten gezeigt. Die Boxplots zeigen einen deutlichen Zusammenhang des Strandungsanteils mit der Pegelrückgangsraten. Je höher die Pegelrückgangsraten ist, desto höher ist auch der Strandungsanteil. Bei einer Pegelrückgangsraten von 0.2 cm/min liegt der Median des Strandungsanteils bei 20% und bei einer Pegelrückgangsraten von 0.5 cm/min bei 38%. Bei einer Pegelrückgangsraten von 2.9 cm/min liegt der Medianwert sogar über 50%.

In Abbildung 68 sind die resultierenden Strandungsanteile bei Verwendung der Wasserwechselzone nach Lunzerlinie der Versuchsreihe 1 und 2 aus der Hasliaare als Boxplots dargestellt. Für die Boxplots werden die durchgeführten Versuche gruppiert. Die Gruppierung erfolgt anhand der gemessenen Pegelrückgangsraten. Bei der Gruppe mit der mittleren Pegelrückgangsraten von 0.2 cm/min sind alle Versuche mit Werten

<0.3 cm/min enthalten. Dies sind insgesamt 7 Versuche. Bei der Gruppe mit der mittleren Pegelrückgangsrate von 0.4 cm/min sind alle Versuche mit Pegelrückgangsarten von 0.4 cm/min bis 0.5 cm/min enthalten. Dies sind insgesamt 10 Versuche. Die zwei Versuche mit einer mittleren Pegelrückgangsrate von 0.8 cm/min werden nicht als Boxplot abgebildet. Die Medianwerte der beiden Boxplots unterscheidet sich lediglich um 1% (PRR 0.2 cm/min = 28%, PRR 0.4 cm/min = 29%). Zudem ist die Streuung des Strandungsanteils innerhalb der beiden Gruppen gross (rund 80%).

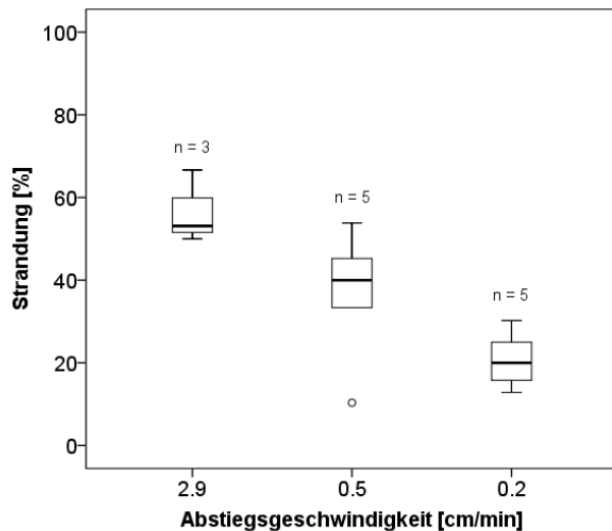


Abb. 67: Boxplots der Strandungsanteile bei verschiedenen Pegelrückgangsraten aus Auer et al. (2014).

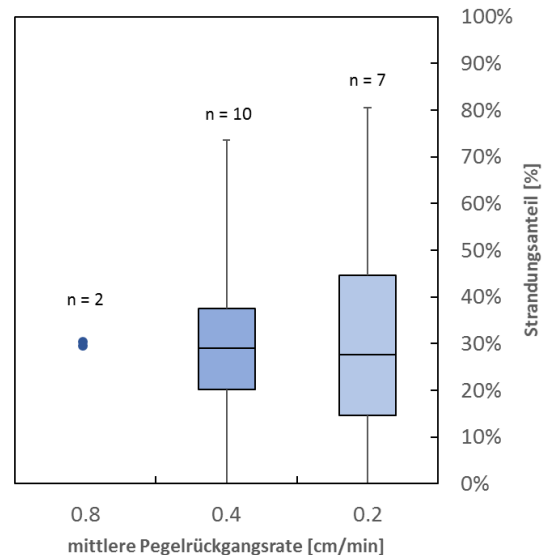


Abb. 68: Boxplots der Strandungsanteile bei verschiedenen Pegelrückgangsraten der Versuchsreihen 1 und 2 in der Hasliaare. Der Strandungsanteil wurde mit der Wasserwechselzone nach Lunzerlinie festgelegt.

Der Vergleich der Medianwerte von Auer et al. (2014) mit den Versuchsreihen 1 und 2 in der Hasliaare zeigt, dass der Strandungsanteil bei Pegelrückgangsraten von <0.5 cm/min in einer ähnlichen Grössenordnung liegt. Jedoch kann der von Auer et al. (2014) beobachtete Zusammenhang der deutlichen Zunahme des Strandungsanteils mit zunehmender Pegelrückgangsrate von den Versuchen in der Hasliaare nicht bestätigt werden.

Die Versuchsergebnisse aus der Hasliaare zeigen, dass bei Wildfischen in natürlichen Gewässern die Pegelrückgangsrate in den untersuchten Bereichen von 0.2 cm/min bis 0.9 cm/min nicht alleine massgebend für das Stranden von Bachforellenlarven sind. Offensichtlich überlagern in diesen Bereichen der Pegelrückgangsrate andere Faktoren das Strandungsrisiko.

6.3 Strandungsversuche in der Hasliaare – Gesamtinterpretation

Die Resultate in Kapitel 5.3.2 zeigen, dass im Rahmen der insgesamt 20 durchgeführten Versuche kein eindeutiger Zusammenhang zwischen den untersuchten Pegelrückgangsraten (0.18 cm/min bis 0.92 cm/min) und dem Strandungsanteil gefunden werden kann. Bei den verhältnismässig "hohen" Pegelrückgangsraten von >0.4 cm/min ist die Streuung der Strandungsanteile etwas kleiner als bei den Versuchen mit Pegelrückgangsraten von <0.4 cm/min. Allerdings treten bei "tiefen" und "hohen" Pegelrückgangsraten Strandungsanteilen von bis 90% auf.

Im Rahmen der Auswertungen hinsichtlich der Wasserwechselzone (vgl. Kap. 5.3.3), kann gezeigt werden, dass der Strandungsanteil mit zunehmender Wasserwechselzone grösser wird. Dieser Zusammenhang ist in der Abbildung 46 dargestellt. Dieser Zusammenhang ist deshalb eindeutig, weil das Trockenfallen von Flä-

chen die Grundvoraussetzung für das Stranden von Fischen ist. Die unterschiedlichen Verläufe der Summenkurven lassen vermuten, dass auf dem "Weg" des Wasserrückganges noch andere Einflussgrößen wie zum Beispiel das Vorhandensein von Mulden oder geeignetem Substrat einen Einfluss haben. Allerdings werden diese Einflüsse von dem Zusammenhang trockenfallende Fläche zu Stranden überlagert.

Aufgrund der unterschiedlichen Messsysteme (vgl. Kap. 3.1.2) und des Versuchsaufbaus können neben den Parametern "Wasserwechselzone" und "Pegelrückgangsrate" zahlreiche weitere Parameter auf ihren Einfluss auf den Strandungsanteil untersucht werden. Der Einfluss respektive Zusammenhang zwischen diesen Parametern und der Strandungsrate ist in Tabelle 8 zusammengefasst, während die detaillierten Ergebnissen dem Kapitel 5.3.4 zu entnehmen sind.

Tab. 8: Zusammenfassung der untersuchten Einflüsse von verschiedenen Parametern auf den Strandungsanteil

<i>Parameter</i>	<i>Einfluss</i>
Fischalter	Ältere Fische scheinen weniger zu stranden als jüngere Fische (allerdings ist dies mit der Versuchsanordnung nicht klar herleitbar).
Quergefälle	Kein Einfluss erkennbar.
Korndurchmesser d_{90}	Bei grösserem Korndurchmesser d_{90} scheinen weniger Fische zu stranden
Korndurchmesser d_m	Kein Einfluss erkennbar.
Muldenanteil	Bei grösserem Flächenanteil von Mulden in der Wasserwechselzone scheinen mehr Fische zu stranden.
Anteil an Sandflächen	Kein Einfluss erkennbar.
Wassertemperatur	Kein Einfluss erkennbar.
Fliessgeschwindigkeit	Bei kleinerer Fliessgeschwindigkeit in der Wasserwechselzone scheinen mehr Fische zu stranden

Wie in Tabelle 8 zusammengefasst, kann auch zwischen den weiteren untersuchten Parametern und dem Strandungsanteil kein eindeutiger Zusammenhang gefunden werden. Bei ausreichender Versuchszahl könnte die Strandungsproblematik mit multivariaten Verfahren und den erhobenen Parametern untersucht werden. Mit der aktuellen Versuchszahl ist eine solche Auswertung statistisch nicht möglich.

Die Autoren vermuten allerdings, dass auch bei einer grösseren Anzahl von Versuchen keine eindeutigen Zusammenhänge (auch nicht multivariat) hergeleitet werden können. Grund dafür sind die vielen Einflussfaktoren respektive Parameter, welche den Fisch hinsichtlich dem Strandungsprozess beeinflussen, und gleichzeitig ist der Einfluss dieser Faktoren wiederum abhängig vom Fischverhalten, welches wiederum vom individuellen Entwicklungsstand und u.U. vom Erfahrungsschatz des Einzelfisches abhängig ist. Diese Abhängigkeiten führen zu einer Dynamisierung und Interkorrelation der Beziehung der einzelnen Einflussgrößen. Die Autoren klassifizieren das Strandungsverhalten von Fischen gemäss Cynefin-Framework (Snowden & Boone 2007) als ein kompliziertes bis komplexes Systemes / Prozess. In der Abbildung 69 werden die unterschiedlichen Systemtypen nach dem Cynefin-Framework aufgezeigt.



Abb. 69: Systemtypen nach dem Cynefin-Framework (nach Friedrichsen (2011))

Für die Analyse von komplexen oder komplizierten Systemen / Prozessabläufen, bieten sich Methoden der Systemanalyse an. Dabei wird das untersuchte System respektive Prozess in einem ersten Schritt als Black-Box betrachtet. Im Verlauf der Analyse werden entscheidende Elemente für die Erklärung des Systems Schritt für Schritt hinzugefügt. Bei einer Systemanalyse ist die Festlegung von Systemgrenzen und eine Abgrenzung zentral. Das Resultat einer Systemanalyse kann ein Flussdiagramm oder ein Pfeildiagramm sein.

In der Abbildung 70 wird der Strandungsprozess abstrahiert in einem solchen Flussdiagramm dargestellt. Dabei bildet der Fisch der eine Pegelrückgangsphase erlebt, das abgebildete System. In diesem System kann der Fisch entweder stranden (rot) oder nicht Stranden (grün). Für die Erstellung der einzelnen Elemente waren die beschriebenen Resultate in Kapitel 5.4 entscheidend. Bei der Betrachtung des Diagrammes wird deutlich, dass ein Fisch, welcher sich zu Beginn des Pegelrückganges am Rand der Wasserwechselzone aufhält und aufgrund der geringen Wassertiefe einen neuen Standort sucht, unter Umständen im Verlauf des Pegelrückganges mehrfach einem Strandungsrisiko ausgesetzt, weil der neue Standort trockenfällt (vgl. "Knoten neuer Standort benetzt auch bei Q_{sunk} ?" mit Pfeil gegen oben). Je länger die Wasserwechselzone, je grösser ist das Risiko in ein Habitat ohne Wanderkorridor zu gelangen oder aus Versehen gegen die laterale Strömung zu schwimmen und zu stranden. Dieser Prozess wiederholt sich iterativ im Verlaufe der Zeit und mit grösser werdenden Wasserwechselzone.

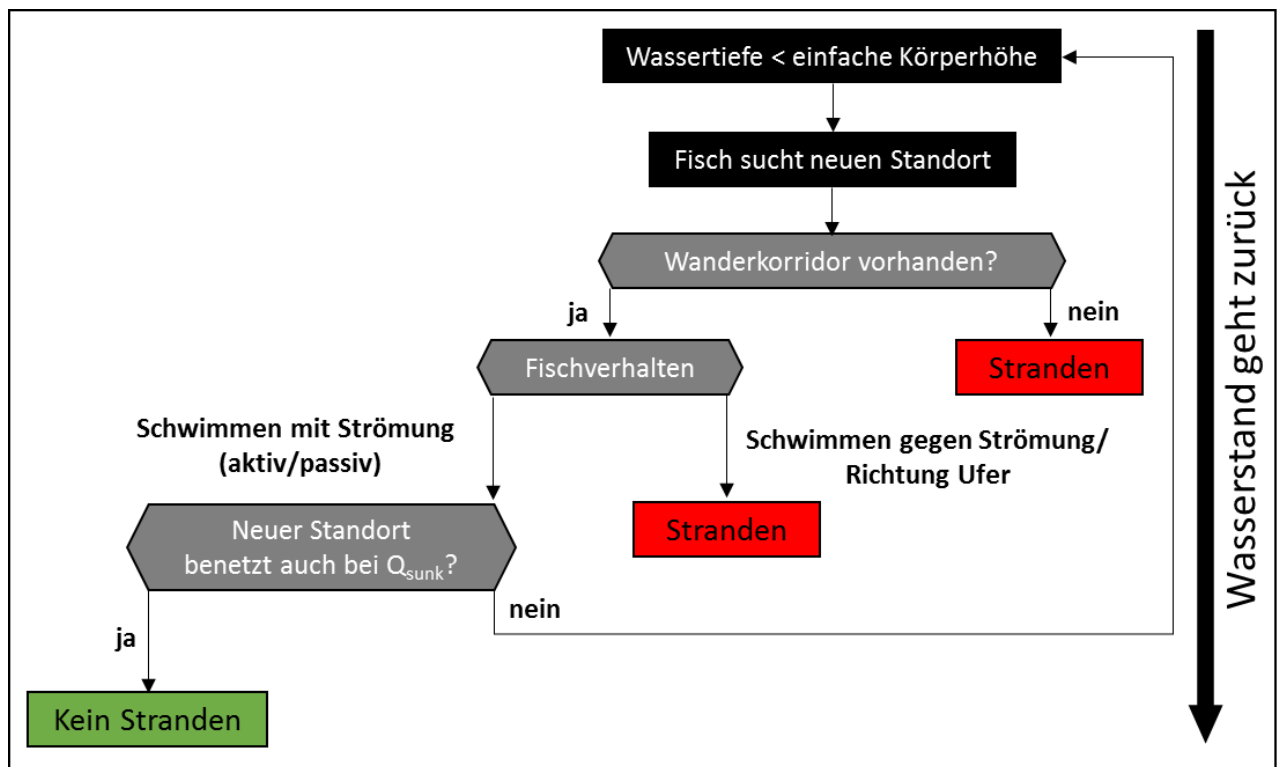


Abb. 70: Flussdiagramm Strandungsprozesses während eines Pegelrückganges

Im Anhang 9.2 wird in Abbildung 72 ein zweites Flussdiagramm gezeigt, welches den Strandungsprozess inklusive dem Fischverhalten während eines gesamten Schwall-Sunk Durchlaufs beschreibt und versucht, sämtliche Resultate der gezeigten Untersuchungen miteinzubeziehen.

7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Nachfolgend werden basierend auf den Untersuchungsergebnissen die wichtigsten Schlussfolgerungen hinsichtlich dem Stranden von Fischlarven formuliert. Zusätzlich werden Empfehlungen zur Anpassung der Vollzugshilfe "Schwall-Sunk – Massnahmen" und für weiterführende gewässerökologische Untersuchungen abgegeben.

7.1 Betrachtete Einflussfaktoren auf das Stranden von Fischen

Die Ergebnisse der durchgeführten Strandungsversuche zeigen für den Anteil der Wasserwechselzone einen eindeutigen Trend hinsichtlich des Strandungsanteils von Bachforellenlarven. Je grösser die Wasserwechselzone wird, desto mehr Bachforellenlarven stranden. Dieser Verhalt kann mit den Summenkurven in Kapitel 5.3.3 eindeutig gezeigt werden. Allerdings muss dabei darauf hingewiesen werden, dass Aussagen lediglich für trockenfallenden Fläche von maximal 4.5 m gemacht werden können (vgl. Kap. 5.3.3). Welche Strandungsanteile und Verhalten bei grossen Wasserwechselzonen (>20m) zu erwarten sind, kann mit der durchgeführten Versuchsreihe nicht abgeschätzt werden.

Für die Pegelrückgangsrate kann für den untersuchten Bereich von 0.2 cm/min bis 0.9 cm/min anhand der durchgeführten Strandungsversuche kein solcher Trend erkannt werden (vgl. Kap. 5.3.2 und 6.2). Unklar bleibt, ob der Einfluss der Pegelrückgangsrate in anderen Bereichen (z.B. <0.2cm/min oder >0.9 cm/min) ein entscheidender Parameter für die Strandungsproblematik darstellt.

Die Kombination der Einflussfaktoren Wasserwechselzone und der Pegelrückgangsrate (vgl. Kap. 5.3.5), wie diese in der Vollzugshilfe "Schwall-Sunk – Massnahmen" verwendet wird, zeigt keine klare Tendenz hinsichtlich des Strandens. Das bedeutet, dass das Problem des Strandens von Fischen mit diesen beiden Parametern nicht umfassend beschrieben werden kann.

Des Weiteren konnten verschiedene Parameter (z.B. Fliessgeschwindigkeit, Muldenstrukturen, Fischalter, etc.) identifiziert werden, die das Stranden von Fischen zusätzlich beeinflussen (vgl. Kap. 5.3.4). Jedoch ist bei dem verwendeten Versuchsdesign kein Parameter (auch nicht die Wasserwechselzone) alleine entscheidend, um den Strandungsanteil ausreichend genau zu beschreiben.

In Kapitel 5.3.4 wird gezeigt, dass jüngere Fische in der Regel leicht höhere Strandungsanteile aufweisen, als larvale Forellen welche einige Tage älter sind. Die Autoren vermuten, dass Sömmerlinge, aufgrund ihrer besseren Schwimmfähigkeit, die Bereiche besiedeln, die etwas weiter von der Uferlinie entfernt sind. Damit verringert sich zum einen die für sie relevante Wasserwechselzone und zum anderen bewegen sie sich im Falle einer Verringerung der Wasserhöhe vermutlich etwas früher (höhere Fischhöhe) an einen neuen Standort. Somit haben sie länger Zeit, ein geeignetes Habitat in Richtung Flussmitte zu finden. Diese längere Reaktionszeit führt wahrscheinlich dazu, dass mit steigendem Fischalter die Fische deutlich weniger oft stranden (bei gleicher Wasserwechselzone und Pegelrückgangsrate).

Die Resultate zeigen die Komplexität des Problems um das Stranden von Fischen in Schwall-Sunk Strecken auf. Zusätzlich zu den abiotischen Rahmenbedingungen spielt auch das Verhalten der Fischlarven an sich eine zentrale Rolle (vgl. Kap. 5.4 und 6.3). Mit dem Flussdiagramm in Kap. 6.3 haben die Autoren einen Erklärungsansatz für diesen komplexen Prozess entwickelt. Grundsätzlich könnte dieser Erklärungsansatz weiterentwickelt werden. Zum Beispiel könnten die Prozentzahlen zu den einzelnen Knotenpunkten und die Anzahl an Zyklen in Abhängigkeit von den Bedingungen in der WWZ abgeschätzt werden.

7.2 Strandung in natürlichen Fliessgewässersystemen

In natürlichen Fliessgewässersystemen mit gut funktionierender Reproduktion der Forellen- bzw. Äschenpopulation werden hohe Mortalitätsraten bei Fischlarven beobachtet. Diese hohen Mortalitätsraten sind unter

anderem auf die Verdriftung und den Umstand zurückzuführen, dass Fischlarven häufig eine Nahrungsquelle für andere Arten darstellen. Durch natürliche Abflussschwankungen im Zusammenhang mit Hochwasserabflüssen, täglichen Abflussschwankungen infolge Schnee- und Gletscherschmelze sowie kleineren Niederschlagsereignissen fallen auch in unbeeinflussten Gewässersystemen häufig Abschnitte trocken. Die ökologische Bedeutung von "natürlichem Stranden" (also ohne Schwall-Sunk Prozesse) ist noch grösstenteils unerforscht.

Vermutlich ist die Wichtigkeit des Strandens von Fischen je nach Gewässersystem unterschiedlich gross. Bei Flüssen mit weitläufig trockenfallenden Bereichen ist der Einfluss des Strandens wahrscheinlich grösser. Beispielsweise fallen beim Tagliamento in Italien (vgl. Abb. 71) sehr grosse Flächen natürlicherweise regelmässig trocken, da das Gerinne weitestgehend eine natürliche Morphologie aufweist und dadurch die Gerinnebreite relativ zu den Abflüssen sehr gross ist und entsprechend sehr grosse Flächen immer wieder trockenfallen.



Abb. 71: trockenfallende Flächen am Tagliamento. Bild: Fabio de Stefano.

Durch eine Untersuchung der natürlicherweise trockenfallenden Flächen, den resultierenden Pegelrückgangsraten, der Frequenz des Trockenfallens und eventuell auch der Strandungsanteile (nach Hochwasser, Schneeschmelze, etc.) in natürlichen Flusssystemen, wie dem Tagliamento, könnte die Strandungsproblematik in Schwall-Sunk Gewässern gegenüber einer natürlichen Referenz eingeordnet werden.

Nur wenn die natürliche Situation bekannt ist, können anthropogen beeinflusste Strandungsraten adäquat beurteilt und bewertet werden.

7.3 Synthese

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte ein Untersuchungsdesign entwickelt werden, dass die Untersuchung des Strandens von Fischen in freien Fliessgewässern ermöglicht. Obwohl mit den durchgeführten Strandungsversuchen in der Hasliaare keine eindeutigen Ergebnisse hinsichtlich des Strandens von wild emergierten Bachforellenlarven in Abhängigkeit der Pegelrückgangsrate gefunden werden konnte, sind die Versuche sehr wertvoll für das Verständnis der Thematik. Es konnten zentrale Erkenntnisse zum Verhalten von Fischen bei Pegelrückgang gewonnen werden und die Wichtigkeit der Wasserwechselzone konnte aufgezeigt werden. Diese Informationen erlauben eine Beurteilung des bestehenden Indikators F2 "Stranden von Fischen".

Die Indikatorendefinition F2 in der Vollzugshilfe "Schwall-Sunk – Massnahmen" sollte unter Berücksichtigung folgender Punkte erneut geprüft werden, weil:

- die Überlagerung der Strandungsanteile aus den durchgeführten Versuchen und den entsprechenden Bewertungen gemäss der bestehenden Bewertungsmethode nicht übereinstimmen (vgl. Abbildung 63)
- die Referenz zu natürlichen Gewässersystemen nach wie vor als wichtiger Anhaltspunkt fehlt
- in vielen Sanierungsfällen dieser Indikator massgebend für die Dimensionierung einer Sanierungsmassnahme ist. Für eine effiziente Massnahmenwahl (und der Beurteilung der Verhältnismässigkeit) ist daher eine breitere fachliche Grundlage unabdingbar

7.4 Empfehlungen für die Vollzugshilfe „Schwall-Sunk - Massnahmen“

Anhand der durchgeführten Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die Wasserwechselzone ein entscheidender Parameter hinsichtlich der Thematik um das Stranden von Fischen ist. In der Vollzugshilfe „Schwall-Sunk-Massnahmen“ wird dieser Parameter zwar bereits berücksichtigt, jedoch ist es empfehlenswert die Art und den Umfang dieser Berücksichtigung nochmals zu prüfen. Basierend auf den Versuchsergebnissen ist eine stärkere Berücksichtigung des Anteils an trockenfallender Fläche zu überprüfen. Insbesondere stellt sich die Frage, wie stark das Strandungsrisiko bei deutlich grösseren Wasserwechselzonen (z.B. > 10 m) zunimmt.

Die aktuell starke Gewichtung der Pegelrückgangsrate bei der Bewertung des Strandens von Fischen im Bereich von 0.3 bis 0.5 cm/min ist gemäss Versuchsergebnissen aus fischökologischer Sicht dagegen nicht gerechtfertigt. Auch nach einer deutlichen Reduktion der Pegelrückgangsrate durch eine Sanierungsmassnahme dürfte der Strandungsanteil bei einer grossen Wasserwechselzone beträchtlich sein / bleiben.

Ein weiterer wichtiger Aspekt stellt das Fischalter dar. Schwimmstärkere Sömmerlinge besiedeln auch Gewässerbereiche, die je nach Morphologie etwas weiter von der Uferlinie entfernt liegen. Damit verringert sich für sie die Wasserwechselzone und somit das Strandungsrisiko. Inwieweit sich das Fischverhalten auf das Strandungsrisiko auswirkt, müssten zusätzliche Versuche zeigen (z.B. könnten sich die Fische aufgrund ihrer grösseren Körperhöhe frühzeitiger an einen Habitatswechsel machen und aufgrund ihrer Habitatspräferenzen häufig mit einem "Sicherheitsabstand" zur sich bildenden Wasserwechselzone von Habitat zu Habitat bewegen. Denkbar wäre aber auch eine weniger ausgeprägte "Habitatsstreue" wie bei Fischlarven. Aus praktischer Sicht sind entsprechende Erkenntnisse ebenfalls zentral für eine Massnahmendimensionierung /-wahl.

Die Versuche zeigen, dass ausser dem zwingenden Zusammenhang zwischen Anteil trockenfallender Fläche und dem Strandungsanteil keine eindeutigen Beziehungen zwischen dem Stranden von Fischen und anderen messbaren Parameter bestehen. Allerdings kann mithilfe des Flussdiagramms gemäss Abbildung 70 der Strandungsprozess vereinfacht dargestellt werden. Ein solches Schema kann allenfalls so weiterent-

wickelt werden, dass es in den Entscheidungsprozess hinsichtlich der Massnahmenwahl eingebunden werden kann. Dazu müsste das Flussdiagramm auf einzelne Gewässerstandorte angewendet werden. Dieser Prozess könnte abhängig von der Bearbeitungstiefe räumlich unterschiedlich skaliert werden.

7.5 Empfehlungen für weitere gewässerökologische Untersuchungen

Nachfolgend werden Empfehlungen für weiterführende gewässerökologische Untersuchungen abgegeben. Thematisch betreffen diese zwei Bereiche. Einerseits wäre eine Untersuchung der Strandung von Fischen in natürlichen Systemen wünschenswert, um die natürliche Referenz fundierter zu kennen. Andererseits sehen die Autoren auch Potential für weiteren, zentralen Erkenntnisgewinn mit der Weiterführung von Strandungsversuchen gemäss bisherigem Versuchsdesign.

Aspekt 1: Strandungsrisiko in natürlichen Fliessgewässersystemen

Von den Autoren wird empfohlen das Strandungsrisiko der Fischfauna in natürlichen Fliessgewässersystemen, ohne hydrologische Beeinflussung und morphologische Veränderung zu untersuchen. Hierdurch könnten natürliche Strandungsraten beurteilt werden.

- I. **Untersuchung der natürlichen Wasserwechselzone und der Häufigkeit des Trockenfallens anhand eines hydraulisch numerischen Modelles für die ursprüngliche Morphologie und Hydrologie der Hasliaare. Auch könnten bestehende Arbeiten am Tagliamento ausgewertet werden und bei Bedarf mit zusätzlichen Felderhebungen ergänzt werden.**

Aspekt 2: Weiterführung von Strandungsversuchen anhand des entwickelten Versuchsdesigns

Aufgrund der im vorliegenden Bericht beschriebenen Versuchsergebnisse empfehlen die Autoren die Strandungsversuche fortzuführen. Dabei soll vor allem die Bestimmung von Systemgrenzen im Vordergrund stehen. Diese sollen wiederum helfen den Erklärungsansatz gemäss Abbildung 70 (Flussdiagramm) weiter zu verfeinern (Reihenfolge gemäss Priorisierung):

- I. **Vergrösserung der Wasserwechselzone von 4 auf 12 m, mit dem selben Versuchsdesign, wie in der Versuchsreihe 2 (Fischalter: Bachforellen, wenige Tage bis Wochen nach der Emergenz)**

Untersuchung folgender Fragestellungen / Praxisrelevanz:

- Wie gross ist die Überlebenschance bei grösseren trockenfallenden Flächen?
- Überleben die Fische aufgrund der sehr kleinen Pegelrückgangsrate (0.1 mm/min, natürliche Pegelrückgangsraten) trotz einer solch ausgedehnten Wechselwasserzone?
- Beurteilung von Schwallstrecken mit Wasserwechselbreiten neu > 5 Meter.

- II. **Anpassung der Pegelrückgangsrate: Durchführung der Strandungsversuche mit deutlich grösseren Unterschieden zwischen den Pegelrückgangsraten, z.B. <0.2 cm/min und >1.5 cm/min, beim selben Versuchsdesign, wie in der Versuchsreihe 2 (Fischalter: Bachforellen, wenige Tage bis Wochen nach der Emergenz) oder gemäss I.**

Untersuchung folgender Fragestellungen / Praxisrelevanz:

- In welchem Bereich kann ein Einfluss der Pegelrückgangsrate auf den Strandungsanteil klar nachgewiesen werden?
- Ist die Pegelrückgangsrate der richtige Ansatz für eine Bewertung des Strandens von Fischen in der VZH-M?
- Vollständiger Vergleich zu den Versuchen in Lunz, wo ebenfalls Versuche mit diesen hohen Pegelrückgangsraten durchgeführt wurden
- Zusätzliche Messung der horizontalen Rückgangsrate könnte evtl. aufzeigen, dass diese von grösserer Bedeutung ist.

III. Durchführung von Strandungsversuchen mit älteren Fischen (Sömmerlingen), beim selben Versuchsdesign, wie in der Versuchsreihe 2, aber mit vergrößerter Wasserwechselzone

Untersuchung folgender Fragestellungen / Praxisrelevanz:

- Das Strandungsrisiko sollte theoretisch mit zunehmendem Alter und wechselnder Habitatpräferenz abnehmen (vgl. Kap. 7.4). Allerdings fehlen hierzu noch weitergehende Untersuchungen, die eine klare Abgrenzung zeigen, wann welche Grenzwerte aus fischökologischer Sicht einzuhalten sind. Diese Abgrenzung ist aber für konkrete Sanierungsfälle häufig zur Bestimmung eines nötigen Ausgleichvolumens entscheidend oder für die Bereitschaft eines Kraftwerkbetreibers betriebliche Massnahmen in Betracht zu ziehen.

Auch in Lunz wurden Versuche mit Sömmerlingen durchgeführt und ein geringeres Strandungsrisiko für diese Altersklasse bestimmt. Aus praktischer Sicht wäre eine Überprüfung dieses Sachverhalts wichtig.

- Adam B. & Lehmann B. (2011): Ethohydraulik, Grundlagen, Methoden und Erkenntnisse. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011.
- Auer, S., Fohler, N., Zeiringer, B., Führer, S. und Schmutz, S. (2014): Drift und Stranden von Äschen und Bachforellen während der ersten Lebensstadien (Experimentelle Untersuchungen zur Schwallproblematik). – Wien: Universität für Bodenkultur.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU) & Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) (2018): Fachinformation Tierversuche. Tierversuchsbewilligungen bei Untersuchungen, Bestandeserhebungen und Forschungsprojekten an Wildtierpopulationen 4.03. Bern, 10 S.
- Elliott J.M. (1984): Numerical changes and population regulation in young migratory trout *Salmo trutta* in a Lake District stream. *Journal of Animal Ecology*, 53: P. 327-350.
- Elliott, J.M. (1989): The critical-period concept for juvenile survival and its relevance for population regulation in young sea trout, *Salmo trutta*. *Journal of Fish Biology* 35: S. 91-98.
- Elliott, J.M. (1994): Quantitative ecology and the brown trout. Oxford: Oxford University Press.
- Friedrichsen, U. (2011): Agilität Gestern, Heute und Morgen: Eine Bestandsaufnahme und ein Blick in die Zukunft. <https://public.centerdevice.de/578762ad-9630-4a13-b610-d3ecb128ddd4>. Zugriff: 25.08.20
- Greter, R. (2017): Methodenkonzept. Bewertung der Strandung von Fischen in Schwall/Sunk beeinflussten Gewässern. Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wädenswil.
- Halleraker J. H., Saltveit S. J., Harby A., Arnekleiv J. V., Fjeldstad H. P. & Kohler B. (2003): Factors influencing stranding of juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River research and applications*, 19, S. 589-603
- Irvine R. L., Oussoren T., Baxter J. S. & Schmidt D. C. (2009): The effects of flow reduction rates on fish stranding in British Columbia, Canada. *River Research and Applications*, 25, S. 405–415.
- Meyer, M., Greter, R., Schweizer, S., Baumgartner, J., Schläppi, S. und Büsser, P. (2018): Untersuchungen zum Emergenzzeitraum von *Salmo trutta* in der Hasliaare in 2018. Fachbericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt.
- Saltveit S. J., Halleraker J. H., Arnekleiv J. V. & Harby A. (2001): Field experiments on stranding in juvenile Atlantic Salmon (*Salmo Salar*) and Brown Trout (*Salmo Trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropedaking. *Regulated Rivers: Research & Management*, 17, S. 609–622
- Schweizer, S., Schmidlin, S., Bieri, M., Büsser, P., Meyer, M., Money, J., Schläppi, S., Schneider, M., Tonolla, D., Tuhtan, J. und Wächter, K. (2016): Die erste Schwall-Sanierung der Schweiz: Die Hasliaare als Fallbeispiel. *WasserWirtschaft* 1, 2016: S. 10-15.
- Snowden, D. J. & Boone, M. E. (2007): A leader's framework for decision making. *harvard business review*, 85(11): 68.
- Statista (2015): Statistik-Lexikon: Definition Deskriptive Statistik. http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/49/deskriptive_statistik/. Zugriff 08.01.2016.
- Tonolla D.; Chaix O.; Meile T.; Zurwerra A.; Büsser P.; Oppliger S.; Essyad K. (2017): Schwall-Sunk – Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1701: 133 S.

Unfer G. (2012): Zur Ökologie der Bachforelle unter besonderer Berücksichtigung des ersten Lebensjahres.
Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement (IHG), Department Wasser Atmosphäre-
Umwelt (WAU), Universität für Bodenkultur Wien (BOKU): 97 S

9 Anhang

9.1 Factsheets der Versuchsreihen 1 und 2

Versuch 1

Gewässer: Hasliaare
 Versuchsstandort: 657'596 / 174'798
 Datum: 22.05.2018
 Uhrzeit: 10.20 (Fischbeigabe)
 Anzahl beigegebene Fische: 50
 Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische) Fischlänge: 24-44 mm

Wassertemperatur: 7 °C
 Wasser pH-Wert: 6
 Akklimatisationszeit: 60 min
 Pegelrückgangrate: 1.8 mm/min
 Wiederfindungsrate: 96% (48 Fische)

Korndurchmesser (dm): 47 mm
 Korndurchmesser (d90): 111 mm
 Gefälle in Hauptfliessrichtung: 1%
 Quergefälle: 3.1%

Benjamin Berger / 14.08.2018

**Legende****Messsysteme**

-  Drucksonde
-  Kamera
-  Pegel
-  Fischfundorte
-  Fischbeigabeort
-  Schattenzone
-  Mulden (>0.05 m2)

Flächenanteile

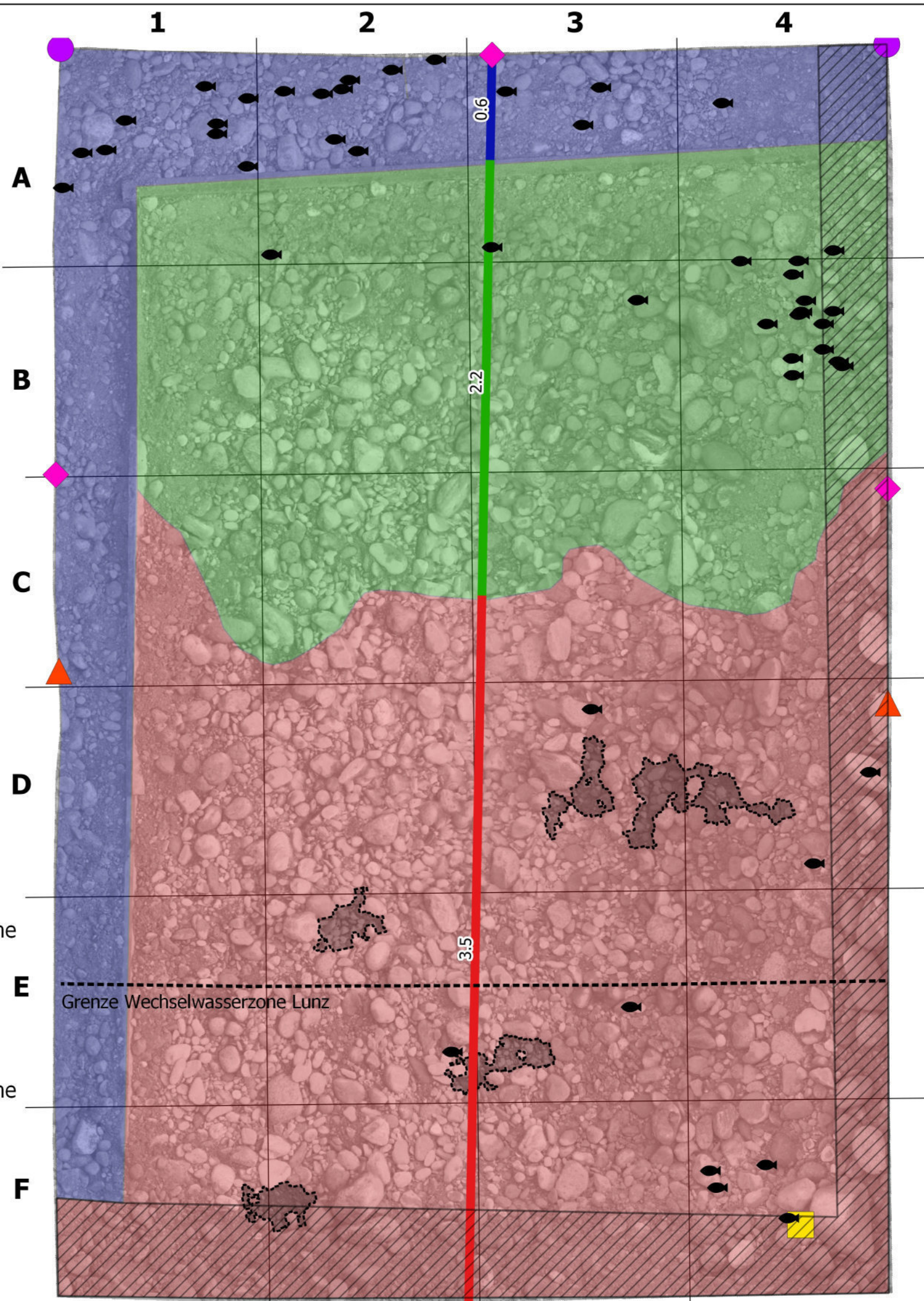
-  Driftzone
-  Sunkzone
-  auswertbare Wechselwasserzone

Längenanteile

-  Driftzone
-  Sunkzone
-  auswertbare Wechselwasserzone

Hauptfliessrichtung

0 25 50 75 100 cm

**Beobachtungen****Driftzone**

Flächenanteil: 17% (4.3 m2)
 Längenanteil: 9% (0.55m)
 Fischfunde: 44% (#21)

Sunkzone

Flächenanteil: 31% (7.9 m2)
 Längenanteil: 35% (2.18m)
 Fischfunde: 38% (#18)

Wechselwasserzone

Flächenanteil: 53% (13.7 m2)
 Längenanteil: 56% (3.49m)
 Fischfunde: 19% (#9)
 Fischfunddichte: 0.66 Fische/m2
 Flächenanteil Mulden: 3%

Versuch 2

Gewässer: Hasliaare
 Versuchsstandort: 657'607 / 174'794
 Datum: 22.05.2018
 Uhrzeit: 15.40 (Fischbeigabe)
 Anzahl beigegebene Fische: 50
 Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 7.7 °C
 Wasser pH-Wert: 6
 Akklimatisationszeit: 60 min
 Pegelrückgangrate: 4.8 mm/min
 Wiederfindungsrate: 94% (47 Fische)
 Fischlänge: 24-43mm

Korndurchmesser (dm): 45 mm
 Korndurchmesser (d90): 110 mm
 Gefälle in Hauptfliessrichtung: -1.5%
 Quergefälle: 2.5%

Benjamin Berger / 14.08.2018

**Legende****Messsysteme**

-  Drucksonde
-  Kamera
-  Pegel
-  Fischfundorte
-  Fischbeigabeort
-  Schattenzone
-  Mulden (>0.05 m2)

Flächenanteile

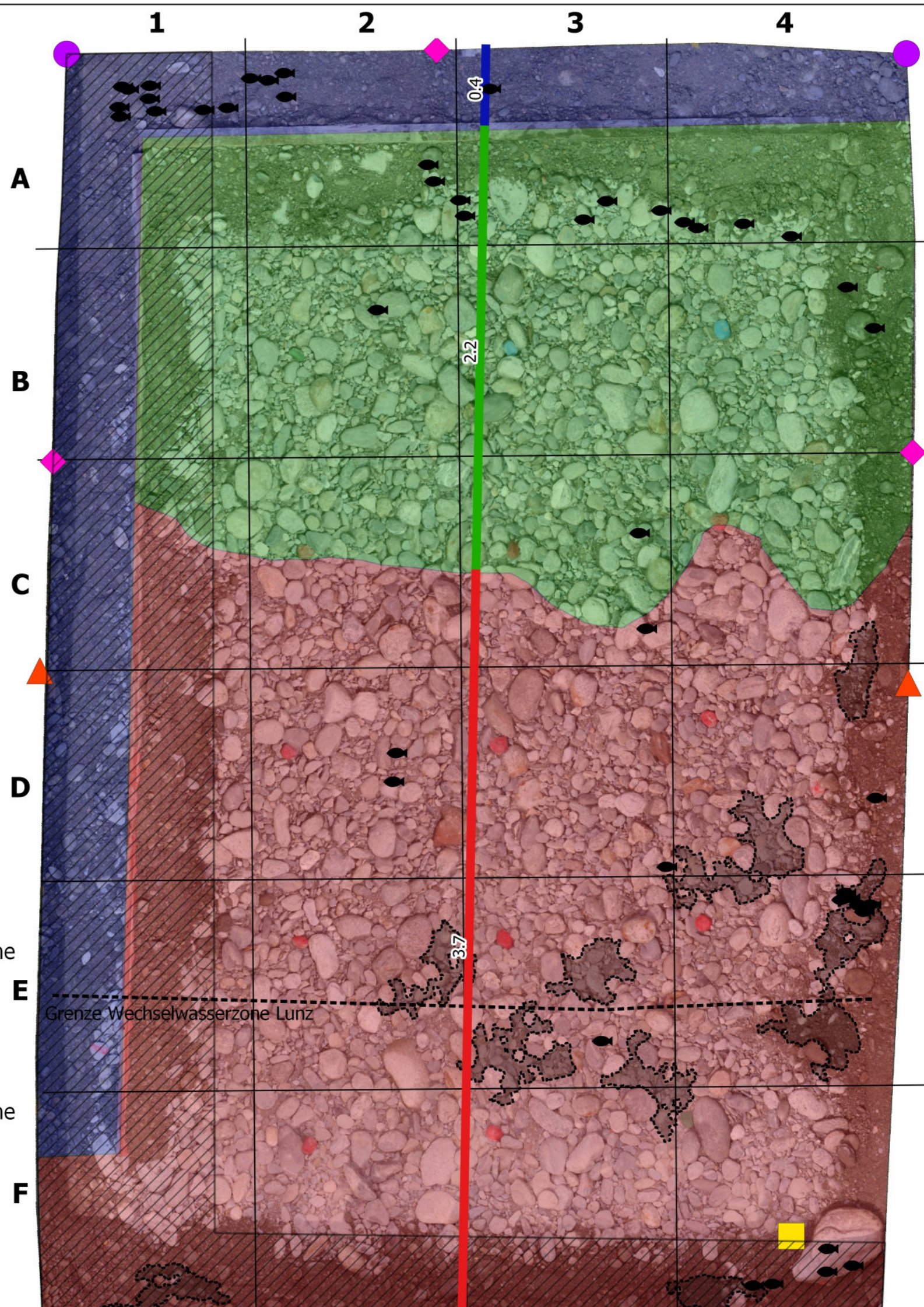
-  Sunkzone
-  Driftzone
-  auswertbare Wechselwasserzone

Längenanteile

-  Driftzone
-  Sunkzone
-  auswertbare Wechselwasserzone

Hauptfliessrichtung

0 25 50 75 100 cm

**Beobachtungen****Driftzone**

Flächenanteil: 14% (3.8 m2)
 Längenanteil: 6% (0.4 m)
 Fischfunde: 30% (#14)

Sunkzone

Flächenanteil: 32% (8.5 m2)
 Längenanteil: 35% (2.2 m)
 Fischfunde: 32% (#15)

Wechselwasserzone

Flächenanteil: 54% (14.6 m2)
 Längenanteil: 59% (3.7 m)
 Fischfunde: 38% (#18)
 Fischfunddichte: 1.23 Fische/m2
 Flächenanteil Mulden: 6%

Versuch 3

Gewässer: Hasliaare
 Versuchsstandort: 657'601 / 174'795
 Datum: 23.05.2018
 Uhrzeit: 10.30 (Fischbeigabe)
 Anzahl beigegebene Fische: 50
 Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 6.5 °C
 Wasser pH-Wert: 6
 Akklimatisationszeit: 60 min
 Pegelrückgangrate: 4.4 mm/min
 Wiederfindungsrate: 86% (43 Fische)
 Fischlänge: 23-44 mm

Korndurchmesser (dm): 47 mm
 Korndurchmesser (d90): 118 mm
 Gefälle in Hauptfliessrichtung: 1%
 Quergefälle: 2.5%

Benjamin Berger / 14.08.2018

**Legende****Messsysteme**

-  Drucksonde
-  Kamera
-  Pegel
-  Fischfundorte
-  Fischbeigabeort
-  Schattenzone (keine, bewölkt)
-  Mulden (>0.05 m2)

Flächenanteile

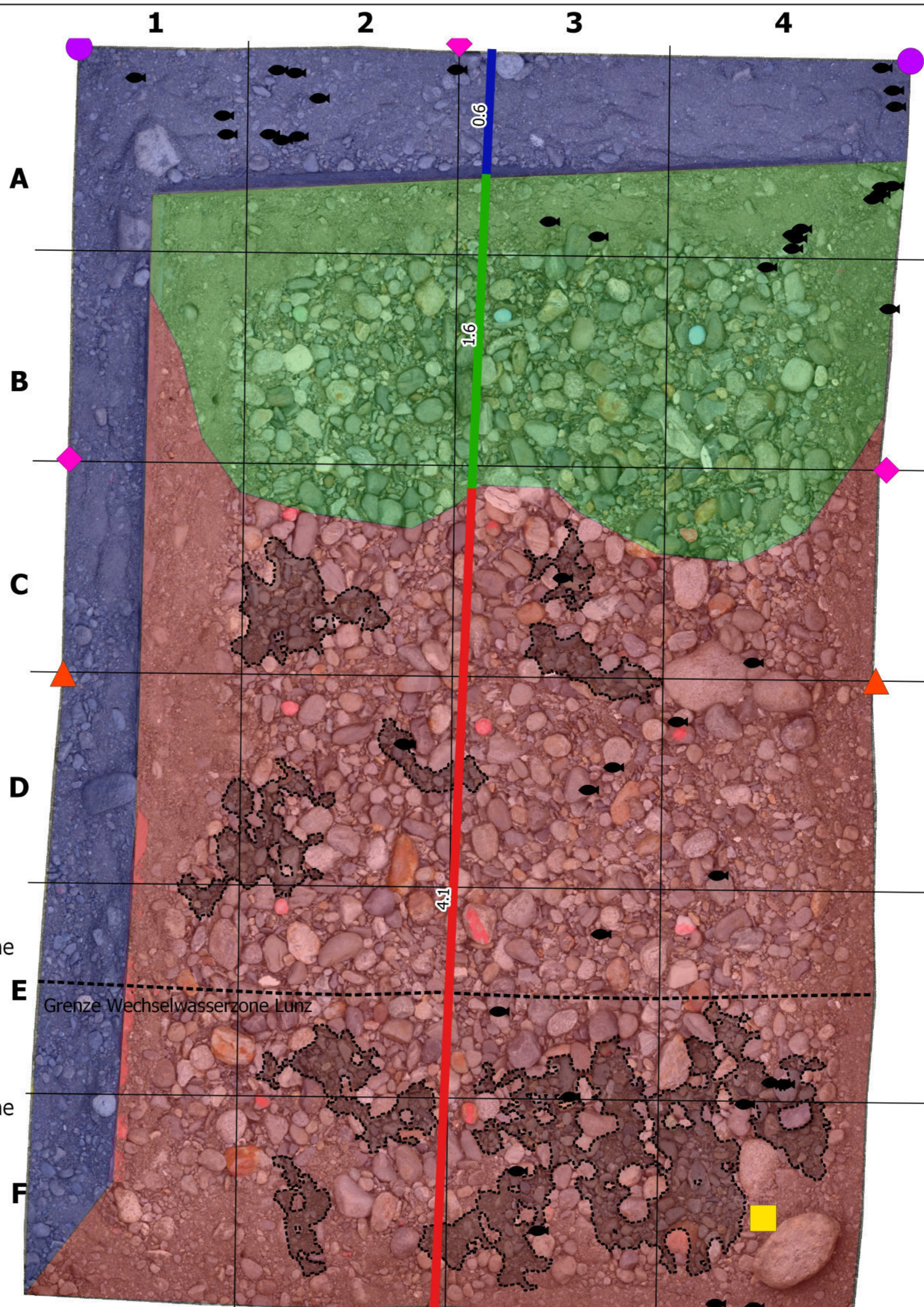
-  Sunkzone
-  Driftzone
-  auswertbare Wechselwasserzone

Längenanteile

-  Driftzone
-  Sunkzone
-  auswertbare Wechselwasserzone

Hauptfliessrichtung

0 25 50 75 100 cm


**Beobachtungen****Driftzone**

Flächenanteil: 18% (4.7 m²)
 Längenanteil: 10% (0.6 m)
 Fischfunde: 30% (#13)

Sunkzone

Flächenanteil: 24% (6 m²)
 Längenanteil: 25% (1.6 m)
 Fischfunde: 28% (#12)

Wechselwasserzone

Flächenanteil: 58% (14.9 m²)
 Längenanteil: 65% (4.1 m)
 Fischfunde: 42% (#18)
 Fischfunddichte: 1.21 Fische/m²
 Flächenanteil Mulden: 13%

Versuch 4

Gewässer: Hasliaare

Versuchsstandort: 657'588 / 174'798

Datum: 23.05.2018

Uhrzeit: 16.00 (Fischbeigabe)

Anzahl beigegebene Fische: 50

Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische) Fischlänge: 23-43 mm

Wassertemperatur: 7.7 °C

Wasser pH-Wert: 6

Aklimationszeit: 60 min

Pegelrückgangrate: 2.5 mm/min

Wiederfindungsrate: 96% (48 Fische)

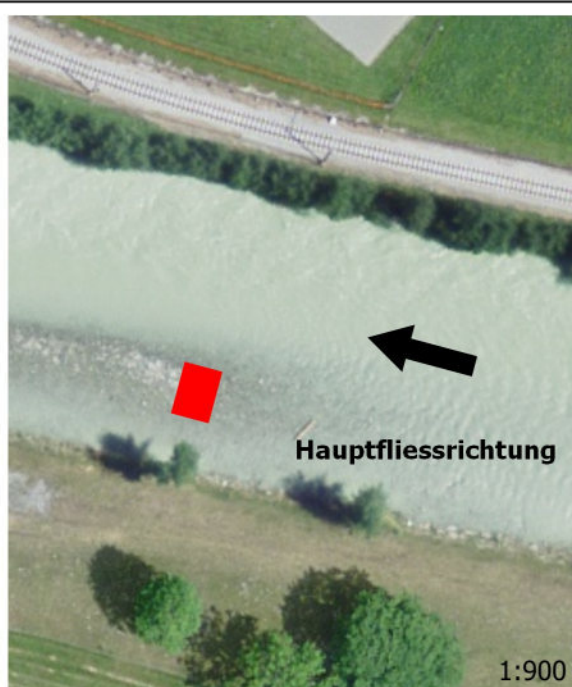
Korndurchmesser (dm): 41 mm

Korndurchmesser (d90): 94 mm

Gefälle in Hauptfliessrichtung: 0.8%

Quergefälle: 2.3%

Benjamin Berger / 14.08.2018

**Legende****Messsysteme**

-  Drucksonde
-  Kamera
-  Pegel
-  Fischfundorte
-  Fischbeigabeort
-  Schattenzonen
-  Mulden (>0.05 m2)

Flächenanteile

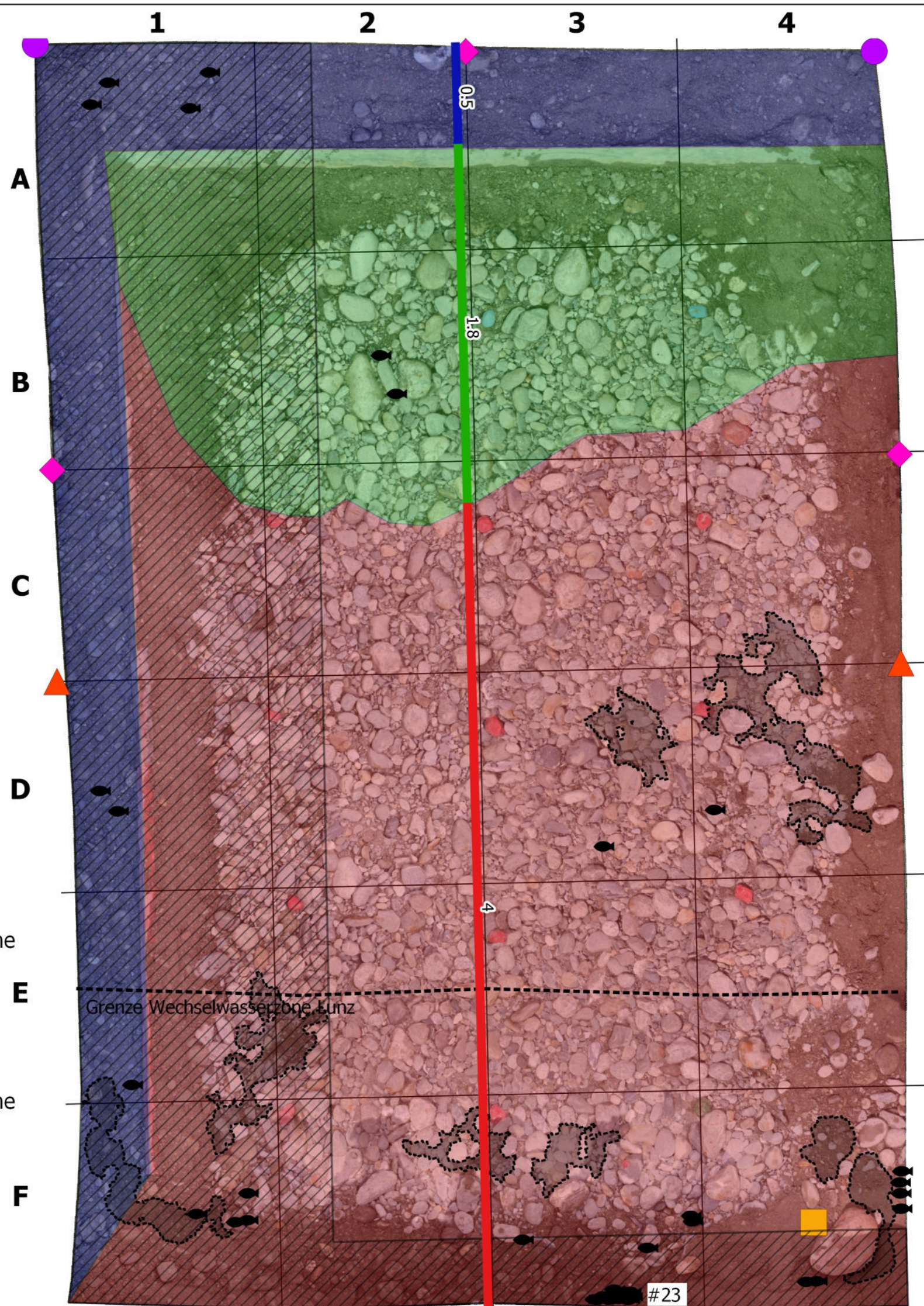
-  Sunkzone
-  Driftzone
-  auswertbare Wechselwasserzone

Längenanteile

-  Driftzone
-  Sunkzone
-  auswertbare Wechselwasserzone

Hauptfliessrichtung

0 25 50 75 100 cm

**Beobachtungen****Driftzone**

Flächenanteil: 15% (4 m2)
 Längenanteil: 8% (0.5 m)
 Fischfunde: 15% (#7)

Sunkzone

Flächenanteil: 22% (5.7 m2)
 Längenanteil: 29% (1.8 m)
 Fischfunde: 4% (#2)

Wechselwasserzone

Flächenanteil: 63% (16.3 m2)
 Längenanteil: 63% (4 m)
 Fischfunde: 81% (#39)
 Fischfunddichte: 2.39 Fische/m2
 Flächenanteil Mulden: 6%

Factsheet: Versuch Hasliaare 1

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'111 / 1'171'960
Datum: 11.04.2019
Uhrzeit: 11.55 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 7.3 °C
Wasser pH-Wert: 6
Akklimationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 4 mm/min
Wiederfindungsrate: 94% (47 Fische)
Fischlänge: 21-28 mm

Korndurchmesser (dm): 33mm
Korndurchmesser (d90): 88mm
Sandflächenanteil: 12%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 1%
Quergefälle: 4.6%

Benjamin Berger (KWO) / 16.10.2019



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)
- potentielle Fischunterstände

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

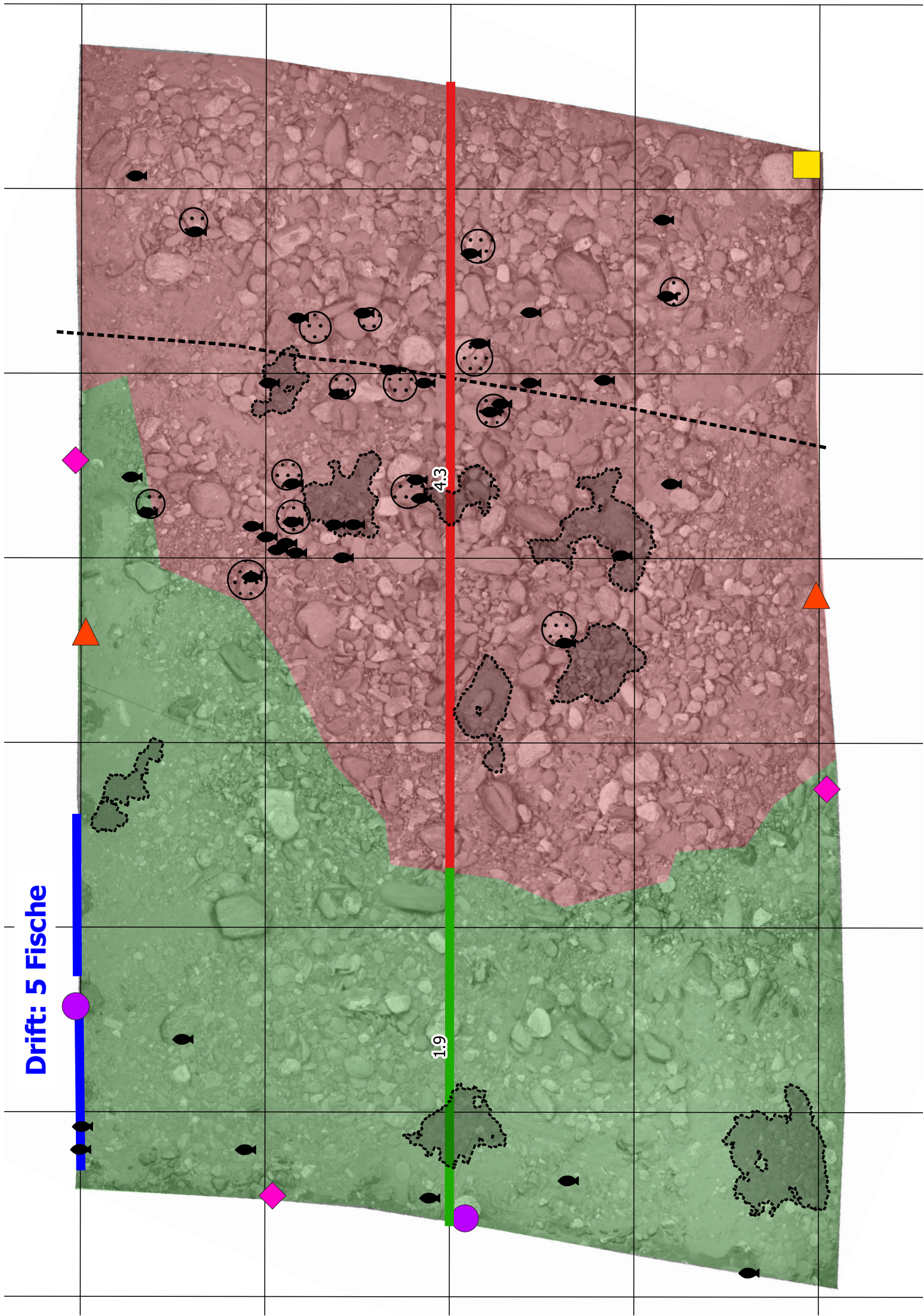
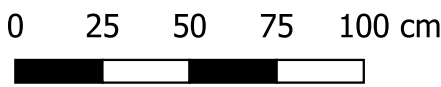
- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone
- Lunzer Linie

Längenanteile

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone



Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 11% (#5)

Sunkzone

Flächenanteil: 42% (10.6 m2)
Längenanteil: 31% (1.9 m)
Fischfunde: 19% (#9)
Fischfunddichte: 0.9 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 4%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 58% (14.5 m2)
Längenanteil: 69% (4.3 m)
Fischfunde: 70% (#33)
Fischfunddichte: 2.3 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 4%

Factsheet: Versuch Hasliaare 2

Gewässer: Hasliaare	Wassertemperatur: 8.1 °C	Korndurchmesser (dm): 30mm
Versuchsstandort: 2'661'111 / 1'171'960	Wasser pH-Wert: 5.5	Korndurchmesser (d90): 88mm
Datum: 12.04.2019	Akklimatisationszeit: 60 min	Sandflächenanteil: 21%
Uhrzeit: 13.35 (Fischbeigabe)	Pegelrückgangsrate: 3 mm/min	Gefälle in Hauptfliessrichtung: 1.5%
Anzahl beigegebene Fische: 50	Wiederfindungsrate: 96% (48 Fische)	Quergefälle: 1.4%
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)	Fischlänge: 21-28 mm	

Benjamin Berger (KWO) / 16.10.2019



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)
- potentielle Fischunterstände

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone
- Lunzer Linie

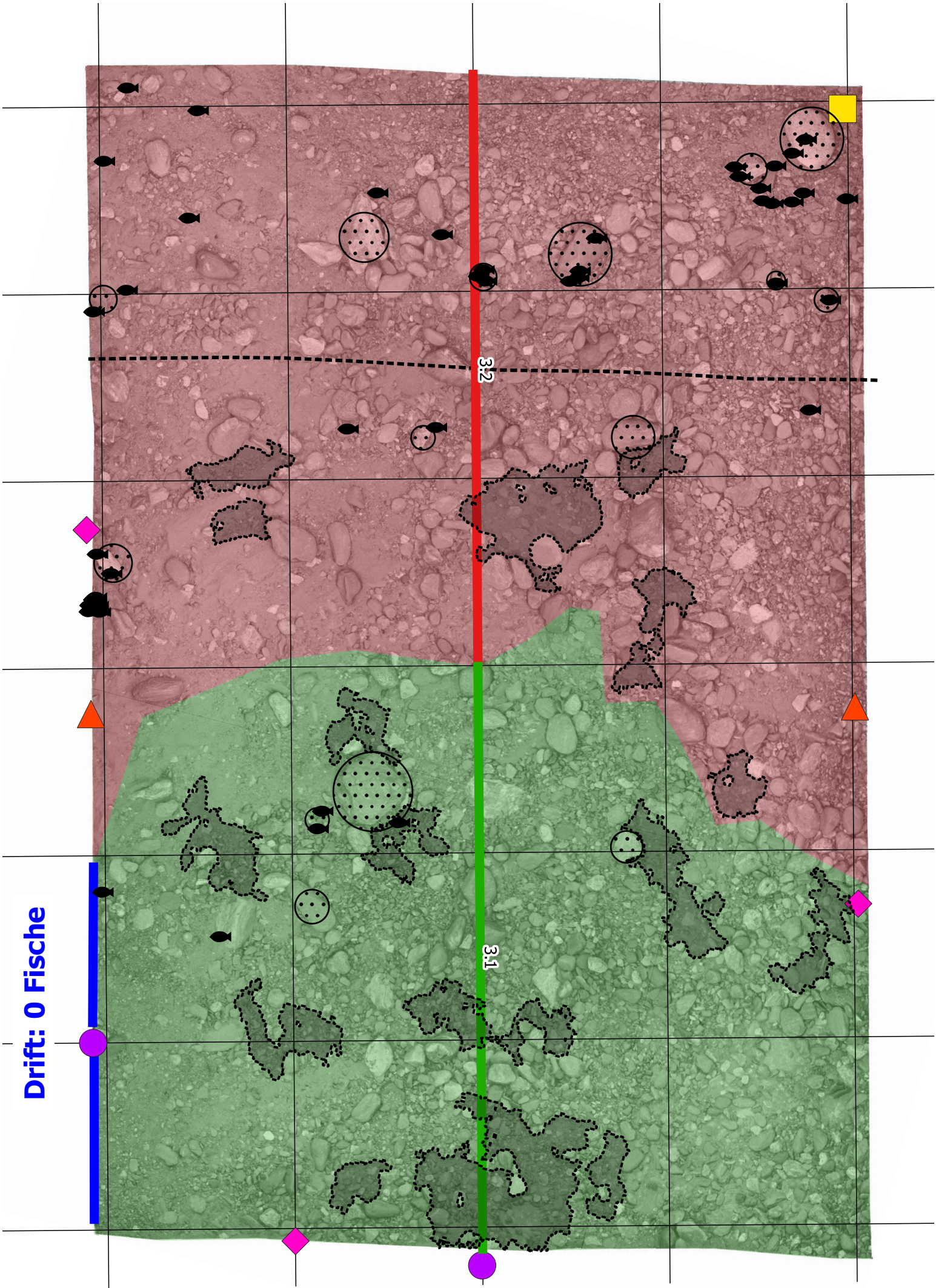
Längenanteile

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone



Hauptfliessrichtung

0 25 50 75 100 cm



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 0% (#0)

Sunkzone

Flächenanteil: 45% (11.8 m2)
Längenanteil: 49% (3.1 m)
Fischfunde: 10% (#5)
Fischfunddichte: 0.4 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 12%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 55% (14.1 m2)
Längenanteil: 51% (3.2 m)
Fischfunde: 90% (#43)
Fischfunddichte: 3.0 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 4%

Factsheet: Versuch Hasliaare 3

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'111 / 1'171'960
Datum: 16.04.2019
Uhrzeit: 10.43 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 7.6 °C
Wasser pH-Wert: 6
Akklimationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 2 mm/min
Wiederfindungsrate: 88% (44 Fische)
Fischlänge: 20-28 mm

Korndurchmesser (dm): 34mm
Korndurchmesser (d90): 101mm
Sandflächenanteil: 10%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.4%
Quergefälle: 4%

Benjamin Berger (KWO) / 16.10.2019



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)
- potentielle Fischunterstände

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone
- Lunzer Linie

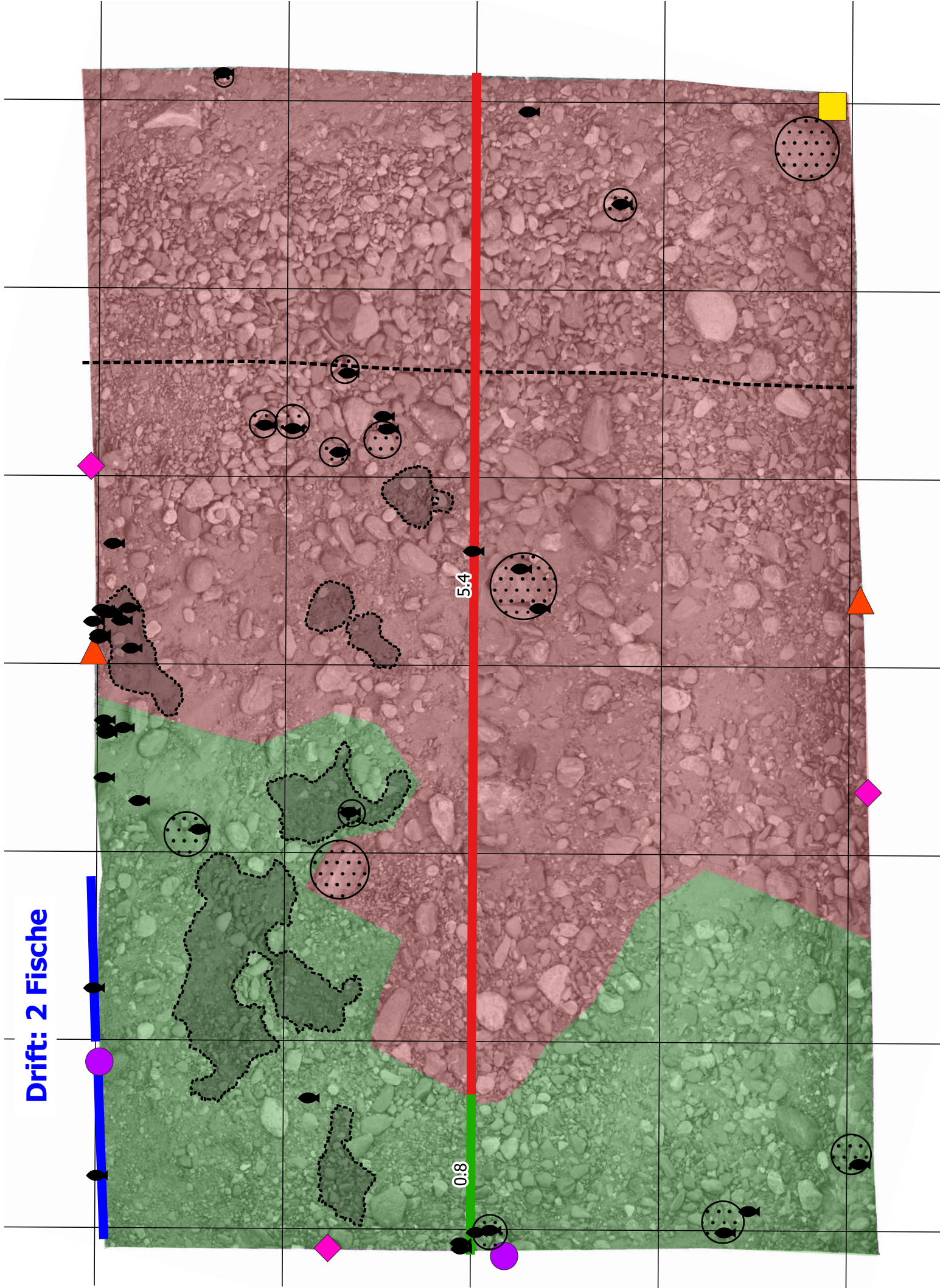
Längenanteile

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone



Hauptfliessrichtung

0 25 50 75 100 cm



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 4% (#2)

Sunkzone

Flächenanteil: 31% (7.9 m2)
Längenanteil: 13% (0.8 m)
Fischfunde: 41% (#18)
Fischfunddichte: 2.3 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 11%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 69% (17.6 m2)
Längenanteil: 87% (5.4 m)
Fischfunde: 55% (#24)
Fischfunddichte: 1.4 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 2%

Factsheet: Versuch Hasliaare 4

Gewässer: Hasliaare	Wassertemperatur: 9.5 °C	Korndurchmesser (dm): 29mm
Versuchsstandort: 2'661'111 / 1'171'960	Wasser pH-Wert: 6	Korndurchmesser (d90): 86mm
Datum: 17.04.2019	Akklimatisationszeit: 60 min	Sandflächenanteil: 10%
Uhrzeit: 08.43 (Fischbeigabe)	Pegelrückgangsrate: 4 mm/min	Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2%
Anzahl beigegebene Fische: 50	Wiederfindungsrate: 88% (44 Fische)	Quergefälle: 3.3%
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)	Fischlänge: 20-28 mm	

Benjamin Berger (KWO) / 16.10.2019



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)
- potentielle Fischunterstände

Messsystem

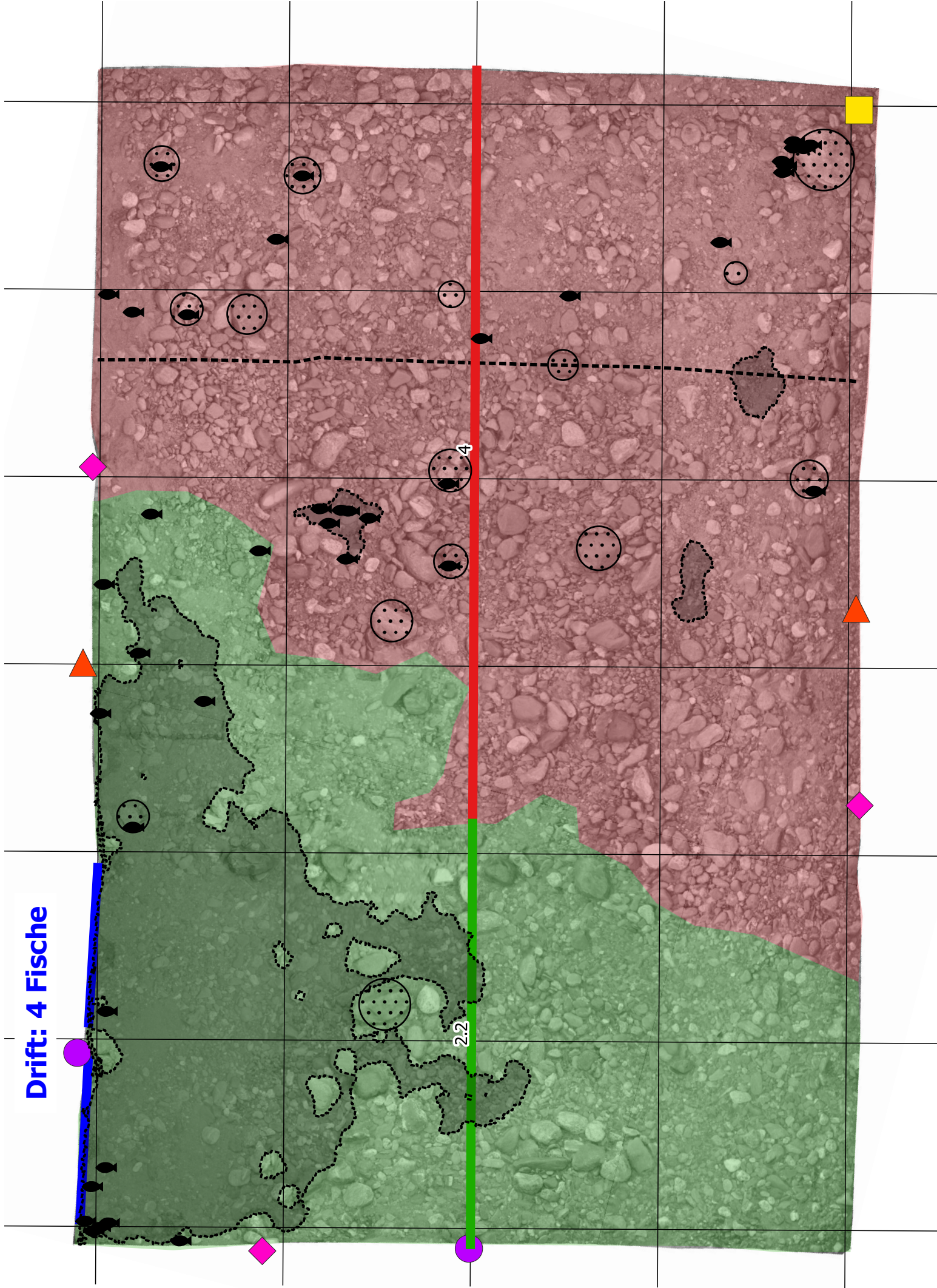
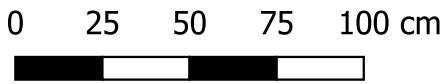
- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone
- Lunzer Linie

Längenanteile

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 9% (#4)

Sunkzone

Flächenanteil: 42% (10.9 m2)
Längenanteil: 35% (2.2 m)
Fischfunde: 34% (#15)
Fischfunddichte: 1.4 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 35%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 58% (14.9 m2)
Längenanteil: 65% (4 m)
Fischfunde: 57% (#25)
Fischfunddichte: 1.7 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 2%

Factsheet: Versuch Hasliaare 5

Gewässer: Hasliaare	Wassertemperatur: 11.9°C	Korndurchmesser (dm): 29mm
Versuchsstandort: 2'661'111 / 1'171'960	Wasser pH-Wert: 6	Korndurchmesser (d90): 76mm
Datum: 17.04.2019	Akklimatisationszeit: 60 min	Sandflächenanteil: 14%
Uhrzeit: 14.13 (Fischbeigabe)	Pegelrückgangsrate: 4 mm/min	Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.8%
Anzahl beigegebene Fische: 50	Wiederfindungsrate: 94% (47 Fische)	Quergefälle: 4.3%
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)	Fischlänge: 20-28 mm	

Benjamin Berger (KWO) / 16.10.2019



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)
- potentielle Fischunterstände

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone
- Lunzer Linie

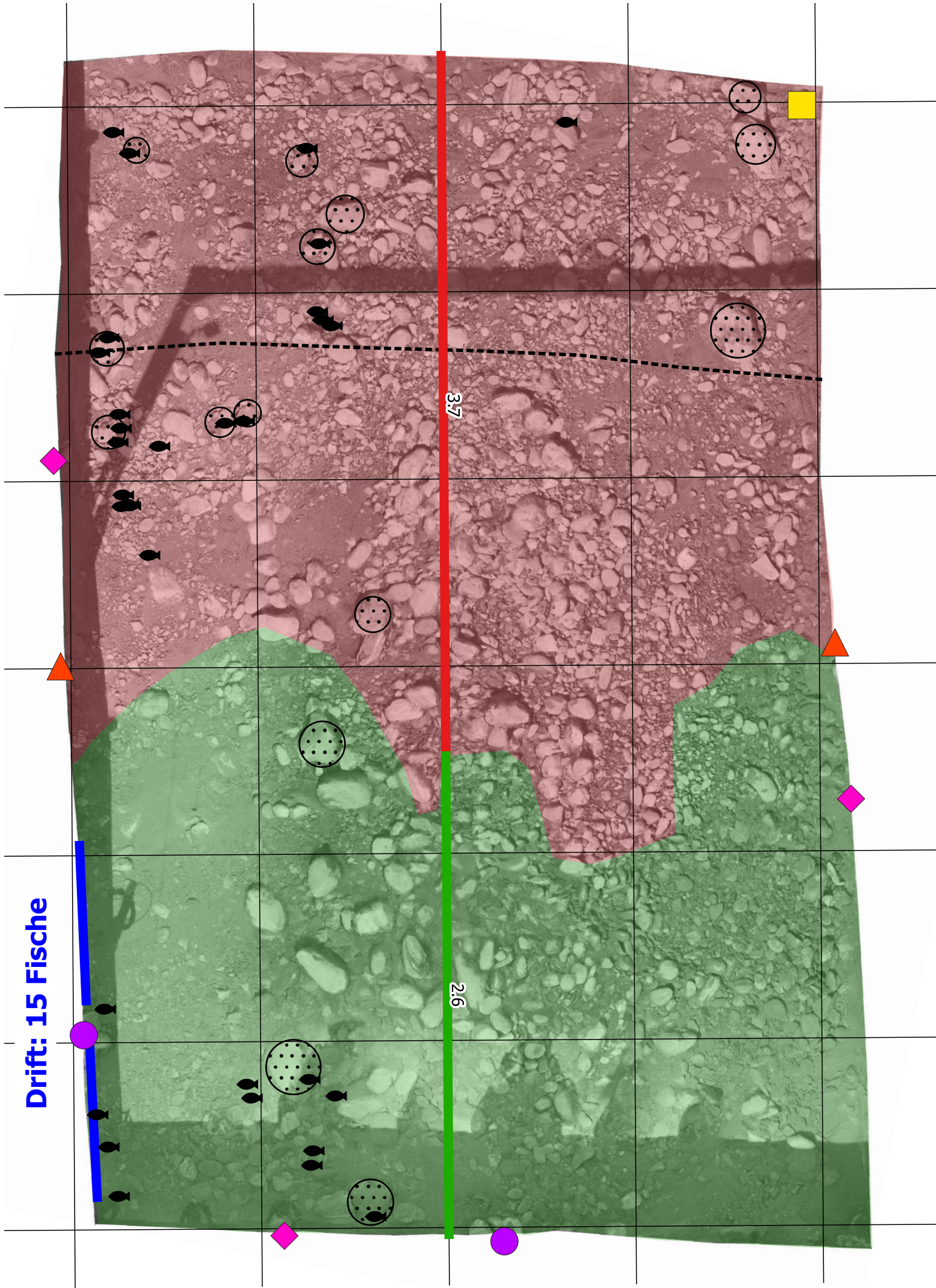
Längenanteile

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone



Hauptfliessrichtung

0 25 50 75 100 cm



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 32% (#15)

Sunkzone

Flächenanteil: 44% (11.4 m2)
Längenanteil: 41% (2.6 m)
Fischfunde: 23% (#11)
Fischfunddichte: 1.0 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 56% (14.4 m2)
Längenanteil: 59% (3.7 m)
Fischfunde: 45% (#21)
Fischfunddichte: 1.5 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Factsheet: Versuch Hasliaare 6

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'111 / 1'171'960
Datum: 18.04.2019
Uhrzeit: 12.58 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 12.5°C
Wasser pH-Wert: 6
Akklimationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 5 mm/min
Wiederfindungsrate: 94% (47 Fische)

Korndurchmesser (dm): 34mm
Korndurchmesser (d90): 97mm
Sandflächenanteil: 35%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.8%
Quergefälle: 4.3%

Fischlänge: 18-28 mm

Benjamin Berger (KWO) / 16.10.2019



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)
- potentielle Fischunterstände

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone
- Lunzer Linie

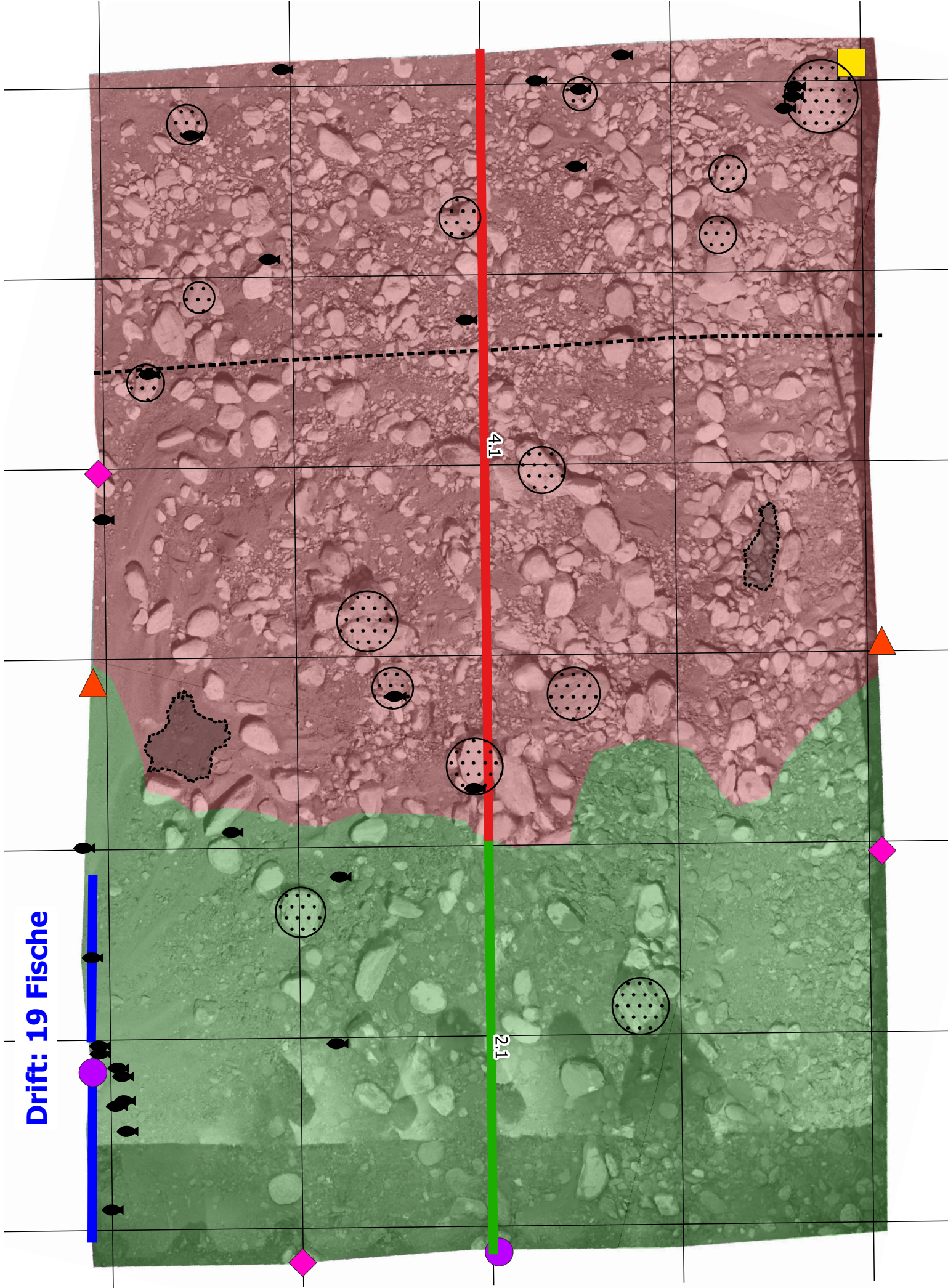
Längenanteile

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone



Hauptfliessrichtung

0 25 50 75 100 cm



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 40% (#19)

Sunkzone

Flächenanteil: 39% (10.3 m2)
Längenanteil: 34% (2.1 m)
Fischfunde: 28% (#13)
Fischfunddichte: 1.3 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 61% (15.8 m2)
Längenanteil: 66% (4.1 m)
Fischfunde: 32% (#15)
Fischfunddichte: 0.9 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 1%

Factsheet: Versuch Hasliaare 7

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'111 / 1'171'960
Datum: 24.04.2019
Uhrzeit: 09.44 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 8.5°C
Wasser pH-Wert: 5.5
Akklimationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 9 mm/min
Wiederfindungsrate: 90% (45 Fische)

Korndurchmesser (dm): 37mm
Korndurchmesser (d90): 121mm
Sandflächenanteil: 26%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.4%
Quergefälle: 3.8%

Fischlänge: 22-34 mm

Benjamin Berger (KWO) / 16.10.2019



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)
- potentielle Fischunterstände

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone
- Lunzer Linie

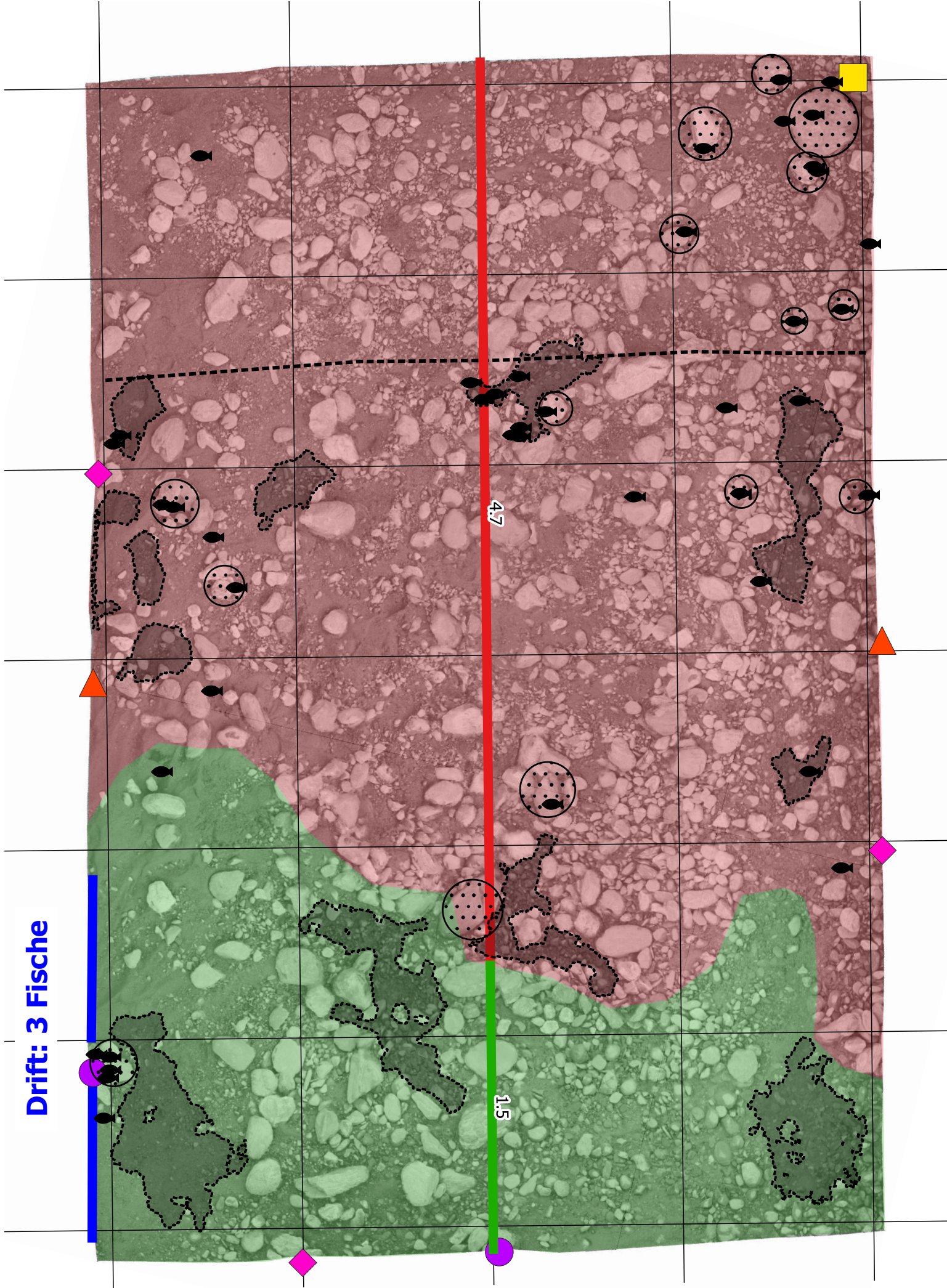
Längenanteile

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone



Hauptfliessrichtung

0 25 50 75 100 cm



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 7% (#3)

Sunkzone

Flächenanteil: 30% (7.7 m2)
Längenanteil: 24% (1.5 m)
Fischfunde: 13% (#6)
Fischfunddichte: 0.8 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 13%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 70% (18.2 m2)
Längenanteil: 76% (4.7 m)
Fischfunde: 80% (#36)
Fischfunddichte: 2.0 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 5%

Factsheet: Versuch Hasliaare 8

Gewässer: Hasliaare	Wassertemperatur: 8.6°C	Korndurchmesser (dm): 44mm
Versuchsstandort: 2'661'111 / 1'171'960	Wasser pH-Wert: 6	Korndurchmesser (d90): 148mm
Datum: 25.04.2019	Akklimatisationszeit: 60 min	Sandflächenanteil: 21%
Uhrzeit: 11.56 (Fischbeigabe)	Pegelrückgangsrate: 2 mm/min	Gefälle in Hauptfliessrichtung: 3%
Anzahl beigegebene Fische: 50	Wiederfindungsrate: 98% (49 Fische)	Quergefälle: 3.6%
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)	Fischlänge: 22-30 mm	

Benjamin Berger (KWO) / 16.10.2019



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)
- potentielle Fischunterstände

Messsystem

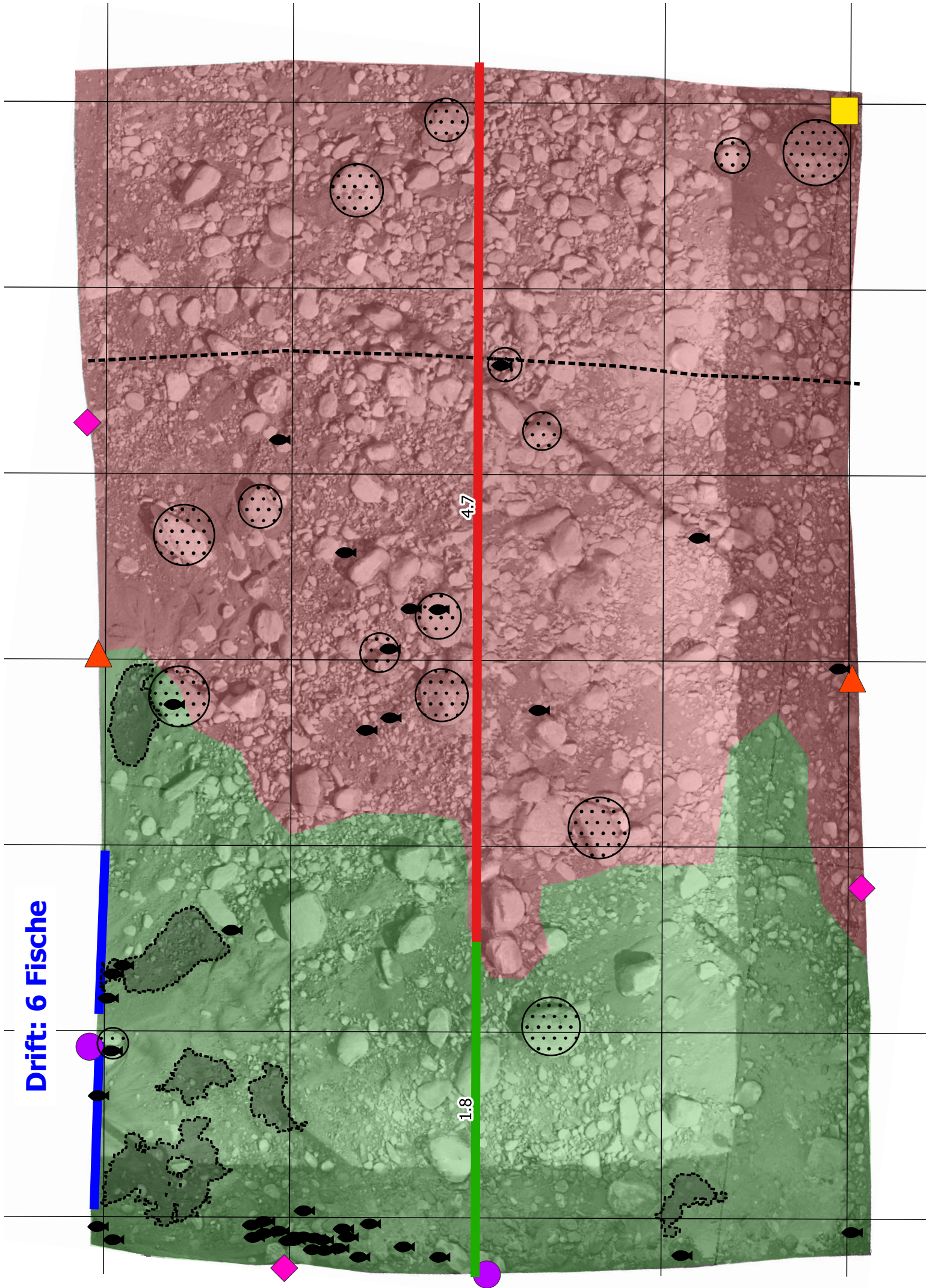
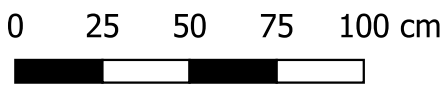
- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone
- Lunzer Linie

Längenanteile

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 12% (#6)

Sunkzone

Flächenanteil: 38% (10.0 m2)
Längenanteil: 28% (1.8 m)
Fischfunde: 65% (#32)
Fischfunddichte: 3.2 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 6%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 62% (16.6 m2)
Längenanteil: 72% (4.7 m)
Fischfunde: 23% (#11)
Fischfunddichte: 0.7 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Factsheet: Versuch Hasliaare 9

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'111 / 1'171'960
Datum: 30.04.2019
Uhrzeit: 12.30 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 9.6°C
Wasser pH-Wert: 5.5
Akklimationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 3 mm/min
Wiederfindungsrate: 92% (46 Fische)
Fischlänge: 20-30 mm

Korndurchmesser (dm): 38mm
Korndurchmesser (d90): 111mm
Sandflächenanteil: 16%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 1.7%
Quergefälle: 1.3.5%

Benjamin Berger (KWO) / 16.10.2019



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)
- potentielle Fischunterstände

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone
- Lunzer Linie

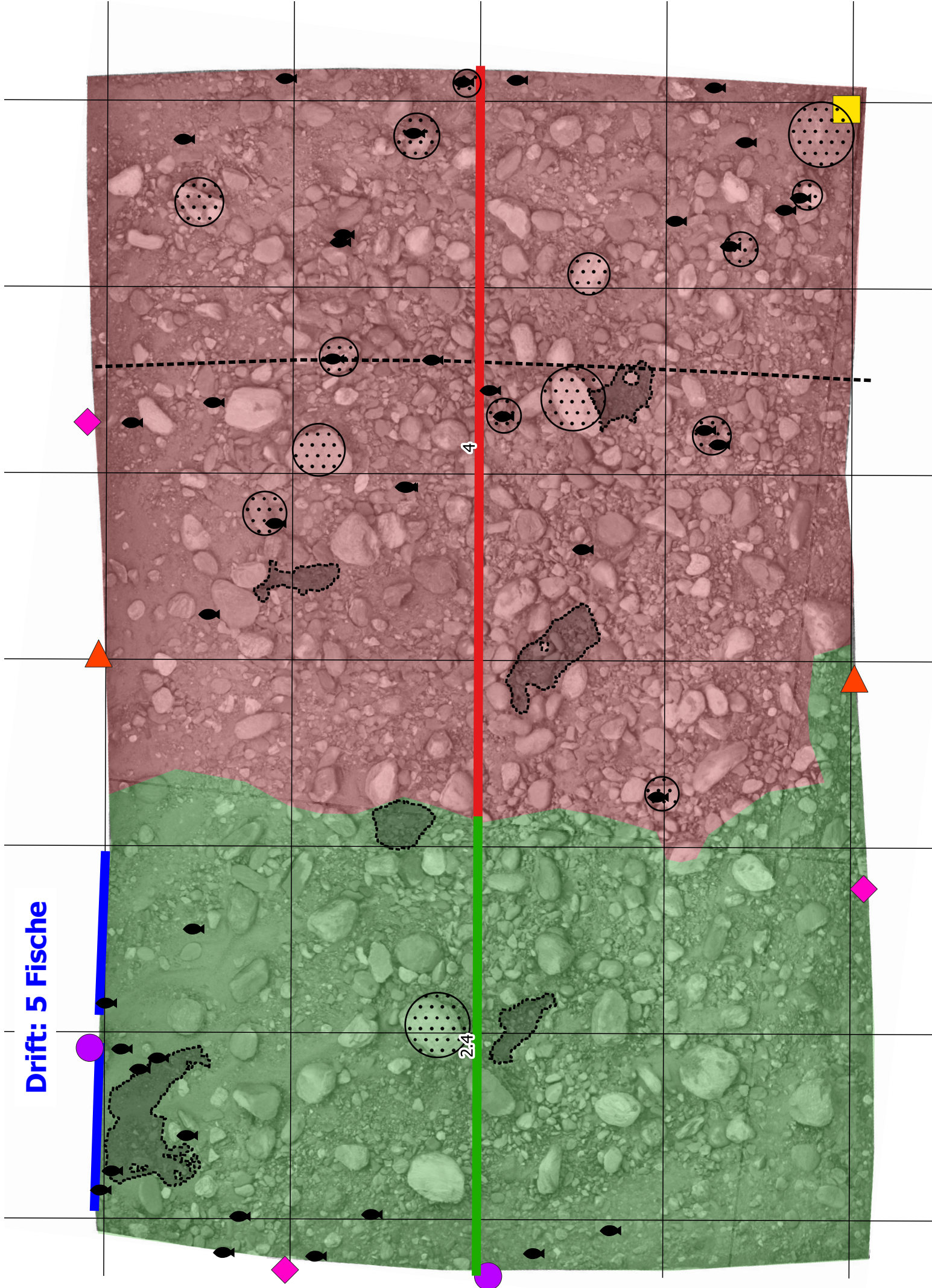
Längenanteile

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone



Hauptfliessrichtung

0 25 50 75 100 cm



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 11% (#5)

Sunkzone

Flächenanteil: 40% (10.3 m2)
Längenanteil: 38% (2.4 m)
Fischfunde: 30% (#14)
Fischfunddichte: 1.4 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 3%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 60% (15.8 m2)
Längenanteil: 62% (4.0 m)
Fischfunde: 59% (#27)
Fischfunddichte: 1.7 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 2%

Factsheet: Versuch Hasliaare 10

Gewässer: Hasliaare	Wassertemperatur: 7.5°C	Korndurchmesser (dm): 36mm
Versuchsstandort: 2'661'111 / 1'171'960	Wasser pH-Wert: 5	Korndurchmesser (d90): 95mm
Datum: 01.05.2019	Akklimationszeit: 60 min	Sandflächenanteil: 32%
Uhrzeit: 10.02 (Fischbeigabe)	Pegelrückgangsrate: 4 mm/min	Gefälle in Hauptfliessrichtung: 1.6%
Anzahl beigegebene Fische: 50	Wiederfindungsrate: 70% (35 Fische)	Quergefälle: 4.1%
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)	Fischlänge: 22-30 mm	

Benjamin Berger (KWO) / 16.10.2019



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)
- potentielle Fischunterstände

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

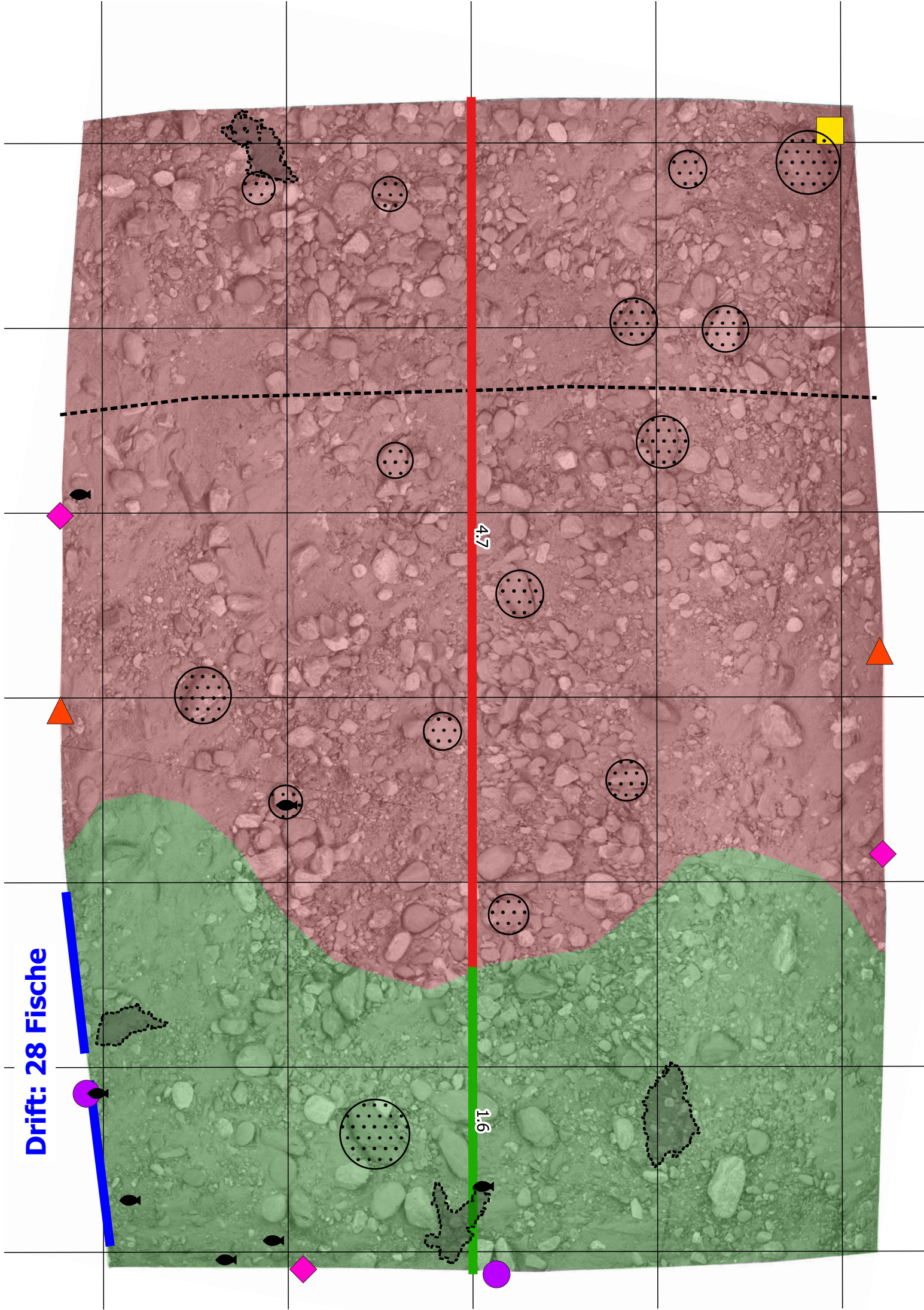
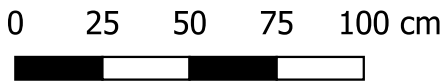
- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone
- Lunzer Linie

Längenanteile

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone



Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 80% (#28)

Sunkzone

Flächenanteil: 31% (8.5 m2)
Längenanteil: 25% (1.6 m)
Fischfunde: 14% (#5)
Fischfunddichte: 0.6 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 3%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 69% (18.8 m2)
Längenanteil: 75% (4.7 m)
Fischfunde: 6% (#2)
Fischfunddichte: 0.1 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Factsheet: Versuch Hasliaare 11

Gewässer: Hasliaare	Wassertemperatur: 10.4°C	Korndurchmesser (dm): 33mm
Versuchsstandort: 2'661'111 / 1'171'960	Wasser pH-Wert: 5	Korndurchmesser (d90): 98mm
Datum: 01.05.2019	Akklimatisationszeit: 60 min	Sandflächenanteil: 16%
Uhrzeit: 16.30 (Fischbeigabe)	Pegelrückgangsrate: 5 mm/min	Gefälle in Hauptfliessrichtung: 1.8%
Anzahl beigegebene Fische: 50	Wiederfindungsrate: 88% (44 Fische)	Quergefälle: 3.7%
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)	Fischlänge: 22-33 mm	

Benjamin Berger (KWO) / 16.10.2019



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)
- potentielle Fischunterstände

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

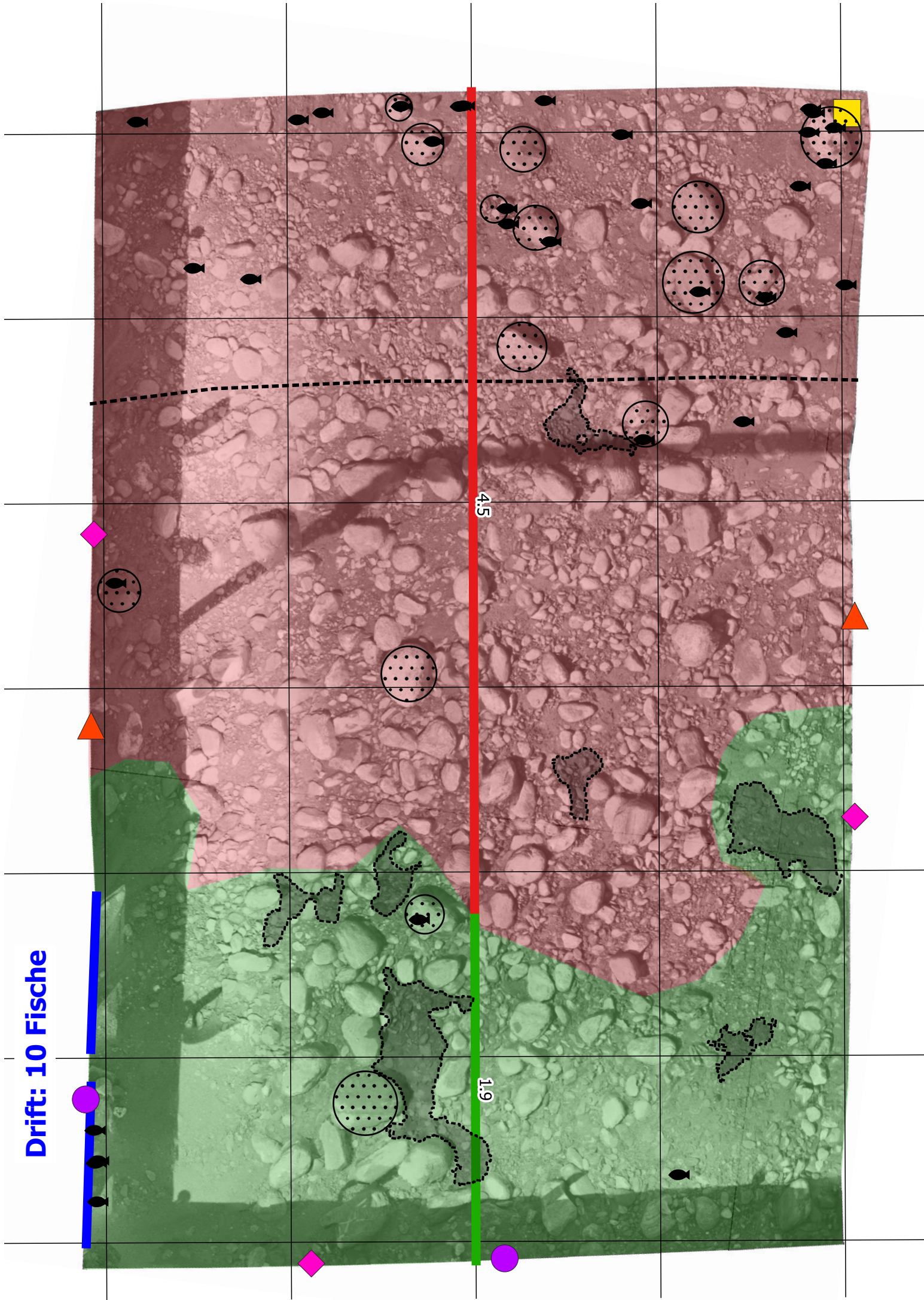
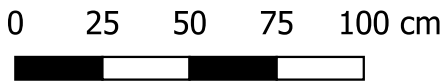
- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone
- Lunzer Linie

Längenanteile

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone



Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 22% (#10)

Sunkzone

Flächenanteil: 34% (8.8 m2)
Längenanteil: 30% (1.9 m)
Fischfunde: 14% (#6)
Fischfunddichte: 0.7 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 8%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 66% (17.2 m2)
Längenanteil: 70% (4.5 m)
Fischfunde: 64% (#28)
Fischfunddichte: 1.6 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 1%

Factsheet: Versuch Hasliaare 12

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'111 / 1'171'960
Datum: 02.05.2019
Uhrzeit: 14.47 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 10.5°C
Wasser pH-Wert: 5
Akklimationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 2 mm/min
Wiederfindungsrate: 82% (41 Fische)

Korndurchmesser (dm): 32mm
Korndurchmesser (d90): 96mm
Sandflächenanteil: 16%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.5%
Quergefälle: 3.7%

Fischlänge: 20-32 mm

Benjamin Berger (KWO) / 16.10.2019



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)
- potentielle Fischunterstände

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone
- Lunzer Linie

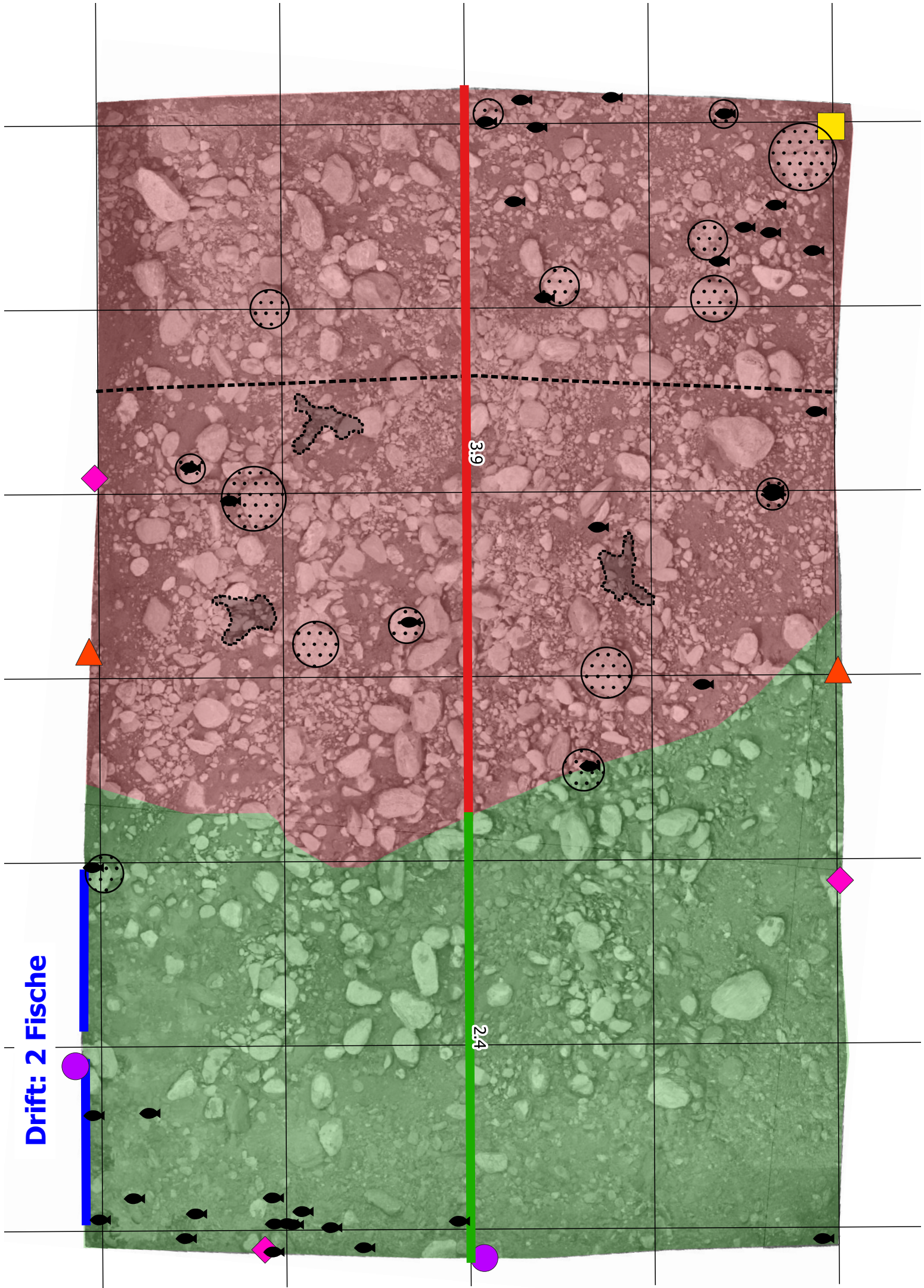
Längenanteile

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone



Hauptfliessrichtung

0 25 50 75 100 cm



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 5% (#2)

Sunkzone

Flächenanteil: 41% (10.5 m2)
Längenanteil: 38% (2.4 m)
Fischfunde: 41% (#17)
Fischfunddichte: 1.6 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 59% (15.1 m2)
Längenanteil: 62% (3.9 m)
Fischfunde: 54% (#22)
Fischfunddichte: 1.5 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 1%

Factsheet: Versuch Hasliaare 13

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'111 / 1'171'960
Datum: 06.05.2019
Uhrzeit: 10.06 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 6.7°C
Wasser pH-Wert: 5
Akklimationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 5 mm/min
Wiederfindungsrate: 98% (49 Fische)

Korndurchmesser (dm): 33mm
Korndurchmesser (d90): 92mm
Sandflächenanteil: 10%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 1.6%
Quergefälle: 3.4%

Fischlänge: 22-37 mm

Benjamin Berger (KWO) / 16.10.2019



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)
- potentielle Fischunterstände

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

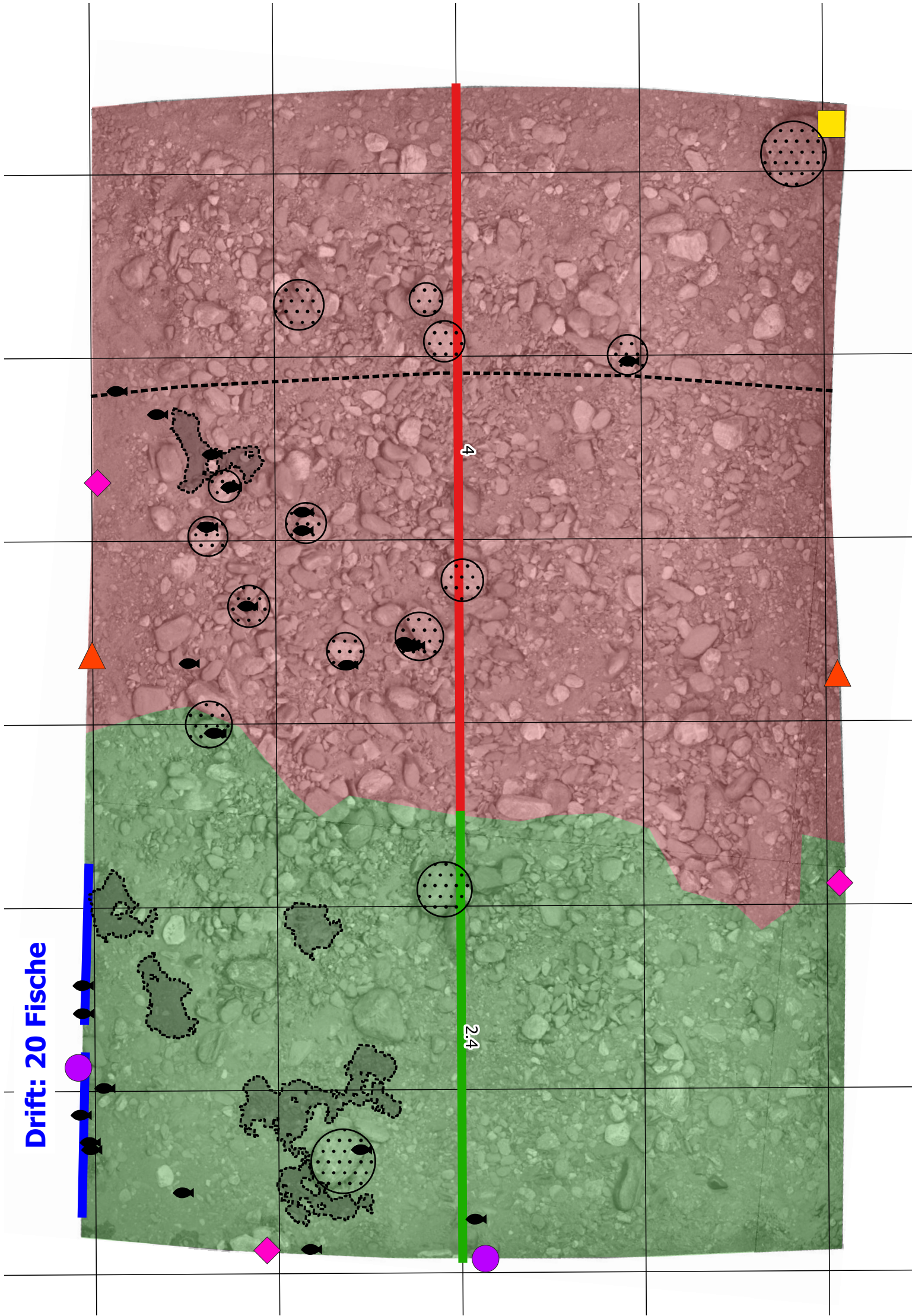
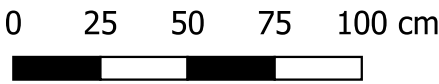
- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone
- Lunzer Linie

Längenanteile

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone



Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 41% (#20)

Sunkzone

Flächenanteil: 39% (10.1 m2)
Längenanteil: 38% (2.4 m)
Fischfunde: 24% (#12)
Fischfunddichte: 1.2 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 4%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 61% (15.9 m2)
Längenanteil: 62% (4.0 m)
Fischfunde: 35% (#17)
Fischfunddichte: 1.1 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 1%

Factsheet: Versuch Hasliaare 15

Gewässer: Hasliaare	Wassertemperatur: 9.1°C	Korndurchmesser (dm): 38mm
Versuchsstandort: 2'661'111 / 1'171'960	Wasser pH-Wert: 5.5	Korndurchmesser (d90): 113mm
Datum: 08.05.2019	Akklimatisationszeit: 60 min	Sandflächenanteil: 12%
Uhrzeit: 09.47 (Fischbeigabe)	Pegelrückgangsrate: 7 mm/min	Gefälle in Hauptfliessrichtung: 2.2%
Anzahl beigegebene Fische: 50	Wiederfindungsrate: 98% (49 Fische)	Quergefälle: 3.5%
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)	Fischlänge: 22-34 mm	

Benjamin Berger (KWO) / 16.10.2019



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)
- potentielle Fischunterstände

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

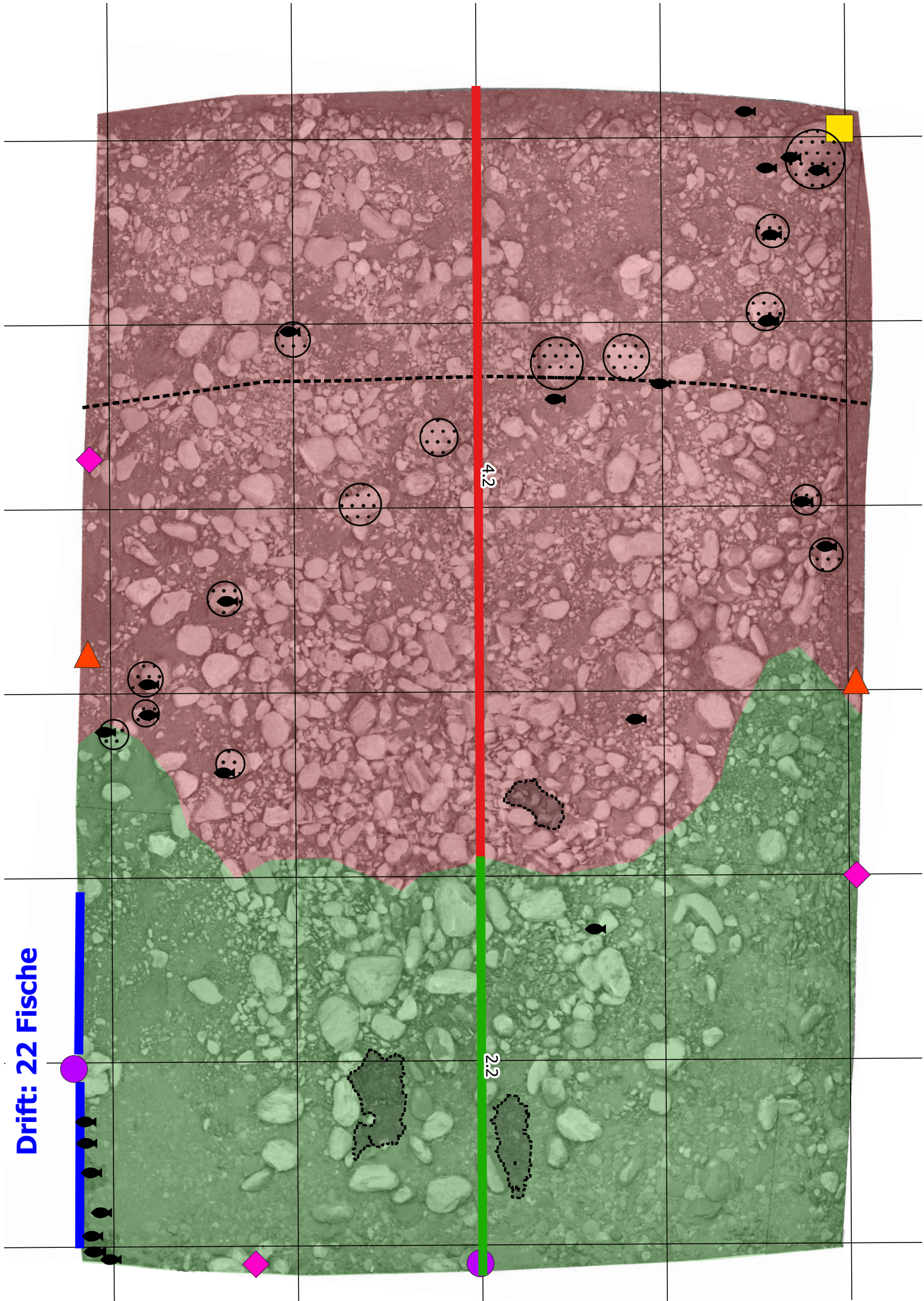
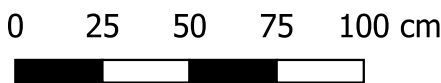
- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone
- Lunzer Linie

Längenanteile

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone



Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 45% (#22)

Sunkzone

Flächenanteil: 39% (10.3 m2)
Längenanteil: 34% (2.2 m)
Fischfunde: 20% (#10)
Fischfunddichte: 1.0 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 2%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 61% (16.4 m2)
Längenanteil: 66% (4.2 m)
Fischfunde: 35% (#17)
Fischfunddichte: 1.0 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0.3%

Factsheet: Versuch Hasliaare 16

Gewässer: Hasliaare	Wassertemperatur: 6.6°C	Korndurchmesser (dm): 38mm
Versuchsstandort: 2'661'111 / 1'171'960	Wasser pH-Wert: 5	Korndurchmesser (d90): 121mm
Datum: 15.05.2019	Akklimatisationszeit: 60 min	Sandflächenanteil: 10%
Uhrzeit:10.08 (Fischbeigabe)	Pegelrückgangsrate: 4 mm/min	Gefälle in Hauptfliessrichtung: 1.8%
Anzahl beigegebene Fische: 50	Wiederfindungsrate: 94% (47 Fische)	Quergefälle: 3.4%
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)	Fischlänge: 24-35 mm	

Benjamin Berger (KWO) / 16.10.2019



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)
- potentielle Fischunterstände

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

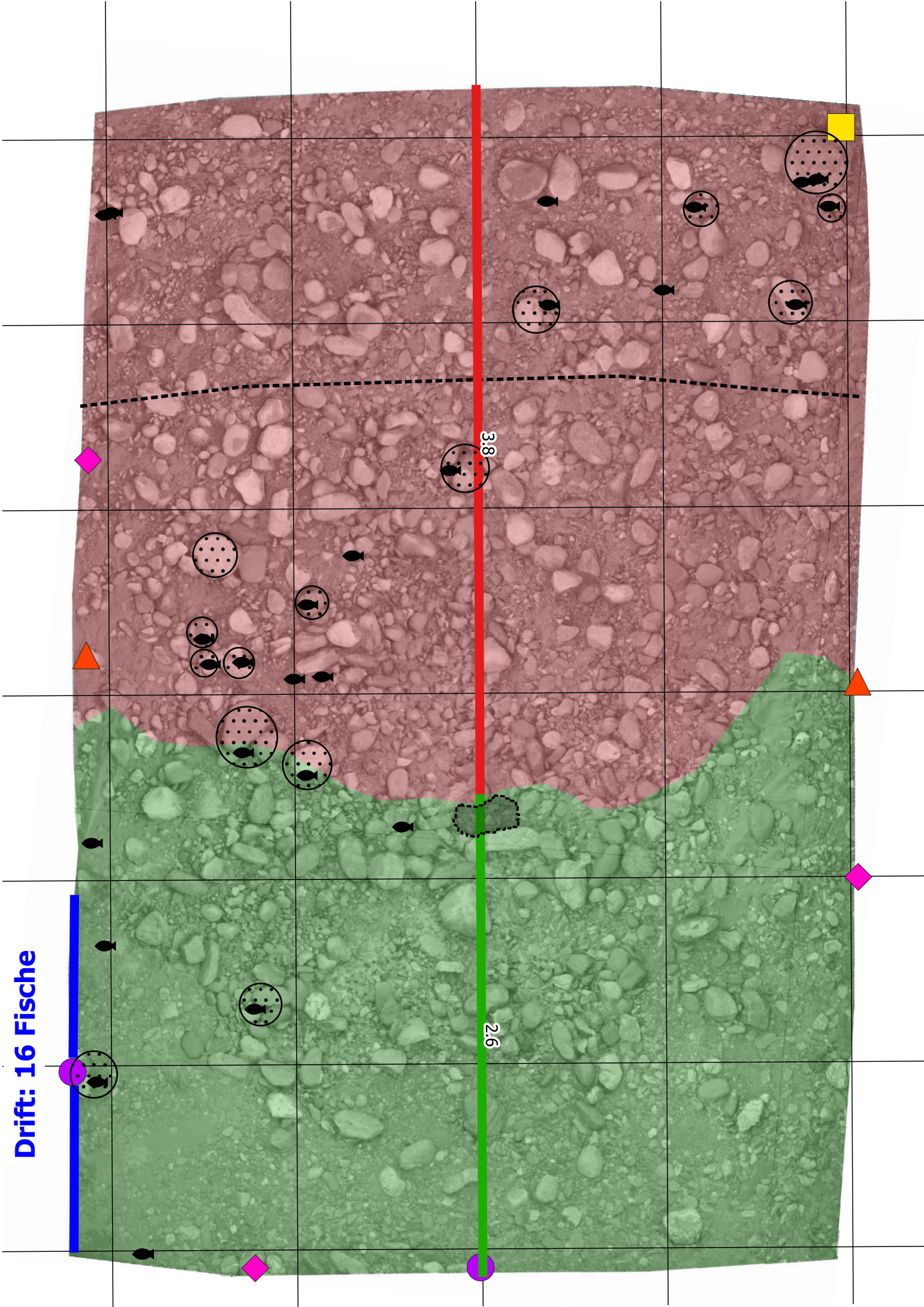
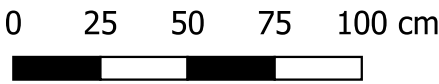
- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone
- Lunzer Linie

Längenanteile

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone



Hauptfliessrichtung



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 34% (#16)

Sunkzone

Flächenanteil: 44% (11.6 m2)
Längenanteil: 41% (2.6 m)
Fischfunde: 28% (#13)
Fischfunddichte: 1.1 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0.4%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 56% (15.0 m2)
Längenanteil: 59% (3.8 m)
Fischfunde: 38% (#18)
Fischfunddichte: 1.2 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 0%

Factsheet: Versuch Hasliaare 17

Gewässer: Hasliaare
Versuchsstandort: 2'661'111 / 1'171'960
Datum: 15.05.2019
Uhrzeit: 14.57 (Fischbeigabe)
Anzahl beigegebene Fische: 50
Fischherkunft: Gadmerwasser (Wildfische)

Wassertemperatur: 8.1°C
Wasser pH-Wert: 5
Akklimationszeit: 60 min
Pegelrückgangsrate: 2 mm/min
Wiederfindungsrate: 98% (49 Fische)

Korndurchmesser (dm): 39mm
Korndurchmesser (d90): 128mm
Sandflächenanteil: 33%
Gefälle in Hauptfliessrichtung: 1.8%
Quergefälle: 2.6%

Fischlänge: 24-35 mm

Benjamin Berger (KWO) / 16.10.2019



Legende

- Fischfundorte
- Beigabeort
- Driftreusen
- Mulden (>0.05 m2)
- potentielle Fischunterstände

Messsystem

- Drucksonden
- Kameras
- Pegel

Zonen

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone
- Lunzer Linie

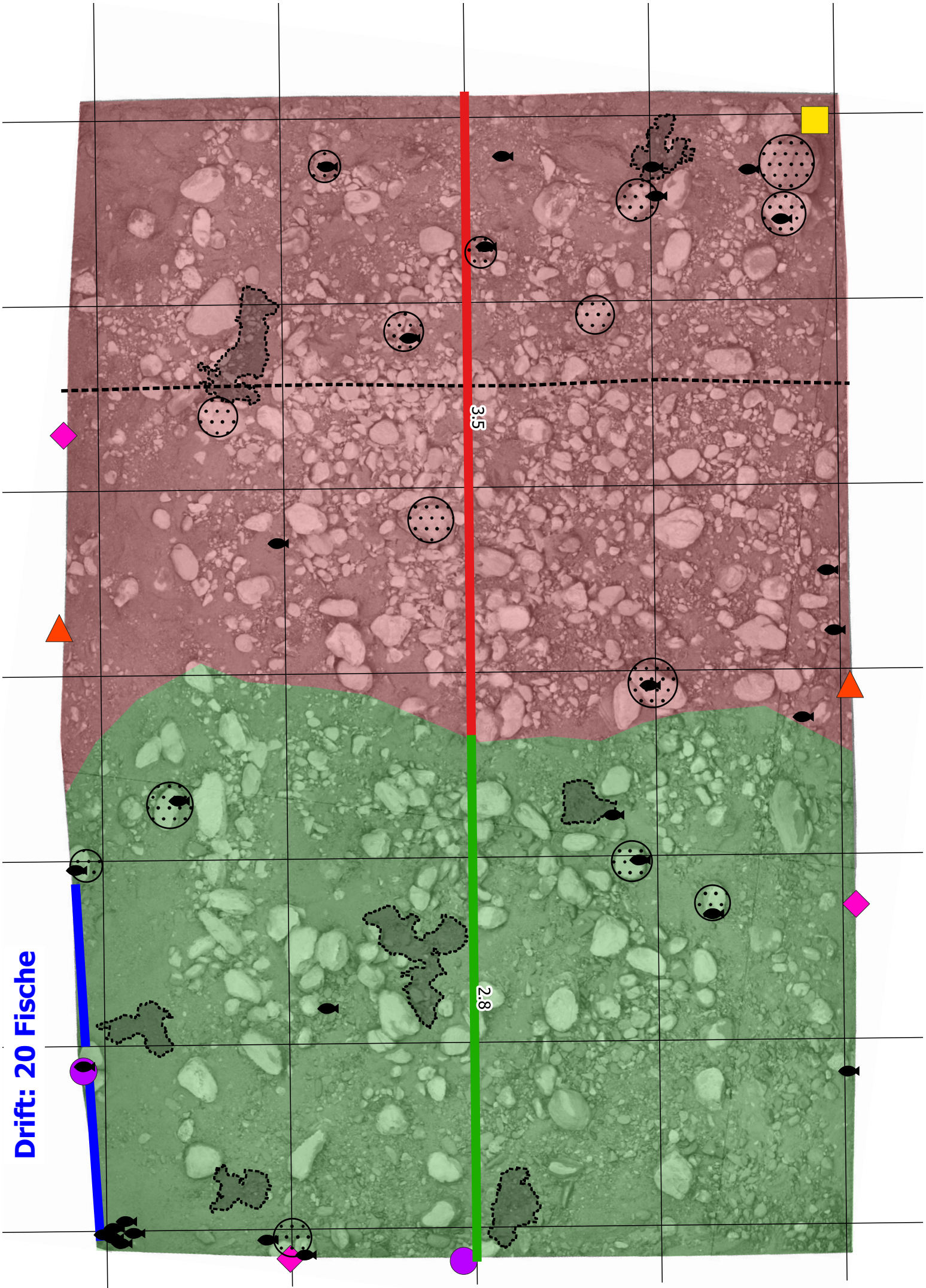
Längenanteile

- auswertbare Wasserwechselzone
- Sunkzone



Hauptfliessrichtung

0 25 50 75 100 cm



Beobachtungen

Drift

Fischfunde: 40% (#20)

Sunkzone

Flächenanteil: 47% (12.3 m2)
Längenanteil: 44% (2.8 m)
Fischfunde: 33% (#16)
Fischfunddichte: 1.3 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 3%

Wasserwechselzone

Flächenanteil: 53% (14.1 m2)
Längenanteil: 56% (3.5 m)
Fischfunde: 27% (#13)
Fischfunddichte: 0.9 Fische/m2
Flächenanteil Mulden: 1%

9.2 Alternatives Flussdiagramm inkl. Beschreibung

In der Abbildung 72 ist ein Flussdiagramm abgebildet, welches den Strandrungsprozess als Prozessablauf umschreibt. Dabei bildet der Fisch, welcher eine Schwallphase und eine Pegelrückgangphase erlebt die Systemgrenze. In diesem System kann der Fisch entweder stranden (rot), überleben (grün) oder verdriften (blau). Für die Erstellung der einzelnen Elemente waren die beschriebenen Resultate (vgl. Kap. 5) entscheidend. Zum Beispiel wird in Kapitel 5.3.4 beschrieben, dass die Fließgeschwindigkeit ein resultierender Einfluss auf das Strandungsverhalten hat. Dieser Einflussgrösse ist für die Habitateignung eines Standortes entscheidend. Aus diesem Grund wurde das Element "Habitat geeignet?" als Knotenpunkt in das Flussdiagramm integriert. Weiter spielt im Flussdiagramm der Knotenpunkt "Standort in WWZ?" eine zentrale Rolle, was die eindeutigen Resultate aus Kapitel 5.3.3 widerspiegelt. Massgebend für die Erstellung des Flussdiagramms waren auch die Beobachtungen hinsichtlich des Verhaltens der Fische (vgl. Kap. 5.4). Dabei spielt die Beobachtung, dass Fische erst reagieren wenn sich die Wassertiefe (h) im aktuellen Habitat auf die einfache Körperhöhe der larvalen Forellen senkt, eine bedeutende Rolle. Während der Pegelrückgangphase kann ein Fisch mehrfach damit konfrontiert werden, dass sich die Wassertiefe am jeweiligen Standort unter die einfache Körperhöhe verringert. Dies führt wiederum zu einem Standortwechsel oder im Falle von fehlendem Wanderkorridor (z.B. in einer Mulde oder Unterstand) zum Stranden. Je grösser die Wasserwechselzone umso häufiger muss der Fische seinen Standort verlegen und ist der Strandungsgefahr ausgesetzt (dieser Prozess ist in Abbildung 72 mit den Mehrfachpfeilen dargestellt). Die Abbildung 70 stellt den Strandrungsprozess eines einzigen Schwall-Sunk Ereignisses dar. In Schwall-Sunk Strecken sind die Fische diesem Prozess teilweise mehrmals täglich ausgesetzt.

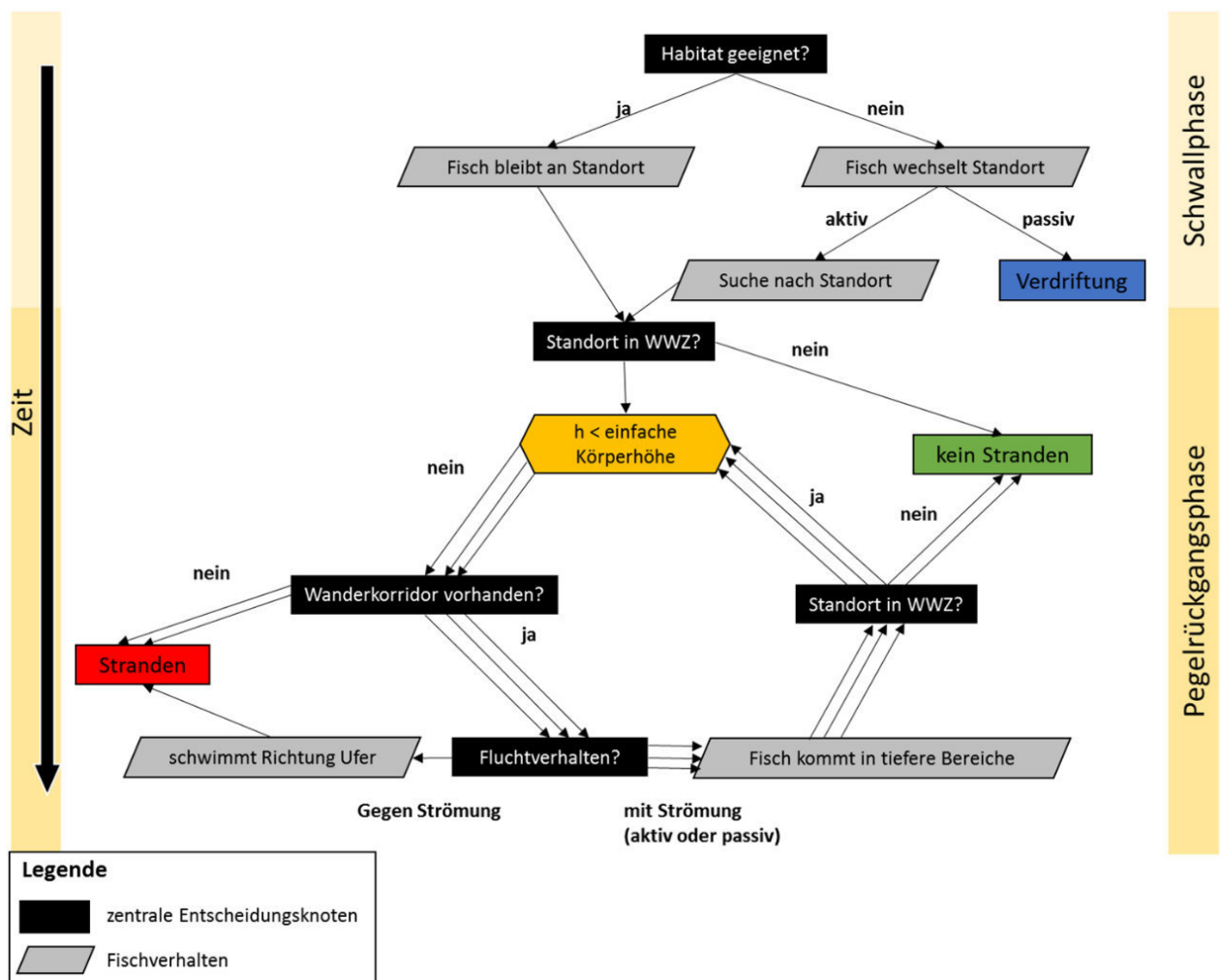
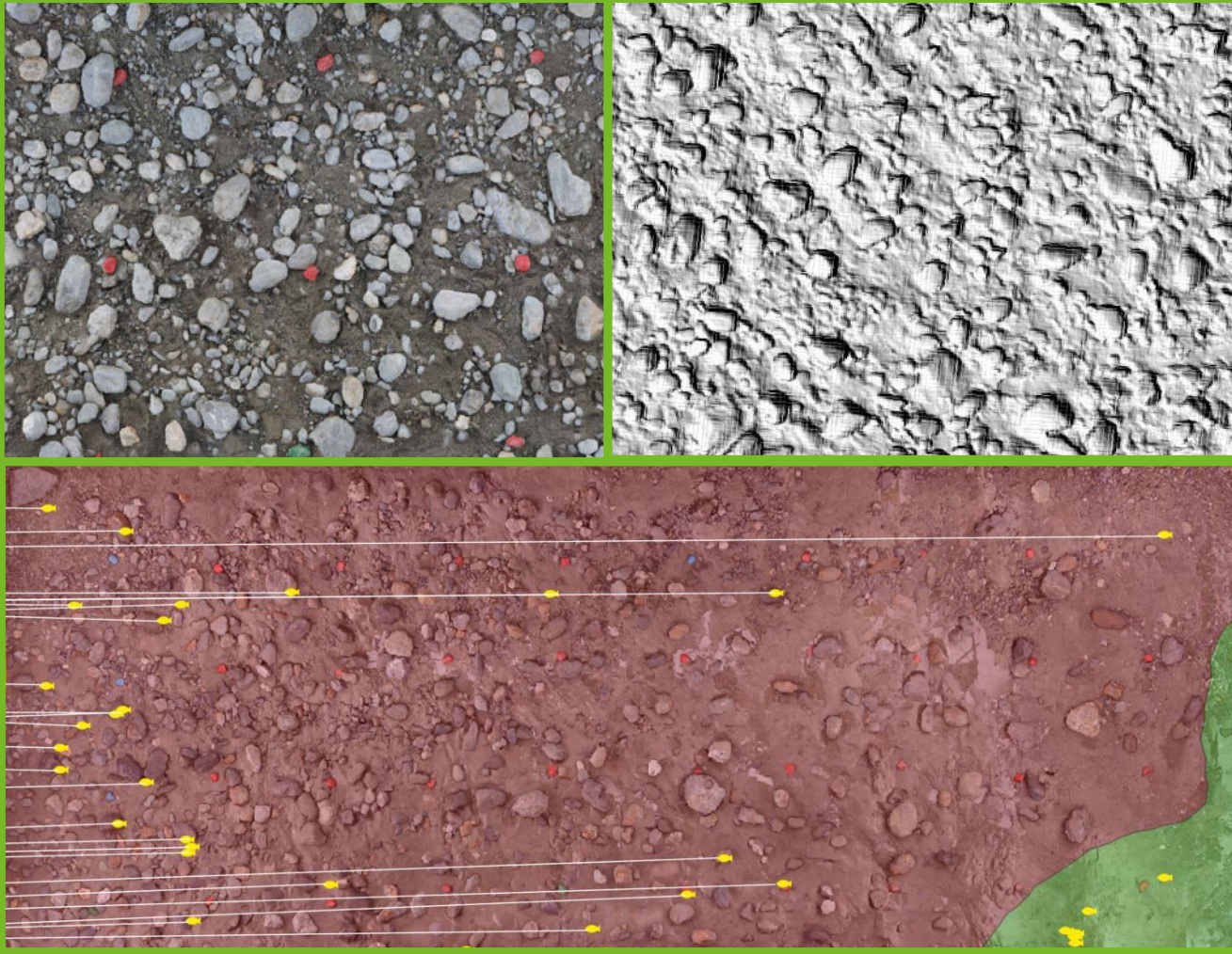


Abb. 72: Flussdiagramm Strandrungsprozesses während einem Schwall-Sunk "Durchgang"

8.3 Bachelorarbeit zur Auswertung der Strandungsversuche von 2021 (Robin Hochgesand)



Einfluss der Schwall-Sunk sensitiven Parameter
Wasserwechselzone und Pegelrückgangsrate
auf das Stranden von
wild emergierten Forellenlarven (*Salmo trutta*)

Bachelorarbeit

Robin Hochgesand

Innertkirchen, Januar 2022



WEIHENSTEPHAN · TRIESDORF
University of Applied Sciences



Hochschule Weihenstephan – Triesdorf

Fakultät Umweltingenieurwesen

Studiengang Umweltsicherung

B a c h e l o r a r b e i t

**Einfluss der Schwall-Sunk sensitiven Parameter
Wasserwechselzone und Pegelrückgangsrage auf das
Stranden von wild emergierten Forellenlarven (*Salmo trutta*)**

eingereicht von:
Erstkorrektor:
Zweitkorrektor:
Tag der Abgabe:

Robin Hochgesand
Prof. Dr. Andreas Hoffmann
Benjamin Berger
14.01.2022

Danksagung

Vielen Dank an Prof. Dr. Andreas Hoffmann, der die Betreuung meiner Bachelorarbeit übernahm und mir jeglichen Freiraum bei der Erstellung der Arbeit gewährte.

Ganz besonders möchte ich mich bei der gesamten Fachstelle Ökologie der Kraftwerke Oberhasli AG für die Zeit, die Unterstützung und viele Cafés bedanken:

... bei Steffen Schweizer für die Möglichkeit der Mitarbeit im Projekt und die Ermöglichung meiner Bachelorarbeit sowie konstruktiven Diskussionen v.a. in der Endphase der Auswertung,

... bei Matthias Meyer für das fachliche Feedback zum Fischverhalten sowie allgemein sehr viele lehrreiche Stunden im Büro und am Wasser,

... bei Jan Baumgartner und Sandro Schläppi, die mir beim methodischen Vorgehen bezüglich der Auswertung und der Fragestellung wichtige Tipps gaben,

... und natürlich bei Benjamin Berger, der die Betreuung meiner Bachelorarbeit seitens der KWO übernahm. Vielen Dank, dass du dir immer Zeit für mich genommen hast, mich in die Messtechnik und Auswertungsmethoden eingeführt hast und wir jederzeit über verschiedene Ansichten und Problemstellungen offen diskutieren konnten.

Meinen Kommilitonen möchte ich für die Versorgung mit allen wichtigen Infos im Laufe des Studiums danken.

Und zu guter Letzt sind die zwei wichtigsten Menschen zu erwähnen, ohne die ich niemals am heutigen Punkt angekommen wäre. Euch gebührt ein besonderer Dank!

... meine Freundin, die während der Projektphase erneut auf mich verzichten musste, mir während der Erstellung dieser Bachelorarbeit den Rücken freigehalten hat und mich bei allem unterstützt!

... und mein Vater, der verständlicherweise nicht jede meiner Entscheidungen versteht, wenn ich sie getroffen habe, aber immer hinter mir steht!

Danke auch allen anderen, die mich auf meinen Wegen begleiten!

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	VIII
1 Zusammenfassung	- 1 -
2 Einleitung	- 3 -
2.1 Einleitung in die Thematik	- 3 -
2.2 Sanierungspraxis in der Schweiz.....	- 4 -
2.3 Einordnung der Arbeit.....	- 5 -
3 Literaturübersicht.....	- 6 -
3.1 Einfluss der Pegelrückgangsrage	- 8 -
3.2 Einfluss der Wasserwechselzone.....	- 9 -
3.3 Kombierter Einfluss aus Pegelrückgangsrage und Wasserwechselzone.-	10 -
3.4 Einfluss weiterer Parameter	- 10 -
3.5 Fischverhalten während des Pegelrückgangs	- 11 -
4 Fragestellung und Hypothesen.....	- 12 -
5 Material und Methoden.....	- 13 -
5.1 Versuchsaufbau und Versuchsablauf	- 13 -
5.2 Definition von strandungsspezifischen Kenngrößen.....	- 14 -
5.3 Erstellung der Orthofotos	- 16 -
5.4 Kartierung und Auswertung der Wasserwechselzone	- 17 -
5.5 Berechnung der Pegelrückgangsrage	- 19 -
5.6 Statistische Analyse der verschiedenen Parameter.....	- 21 -
5.7 Beobachtungen zum Fischverhalten	- 22 -
6 Ergebnisse.....	- 24 -
6.1 Einordnung in die Aggregationsmatrix nach TONOLLA ET AL. (2017)	- 25 -
6.2 Einfluss der Pegelrückgangsrage	- 26 -
6.3 Einfluss der Wasserwechselzone.....	- 29 -
6.4 Kombierter Einfluss aus Pegelrückgangsrage und Wasserwechselzone.-	32 -
6.5 Beobachtungen zum Fischverhalten	- 37 -
7 Diskussion	- 38 -
7.1 Methodik	- 38 -
7.1.1 Pegelrückgangsrage	- 39 -
7.1.2 Wasserwechselzone.....	- 39 -
7.1.3 Beobachtung zum Fischverhalten	- 39 -
7.2 Ergebnisse	- 40 -

VI

7.2.1	Einfluss der Pegelrückgangsrates	- 40 -
7.2.2	Einfluss der Wasserwechselzone	- 41 -
7.2.3	Kombinierter Einfluss der Pegelrückgangsrates und der Wasserwechselzone	- 42 -
7.2.4	Beobachtungen zum Fischverhalten	- 43 -
8	Schlussfolgerung	- 45 -
9	Ausblick	- 46 -
10	Literaturverzeichnis	- 47 -
11	Anhang	- 50 -
11.1	Anhang I - Messungen der Pegelsonden	- 50 -
11.2	Anhang II - Versuchsflächen mit Zonen und Fischfundorten	- 53 -

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus [Eigene Darstellung nach SCHWEIZER ET AL. (2020)]	14 -
Abbildung 2: Beispielhafte Darstellung der Aufnahmeorte (blaue Vierecke) zur Erstellung des Orthofotos und des Digital Elevation Modells.	16 -
Abbildung 3: Ausschnitt eines Orthofotos (links) und eines Digital Elevation Modells (rechts) der Versuchsfläche	17 -
Abbildung 4: Digitalisierung der Wasserwechselzone und der Sunkzone auf Grundlage eines Orthofotos.....	18 -
Abbildung 5: Beispielhafte Darstellung der Strandungsdistanz der einzelnen Versuchsfische zur Grundlinie des Käfigs. Mittels Feldaufnahmen kann die Fläche in Wasserwechselzone (rot) und Sunkzone (grün) eingeteilt werden.	19 -
Abbildung 6: Darstellung der bereinigten Pegelrückgangsrates aus Messungen der Sonde 1.	20 -
Abbildung 7: Aufbau eines Boxplots.....	21 -
Abbildung 8: Aufgrund der berechneten Distanz der gestrandeten Fische kann für jede geringere Ausdehnung der Wasserwechselzone der Strandungsanteil bestimmt werden.	22 -
Abbildung 9: Aggregationsmatrix zur Gesamtbewertung nach VZH-M. [Eigene Darstellung nach TONOLLA ET AL. (2017)].....	26 -
Abbildung 10: Streudiagramm mit Trendlinie der Pegelrückgangsrates in Bezug auf den Strandungsanteil. Die Zonen entlang der X-Achse entsprechen der Wertefunktion der Pegelrückgangsrates gemäss VZH-M.	27 -
Abbildung 11: Einteilung der Versuchsreihe in Gruppe 1 und 2 (links) sowie Darstellung der Boxplots in Bezug auf den Strandungsanteil (rechts).	28 -
Abbildung 12: Einteilung der Versuchsreihe in Gruppe 3 und 4 (links) sowie Darstellung der Boxplots in Bezug auf den Strandungsanteil (rechts).	28 -
Abbildung 13: Summenkurven der gestrandeten Fische. Die Summenkurven starten beim ersten und enden beim letzten gestrandeten Fisch.	29 -
Abbildung 14: Summenkurven der gestrandeten Fische mit Einordnung in die Wertefunktion für trockenfallende Flächen nach VZH-M.	30 -
Abbildung 15: Darstellung der Boxplots des Flächenanteils der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil.	31 -
Abbildung 16: Darstellung der Boxplots der Länge der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil.	32 -
Abbildung 17: Summenkurven der Versuchsreihe. Die Farben der Summenkurven entsprechen der jeweiligen Bewertung der Pegelrückgangsrates nach VZH-M. Die Zonen entlang der X-Achse entsprechen der Wertefunktion der Wasserwechselzone gemäss VZH-M.	33 -
Abbildung 18: Summenkurven der Versuchsreihe. Die Farben der Summenkurven entsprechen der jeweiligen Bewertung der Pegelrückgangsrates nach VZH-M.	34 -
Abbildung 19: Boxplots der Gruppe 1 und Gruppe 2 für verschiedene Flächenanteile der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil.	34 -
Abbildung 20: Boxplots der Gruppe 1 und Gruppe 2 für verschiedene Längen der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil.	35 -
Abbildung 21: Boxplots der Gruppe 3 und 4 für verschiedene Flächenanteile der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil.	36 -

VIII

Abbildung 22: Boxplots der Gruppe 3 und 4 für verschiedene Längen der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil.....	- 37 -
--	--------

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Literatur geordnet nach Fischart	- 7 -
Tabelle 2: Wertefunktionen der Pegelrückgangsraten für larvale Äschen und Bachforellen bei Tageslicht	- 8 -
Tabelle 3: Wertefunktion für trockenfallende Flächen.....	- 10 -
Tabelle 4: Strandungsspezifische Kenngrößen der Versuchsreihe	- 24 -
Tabelle 5: Messergebnisse der abiotischen Parameter der Versuchsreihe. Die Pegelrückgangsraten sind nach der jeweiligen Bewertung nach VZH-M eingefärbt. .	- 25 -
-	
Tabelle 6: Matrix des kombinierten Einflusses aus Pegelrückgangsraten und Wasserwechselzone.....	- 44 -
Tabelle 7: Graphiken der gemessenen Pegelrückgangsraten.....	- 50 -
Tabelle 8: Übersicht der Versuchsflächen mit Einteilung der Zonen und Fischfundorten	- 53 -

1 Zusammenfassung

Wasserkraftanlagen mit Speicherhaltung erzeugen im Vorfluter Schwall-Sunk-Effekte. Ein daraus resultierender ökologisch negativer Effekt ist das Stranden von Fischen (vor allem larvaler und juveniler Salmoniden) auf der trockenfallenden Wasserwechselzone während der Sunk-Phase. Schweizweit sind ca. 100 Kraftwerksanlagen nach Art. 39a des Schweizerischen Gewässerschutzgesetzes (GSchG) bezüglich wesentlicher Beeinträchtigungen durch Schwall-Sunk sanierungspflichtig. Um das Stranden von Fischen besser zu verstehen, führte die Fachstelle Ökologie der Kraftwerke Oberhasli (KWO) im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU) Strandungsversuche nach der von SCHWEIZER ET AL. (2020) entwickelten Methode mit wild emergierten Forellenlarven (Alter = wenige Tage bis Wochen nach Emergenz) in der Restwasserstrecke der Hasliaare durch und erfasste die abiotischen Faktoren.

Vom 16.04.2021 bis zum 28.05.2021 wurden 18 Strandungsversuche durchgeführt. Die durchschnittliche Wiederfinderate der Fische lag bei 98 %. Die untersuchten Pegelrückgangsraten schwankten von 0,02 bis 4,18 cm/min und der Anteil der Wasserwechselzone von 67 % bis 96 %. Der Strandungsanteil der Forellenlarven lag bei den Versuchen bei 0 % bis 100 %. Mit schnellerer Pegelrückgangsraten nahm der Strandungsanteil zu, wobei eine große Streuung im Bereich 0,1 bis 1,0 cm/min vorlag. Pegelrückgangsraten < 0,1 cm/min bedingten einen sehr geringen Strandungsanteil. Mit zunehmender Wasserwechselzone nahm der Strandungsanteil zu. Aufgrund der großen Streuung scheint der Einfluss der Wasserwechselzone stark von weiteren Parametern beeinflusst zu werden. Ein negativer Synergieeffekt zeigte sich bei Pegelrückgangsraten $\geq 1,0$ cm/min sowie einer zunehmenden Wasserwechselzone. Das Verhalten der Versuchsfische während des Pegelrückgangs unterstützt die Aussagen bezüglich negativer Effekte der untersuchten Parameter.

Abstract

Hydroelectric power plants with storage create hydropeaking effects in the receiving water. A resulting ecological negative effect is the stranding of fish (especially larval and juvenile salmonids) on the dry water exchange zone during the low flow. Throughout Switzerland, about 100 power plants are subject to remediation according to Art. 39a of the Swiss Water Protection Act (GSchG) with regard to significant impairments caused

by hydropeaking. To better understand fish stranding, the Ecology Department of Kraftwerke Oberhasli AG conducted stranding experiments with wild emerged trout larvae (age = few days to weeks after emergence) in the residual water stretch of the Hasliaare and the abiotic factors were recorded.

From 04/16/2021 to 05/28/2021, 18 stranding trials were conducted. The average recovery rate was 98%. The studied level recession rates varied from 0.02 to 4.18 cm/min and the percentage of water exchange zone from 67 % to 96 %. The stranding percentage of trout larvae ranged from 0 % to 100 %. The stranding percentage increased with faster rate of level decline, with a large scatter in the range 0.1 to 1.0 cm/min. Level recession rates under 0.1 cm/min caused a very low stranding fraction. As the water change zone increased, the stranding fraction increased. Due to the large scatter, the influence of the water change zone seems to be strongly influenced by other parameters. A negative synergistic effect was seen at level drop rates ≥ 1.0 cm/min as well as an increasing water exchange zone. The behavior of the experimental fish during the water level drop supports the statements regarding negative effects of the investigated parameters.

2 Einleitung

2.1 Einleitung in die Thematik

Im Betrieb von Wasserkraftwerken mit Speicherhaltung gibt es zwei Phasen, welche ein Fließgewässer beeinflussen. Während der Stromproduktion wird eine bestimmte Wassermenge aus den Speicherseen turbinert und anschließend in den Vorfluter geleitet. Dadurch steigt der Pegel im Fließgewässer unterhalb der Einleitung an (Schwall-Phase). Bei einer Reduktion der turbinerten Wassermenge fällt der Pegel in der Schwallstrecke (Sunk-Phase). Diese Phasen wechseln sich im Tagesverlauf mehrmals ab. Die Ausprägung und Häufigkeit der Ereignisse sind während Zeiträumen mit hohem Energiebedarf am größten.

Durch von Wasserkraftanlagen verursachte Schwall-Sunk-Ereignisse können verschiedene ökologische Probleme auftreten. Eine kurzfristige Erhöhung der Abflüsse und Fließgeschwindigkeiten kann vermehrte Drifteffekte von Wasserlebewesen, Habitatverluste oder Temperaturschwankungen auslösen (CUSHMAN, 1985). Das Stranden von larvalen und juvenilen Fischen auf trockenfallenden Gewässerbereichen während der Sunkphase wird dabei als größter negativer Einfluss durch die Wasserkraft auf die Fischpopulation gesehen (SCHMUTZ ET AL., 2013; YOUNG ET AL., 2011).

Die Wasserwechselzone beschreibt die bei einem Sunkereignis trockenfallende Fläche. Aufgrund von Einflüssen verschiedener Parameter während des Sunkereignisses können Fische dem sich zurückziehenden Wasser nicht folgen und stranden. Durch Sauerstoffmangel, Austrocknung oder einen Temperaturschock können letale oder subletale Folgen auftreten (DONALDSON ET AL., 2008; IRVINE ET AL. 2015; SABO ET AL., 1999). Weiterhin kann ein kurzzeitiges Strandungsereignis eine geschwächte allgemeine Fitness und gestörte metabolische Prozesse der einzelnen Individuen nach sich ziehen (EVANS, 2007; KORMAN AND CAMPANA, 2009; STRADMEYER ET AL., 2008). Ein hoher Strandungsanteil von Fischlarven und juvenilen Fischen führt zu einem geringen Jungfischaufkommen. Dies kann eine verminderte Migration in andere Gewässerabschnitte und dadurch einen Verlust an genetischem Austausch nach sich ziehen (KOHLER, SHEENAN & SWEATMAN, 1993; SMITH ET AL., 2007).

2.2 Sanierungspraxis in der Schweiz

Inhaber von Wasserkraftanlagen werden durch Art. 39a des Schweizerischen Gewässerschutzgesetzes (GSchG) dazu verpflichtet, wesentliche negative Beeinträchtigungen durch Schwall-Sunk bei bestehenden Kraftwerksanlagen zu vermindern und bei Neuanlagen auszuschließen. Nach Artikel 41e der Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201) liegt eine wesentliche Beeinträchtigung vor, "wenn die Abflussmenge bei Schwall mindestens 1,5-mal grösser ist als bei Sunk **und** gleichzeitig die standortgerechte Menge, Zusammensetzung und Vielfalt der pflanzlichen und tierischen Lebensgemeinschaften nachteilig verändert werden" (TONOLLA ET AL., 2017 S. 24).

Untersuchungen der Kantone auf Grundlage der Vollzugshilfe "Schwall-Sunk – Strategische Planung" ergaben, dass schweizweit circa 100 Kraftwerksanlagen in Bezug auf Schwall-Sunk sanierungspflichtig sind (BAUMANN, KIRCHHOFFER & SCHÄLCHLI, 2012). Dies betrifft rund 1000 km Fließgewässerlänge, wobei aufgrund ihres hohen energetischen Potenzials vor allem (vor-)alpine Gewässer betroffen sind ([HTTPS://WWW.BAFU.ADMIN.CH/BAFU/DE/HOME/THEMEN/WASSER/FACHINFORMATIONEN/ZUSTAND-DER-GEWAESSER/ZUSTAND-DER-FLIESSGEWAESSER/WASSERFUEHRUNG-UND-ABFLUSSREGIME-DER-FLIESSGEWAESSER.HTML#1983064619](https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-der-fluessgewaesser/wasserfuehrung-und-abflussregime-der-fluessgewaesser.html#1983064619), 06.10.2021 12:30 UHR).

In erster Linie soll die Verminderung bzw. Verhinderung der wesentlichen Beeinträchtigungen durch bauliche Maßnahmen (z.B. Direktableitung in den See oder vorgeschaltetes Beruhigungsbecken) geschehen. Ist dies nicht möglich oder nicht verhältnismäßig, kann der Inhaber diese Beeinträchtigungen auf Antrag auch über betriebliche Maßnahmen (Steuerung der Wasserrückgabe) bzw. eine Kombination aus betrieblichen und baulichen Maßnahmen vermindern bzw. verhindern (SCHWEIZER ET AL., 2019). Durch ein Variantenstudium muss der Inhaber verschiedene Sanierungsmaßnahmen ausarbeiten. Im Anschluss wird durch den Kanton für jede Anlage die geeignetste Maßnahme bestimmt (Bestvariante). Nach der Sanierung muss die Mehrheit der Kernindikatoren im *sehr guten* oder *guten* Zustand liegen und es darf kein Kernindikator schlechter als *mässig* bewertet werden. Spätestens zum Jahr 2030 muss mit der Umsetzung der Maßnahme begonnen werden (TONOLLA ET AL., 2017).

Um die erforderlichen Variantenstudien effizient und zielgerichtet vorzunehmen hat der Bund eine Vollzugshilfe erarbeitet. In dieser Vollzugshilfe "Schwall-Sunk – Maßnahmen" (VZH-M) sind verschiedene Indikatoren gelistet, mit deren Hilfe der Einfluss von Schwall-Sunk auf das Gewässer untersucht werden kann. Diese werden je nach Eignung für eine Defizitanalyse, Prognose und Wirkungskontrolle herangezogen. Die Indikatoren werden je nach Schwall-Sunk Sensitivität in vier Klassen (Kernindikatoren, Schwall-Sunk sensitive Indikatoren, Breitbandindikatoren, Zusatzindikatoren) eingeteilt (TONOLLA ET AL., 2017).

Der Indikator "F2* Stranden von Fischen" wird als Kernindikator gelistet, da er Schwall-Sunk sensitiv ist. Dieser ist für eine Defizitanalyse, Prognose und Wirkungskontrolle geeignet. Der Indikator F2* wird durch zwei Kriterien (Pegelrückgangsrate und Wasserwechselzone) mittels Wertefunktion bewertet. Bei der Bewertung der Pegelrückgangsrate ist die Fischart (*Salmo trutta* oder *Thymallus thymallus*), das Altersstadium (larval oder juvenil) sowie die Tageszeit (Tag oder Nacht) zu berücksichtigen (TONOLLA ET AL., 2017).

Da das Entstehen von Strandung in Folge Schwall-Sunk durch das Einwirken weiterer abiotischer Faktoren hoch komplex ist (TONOLLA ET AL., 2017) und die Schwellenwerte für die Pegelrückgangsrate auf Grundlage eines Laborexperimentes mit Zuchtfischen (AUER ET AL., 2014) basieren, wünscht das Bundesamt für Umwelt (BAFU) eine Erweiterung der Datengrundlage (BAFU, PERSÖNLICHE KOMMUNIKATION, FEBRUAR 02, 2021).

2.3 Einordnung der Arbeit

Im Jahre 2018 und 2019 entwickelte die Fachstelle Ökologie der Kraftwerke Oberhasli im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU, Sektion Wasserkraft) eine Methode, um Strandungsversuche in natürlichen Gewässern durchzuführen und führten mit der entwickelten Methode insgesamt 21 Strandungsversuche mit wild emergierten Forellenlarven in der Hasliaare (4 Versuche in der Schwallstrecke, 17 Versuche in der Restwasserstrecke) durch (SCHWEIZER ET AL., 2020). Um diese gewonnen Erkenntnisse weiter zu untersuchen, beauftragte das BAFU die Kraftwerke Oberhasli AG im Jahr 2021 die Untersuchungen fortzusetzen und erneut Strandungsversuche durchzuführen. Im

Vergleich zum vorherigen Versuchskomplex wurde die Versuchsfläche vergrößert, um eine längere Wasserwechselzone untersuchen zu können. Die Versuche wurden in zwei stationären Versuchskäfigen durchgeführt. Zur Ergänzung und Erweiterung der Daten aus SCHWEIZER ET AL. (2020) wurden vermehrt extreme Pegelrückgangsraten untersucht.

Im Rahmen der vorliegenden Bachelorarbeit wurde bei der Durchführung der Strandungsversuche von der Fachstelle Ökologie der KWO aktiv mitgeholfen. Der Fokus der vorliegenden Bachelorarbeit lag auf der Auswertung der Strandungsversuche aus dem Frühjahr 2021. Dabei sollen vor allem die Einflüsse der Parameter Pegelrückgangsraten und der Wasserwechselzone auf das Stranden von wild emergierten Fischlarven (*Salmo trutta*) ausgewertet werden.

3 Literaturübersicht

Bei sinkendem Pegel in einem Fließgewässer können bestimmte Gewässerbereiche trockenfallen. Aufgrund des geringeren Gefälles sind vor allem flache Uferbereiche betroffen. Flachwasserbereiche sind das bevorzugte Habitat juveniler Salmoniden, weshalb diese in Bezug auf Stranden am gefährdetsten sind (HUNTER ET AL., 1992). Die durch das Trockenfallen ausgelösten Strandungseffekte bei juvenilen Fischen und Fischlarven können sowohl bei natürlichen als auch bei anthropogen bedingten Ereignissen auftreten. Die primären anthropogenen Auslöser sind Schwall-Sunk Effekte unterhalb von Wasserkraftanlagen mit Speicherhaltung. Diese entstehen durch die plötzliche Reduzierung turbiniertes Wassermengen infolge einer sinkenden Stromnachfrage. Der Wasserstand in der Schwallstrecke sinkt, da weniger Wassermenge eingeleitet wird.

YOUNG ET AL. (2011) benennen die Strandungsproblematik juveniler Fische als größten negativen Einfluss von Wasserkraft auf die Fischpopulation. Ein weiterer Versuch zeigt detaillierter auf, dass das Stranden von juvenilen und larvalen Fischen eine bedeutende Ursache für eine Beeinträchtigung des Fischbestandes ist (SCHMUTZ ET AL., 2013). Nach TONALLA ET AL. (2017) ist eine Reduzierung der Larvenpopulation pro Schwallereignis um 25 % als nicht ökologisch vertretbar anzusehen.

Die folgende Literaturübersicht stellt den aktuellen Forschungsstand zu auslösenden Faktoren des Strandens infolge Schwall-Sunk Effekte in Bezug auf juvenile und larvale Stadien der Atlantischen Forelle *Salmo trutta* (und vergleichbarer Salmoniden) dar. Zu beachten ist dabei, dass Versuchsfische aus Zuchtanlagen ein anderes Verhalten als Wildfische zeigen können (SALVEIT, 2001).

Tab. 1 gibt einen Überblick über die bei den zitierten Quellen untersuchten Versuchsfische.

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Literatur geordnet nach Fischart

Literatur	Fischart	Alter / Grösse	Fischherkunft
AUER ET AL. (2014)	<i>Salmo trutta</i>	larval 24-30 mm juvenil 67-69 mm	Zuchtfische von Wildfisch- Muttertieren
HALLERAKER ET AL. (2003)	<i>Salmo trutta</i>	< 64 mm	Wildfische
SALVEIT ET AL. (2001)	<i>Salmo trutta</i>	< 65 mm	Wildfische
SCHWEIZER ET AL. (2020)	<i>Salmo trutta</i>	Wenige Tage bis Wochen nach Emergenz	Wildfische
BRADFORD ET AL. (1995)	<i>Oncorhynchus kisutch</i> , <i>Oncorhynchus mykiss</i>	juvenil	Wildfische
BRADFORD (1997)	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> , <i>Oncorhynchus mykiss</i>	juvenil	Wildfische
MONK (1989)	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (anadrome Wanderform)	juvenil	Wildfische
OLSON (1990)	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (anadrome Wanderform)	larval	Wildfische
SCHMUTZ ET AL. (2013)	<i>Thymallus thymallus</i>	Ø 31 mm	Zuchtfische von Wildfisch- Muttertieren
SCRUTON ET AL. (2008)	<i>Salmo salar</i>	juvenil Ø 137 mm	Wildfische

3.1 Einfluss der Pegelrückgangsrates

Die Pegelrückgangsrates beschreibt die Geschwindigkeit (z.B. in cm/min) mit der das Wasser in der vertikalen Ebene fällt. Die Geschwindigkeit der Pegelrückgangsrates ist ausschlaggebend dafür, wie viel Zeit den Fischen zur Verfügung steht, um sich in tieferes Wasser retten zu können (BAUMANN ET AL., 2012). Bei der VZH-M wird sie als einer von zwei Parametern für den Indikator "F2* Stranden von Fischen" für die Defizitanalyse, Prognose und Wirkungskontrolle herangezogen. In der Wertefunktion für larvale Äschen und larvale Bachforellen (s. Tab. 2) wird die Pegelrückgangsrates auf Grundlage von AUER ET AL. (2014) detaillierter nach fünf Zuständen bewertet (TONOLLA ET AL., 2017).

Tabelle 2: Wertefunktionen der Pegelrückgangsrates für larvale Äschen und Bachforellen bei Tageslicht

Bewertung	Zustand	Kriterium: Pegelrückgangsrates (cm/min)
	sehr gut	<0,2
	gut	≥0,2<0,3
	mässig	≥0,3<0,4
	unbefriedigend	≥0,4<0,5
	schlecht	≥0,5

Quelle: TONOLLA ET AL. (2017)

Ein generell negativer Einfluss der Pegelrückgangsrates auf das Stranden von Fischen ist durch mehrere Versuche deutlich erkennbar (AUER ET AL., 2014; BAUMANN ET AL., 2012; BRADFORD, 1997; HALLERAKER ET AL., 2003; MONK, 1989; OLSON, 1990; SALVEIT, 2001; SCHMUTZ ET AL., 2013; SCHMUTZ ET AL., 2014; SCRUTON ET AL., 2008).

In den Versuchen von AUER ET AL. (2014) konnte ein Zusammenhang zwischen Strandungsanteil und Pegelrückgangsrates festgestellt werden. Dabei wurden Pegelrückgangsrates von 0,1 bis 2,9 cm/min (0,1; 0,2; 0,5 und 2,9 cm/min) untersucht. Ein Strandungsrisiko tritt in den Versuchen ab 0,2 cm/min auf. Ab einer Pegelrückgangsrates von 0,1 cm/min konnte keine Strandung mehr beobachtet werden. Schlussfolgernd wurde eine Einteilung der Pegelrückgangsrates in drei Risikoklassen ($\leq 0,1$; $> 0,1 \leq 0,5$; $> 0,5$ cm/min) für das Stranden von Fischen vorgenommen (AUER ET AL., 2014). Die Einteilung in eine Risikoklasse *schlecht* ($> 0,5$ cm/min) wird durch eine Datenauswertung von SCHMUTZ (2014) unterstützt, bei der eine Pegelrückgangsrates von $> 0,5$ cm/min mit einem schlechten ökologischen Status des Fließgewässers einherging.

Bei Versuchen mit Fischlarven einer anadromen Wanderform der Regenbogenforelle *Oncorhynchus mykiss* in den USA konnte durch eine Reduzierung der Pegelrückgangsraten auf 0,04 bis 0,25 cm/min ein deutlich erhöhtes Aufkommen an Fischlarven nachgewiesen werden (OLSON, 1990).

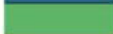
Bei einem weiteren Versuch konnten ähnliche Ergebnisse erzielt werden, nachdem die Pegelrückgangsraten auf $< 0,17$ cm/min gedrosselt wurde. Hier wurde das Stranden von Forellenlarven im Vergleich zu hohen Pegelrückgangsraten von > 1 cm/min deutlich reduziert (HALLERAKER, 2003). Im gleichen Versuch konnte das Stranden von juvenilen Forellen bei einem Vergleich zwischen Pegelrückgangsraten von > 1 cm/min und $< 0,33$ cm/min um 50 % verringert werden. Eine weitere Reduzierung wurde bei Pegelrückgangsraten von $< 0,17$ cm/min erreicht (HALLERAKER, 2003). Anders als bei AUER ET AL. (2014) konnte bei HALLERAKER (2003) auch bei niedrigen Geschwindigkeiten ($< 0,17$ cm/min) das Stranden von Fischen nicht ausgeschlossen werden. Aus den Versuchen schlussfolgert HALLERAKER (2003) eine anzupeilende Pegelrückgangsraten von $< 0,17$ cm/min für von Grobsediment geprägten Fließgewässern.

Die Versuche von SCHWEIZER ET AL. (2020) zeigen bei einer Pegelrückgangsraten zwischen 0,2 und 0,9 cm/min keinen Zusammenhang zum Strandungsanteil. Zwei weitere Versuche mit ähnlichen Pegelrückgangsraten zwischen 0,1 und 1 cm/min sowie 0,33 und 1,3 cm/min zeigen ebenfalls keinen Zusammenhang (BRADFORD, 1997; SALVEIT ET AL., 2001). MONK (1989) konnte keinen statistischen Unterschied im Strandungsanteil bei Pegelrückgangsraten zwischen 0,7 und 4 cm/min feststellen.

3.2 Einfluss der Wasserwechselzone

Die Wasserwechselzone beschreibt die Fläche, welche bei Schwall benetzt ist und bei Sunk trockenfällt. Nach BAUMANN ET AL. (2012) ist die Morphologie und Größe der Wasserwechselzone ausschlaggebend für das Stranden von Fischen. Neben der Pegelrückgangsraten ist sie der zweite Parameter, welcher bei dem Indikator "F2* Stranden von Fischen" der VZH-M herangezogen wird. Je nach Anteil der Wasserwechselzone an der gesamt benetzten Fläche wird sie in einen von fünf Bewertungszuständen (s. Tab. 3) eingeteilt (TONOLLA ET AL., 2017).

Tabelle 3: Wertefunktion für trockenfallende Flächen.

Bewertung	Zustand	Kriterium: Anteil trocken fallender Fläche an gesamter benetzter Fläche
	sehr gut	< 10 %
	gut	≥ 10 < 30 %
	mässig	≥ 30 < 40 %
	unbefriedigend	≥ 40 < 50 %
	mässig-schlecht	≥ 50 %

Quelle: TONOLLA ET AL. (2017)

AUER ET AL. (2014) führten die Strandungsversuche mit einer Wasserwechselzone von 1,56 m Länge durch. Methodisch bedingt wurde die Ausdehnung der Wasserwechselzone zwischen den Versuchen nicht variiert, so dass keine Aussage über den Einfluss des Parameters getroffen werden konnte.

Die Strandungsversuche der Kraftwerke Oberhasli zeigen deutliche Zusammenhänge des Strandungsanteils mit der Größe der Wasserwechselzone. Dabei wurde eine maximale Wasserwechselzone von 4,5 m Länge untersucht. Mit zunehmender Länge der Wasserwechselzone steigt der Strandungsanteil der Versuchsfische (SCHWEIZER ET AL., 2020).

3.3 Kombinerter Einfluss aus Pegelrückgangsrage und Wasserwechselzone

Bei einer kombinierten Betrachtung der Parameter Wasserwechselzone und Pegelrückgangsrage zeigte sich bei SCHWEIZER ET AL. (2020) kein klarer Zusammenhang mit dem Strandungsanteil.

3.4 Einfluss weiterer Parameter

In einigen Versuchen zeigte sich hingegen, dass der Einfluss der Pegelrückgangsrage nicht hauptsächlich für das Stranden von Fischen zu sein scheint und andere Parameter (Wassertemperatur, Lichtintensität und Jahreszeit) ähnlich stark gewichtet werden sollten (IRVINE ET AL., 2009). Auch scheint durch alle bisher durchgeführten Versuche klar zu sein, dass mehrere Parameter entscheidend auf das Stranden einwirken (AUER ET AL., 2014; MONK, 1989; SALVEIT ET AL., 2001). Dies wird durch die Ergebnisse von SCHWEIZER ET AL. (2020) unterstützt, welche herausfinden konnten, dass kein Parameter allein für das Stranden von larvalen Forellen entscheidend ist.

3.5 Fischverhalten während des Pegelrückgangs

Beobachtungen während Strandungsversuchen von *Salmo trutta* im Feld (SCHWEIZER ET AL., 2020) und während Laborexperimenten (HALLERAKER ET AL., UNVERÖFFENTLICHT; aus SALVEIT ET AL., 2001) zeigten, dass viele juvenile Fische ihr Habitat erst aufgaben, als die Wassertiefe die Einfache-Körperhöhe der Individuen erreichte. Dieses Verhalten wird durch Beobachtungen von SALVEIT ET AL. (2001) gestützt. Dabei erreichten die Versuchsfische während der Phase des Pegelrückgangs erst kurz vor Trockenfallen der gesamten Wasserwechselzone die Sunkzone.

Detaillierter konnten SCHWEIZER ET AL. (2020) bei Erreichen der für einen Habitatwechsel auslösenden Wassertiefe verschiedene Verhaltensmuster beobachten: aktive Drift und passive Drift **mit** der Strömung, aktives Schwimmen **gegen** die Strömung sowie ein Rückzug in das Grobsubstrat. Dabei stellt vor allem das Schwimmen gegen die Strömung ein hohes Strandungsrisiko dar, da hierbei ein Habitatwechsel in entwässernde Bereiche durchgeführt wird und sich die Entfernung zur Sunkzone vergrößert.

4 Fragestellung und Hypothesen

Fragestellung

Welchen Einfluss besitzen die Parameter *Pegelrückgangsrste* und *Wasserwechselzone* auf das Stranden von Forellenlarven?

Hypothesen

Folgende drei Hypothesen resultieren aus der Fragestellung und sollen im Rahmen dieser Arbeit überprüft werden:

- H1 Mit schnellerer Pegelrückgangsrste nimmt der Strandungsanteil der Forellenlarven zu.
- H2 Mit größerer Wasserwechselzone nimmt der Strandungsanteil der Forellenlarven zu.
- H3 Eine schnellere Pegelrückgangsrste und eine größere Wasserwechselzone bewirken einen negativen Synergieeffekt auf den Strandungsanteil der Forellenlarven.

5 Material und Methoden

5.1 Versuchsaufbau und Versuchsablauf

Der Versuchsaufbau und die Durchführung der Strandungsversuche erfolgt durch die Fachstelle Ökologie der KWO (Projektleiter: Matthias Meyer) und wird gemäß der entwickelten Methode von SCHWEIZER ET AL. (2020) vorgenommen. Sowohl beim Aufbau als auch bei der Durchführung hat der Autor aktiv mitgearbeitet. Dabei lag die Zuständigkeit des Autors zum einen beim Betrieb verschiedener Messeinrichtungen und zum anderen beim Fischmanagement. Die detaillierte Beschreibung der Methode für die Strandungsversuche kann in SCHWEIZER ET AL. (2020) betrachtet werden. Das Versuchsprinzip ist in Abb. 1 schematisch dargestellt und zeigt die grundsätzliche Funktionsweise der Versuche. In einem natürlichen Gewässer wird für die Versuche ein Käfig eingebaut. In diesen werden anschließend Fischlarven ausgesetzt. Durch die Regulierung des Wasserstandes im Käfig können Schwall-Sunk Ereignisse simuliert werden.

Die Versuchsfläche wird gegenüber den Versuchen von SCHWEIZER ET AL. (2020) auf 11,55 m x 5,25 m vergrößert. Die Filmaufzeichnung erfolgt mittels zwei an den Längsseiten angebrachten GoPro HERO8 Black Actionkameras mit einer Auflösung von 3840 x 2160 Pixel. Zur Aufzeichnung der Pegelstände werden zwei Pegelsonden (Data-Safe 800 von Altecno AG) genutzt. Jeweils eine Pegelsonde wird an der kurzen Seite in der Sunkzone und der stromauf liegenden Längsseite installiert (s. Abb. 1).

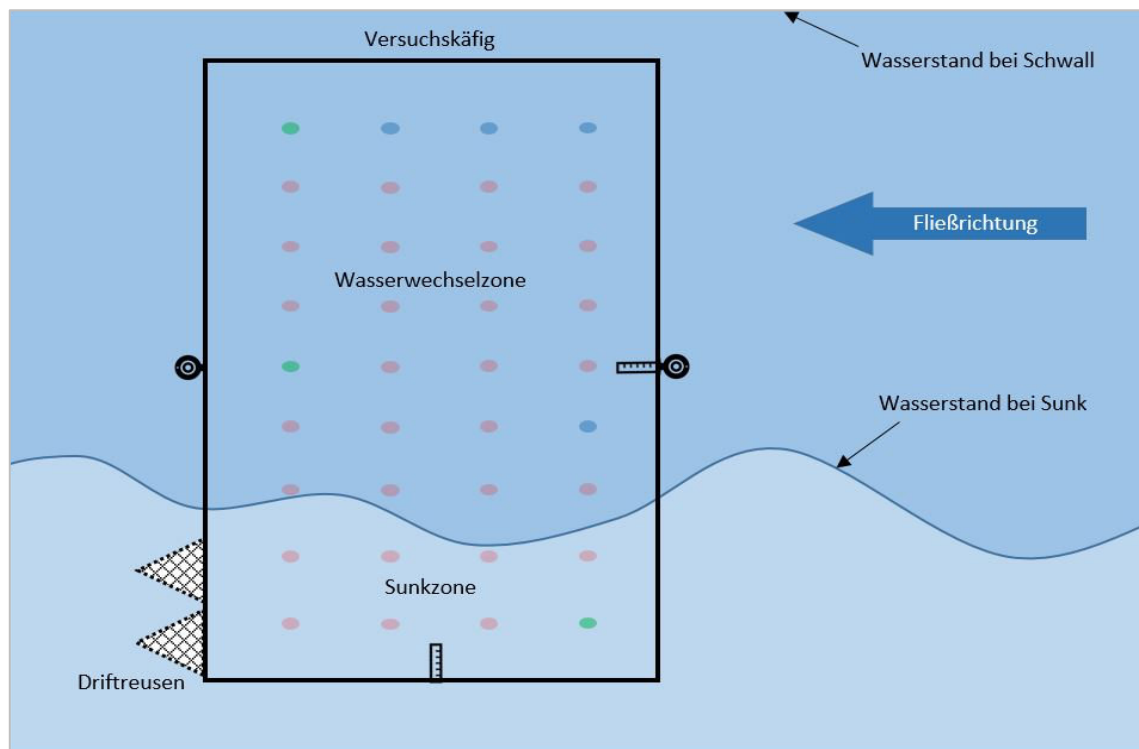


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus
[Eigene Darstellung nach SCHWEIZER ET AL. (2020)]

Die Driftmenge wird über die Driftreusen bestimmt. Während der Akklimatisationsphase (60 min) werden die Driftreusen mehrfach kontrolliert. Verdriftete Versuchsfische werden dabei entnommen, protokolliert und in einem separaten Gefäß gehältert. Der Standort der Fische wird mit einem differentiellen GNSS Gerät vermessen (Genauigkeit ± 2 cm) und kann dadurch räumlich ausgewertet werden.

5.2 Definition von strandungsspezifischen Kenngrößen

Die Grundlage für die statistische Auswertung der Versuche bilden die nachfolgend definierten strandungsspezifischen Kenngrößen.

Beigabemenge B_M = Anzahl in den Versuchskäfig beigegebene Fische. Bei allen Versuchen werden 50 Fische beigegeben.

Wiederfindemenge W_M = Anzahl der wiedergefundenen Fische nach dem Suchprozess.

Wiederfinderate W_R [%] = Anteil der wiedergefundenen Fische nach dem Suchprozess.

$$W_R = \frac{W_M}{B_M} * 100 \text{ [%]}$$

Driftmenge D_M = Anzahl Fische, die während der Akklimatisationsphase in der Driftreuse gefunden werden.

Driftanteil D_A [%] = Anteil der verdrifteten Fische an der Wiederfindemenge.

$$D_A = \frac{D_M}{W_M} * 100 \text{ [%]}$$

Versuchsmenge V_M = Anzahl Fische, die für die Auswertung des Versuches genutzt werden können

$$V_M = W_M - D_M$$

Strandungsmenge Str_M = Anzahl gestrandeter Fische in der Wasserwechselzone

Strandungsanteil Str_A [%] = Anteil an gestrandeten Fischen in der Wasserwechselzone. Dazu wird die Versuchsmenge verwendet.

$$Str_A = \frac{Str_M}{V_M} * 100 \text{ [%]}$$

Sunkmenge $Sunk_M$ = Anzahl Fische, die in der Sunkzone gefunden werden und nicht während der Akklimatisationsphase verdriftet sind.

Sunkanteil $Sunk_A$ [%] = Anteil Fische in der Sunkzone. Dazu wird die Versuchsmenge verwendet.

$$Sunk_A = \frac{Sunk_M}{V_M} * 100 \text{ [%]}$$

5.3 Erstellung der Orthofotos

Zur Bestimmung der Sunk- bzw. Wasserwechselzone sowie als Grundlage für weitere Auswertungen wird für jeden Versuch ein georeferenziertes, entzerrtes Luftbild (Orthofoto) der Versuchsfläche erstellt. Als Grundlage dienen Fotos der Käfigfläche aus verschiedenen Blickwinkeln und Höhen (s. Abb. 2), welche mittels Systemkamera in einer Auflösung von 6960 x 4640 Pixel aufgenommen werden.

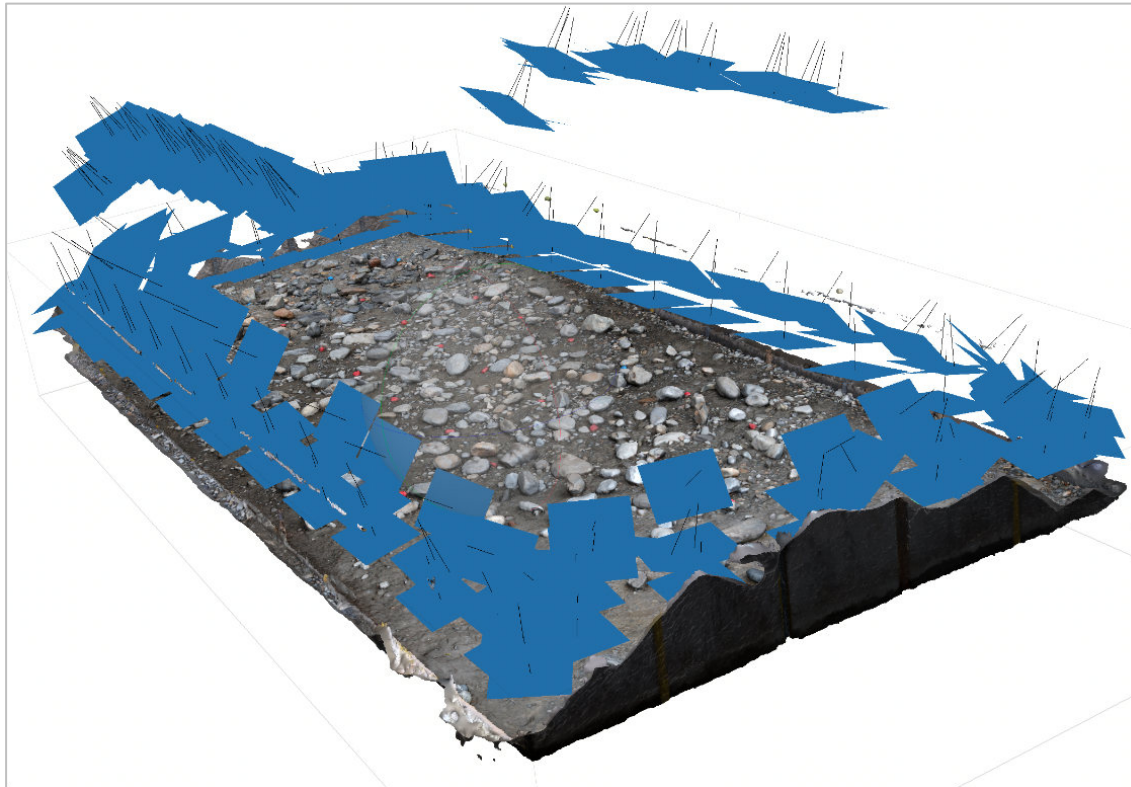


Abbildung 2: Beispielhafte Darstellung der Aufnahmeorte (blaue Vierecke) zur Erstellung des Orthofotos und des Digital Elevation Modells.

Eingefärbte Steine auf der Käfigfläche dienen als Ground Control Points (GCP) zur Georeferenzierung (s. Abb. 1 und 3). Der photogrammetrischen Konstruktion der Oberfläche liegt der structure-from-motion Ansatz zu Grunde. Dabei wird ein Orthofoto (Auflösung 1 mm) und ein Digital Elevation Modell (DEM, Auflösung 1 cm) erstellt (s. Abb. 3).

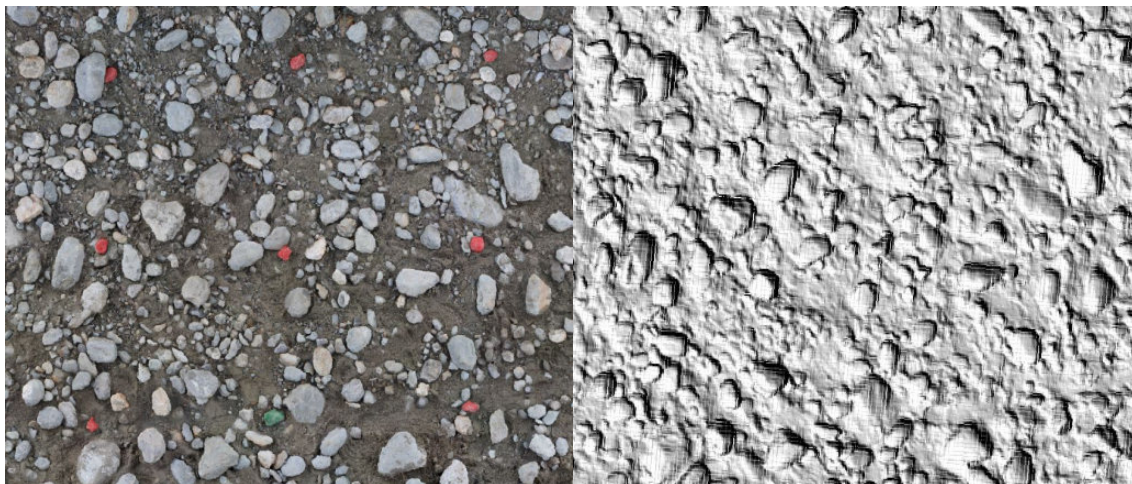


Abbildung 3: Ausschnitt eines Orthofotos (links) und eines Digital Elevation Modells (rechts) der Versuchsfläche

5.4 Kartierung und Auswertung der Wasserwechselzone

Kartierung der Wasserwechselzone

Als Grundlage für die GIS-basierte Kartierung der Wasserwechselzone dienen Feldaufzeichnungen (Protokolle und Videos) während der Versuche. Mittels Feldprotokoll wird die Ausdehnung zum Ende des Versuches (t_{Ende}) dokumentiert. Dabei wird darauf geachtet, dass der eingezeichnete Bereich komplett von der Sunk-Zone abgeschnitten ist. Auch abgetrennte tiefere Bereiche (z.B. Rinnen und Mulden) zählen zur Wasserwechselzone.

In einem GIS-Programm wird die aufgezeichnete Wasserwechselzone auf das Orthofoto (vgl. Kap.5.3) des zugehörigen Versuches übertragen (s. Abb. 4). Die auf der Versuchsfläche platzierten farbigen Ground Control Points (GCP) dienen dabei als Orientierungshilfe. Mithilfe von Standaufnahmen aus den Videos der auf den Längsseiten des Versuchskäfigs angebrachten GoPros zum Zeitpunkt t_{Ende} wird die im Feldprotokoll eingezeichnete Linie der Wasserwechselzone im GIS-Programm verfeinert.

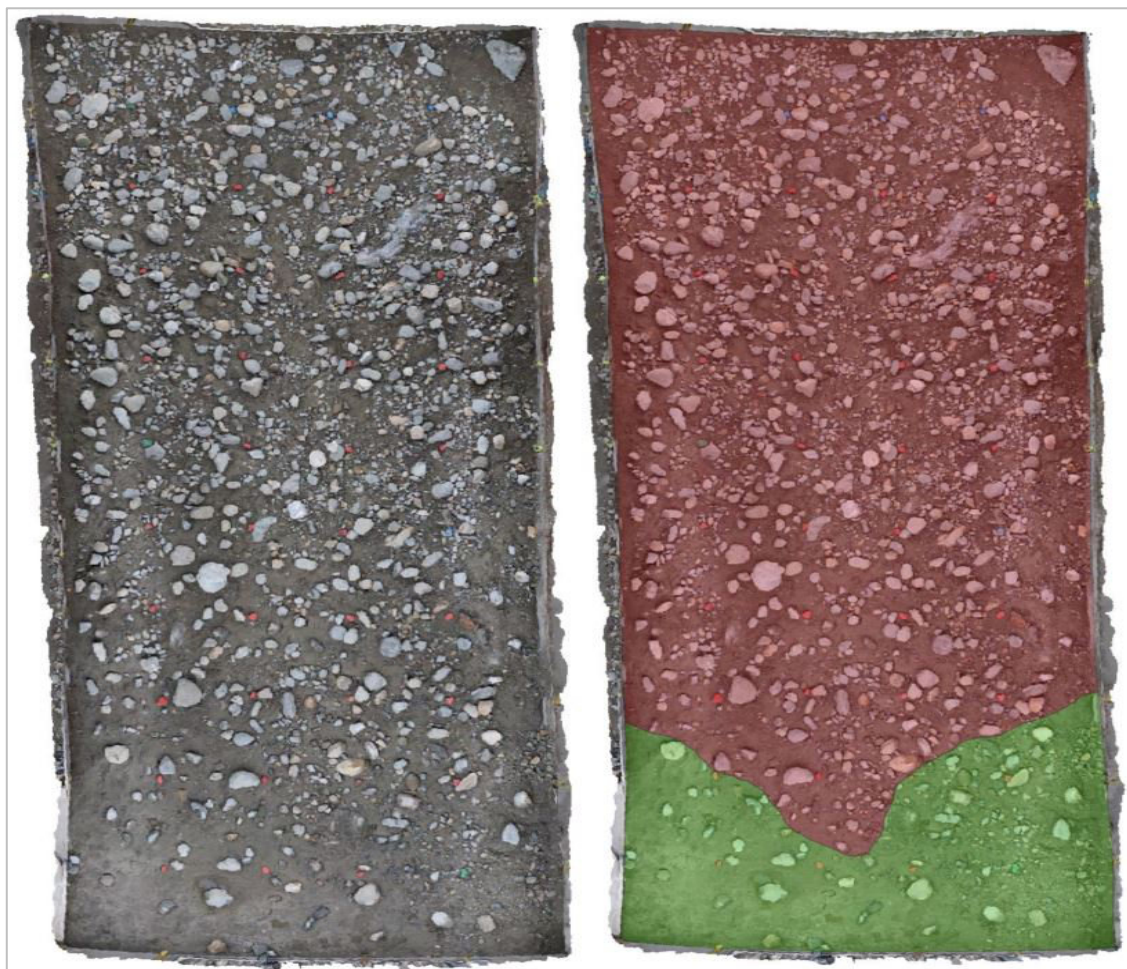


Abbildung 4: Digitalisierung der Wasserwechselzone (rot) und der Sunkzone (grün) auf Grundlage eines Orthofotos

Die so erstellte Linie teilt die orthorektifizierte Käfigfläche in Wasserwechselzone und Sunkzone (s. Abb. 4). Im GIS-Programm lässt sich die Fläche des Käfigs und der jeweiligen Zonen berechnen.

Räumliche Auswertung der Wasserwechselzone

Der Fischfundort wird bei den Strandungsversuchen mit einem differentiellen GNSS Gerät dokumentiert (vgl. Kap.5.2 und SCHWEIZER ET AL. (2020)). Zur räumlichen Auswertung der Wasserwechselzone muss die Distanz jedes gestrandeten Fisches zur Grundlinie bestimmt werden. Dazu wird in einem GIS-Programm die kürzeste Verbindung vom Fischfundort zur Grundlinie des Käfigs berechnet (s. Abb. 5). Durch eine Aufsummierung der gestrandeten Fische entsteht die Summenkurve, welche anhand der jeweiligen Versuchsmenge zum Strandungsanteil umgerechnet und in Bezug auf verschiedene Grössen der Wasserwechselzone gesetzt werden kann.

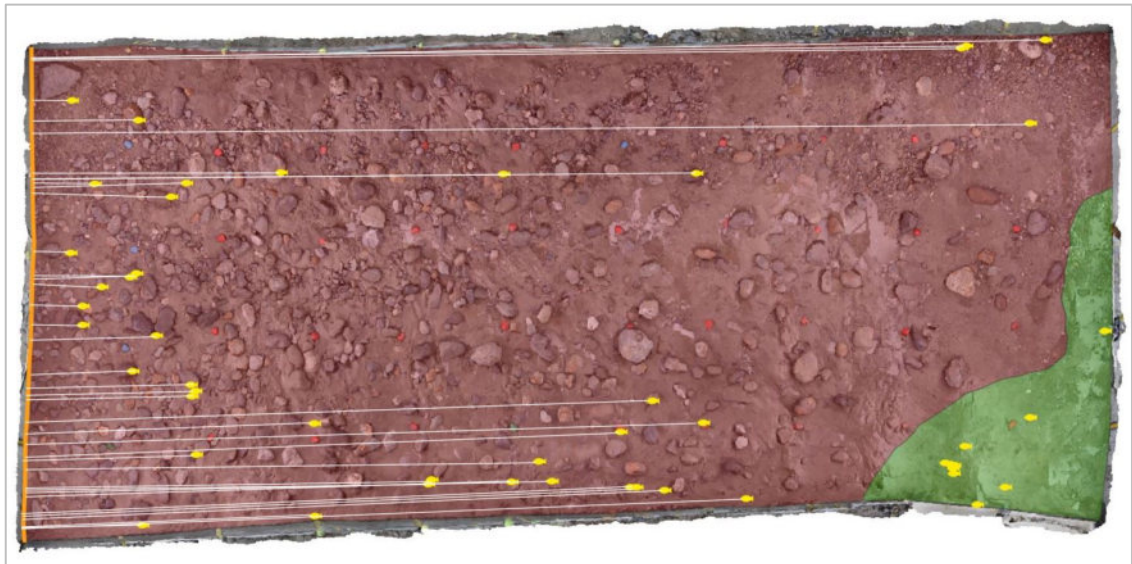


Abbildung 5: Beispielhafte Darstellung der Strandungsdistanz der einzelnen Versuchsfische zur Grundlinie des Käfigs.

5.5 Berechnung der Pegelrückgangsrate

Anhand der aufgezeichneten Pegeldaten der beiden Pegelsonden wird mit nachfolgendem Vorgehen die effektive Pegelrückgangsrate für jeden Versuch (s. Abb. 6) berechnet:

- 1) Bestimmung der Anfangswerte (t_{start} und $Pegel_{start}$) der Pegelrückgangsrate. Der Beginn des Schließens des Regulierbauwerkes legt den Startzeitpunkt t_{start} der Pegelrückgangsrate fest. Dieser wird im Protokoll festgehalten. Zur Festlegung des Startwertes des Pegels $Pegel_{start}$ wird das 10%-Percentil während der Akklimatisationsphase (Schwall) berechnet. Dieses Vorgehen wird durchgeführt, da der Pegelstand während der Akklimatisationsphase schwankt. Das 10%-Percentil gibt den Pegelstand wieder, den die Versuchsfische zu 90% der Akklimatisationsphase mindestens erlebt haben.
- 2) Bestimmung der Endwerte (t_{Ende} und $Pegel_{Ende}$) der Pegelrückgangsrate. Die Kartierung der Wasserwechselzone legt den Endzeitpunkt t_{Ende} und den Endwert des Pegels $Pegel_{Ende}$ fest.
- 3) Ausschluss von Kurvenabflachungen zum Start und Ende der Pegelrückgangsrate.

Durch Kurvenabflachungen der Pegelmessungen wird die effektive

Pegelrückgangsrates verlangsamt. Um eine repräsentative Pegelrückgangsrates zu berechnen, werden die Daten der Kurvenabflachungen ausgeschlossen. Je nach Ausschluss (zum Start und/oder zum Ende) werden auch die Zeitpunkte t_{Start} und t_{Ende} neu festgelegt. Wird t_{Start} neu festgelegt, muss auch die Akklimatisationszeit angepasst und $Pegel_{Start}$ erneut berechnet werden.

- 4) Berechnung der Zeitdifferenz (Δt) und der Pegeldifferenz (ΔPegel).

$$\Delta t = t_{Ende} - t_{Start} [\text{min}]$$

$$\Delta \text{Pegel} = \text{Pegel}_{Ende} - \text{Pegel}_{Start} [\text{cm}]$$

- 5) Berechnung der Pegelrückgangsrates (PRR).

$$\text{PRR} = \frac{\Delta \text{Pegel}}{\Delta t} \left[\frac{\text{cm}}{\text{min}} \right]$$

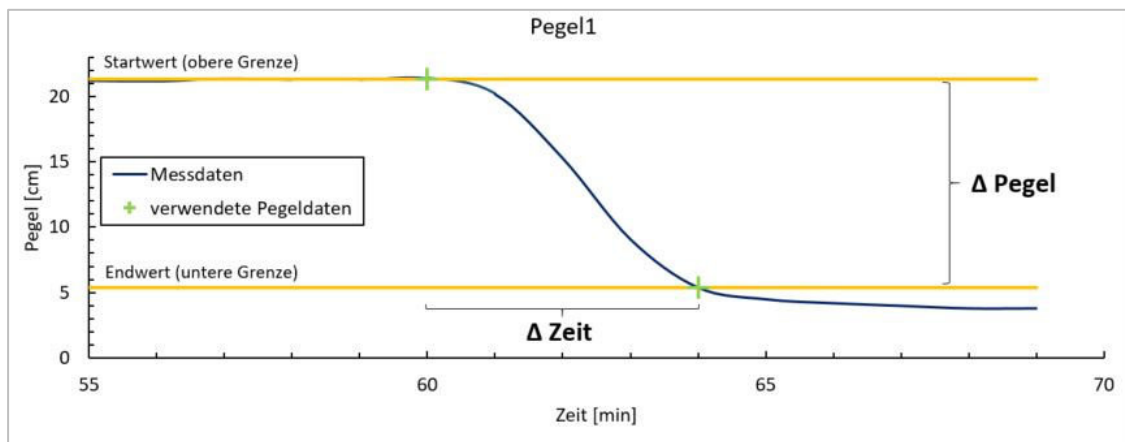


Abbildung 6: Darstellung der bereinigten Pegelrückgangsrates aus Messungen der Sonde 1.

Mit diesem Vorgehen werden die Pegelrückgangsrates für beide Pegelsonden bestimmt. Die schlussendliche Pegelrückgangsrates für den Versuch wird mit dem Mittelwert der beiden Pegelsonden bestimmt.

5.6 Statistische Analyse der verschiedenen Parameter

Zur Analyse der Parameter werden die Versuche nach dem zu untersuchenden Parameter gruppiert. Daraufhin wird für jede Gruppe Median, Minimum und Maximum sowie die Quartile (25 % und 75 %) berechnet und in Boxplots dargestellt. Innerhalb des Kastens liegen 50 % der Versuche. Der Median wird als Mittellinie im Kasten, Maximum und Minimum der Versuche werden als Antennen ober- und unterhalb des Kastens dargestellt (s. Abb. 7).

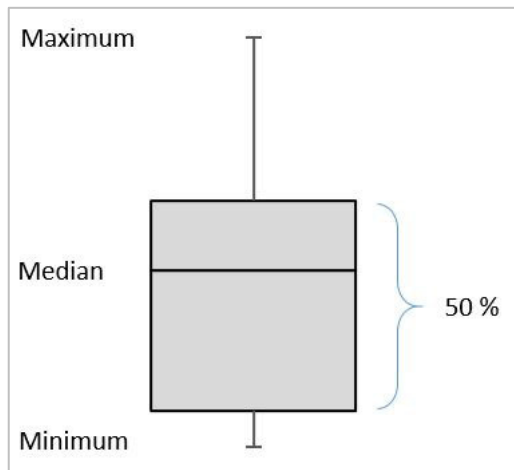


Abbildung 7: Aufbau eines Boxplots.

Nach der Sanierung muss für die Mehrheit der Kernindikatoren mindestens der Bewertungszustand *gut* erreicht werden (TONOLLA ET AL., 2017). Die Gruppierung der Pegelrückgangsraten erfolgt anhand der Zielvorgabe der VZH-M nach Sanierung in Gruppe 1 (Pegelrückgangsraten $< 0,3$ cm/min) und Gruppe 2 (Pegelrückgangsraten $\geq 0,3$ cm/min). Eine weitere Unterteilung erfolgt in Gruppe 3 (Pegelrückgangsraten $< 1,0$ cm/min) und Gruppe 4 (Pegelrückgangsraten $\geq 1,0$ cm/min). Aufgrund der Boxplots kann eine Aussage bezüglich des Einflusses der Pegelrückgangsraten auf die Streuung des Strandungsanteils getroffen werden.

Anhand der Summenkurven des Strandungsanteils in Bezug auf die Wasserwechselzone kann für jeden Versuch der Strandungsanteil für eine beliebige Größe der Wasserwechselzone bestimmt werden (s. Abb. 8). Mithilfe von Boxplots wird der Einfluss der Wasserwechselzone auf die Streuung des Strandungsanteils dargestellt.

		Kriterium: Anteil trockenfallender Fläche				
		Sehr gut	gut	mässig	unbefriedigend	schlecht
Kriterium: Pegelrückgangsrate	schlecht					
	unbefriedigend					
	mässig					
	gut					
	sehr gut					

Abbildung 8: Aufgrund der berechneten Distanz der gestrandeten Fische kann für jede geringere Ausdehnung der Wasserwechselzone der Strandungsanteil bestimmt werden.
[Eigene Darstellung nach TONOLLA ET AL. (2017)]

Zur Untersuchung des kombinierten Einflusses von Pegelrückgangsrate und Wasserwechselzone werden die Versuche im ersten Schritt analog zur Gruppierung der Pegelrückgangsrates eingeteilt (Gruppe 1, 2, 3 und 4). Jede Gruppe wird im Anschluss in fünf weitere Klassen gemäß Bewertungszustand der Wasserwechselzone nach VZH-M sowie einer weiteren Klasse ($< 20\%$) aufgeteilt. Anhand der dadurch bestimmten Boxplots können Aussagen bezüglich des Einflusses der Wasserwechselzone auf die Streuung des Strandungsanteils der zwei Gruppierungen der Pegelrückgangsrates getroffen werden.

5.7 Beobachtungen zum Fischverhalten

Während der Phase des Pegelrückgangs werden von zwei Mitarbeitern Beobachtungen zum Verhalten der Versuchsfische durchgeführt. Dabei wird darauf geachtet, sich vorsichtig am Käfigrand zu platzieren, sodass eine Störung der Fische ausgeschlossen

werden kann. Während des Aufenthalts am Käfigrand werden Bewegungen auf das Nötigste minimiert.

Die Beobachtungen erfolgen unsystematisch zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Punkten. Daher kann durch die Beobachtungen kein allgemein gültiges Verhalten abgeleitet werden.

6 Ergebnisse

Im Rahmen der Strandungversuche wurden von der Fachstelle Ökologie der Kraftwerke Oberhasli AG vom 16.04.2021 bis zum 28.05.2021 insgesamt 18 Versuche in der Restwasserstrecke der Hasliaare in Innertkirchen durchgeführt. Die strandungsspezifischen Kenngrößen der Versuchsreihe sind in Tab. 4 dargestellt.

Tabelle 4: Strandungsspezifische Kenngrößen der Versuchsreihe

Versuch	Beigabemenge B_M	Wiederfindemenge W_M	Wiederfinderate W_R [%]	Driftmenge D_M	Driftanteil D_A [%]	Versuchsmenge V_M	Strandungsmenge Str_M	Strandungsanteil Str_A [%]	Sunkmenge $Sunk_M$	Sunkanteil $Sunk_A$ [%]
V1	50	46	92 %	0	0 %	46	38	83 %	8	17 %
V2	50	48	96 %	0	0 %	48	48	100 %	0	0 %
V3	50	43	86 %	0	0 %	43	23	53 %	20	47 %
V4	50	48	96 %	0	0 %	48	12	25 %	36	75 %
V5	50	50	100 %	1	2 %	49	4	8 %	45	92 %
V6	50	50	100 %	0	0 %	50	50	100 %	0	0 %
V7	50	48	96 %	0	0 %	48	23	48 %	25	52 %
V8	50	47	94 %	1	2 %	46	38	83 %	8	17 %
V9	50	50	100 %	1	2 %	49	4	8 %	45	92 %
V10	50	50	100 %	1	2 %	49	25	51 %	24	49 %
V11	50	49	98 %	0	0 %	49	25	51 %	24	49 %
V12	50	50	100 %	1	2 %	49	39	80 %	10	20 %
V13	50	50	100 %	0	0 %	50	0	0 %	50	100 %
V14	50	50	100 %	0	0 %	50	49	98 %	1	2 %
V15	50	50	100 %	0	0 %	50	7	14 %	43	86 %
V16	50	50	100 %	0	0 %	50	10	20 %	40	80 %
V17	50	50	100 %	0	0 %	50	34	68 %	16	32 %
V18	50	50	100 %	0	0 %	50	35	70 %	15	30 %

Die durchschnittliche Wiederfinderate liegt bei 98 %. Bei elf Versuchen konnte eine Wiederfinderate von 100 % erreicht werden. Nur bei einem Versuch wurde mit 86 % eine Wiederfinderate von 90 % unterschritten.

Bei fünf Versuchen verdriftete jeweils ein Fisch, so dass sich die Versuchsmenge um eins reduzierte. Der Strandungsanteil liegt zwischen 0 und 100 %.

Tabelle 5: Messergebnisse der abiotischen Parameter der Versuchsreihe. Die Pegelrückgangsraten sind nach der jeweiligen Bewertung nach VZH-M eingefärbt.

Versuch	PRR Sonde 1 [cm/min]	PRR Sonde 2 [cm/min]	Ø PRR [cm/min]	Versuchsfläche [m ²]	WWZ [m ²]	WWZ [%]	Sunkzone [m ²]	Sunkzone [%]
V1	0,42	0,41	0,42	58,9	42,6	72%	16,4	28%
V2	1,99	1,81	1,90	58,6	39,2	67%	19,3	33%
V3	0,39	0,35	0,37	60,8	43,2	71%	17,6	29%
V4	0,10	0,10	0,10	58,4	41,9	72%	16,5	28%
V5	0,05	0,05	0,05	60,6	43,7	72%	16,9	28%
V6	4,18	4,17	4,18	58,7	52,4	89%	6,3	11%
V7	0,16	0,16	0,16	58,7	42,9	73%	15,8	27%
V8	1,07	1,07	1,07	60,6	44,2	73%	16,4	27%
V9	0,09	0,08	0,08	58,5	46,7	80%	11,8	20%
V10	0,61	0,61	0,61	58,1	49,2	85%	8,9	15%
V11	0,56	0,56	0,56	60,6	44,4	73%	16,1	27%
V12	3,98	3,35	3,66	57,8	53,9	93%	3,9	7%
V13	0,02	0,02	0,02	60,5	45,6	75%	14,9	25%
V14	2,60	2,62	2,61	58,0	52,1	90%	5,9	10%
V15	0,13	0,12	0,13	58,1	48,4	83%	9,7	17%
V16	0,09	0,08	0,09	58,0	51,4	89%	6,5	11%
V17	1,51	1,21	1,36	58,1	55,4	95%	2,6	5%
V18	0,85	0,70	0,78	58,0	54,7	94%	3,4	6%

In Tab. 5 sind die Messergebnisse der abiotischen Faktoren dargestellt. Die Pegelrückgangsraten liegen zwischen 0,02 und 4,18 cm/min. Gemäß VZH-M werden in Bezug auf die Pegelrückgangsrate sieben Versuche mit *sehr gut*, ein Versuch mit *mässig*, ein Versuch mit *unbefriedigend* und neun Versuche mit *schlecht* bewertet. Der Anteil der Wasserwechselzone liegt zwischen 67% und 96% und wird damit gemäß VZH-M für alle Versuche mit *schlecht* bewertet.

6.1 Einordnung in die Aggregationsmatrix nach TONOLLA ET AL. (2017)

Abb. 9 zeigt die Einteilung der 18 Versuche in die Aggregationsmatrix der VZH-M. In horizontaler Richtung wird die Bewertung für die Wasserwechselzone vorgenommen. Methodenbedingt liegt die Größe der Wasserwechselzone für alle Versuche bei über 50 % der Versuchsfläche und wird daher in die Kategorie *schlecht* eingeteilt. In vertikaler Richtung wird die Bewertung der Pegelrückgangsrate aufgeführt. Gemäß der

Aggregationsmatrix werden zehn Versuche mit *schlecht*, ein Versuch mit *unbefriedigend* und sieben Versuche mit *gut* bewertet. Keiner der Versuche fällt bei der Gesamtbewertung jeweils in die Kategorie *sehr gut* und *mässig*.

		Kriterium: Anteil trockenfallender Fläche				
		Sehr gut	gut	mässig	unbefriedigend	schlecht
Kriterium: Pegelrückgangsrate	schlecht					2 6 8 10 11 12 14 17 18
	unbefriedigend					1
	mässig					3
	gut					
	sehr gut					4 5 7 9 13 15 16

Abbildung 9: Aggregationsmatrix zur Gesamtbewertung nach VZH-M.
[Eigene Darstellung nach TONOLLA ET AL. (2017)]

6.2 Einfluss der Pegelrückgangsrate

Das Streudiagramm der Strandungsversuche ist in Abb. 10 dargestellt. Auf der X-Achse ist die Pegelrückgangsrate [cm/min] und auf der Y-Achse der Strandungsanteil [%] aufgetragen. Die Diagrammfläche ist mit der Wertefunktion der Pegelrückgangsrate für larvale Bachforellen der VZH-M hinterlegt.

Der Strandungsanteil im Bewertungszustand *sehr gut* liegt zwischen 0 % und 48 %. Versuch 7 zeigt mit 48 % einen erheblich höheren Strandungsanteil als die restlichen Versuche dieses Bewertungszustandes (Median = 14 %, Mittelwert = 18 %). Im Bewertungszustand *schlecht* liegt der Strandungsanteil zwischen 51 % und 100 % (Median 80 %, Mittelwert 78 %). Über alle 18 Versuche ist ein erhöhter Strandungsanteil bei schnelleren Pegelrückgangsraten erkennbar.

Die berechnete logarithmische Trendlinie zeigt den deutlich erkennbaren Zusammenhang zwischen Pegelrückgangsrates und Strandrungsanteil. Das BestimmtheitsmaÙ der Trendlinie für die Versuche liegt bei $R^2 = 0,87$.

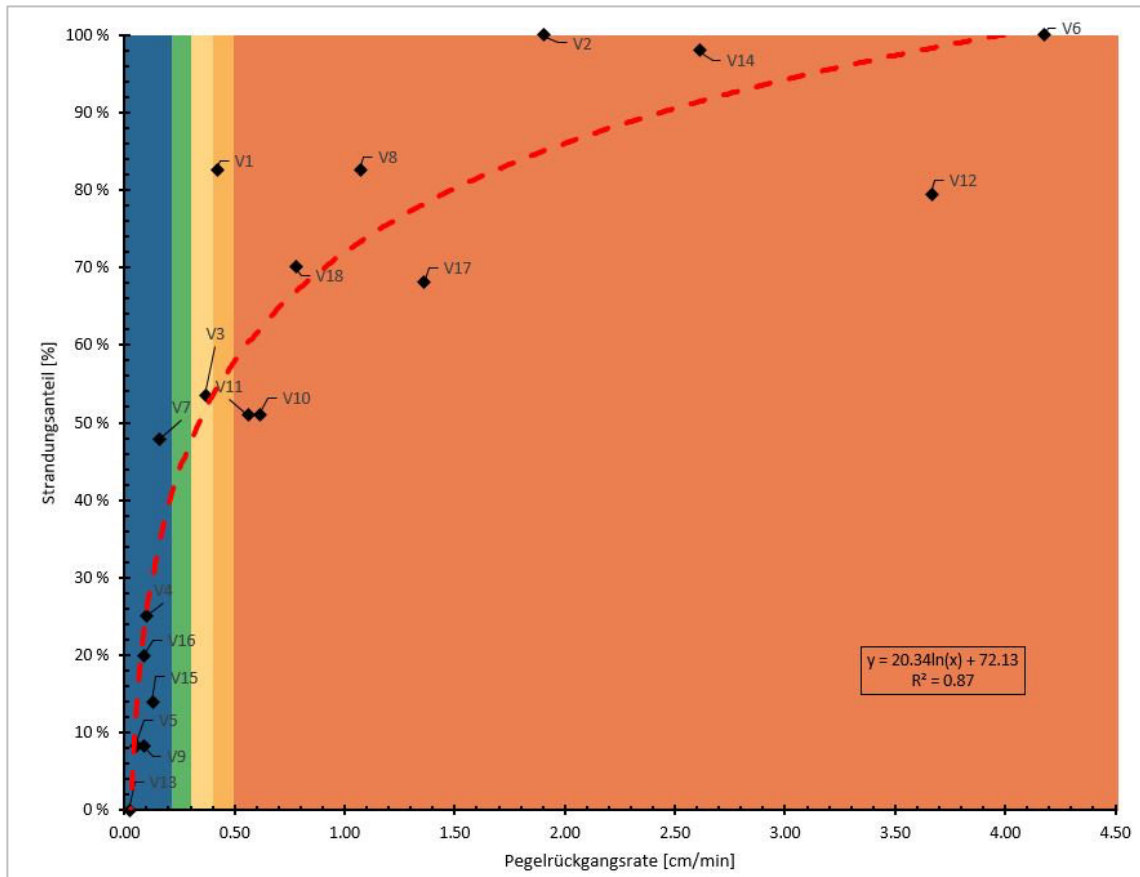


Abbildung 10: Streudiagramm mit Trendlinie der Pegelrückgangsrates in Bezug auf den Strandrungsanteil. Die Zonen entlang der X-Achse entsprechen der Wertefunktion der Pegelrückgangsrates gemäss VZH-M.

In Abb. 11 ist die Einteilung der Strandrungsversuche in zwei Gruppen hinsichtlich der Pegelrückgangsrates mittels einer roten Linie dargestellt. Die Gruppierung erfolgt aufgrund der Bewertungszustände der VZH-M in Gruppe 1 (Pegelrückgangsrates < 0,3 cm/min; *sehr gut* und *gut*) und Gruppe 2 (Pegelrückgangsrates $\geq$ 0,3 cm/min; *mässig*, *unbefriedigend* und *schlecht*).

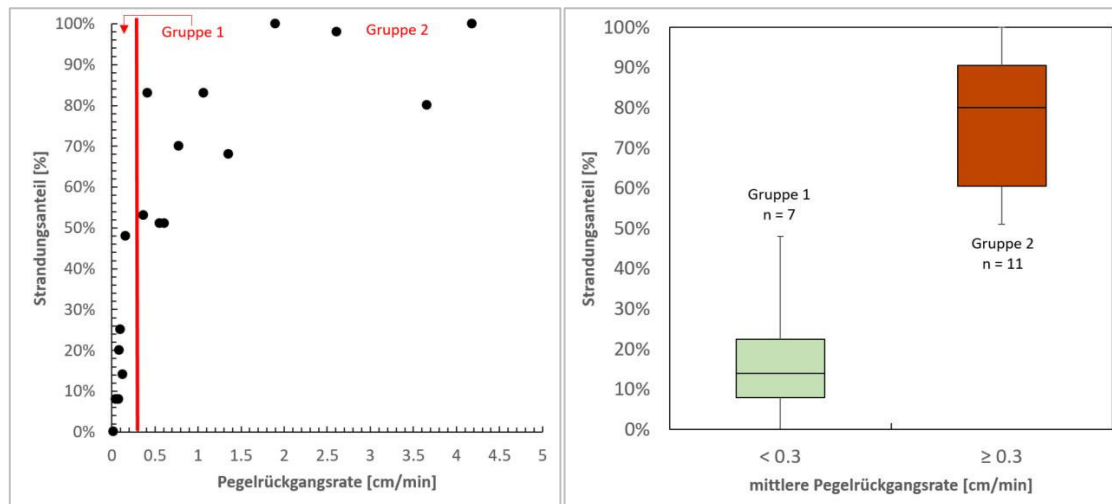


Abbildung 11: Einteilung der Versuchsreihe in Gruppe 1 und 2 (links) sowie Darstellung der Boxplots in Bezug auf den Strandungsanteil (rechts).

Mittels Boxplots wird die Streuung innerhalb der zwei Gruppen dargestellt (s. Abb. 11). Dabei lässt sich ein großer Unterschied im Median der Gruppen feststellen (Gruppe 1 = 14 %, Gruppe 2 = 80 %). Die Quantile und Extremwerte liegen in Gruppe 1 enger zusammen als in Gruppe 2, wobei auch bei Gruppe 2 keine große Abweichung vom Median vorliegt. Anhand der Boxplots wird der im Streudiagramm (Abb. 10) festgestellte Zusammenhang zwischen Pegelrückgangsrates und Strandungsanteil verdeutlicht.

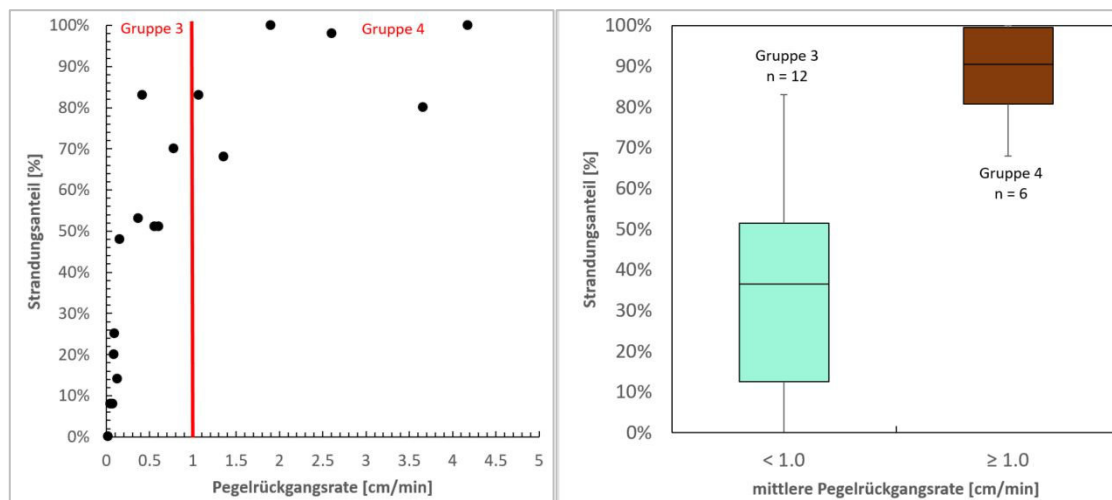


Abbildung 12: Einteilung der Versuchsreihe in Gruppe 3 und 4 (links) sowie Darstellung der Boxplots in Bezug auf den Strandungsanteil (rechts).

In Abb. 12 wird die Streuung einer weiteren Gruppierung in Gruppe 3 ($< 1,0$ cm/min) und Gruppe 4 ($\geq 1,0$ cm/min) betrachtet. Dabei zeigt sich bezüglich der Abweichung vom Median ein umgekehrtes Bild wie in Gruppe 1 und 2. Die Quantile und Extremwerte in Gruppe 4 liegen deutlich enger zusammen als in Gruppe 3. In Gruppe 3 beträgt das

Minimum = 0 % und das Maximum = 83 %. Dabei lässt sich ein großer Unterschied im Median der Gruppen feststellen (Gruppe 3 = 37 %; Gruppe 4 = 91 %).

Anhand der Boxplots (vgl. Abb. 11 und 12) wird der im Streudiagramm (vgl. Abb. 10) festgestellte Zusammenhang zwischen Pegelrückgangsrate und Strandungsanteil verdeutlicht. Dabei zeigt sich eine deutliche Tendenz bei Pegelrückgangsraten $< 0,3$ cm/min und $\geq 1,0$ cm/min. Zwischen 0,3 und $< 1,0$ cm/min zeigt sich ein undeutlicheres Bild.

6.3 Einfluss der Wasserwechselzone

Abb. 13 zeigt für jeden Versuch eine Summenkurve der gestrandeten Fische. Auf der X-Achse ist die Wasserwechselzone [m] gezeigt. Dagegen ist auf der Y-Achse der Strandungsanteil [%] der Fische aufgetragen. Die Summenkurve zeigt die kumulierte Distanz der gestrandeten Fische zur Grundlinie der Versuchsfläche. Das Ende der Summenkurve zeigt den von der Grundlinie am entferntesten gestrandeten Fisch an. Aus der Abbildung ist daher nicht die maximale Länge der Wasserwechselzone ablesbar, sondern nur die minimale Länge (Ende der Summenkurve). Durch die Analyse mit Hilfe einer kumulierten Summenkurve ist in X-Richtung keine Abnahme des Strandungsanteils möglich.

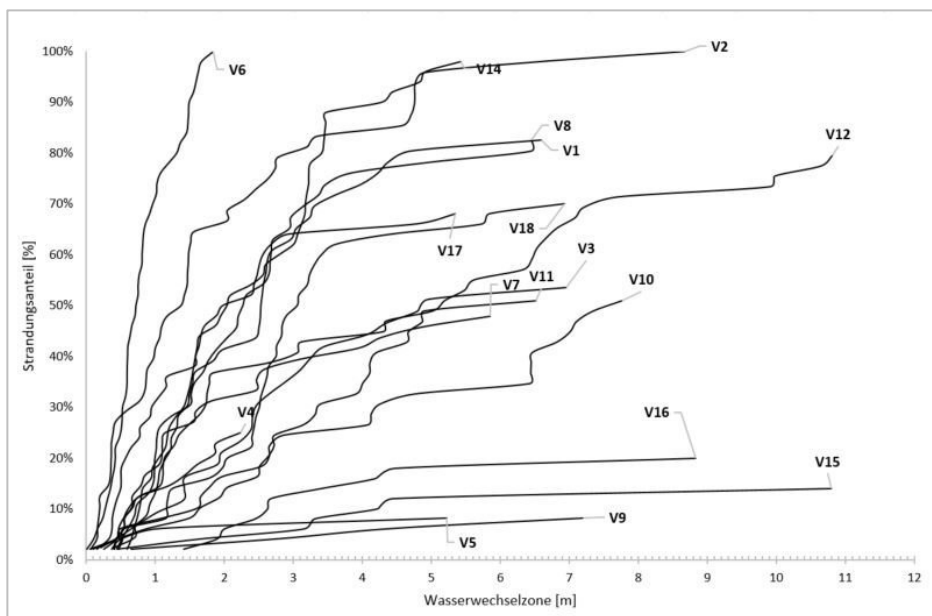


Abbildung 13: Summenkurven der gestrandeten Fische. Die Summenkurven starten beim ersten und enden beim letzten gestrandeten Fisch.

Vier Summenkurven (V9, V5, V15 und V16) verlaufen flacher als die Übrigen. Anhand der deutlich ansteigenden Summenkurven lässt sich ein klarer Zusammenhang zwischen zunehmendem Strandungsanteil und längerer Wasserwechselzone feststellen.

Abb. 14 zeigt die Wasserwechselzone [%] auf der X-Achse und den Strandungsanteil [%] auf der Y-Achse. Zur Vergleichbarkeit mit der VZH-M ist die Wasserwechselzone als Anteil an der gesamten Versuchsfläche dargestellt. Der Hintergrund ist mit den Farben der Bewertungszustände für die Wasserwechselzone nach VZH-M eingefärbt. Für alle Versuche liegt die Wasserwechselzone im Bewertungszustand *schlecht*.

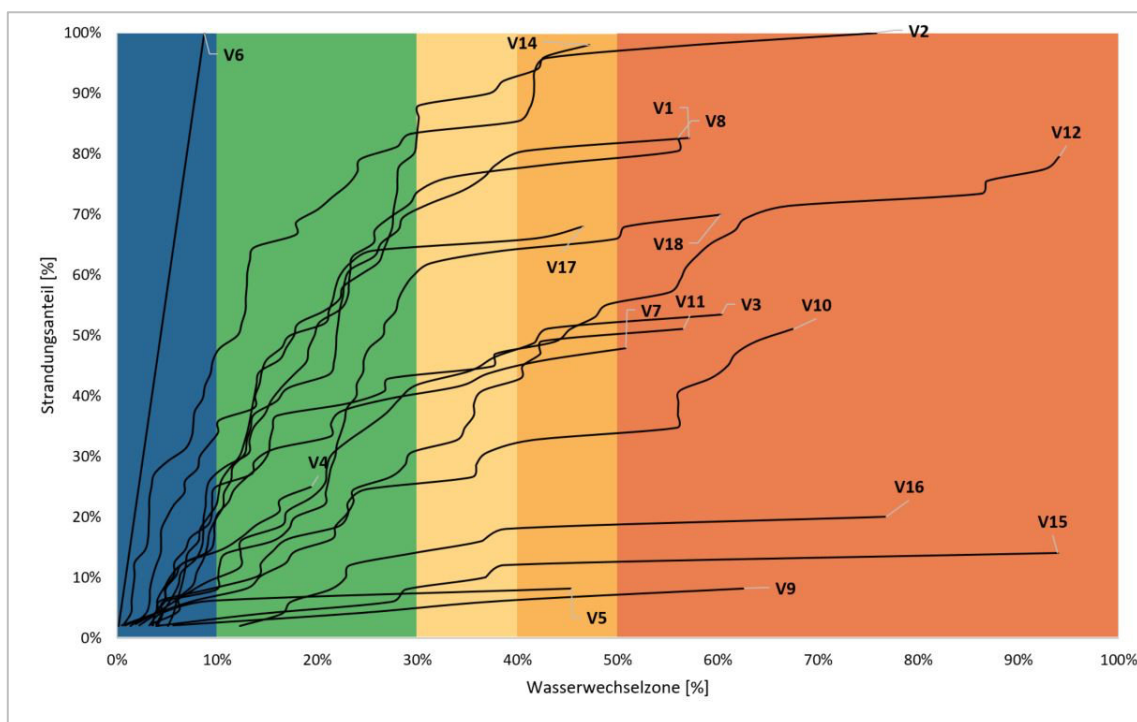


Abbildung 14: Summenkurven der gestrandeten Fische mit Einordnung in die Wertefunktion für trockenfallende Flächen nach VZH-M.

Durch den Bezug auf die Käfigfläche lässt sich aus Abb. 14 für jede beliebige Größe der Wasserwechselzone der Strandungsanteil für den jeweiligen Versuch ablesen.

Um den Einfluss der Wasserwechselzone detaillierter zu untersuchen, wurde für jeden Versuch der Strandungsanteil für die fünf Bewertungszustände nach VZH-M sowie einem weiteren Zustand ($< 20\%$) bestimmt. In Abb.15 wird mittels Boxplots die Streuung des Strandungsanteils innerhalb der Bewertungszustände der Wasserwechselzone dargestellt.

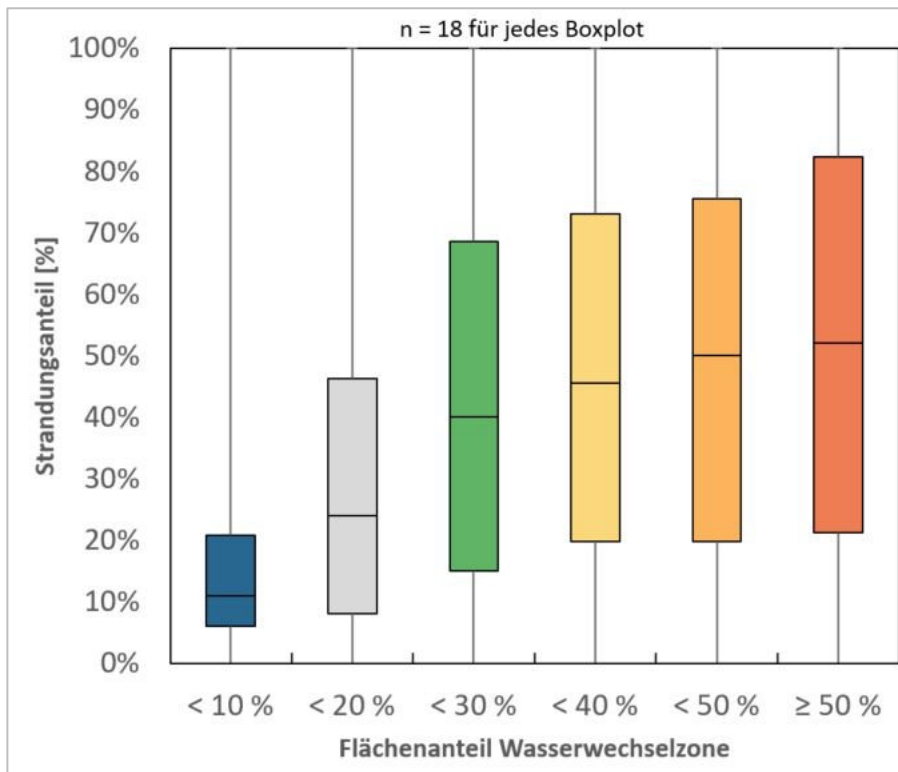


Abbildung 15: Darstellung der Boxplots des Flächenanteils der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil.

Der Median sowie das 75%-Quantil des Strandungsanteils nehmen im Verlauf der Bewertungszustände stetig zu. Dabei lässt sich ein großer Unterschied im Median der Klassen *sehr gut* (Median = 11 %) und < 20 % (Median = 24 %) sowie den übrigen Klassen feststellen. Wird eine Wasserwechselzone von ≥ 10 % bzw. ≥ 20 % erreicht, steigt der Strandungsanteil (im Median) erheblich an. Die Quantile liegen in Klasse *sehr gut* eng zusammen. Bei den anderen Bewertungszuständen weichen die Quantile jedoch stark vom Median ab. Die Extremwerte sind für alle Klassen gleich (Minimum = 0 %, Maximum = 100 %).

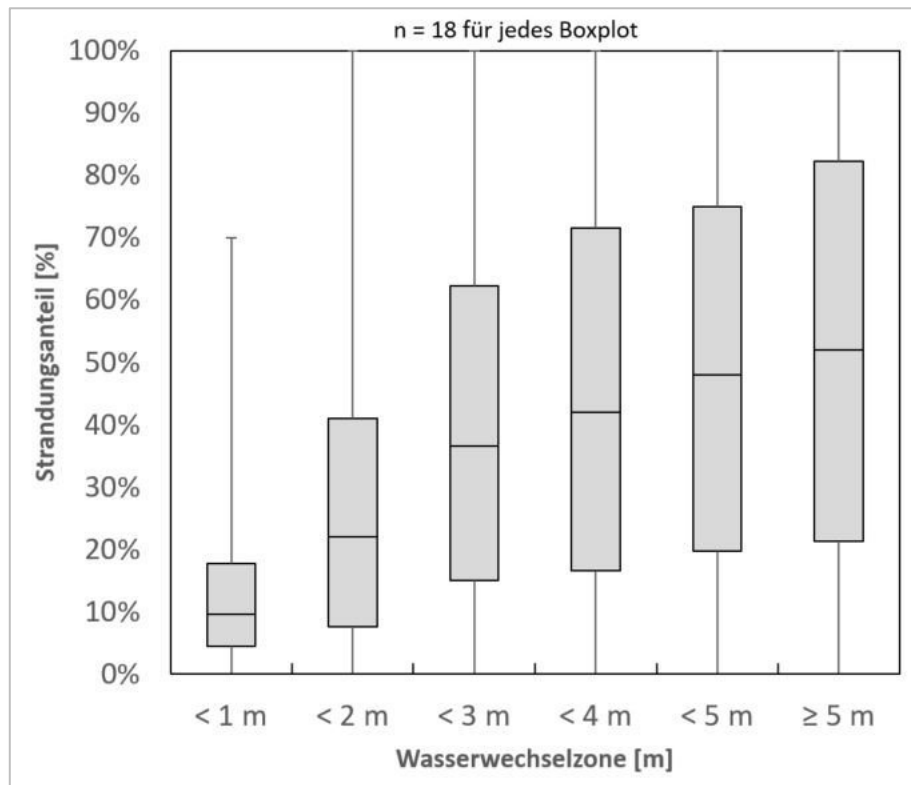


Abbildung 16: Darstellung der Boxplots der Länge der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil.

Abb. 16 zeigt den Strandungsanteil mit dessen Streuung mit zunehmender Länge der Wasserwechselzone. Dabei zeigt sich im Median und dem 75%-Quantil eine sehr ähnliche Entwicklung wie in Abbildung 15. Das Maximum bei einer Wasserwechselzone von unter 1 m liegt bei 70 %. Bei einer Wasserwechselzone von > 1 m steigt das Maximum auf 100 %.

Anhand der Boxplots (vgl. Abb. 15 und 16) lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Wasserwechselzone und dem Strandungsanteil erkennen.

6.4 Kombiniertes Einfluss aus Pegelrückgangsrates und Wasserwechselzone

In Abb. 17 werden analog zu Abb. 14 die Summenkurven der 18 Strandungsversuche aufgezeigt. Auf der X-Achse ist die Wasserwechselzone [%] und auf der Y-Achse der Strandungsanteil [%] aufgetragen. Zusätzlich sind die Summenkurven mit den Farben der Bewertungsklassen der VZH-M für die Pegelrückgangsrates eingefärbt. Dadurch lassen sich erste Aussagen für den kombinierten Effekt der Pegelrückgangsrates und der Wasserwechselzone treffen.

Analog zu Abb. 14 zeigt sich eine Zunahme der gestrandeten Fische mit grösser werdender Wasserwechselzone. Vier von sechs Summenkurven mit der Zustandsklasse

sehr gut verlaufen flach und zeigen trotz "schlechter" Wasserwechselzone einen geringen Strandungsanteil auf. Einzig V7 zeigt einen deutlich steileren Verlauf als die restlichen Summenkurven der Zustandsklasse *sehr gut*.

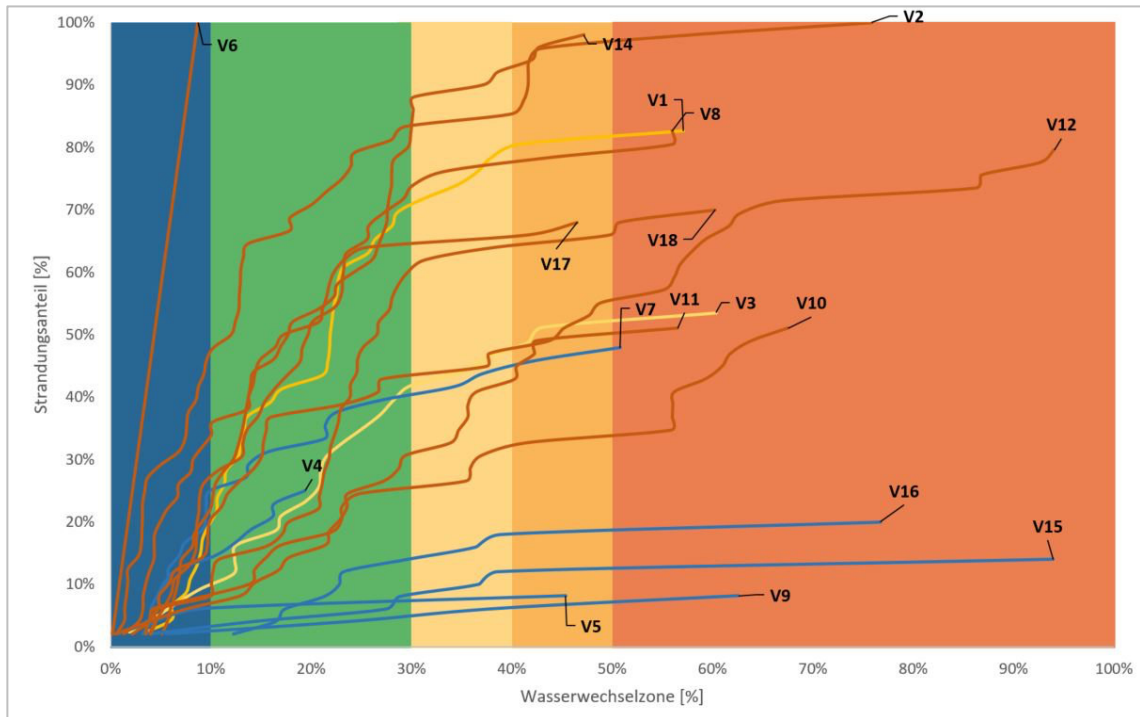


Abbildung 17: Summenkurven der Versuchsreihe. Die Farben der Summenkurven entsprechen der jeweiligen Bewertung der Pegelrückgangsrate nach VZH-M. Die Zonen entlang der X-Achse entsprechen der Wertefunktion der Wasserwechselzone gemäss VZH-M.

Anhand dieser Einfärbung lässt sich neben der Zunahme des Strandungsanteils mit grösser werdender Wasserwechselzone eine Tendenz von einem Verlauf von der Zustandsklasse *sehr gut* (blau) zur Zustandsklasse *schlecht* (rot) erkennen. Allerdings zeigt sich zwischen den sehr flachen und sehr steilen Summenkurven ein diffuses Bild aus Summenkurven jeglicher Zustandsklassen.

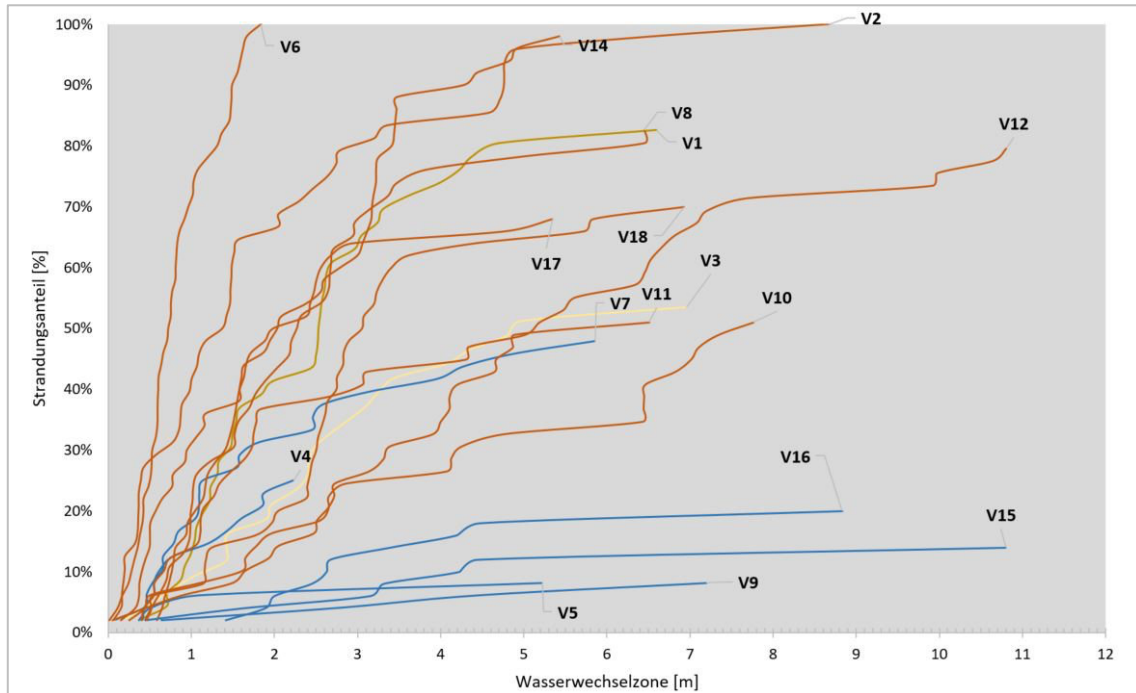


Abbildung 18: Summenkurven der Versuchsreihe. Die Farben der Summenkurven entsprechen der jeweiligen Bewertung der Pegelrückgangsrate nach VZH-M.

In Abb. 18 sind die nach VZH-M eingefärbten Summenkurven des Strandungsanteils der einzelnen Versuche auf die Länge der Wasserwechselzone in Meter aufgetragen. Dabei zeigt sich die gleiche Tendenz wie in Abb. 17.

In Abb. 19 sind die Boxplots der Gruppe 1 ($< 0,3 \text{ cm/min}$) und Gruppe 2 ($\geq 0,3 \text{ cm/min}$) für verschiedene Ausdehnungen der Wasserwechselzone dargestellt. Anhand der Einteilungen lassen sich Aussagen bezüglich des Einflusses der Wasserwechselzone auf die Streuung des Strandungsanteils bei tiefen und hohen Pegelrückgangsraten treffen.

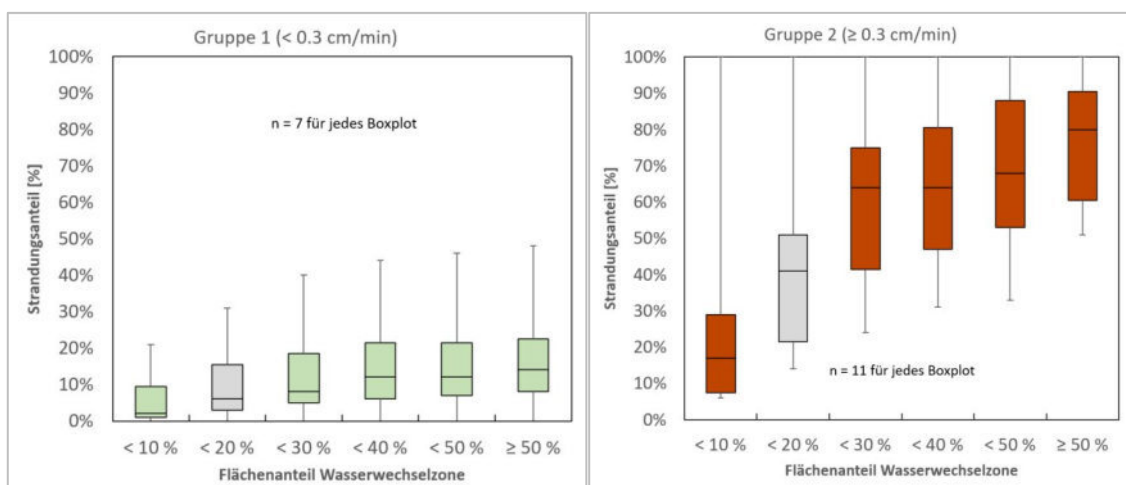


Abbildung 19: Boxplots der Gruppe 1 und Gruppe 2 für verschiedene Flächenanteile der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil.

In Gruppe 1 werden die Versuche ($n = 7$) mit einer Pegelrückgangsrate $< 0,3$ cm/min dargestellt. Das Minimum des Strandungsanteils für alle Wasserwechselzonen liegt bei 0 %. Das Maximum steigt von 21 % bis 48 % und der Median von 2 % bis 14 %.

In Gruppe 2 werden die Versuche ($n = 11$) mit einer Pegelrückgangsrate $\geq 0,3$ cm/min dargestellt. Das Maximum für alle Wasserwechselzonen liegt bei 100 % Strandungsrate. Das Minimum steigt von 6 % bis 51 % und der Median von 17 % bis 80 %. Die Streuung um den Median ist in Gruppe 2 in allen Wasserwechselzonen signifikant grösser als in Gruppe 1.

In Gruppe 1 lässt sich ein deutlicher Anstieg des Medians zwischen der Bewertungsklasse < 10 % und < 20 % feststellen. Der Anstieg zwischen diesen Bewertungsklassen ist in Gruppe 2 erheblich deutlicher ausgebildet. Zusätzlich gibt es einen ähnlich starken Anstieg zur nächsten Bewertungsklasse < 30 %.

Im Vergleich steigt der Strandungsanteil in Gruppe 2 zwischen *sehr gut* und < 20 % sowie zwischen < 20 % und *gut* deutlicher an als in Gruppe 1.

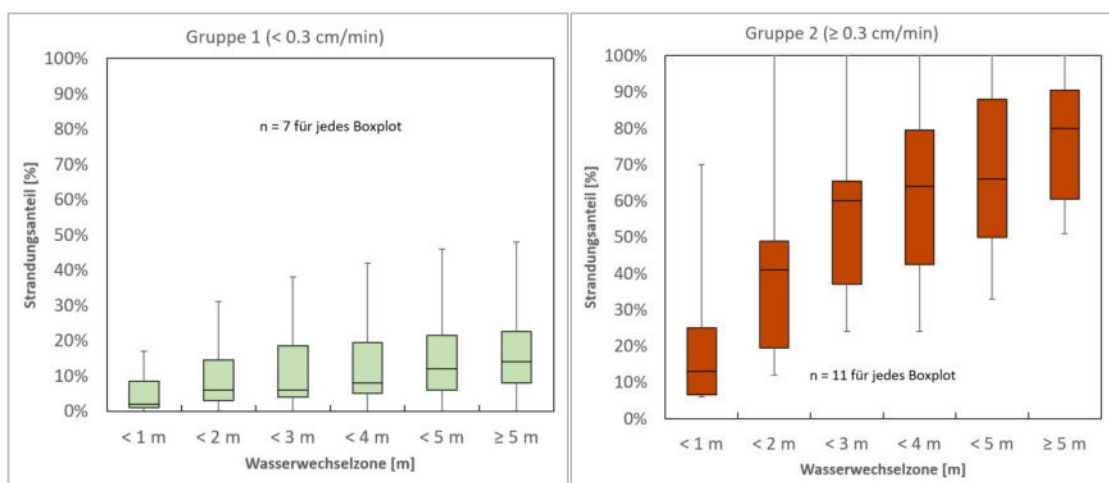


Abbildung 20: Boxplots der Gruppe 1 und Gruppe 2 für verschiedene Längen der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil.

In den Boxplots in Abb. 20 ist die Wasserwechselzone wiederum in metrischer Skala dargestellt. Der Median sowie das 75%-Quantil steigen analog zu Abb. 19 in beiden Gruppen fast identisch an. In Gruppe 2 ($\geq 0,3$ cm/min) liegt bei einer Wasserwechselzone unter 1 m eine maximale Strandungsrate von 70 % vor. Bei einer Wasserwechselzone über 1 m steigt das Maximum auf 100 %.

Weiterhin werden in Abb. 21 auch die Gruppen 3 und 4 bezüglich des kombinierten Einflusses der Pegelrückgangsrates und der Wasserwechselzone auf den Strandungsanteil mittels Boxplots dargestellt.

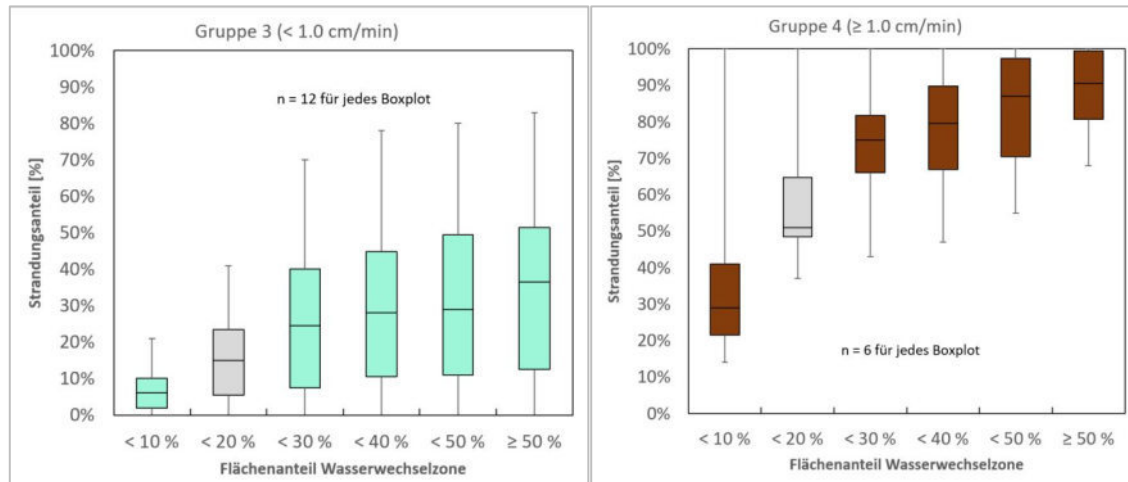


Abbildung 21: Boxplots der Gruppe 3 und 4 für verschiedene Flächenanteile der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil.

In Gruppe 3 werden die Versuche ($n = 12$) mit einer Pegelrückgangsrates $< 1,0$ cm/min dargestellt. Das Minimum des Strandungsanteils für alle Wasserwechselzonen liegt bei 0 %. Das Maximum steigt von 21 % bis 83 % und der Median von 6 % bis 37 %.

In Gruppe 4 werden die Versuche ($n = 6$) mit einer Pegelrückgangsrates $\geq 1,0$ cm/min dargestellt. Das Maximum für alle Wasserwechselzonen liegt bei 100 % Strandungsrate. Das Minimum steigt von 14 % bis 68 % und der Median von 30 % bis 91 %.

Die Streuung um den Median vergrößert sich in Gruppe 3 im Vergleich zur Gruppe 1. In Gruppe 4 hingegen zeigt sich tendenziell eher eine Verringerung der Streuung im Vergleich zur Gruppe 2.

Analog zu den Gruppen 1 und 2 zeigt sich auch in Gruppe 3 und 4 ein deutlicher Anstieg des Medians zwischen < 10 % und < 20 %. Dieser ist in Gruppe 4 stärker ausgeprägt als in Gruppe 3 (vgl. Abb. 19 und 21).

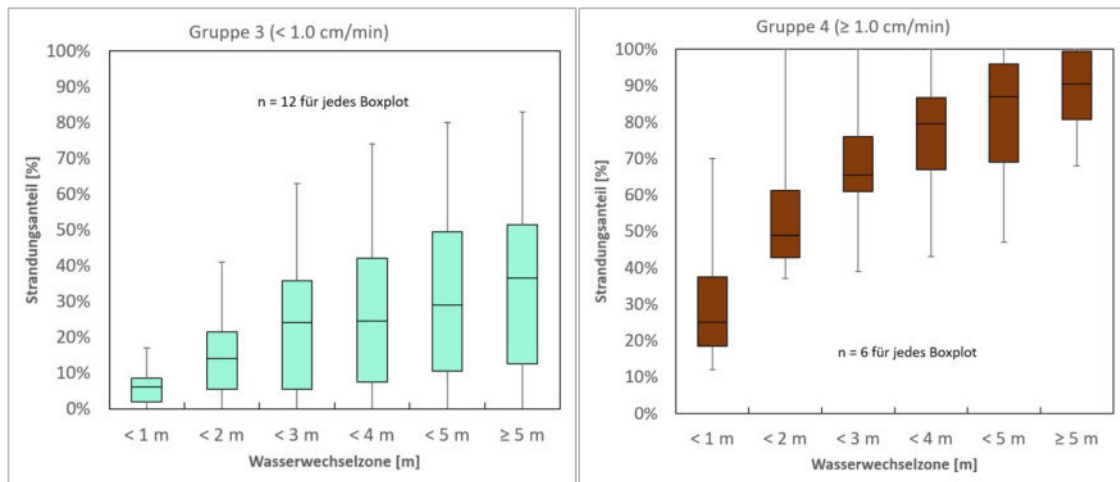


Abbildung 22: Boxplots der Gruppe 3 und 4 für verschiedene Längen der Wasserwechselzone in Bezug auf den Strandungsanteil.

In den Boxplots in Abb. 22 ist die Wasserwechselzone wiederum in metrischer Skala dargestellt. Der Median sowie das 75%-Quantil steigen analog zu Abb. 21 in beiden Gruppen fast identisch an. In Gruppe 4 ($\geq 1,0$ cm/min) liegt bei einer Wasserwechselzone unter 1 m eine maximale Strandungsrate von 70 % vor. Bei einer Wasserwechselzone über 1 m steigt das Maximum auf 100 %.

Bei einer Pegelrückgangsrate von $< 0,3$ cm/min steigen die Strandungsanteile mit zunehmender Wasserwechselzone nur sehr gering an. Bei der Betrachtung von Pegelrückgangsraten $\geq 0,3$ cm/min und $< 1,0$ cm/min zeigt sich eine große Streuung um den Median der Strandungsanteile.

Anhand der Boxplots (vgl. Abb. 19, 20, 21 und 22) lässt sich ein klarer Zusammenhang zwischen einem erhöhten Strandungsanteil sowie hohen Pegelrückgangsraten von $\geq 1,0$ cm/min und einer zunehmenden Wasserwechselzone erkennen.

6.5 Beobachtungen zum Fischverhalten

Über alle Versuche wurden während des Pegelrückgangs Beobachtungen zum Verhalten der Versuchsfische durchgeführt. Es konnte keine Scheuchwirkung auf die beobachteten Individuen durch das Beobachten festgestellt werden.

Bei mehreren Forellenlarven konnten folgende Beobachtungen festgestellt werden:

1. Die Larven warteten einen sehr niedrigen Wasserstand (Einfache- bis Zweifache-Körperhöhe) ab, bis sie ihr Habitat aufgaben (Zwang zur Habitataufgabe)

2. Die Larven standen bei jeder Habitataufgabe vor einer neuen Entscheidung, in welche Richtung sie abwandern
 - a. Aktive Wanderung gegen die Strömung
 - Diese führte bei einer schnellen Pegelrückgangsrage oftmals zum Stranden
 - b. Aktive oder passive Wanderung mit der Strömung
 - c. Vertikale Wanderung in das Substrat
 - Diese führte bei einer schnellen Pegelrückgangsrage ebenfalls häufig zum Stranden

7 Diskussion

7.1 Methodik

Bei der Methodik sowie der Durchführung der Feldversuche entstehen Unsicherheiten, welche die Ergebnisse in nicht bestimmbarer Größe beeinflussen können.

Im Rahmen dieser Auswertung wurden neben der Pegelrückgangsrage und der Wasserwechselzone keine weiteren Parameter betrachtet. Die folgenden Parameter wurden für weitere anschließende Auswertungen gemessen:

- pH-Wert
- Wassertemperatur
- Korngrößenverteilung
- Fließgeschwindigkeit im Käfig
- Neigung der Versuchsfläche

Neben diesen erwähnten Parametern kann es noch weitere ungemessene Einflüsse geben, welche mit diesem Versuchsdesign nicht betrachtet wurden.

Da die Versuche mit wild emergierten und aufgewachsenen Forellenlarven durchgeführt wurden, kann das Fischalter nur eingegrenzt werden. Mittels Dokumentation der Laichpeaks und Messung der Tagesgrade konnte das Fischalter auf **wenige Tage bis Wochen nach Emergenz** bestimmt werden (vgl. SCHWEIZER ET AL., 2020).

7.1.1 Pegelrückgangsrates

Durch die morphologische Modellierung der Versuchsfläche können an verschiedenen Stellen Unterschiede in der Neigung entstehen. Daher kann die Pegelrückgangsrates nicht über die gesamte Versuchsfläche als gleichmäßig angesehen werden. Die vorliegenden Pegelrückgangsrates wurden aus den Messungen zweier Pegelsonden berechnet und geben damit einen gemittelten Durchschnittswert über die jeweilige Versuchsdauer wieder. Deshalb kann die Pegelrückgangsrates an bestimmten Orten aufgrund der Morphologie leicht abweichen.

Die Interpretation des Strandens einzelner Fische zu bestimmten Zeitpunkten oder Standorten ist nicht Teil dieser Arbeit.

7.1.2 Wasserwechselzone

Die Kartierung der Wasserwechselzone erfolgte über ein Feldprotokoll sowie die Auswertung von Standbildern der GoPro-Actionkameras. Sowohl beim Einzeichnen in das Feldprotokoll, dem Übertragen des Feldprotokolls in das GIS-Programm als auch beim Auswerten der Standbilder kann es zu Abweichungen von der tatsächlichen Wasserwechselzone kommen. Versuchsfische, welche nahe der Wasserwechselzonenlinie gestrandet sind, wurden extra gekennzeichnet, um sie nicht fälschlicherweise der Sunkzone zuzuordnen. Die eventuell auftretenden geringen Abweichungen in der Größe der Wasserwechselzone haben daher keinen ausschlaggebenden Einfluss auf die Ergebnisse.

Eine Aussage bezüglich des weiteren Strandungsrisikos der Fische in der Sunkzone kann nicht getroffen werden. Da sich diese während des Suchvorgangs in der Sunkzone frei bewegten, konnte kein Standort der Fische zum Ende der Pegelrückgangsrates aufgenommen werden.

7.1.3 Beobachtung zum Fischverhalten

Die Versuche wurden mit Larven der *Salmo trutta* in einem Alter von **wenigen Tagen bis Wochen nach Emergenz** durchgeführt. Durch die Ergebnisse kann keine Schlussfolgerung auf andere Arten oder Altersklassen gezogen werden.

Aufgrund der geringen Anzahl beobachteter Individuen in Relation zu der Gesamt-

Versuchsmenge lassen sich keine allgemeingültigen Aussagen treffen. Ebenfalls ist eine Bewertung der Lernfähigkeit bei Mehrfach-Ereignissen nicht möglich, da alle Individuen nur Teil eines Versuches waren.

Durch das Beobachten der Versuchsfische vom Käfigrand konnte keine Scheuchwirkung festgestellt werden. Diese Aussage kann allerdings nur für die in diesem Moment beobachteten Individuen getroffen werden. Prinzipiell kann eine Scheuchwirkung nicht ausgeschlossen werden.

7.2 Ergebnisse

7.2.1 Einfluss der Pegelrückgangsrates

In der Versuchsreihe wurden Pegelrückgangsraten zwischen 0,02 und 4,18 cm/min untersucht.

Lediglich bei einem Versuch mit einer Pegelrückgangsrates von 0,02 cm/min konnte eine Strandung komplett ausgeschlossen werden. Damit konnte im Gegensatz zu AUER ET AL. (2014) ähnlich zu HALLERAKKER (2003) bei Pegelrückgangsraten $< 0,1$ cm/min eine Strandung nicht generell ausgeschlossen werden.

Der Strandungsanteil im Bewertungszustand *sehr gut* lag zwischen 0 % und 48 % und im Bewertungszustand *schlecht* zwischen 51 % und 100 %.

Durch die Einteilung in Gruppe 1 ($< 0,3$ cm/min) und Gruppe 2 ($\geq 0,3$ cm/min) sowie Gruppe 3 ($< 1,0$ cm/min) und Gruppe 4 ($\geq 1,0$ cm/min) lässt sich anhand der Boxplots ein deutlicher Anstieg des Medians des Strandungsanteils mit schnellerer Pegelrückgangsrates erkennen. Dabei ist die Streuung in Gruppe 2 und 3 grösser als in Gruppe 1 und 4.

HALLERAKKER (2003) erreichte bei einer Senkung der Pegelrückgangsrates von über 1 cm/min auf unter 0,33 cm/min eine Reduzierung des Strandungsanteils um 50 %. In den diesjährigen Strandungsversuchen konnte bei einer Verlangsamung der Pegelrückgangsrates von $\geq 1,0$ cm/min auf $< 0,3$ cm/min eine Reduzierung des Strandungsanteils im Median von 85 % erreicht werden. Die Beobachtungen decken sich mit OLSON (1990), der bei einer Reduzierung der Pegelrückgangsrates auf 0,04 bis 0,25 cm/min ein deutlich erhöhtes Aufkommen an Larven von *Oncorhynchus mykiss* nachwies konnte.

Der Strandungsanteil im Bewertungszustand *sehr gut* lag zwischen 0 % bis 48 %, wobei die maximale Strandung bei Pegelrückgangsraten $< 0,10$ cm/min bei 20 % und bei Pegelrückgangsraten $< 0,20$ cm/min bei 48 % lag. Nach TONALLA ET AL. (2017) können daher selbst Pegelrückgangsraten im Bewertungszustand *sehr gut* teilweise als nicht ökologisch vertretbar eingestuft werden.

Aufgrund der Boxplots sowie der Trendfunktion ($R^2 = 0,87$) kann ein klarer Zusammenhang zwischen schnellerer Pegelrückgangsrate und erhöhtem Strandungsanteil festgestellt werden. Jedoch liegt im Vergleich zu den untersuchten Pegelrückgangsraten von BRADFORD (1997), SCHWEIZER ET AL. (2020) und SALVEIT ET AL. (2001) auch in der Versuchsreihe aus dem Jahr 2021 eine größere Streuung des Strandungsanteils im ähnlichen Bereich der Pegelrückgangsraten ($\geq 0,3$ und $< 1,0$ cm/min) vor.

Da jedoch auch Pegelrückgangsraten von 0,1 bis 0,19 cm/min im Bereich *sehr gut* Strandungsraten von 25 % (und mehr) bedingen können und die Streuung in Gruppe 2 und 3 grösser als in Gruppe 1 und 4 ist, scheint die Pegelrückgangsrate (vor allem im Bereich von 0,1 bis 1,0 cm/min) nicht allein entscheidend auf das Stranden zu wirken.

7.2.2 Einfluss der Wasserwechselzone

In der Versuchsreihe konnten Wasserwechselzonen zwischen 67 % und 96 % untersucht werden. Anhand der Summenkurven lässt sich der Strandungsanteil der einzelnen Versuche für jede beliebige Ausdehnung der Wasserwechselzone (bis zur maximalen Wasserwechselzone des jeweiligen Versuches) bestimmen.

Die mit zunehmender Wasserwechselzone ansteigenden Summenkurven zeigen einen generell negativen Effekt einer grösser werdenden Wasserwechselzone auf den Strandungsanteil. Dies erscheint logisch, da eine größere trockenfallende Fläche entsteht, auf welcher potenziell eine Strandung möglich wäre.

Die Analyse der Boxplots nach Bestimmung der Strandungsanteile für die jeweilige Ausdehnung der Wasserwechselzone gemäß VZH-M und einer weiteren Gruppe zeigt deutlich den steigenden Strandungsanteil mit schlechterer Bewertung. Dabei liegt der größte Anstieg zwischen den Bewertungen *sehr gut* und < 20 % sowie zwischen < 20 %

und *gut* vor. Die Streuung ist in *sehr gut* am geringsten ausgeprägt. Allerdings ist auch bereits bei einer Wasserwechselzone $< 10\%$ (*sehr gut*) ein Strandungsanteil von 100% möglich. Aufgrund der Käfiglänge von $11,55\text{ m}$ sind die Ergebnisse in der Betrachtung der Wasserwechselzone in $[\%]$ nach VZH-M und in $[\text{m}]$ fast identisch, wobei erst ab einer Wasserwechselzone $> 1\text{ m}$ ein Maximum der Strandungsrate von 100% auftritt.

Der steigende Strandungsanteil mit zunehmender Wasserwechselzone zeigt einen negativen Einfluss der Wasserwechselzone auf die Strandungsproblematik. Die große Streuung um den Median ab einer Bewertung $< 20\%$ sowie die Maximalwerte von 100% in jeder Bewertung zeigen auf, dass neben der Wasserwechselzone weitere Parameter das Stranden beeinflussen.

Dies bestätigt die Ergebnisse von SCHWEIZER ET AL. (2020) bei denen mit größerer Wasserwechselzone der Strandungsanteil zunimmt. Dabei wurde eine Wasserwechselzone von $4,5\text{ m}$ Länge untersucht.

7.2.3 Kombiniertes Einfluss der Pegelrückgangsrates und der Wasserwechselzone

Zur Analyse des kombinierten Einflusses der Parameter wurden die Versuche zuerst nach Pegelrückgangsrates in Gruppe 1 und 2 sowie Gruppe 3 und 4 eingeteilt. Daraufhin wurden Boxplots der Strandungsanteile für jede Bewertung der Wasserwechselzone gemäß VZH-M und einer weiteren Bewertung erstellt (vgl. Abb. 11 und 12).

Analog zur alleinigen Betrachtung der Wasserwechselzone kann in beiden Gruppierungen ein Anstieg (Median, Minimum und Maximum) des Strandungsanteils mit zunehmender Wasserwechselzone erkannt werden. Der deutlichste Anstieg liegt zwischen den Bewertungen *sehr gut* und $< 20\%$ sowie zwischen $< 20\%$ und *gut* vor. Dabei ist der Anstieg in Gruppe 2 und 4 deutlich grösser als in Gruppe 1 und 3.

Bei Pegelrückgangsrates $< 0,3\text{ cm/min}$ beträgt die maximale Strandung 48% , wobei diese erst bei einer Wasserwechselzone $> 50\%$ erreicht wird. Die maximale Strandung bei Pegelrückgangsrates $\geq 1,0\text{ cm/min}$ beträgt hingegen 100% und ist bereits bei einer Wasserwechselzone $< 10\%$ möglich.

Aufgrund der deutlichen Unterschiede im Median, den Extremwerten und der Streuung zwischen den Gruppen 1 und 2 sowie den Gruppen 3 und 4 über die verschiedenen Bewertungen der Wasserwechselzone lässt sich ein negativer Synergieeffekt zwischen schneller Pegelrückgangsrate ($\geq 1,0$ cm/min) und großer Wasserwechselzone auf das Stranden von larvalen Forellen erkennen. Aufgrund der großen Streuung innerhalb der Gruppen 2 und 3 zeigt sich ein undeutliches Bild bei Pegelrückgangsraten $\geq 0,3$ cm/min und $< 1,0$ cm/min.

Durch den von einigen Autoren bereits in Einzelbetrachtung nachgewiesenen negativen Effekt der Pegelrückgangsrate (AUER ET AL., 2014; BAUMANN ET AL., 2012; BRADFORD, 1997; HALLERAKER ET AL., 2003; MONK, 1989; OLSON, 1990; SALVEIT, 2001; SCHMUTZ ET AL., 2013; SCHMUTZ ET AL., 2014; SCRUTON ET AL., 2008) und der Wasserwechselzone (SCHWEIZER ET AL. 2020) sowie der Einordnung in eine Aggregationsmatrix (TONALLA ET AL., 2017) erscheint ein negativer Synergieeffekt der beiden Parameter plausibel.

7.2.4 Beobachtungen zum Fischverhalten

Während der Strandungsversuche konnten verschiedene Verhaltensweisen bei mehreren Individuen beobachtet werden, welche sich mit anderen Autoren decken. Sowohl bei SCHWEIZER ET AL. (2020) und HALLERAKER ET AL. (UNVERÖFFENTLICHT; AUS SALVEIT ET AL., 2020) als auch in dieser vorliegenden Arbeit begann die Habitataufgabe der Fische bei Erreichen einer Wassertiefe, die ungefähr der Einfachen-Körperhöhe entspricht. Dies erscheint logisch, da das Habitat larvaler und juveniler Salmoniden in sehr flachen Uferbereichen bzw. an flachen Kiesbänken zu finden ist und sie daher eine geringe Wassertiefe bevorzugen.

Analog zu SCHWEIZER ET AL. (2020) konnten die gleichen Verhaltensmuster nach Habitataufgabe beobachtet werden. Die Autoren definierten das aktive Schwimmen gegen die Strömung als größtes Risiko für ein Stranden. In den diesjährigen Strandungsversuchen führte ebenfalls eine aktive Wanderung gegen die Strömung sowie eine vertikale Wanderung in das Substrat häufig zum Stranden der Fische.

Aus den Beobachtungen der Versuche aus dem Jahr 2021 kann ein Einfluss der Parameter Pegelrückgangsrates und Wasserwechselzone wie folgt abgeleitet werden:

a. Einfluss der Pegelrückgangsrates

- Bei **langsamen** Pegelrückgangsrates steht den Larven *mehr Zeit* und damit *mehr (Fehl-)Versuche* zur Verfügung, um erfolgreich einen Habitatwechsel durchzuführen und schlussendlich die Sunkzone zu erreichen.
- Bei **schnellen** Pegelrückgangsrates steht den Larven *weniger Zeit* und damit *weniger (Fehl-)Versuche* zur Verfügung. Eine Fehlentscheidung¹ im Abwanderverhalten führt oft zum Stranden.

b. Einfluss der Wasserwechselzone

- Bei einer **grösseren** Wasserwechselzone stehen potenziell *mehr Habitate* zur Verfügung, weshalb *häufiger* ein erfolgreicher Habitatwechsel nötig ist.
- Bei einer **kleinen** Wasserwechselzone stehen potenziell *weniger Habitate* zur Verfügung, weshalb nur *wenige* erfolgreiche Habitatwechsel nötig sind.

c. Kombiniertes Einfluss der Pegelrückgangsrates und der Wasserwechselzone

Tabelle 6: Matrix des kombinierten Einflusses aus Pegelrückgangsrates und Wasserwechselzone.

	PRR langsam	PRR schnell
WWZ klein	viele Versuche für wenige Habitatwechsel	wenige Versuche für wenige Habitatwechsel
WWZ gross	viele Versuche für häufige Habitatwechsel	wenige Versuche für häufige Habitatwechsel

Aus Tabelle 6 lässt sich der kombinierte Einfluss der Pegelrückgangsrates und der Wasserwechselzone bei unterschiedlich starken Ausprägungen der Parameter ablesen. Die Kombination aus grosser Wasserwechselzone und schneller Pegelrückgangsrates

¹ Fehlentscheidung = Wanderung in eine Sackgasse, Schwimmen gegen die Strömung in entwässernde Bereiche, Verbleiben in einer Mulde, vertikale Wanderung in das Substrat

stellt das größte Strandungsrisiko für die Fische dar, da ihnen nur wenige Versuche für häufige Habitatwechsel zur Verfügung stehen.

8 Schlussfolgerung

Im Rahmen der Strandungsversuche der Fachstelle Ökologie der Kraftwerke Oberhasli AG wurden vom 16.04.2021 bis zum 28.05.2021 insgesamt 18 Versuche in der Restwasserstrecke der Hasliaare in Innertkirchen nach der Methode von SCHWEIZER ET AL. (2020) durchgeführt. Dabei lag die durchschnittliche Wiederfinderate bei 98 %.

Die untersuchten Pegelrückgangsraten schwankten von 0,02 bis 4,18 cm/min und der Anteil der Wasserwechselzone von 67 % bis 96 %. Gemäß der Aggregationsmatrix nach VZH-M wurden zehn Versuche mit *schlecht*, ein Versuch mit *unbefriedigend* und sieben Versuche mit *gut* bewertet. Keiner der Versuche fiel jeweils in die Kategorie *sehr gut* und *mässig*. Der Strandungsanteil aller Versuche lag bei 0 % bis 100 %.

Aus der Datenanalyse des Einflusses der Parameter Pegelrückgangsrate und Wasserwechselzone sowie des Synergieeffekts beider Parameter auf den Strandungsanteil der Larven von *Salmo trutta* (**Alter = wenige Tage bis Wochen nach Emergenz**) konnten nachfolgende Aussagen in Bezug auf die Hypothesen abgeleitet werden:

1. Mit schnellerer Pegelrückgangsrate steigt der Strandungsanteil. Damit hat die Pegelrückgangsrate einen klaren negativen Einfluss auf den Strandungsanteil. H1 kann durch die Ergebnisse bestätigt werden. Da teilweise auch im niedrigen Bereich der Pegelrückgangsraten Strandungsanteile von 25 % und mehr auftraten und die Streuung vor allem im Bereich zwischen 0,1 und 1,0 cm/min auffallend groß war, scheinen neben der Pegelrückgangsrate weitere Parameter das Stranden zu beeinflussen.
2. Mit größerer Wasserwechselzone nimmt der Strandungsanteil zu. H2 kann durch die Ergebnisse bestätigt werden. Jedoch war bereits bei einem Anteil der Wasserwechselzone < 10 % (bzw. > 1 m) eine Strandungsrate von 100 % möglich. Zusätzlich zeigte sich eine große Streuung ab einem Anteil der Wasserwechselzone von > 10 %. Dadurch zeigt sich ein generell negativer Einfluss der Wasserwechselzone auf das Stranden, welcher aber scheinbar stark von weiteren Parametern beeinflusst wird.

3. Bei niedrigen Pegelrückgangsraten $< 0,3 \text{ cm/min}$ zeigte sich ein Anstieg der Strandungsraten ab einer Wasserwechselzone $> 10 \%$ (bzw. $> 1 \text{ m}$). Im gleichen Bereich der Wasserwechselzone war der Anstieg bei hohen Pegelrückgangsraten $\geq 1,0 \text{ cm/min}$ stärker ausgeprägt. Auch die Extremwerte und der Median zwischen beiden Gruppen zeigten einen deutlichen Unterschied. Damit lässt sich aus den Ergebnissen ein negativer Synergieeffekt aus Pegelrückgangsraten $\geq 1,0 \text{ cm/min}$ sowie großer Wasserwechselzone aufzeigen. H3 kann durch die Ergebnisse bestätigt werden.
4. Das Verhalten der Versuchsfische nach Habitataufgabe unterstützt die Aussagen in Bezug auf den negativen Einfluss der Pegelrückgangsrate und der Wasserwechselzone sowie dem negativen Synergieeffekt auf das Stranden.

9 Ausblick

Nach Analyse der Daten der diesjährigen Strandungsversuche zeigt sich bei Pegelrückgangsraten im Bereich $0,1$ bis $1,0 \text{ cm/min}$ ein undeutliches Bild mit mehreren Unsicherheiten. Um genauere Aussagen zu diesem Bereich treffen zu können, sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Da in den Versuchen von SCHWEIZER ET AL. (2020) vermehrt Pegelrückgangsraten in diesem Bereich untersucht wurden, empfiehlt sich eine anschließende Analyse mit Einbezug der Daten von 2018 und 2019.

Aufgrund der geringen Anzahl beobachteter Versuchsfische lassen sich keine allgemeingültigen Aussagen auf das Verhalten der Fische während des Pegelrückgangs treffen. Daher sollte das Ziel zukünftiger Forschung sein, das Verhalten der Fische während des Pegelrückgangs genauer zu untersuchen.

10 Literaturverzeichnis

- Auer, S.; Fohler, N.; Zeiringer, B.; Führer, S. & Schmutz, S. (2014): Drift und Stranden von Äschen und Bachforellen während der ersten Lebensstadien (Experimentelle Untersuchungen zur Schwallproblematik). Wien: Universität für Bodenkultur.
- Baumann P.; Kirchhofer A. & Schälchli U. (2012): Sanierung Schwall/Sunk – Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1203: 126 S.
- Bradford MJ. (1997): An experimental study of stranding of juvenile salmonids on gravel bars and in sidechannels during rapid flow decreases. *Regulated Rivers: Research and Management* 13: 395–401
- Cushman, R.M. (1985): Review of Ecological effects of Rapidly Varying Flows Downstream from Hydroelectric Facilities. *North American Journal of Fisheries Management* 5: S. 330-339.
- Donaldson, M.R.; Cooke, S.J.; Patterson, D.A. & Macdonald, J.S. (2008): Cold shock and fish. *Journal of Fish Biology* 73, S. 1491-1530.
- Evans, D. (2007): Effects of hypoxia on scope for activity and power capacity lake trout (*Salvelinus namaycush*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64, S. 345-361.
- Halleraker, J. H.; Saltveit, S. J.; Harby, A.; Arnekleiv, J. V.; Fjeldstad, H. P. & Kohler B. (2003): Factors influencing stranding of juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River research and applications*, 19, S. 589-603.
- Hunter, M. A. (1992): Hydropower flow fluctuations and salmonids: a review of the biological effects, mechanical causes, and options for mitigation. Technical Report Nr. 119. Department of Fisheries, State of Washington, Olympia WA, USA.

- Irvine, R. L.; Thorley, R.; Westcott, R.; Schmidt, D. & Derosa, D. (2015): Why do fish strand? An analysis of ten years of flow reduction monitoring data from the columbia and kootenay rivers, Canada. *River Research and Applications*, 31. S. 1242-1250.
- Kohler, C.C.; Sheenan, R.J. & Sweatman, J.J., (1993): Largemouth bass hatching success and first-winter survival in two Illinois reservoirs. *North American Journal of Fisheries Management* 13, 125-133.
- Korman, J. & Campana, S.E., (2009): Effects of hydropeaking on nearshore habitat use and growth of age-0 rainbow trout in a large regulated river. *Transactions of the American Fisheries Society* 138, 76-87.
- Monk, CL. (1989): Factors that Influence Stranding of Juvenile Chinook Salmon and Steelhead Trout. Master of Science thesis, University of Washington.
- Olson, FW. (1990): Downramping Regime for power operations to minimize stranding of salmonid fry in the Sultan River. Bellevue, WA.
- Sabo, M.J.; Bryan, C.F.; Kelso, W.E. & Rutherford, D.A., (1999): Hydrology and aquatic habitat characteristics of a riverine swamp: II hydrology and the occurrence of chronic hypoxia. *Regulated Rivers: Research & Management* 15, S. 525-542.
- Saltveit, S. J.; Halleraker, J. H.; Arnekleiv, J. V. & Harby, A. (2001): Field experiments on stranding in juvenile Atlantic Salmon (*Salmo Salar*) and Brown Trout (*Salmo Trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropeaking. *Regulated Rivers: Research & Management*, 17, S. 609–622.
- Schmutz, S.; Fohler, N.; Friedrich, T.; Fuhrmann, M.; Graf, W.; Greimel, F.; Höller, N.; Jungwirth, M.; Leitner, P.; Moog, O.; Melcher, A.; Müllner, K.; Ochsenhofer, G.; Salcher, G.; Steidl, C.; Unfer, G. & Zeiringer, B. (2013): Schwallproblematik an

Österreichs Fließgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten.
BMFLUW, Wien.

Schmutz, S.; Bakken, T. H.; Friedrich, T.; Greimel, F.; Harby, A.; Jungwirth, M.; Melcher, A.; Unfer, G. & Zeiringer, B. (2014): Response of fish communities to hydrological and morphological alterations in hydropeaking rivers of Austria. *River Research and Applications*. DOI: 10.1002/rra.2795.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rra.2795/pdf> (letzter Zugriff: 11.08.2014).

Schweizer, S.; Meyer, M.; Greter, R.; Schläppi, S.; Baumgartner, J.; Berger, B.; Lundsgaard-Hansen, L.; Büsser, P. & Flück, M. (2016): "Monitoring Plus" – Was können wir aus der Schwallisanierung der Hasliaare lernen?. *WasserWirtschaft* 2-3, 2019: S. 12-18.

Schweizer, S.; Berger, B.; Meyer, M.; Baumgartner, J. & Schläppi, S. (2020): Stranden von Fischen. Entwicklung eines Versuchsdesigns für Strandungsversuche in freien Fließgewässern und Durchführung von Strandungsversuchen in der Hasliaare mit wild emergierten Bachforellenlarven (unveröffentlicht).

Scruton, DA.; Pennell, C.; Ollerhead, LMN.; Alfredsen, K.; Stickler, M.; Harby, A.; Robertson, M.; Clarke, KD. & LeDrew, LJ. (2008): A synopsis of "hydropeaking" studies on the response of juvenile Atlantic salmon to experimental flow alteration. *Hydrobiologia* 609: 263–275. [accessed 17 January 2013]

Stradmeyer, L.; Hojesjo, J.; Griffiths, S.W.; Gilvear, D.J. & Armstrong, J.D. (2008): Competition between brown trout and Atlantic salmon parr over pool refuges during rapid dewatering. *Journal of Fish Biology* 72, 848-860.

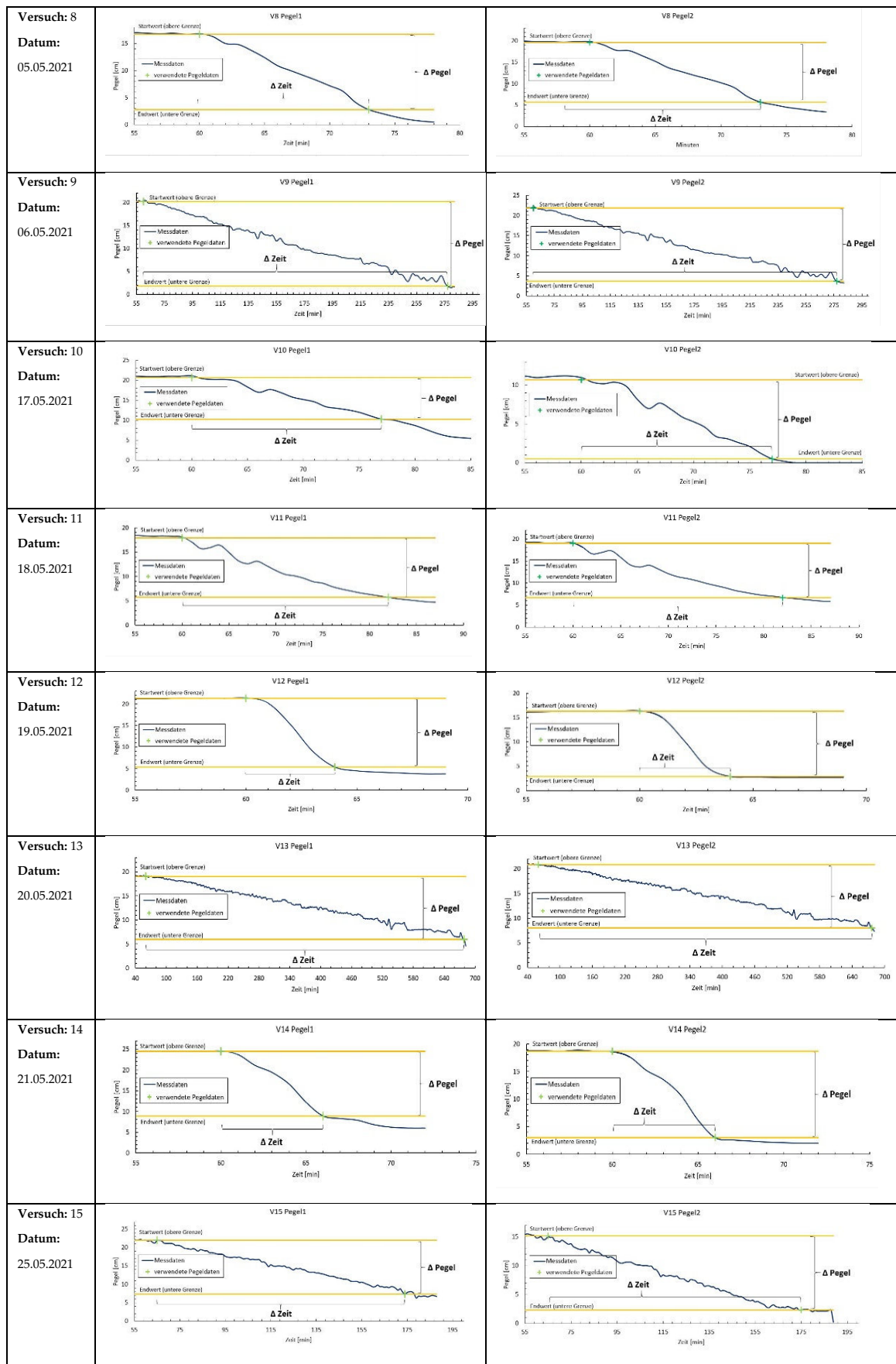
Tonolla, D.; Chaix, O.; Meile, T.; Zurwerra, A.; Büsser, P.; Oppliger, S. & Essyad K. (2017): Schwall-Sunk – Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1701: 133 S.

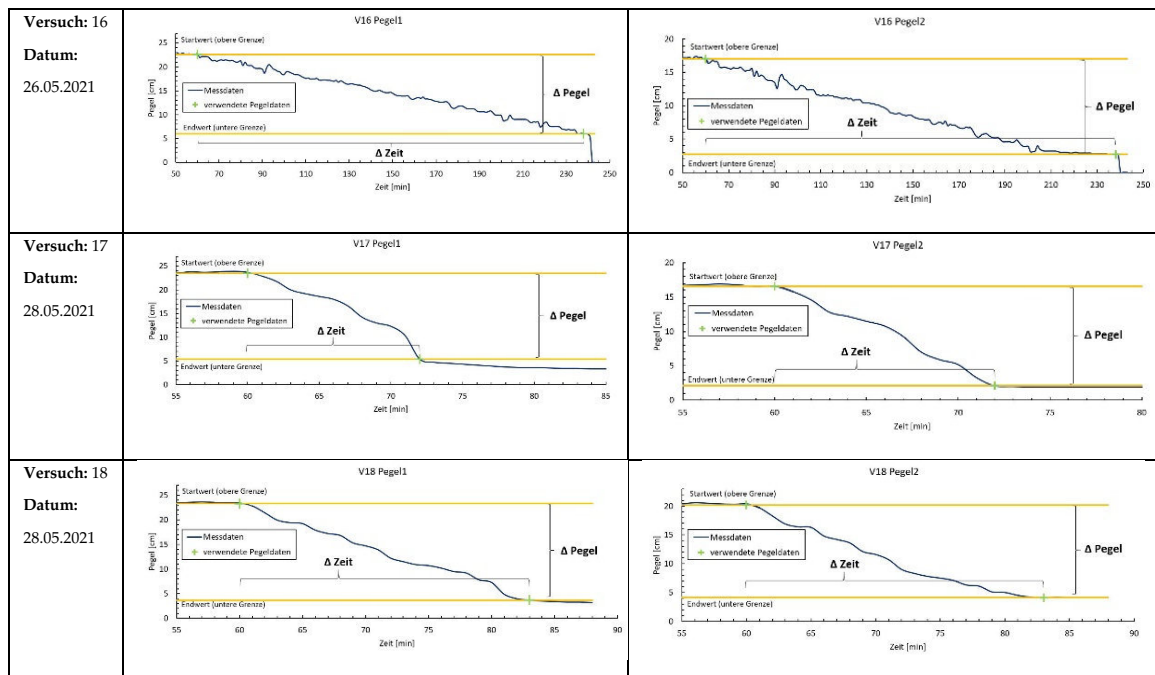
11 Anhang

11.1 Anhang I - Messungen der Pegelsonden

Tabelle 7: Graphiken der gemessenen Pegelrückgangsraten

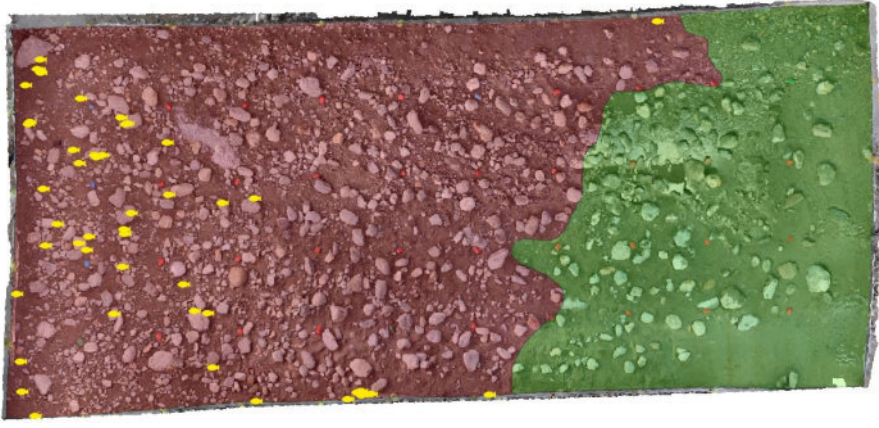
Beschreibung	Pegelsonde 1	Pegelsonde 2
Versuch: 1 Datum: 16.04.2021		
Versuch: 2 Datum: 21.04.2021		
Versuch: 3 Datum: 23.04.2021		
Versuch: 4 Datum: 27.04.2021		
Versuch: 5 Datum: 28.04.2021		
Versuch: 6 Datum: 29.04.2021		
Versuch: 7 Datum: 04.05.2021		

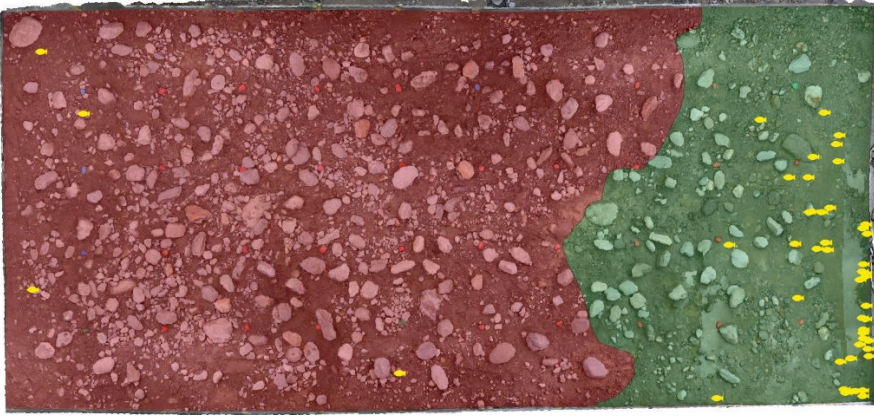
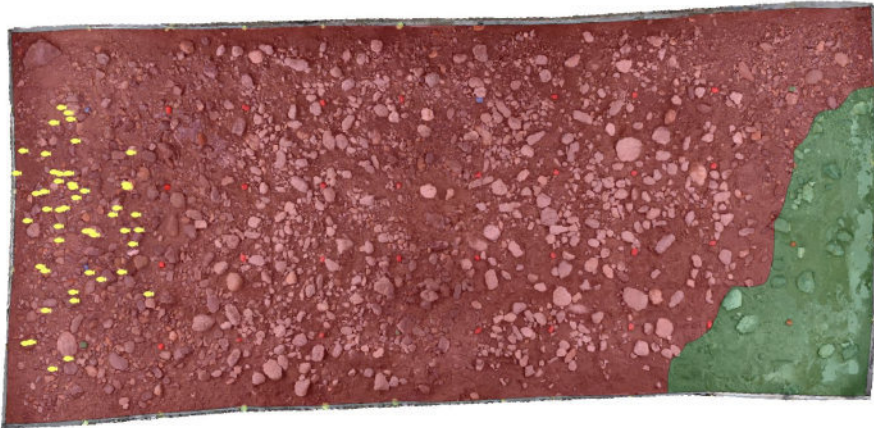


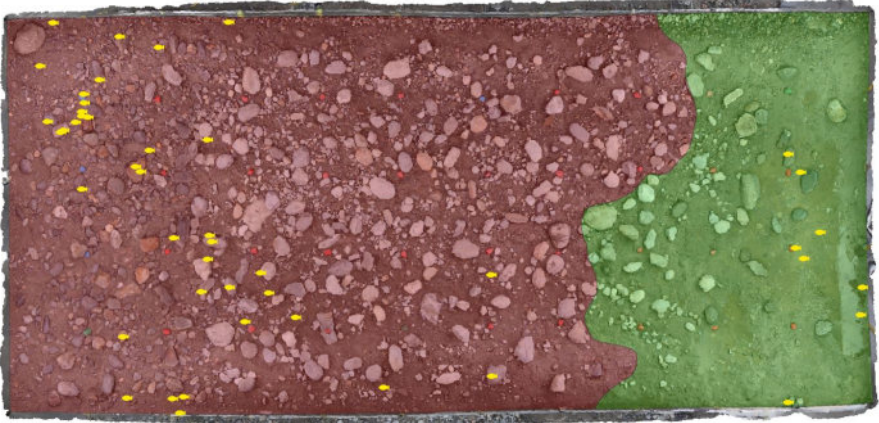
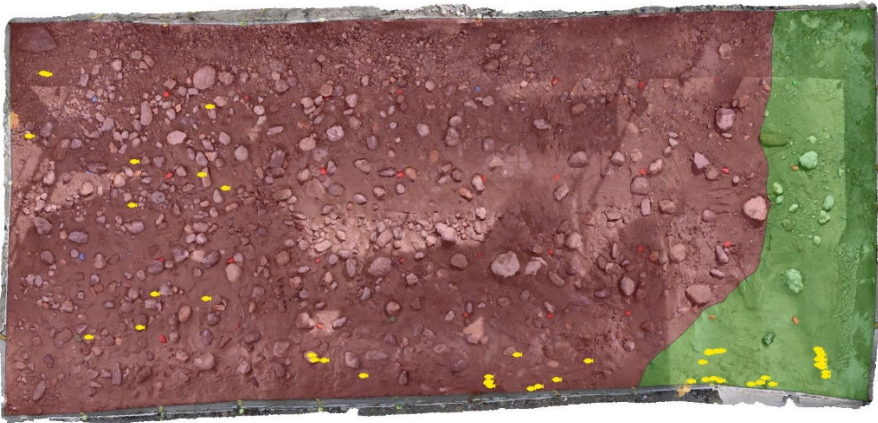
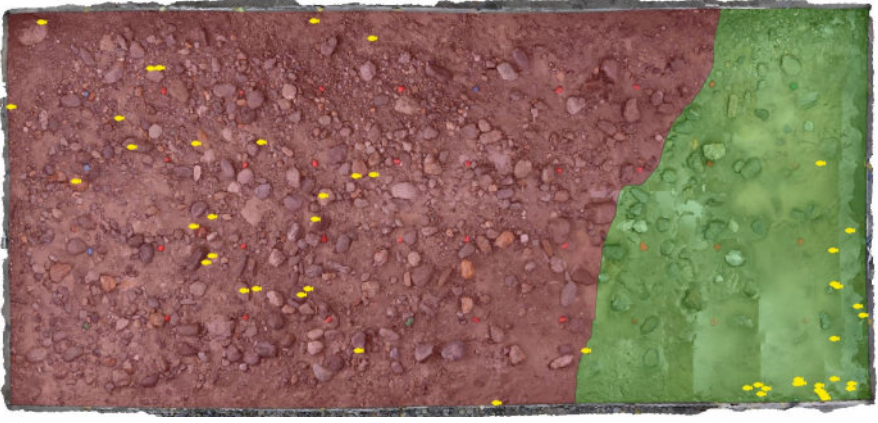


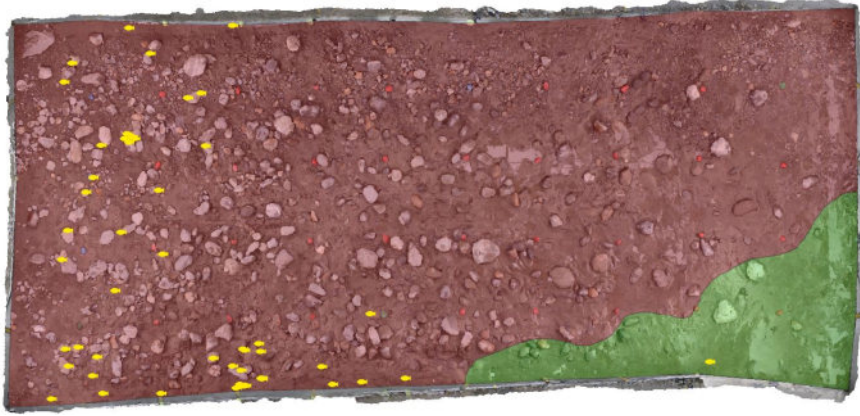
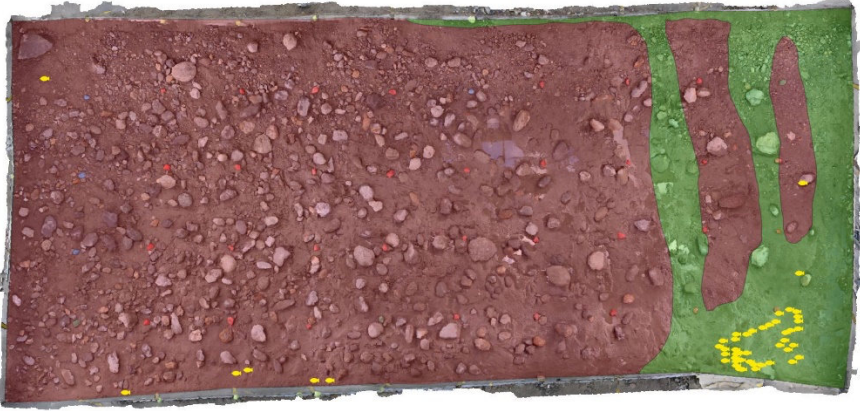
11.2 Anhang II - Versuchsflächen mit Zonen und Fischfundorten

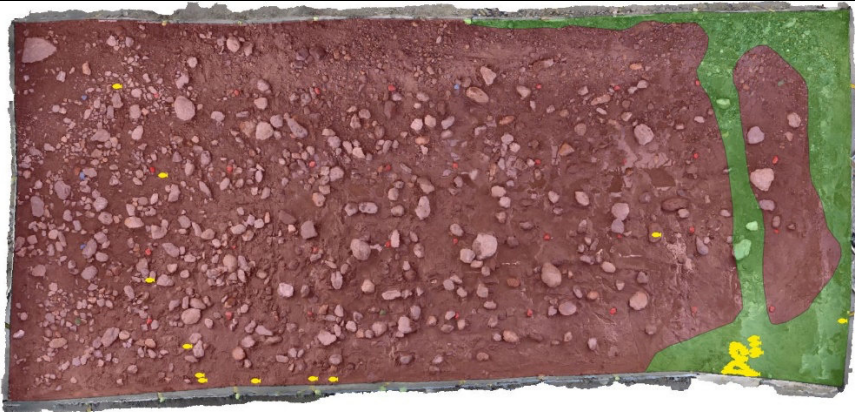
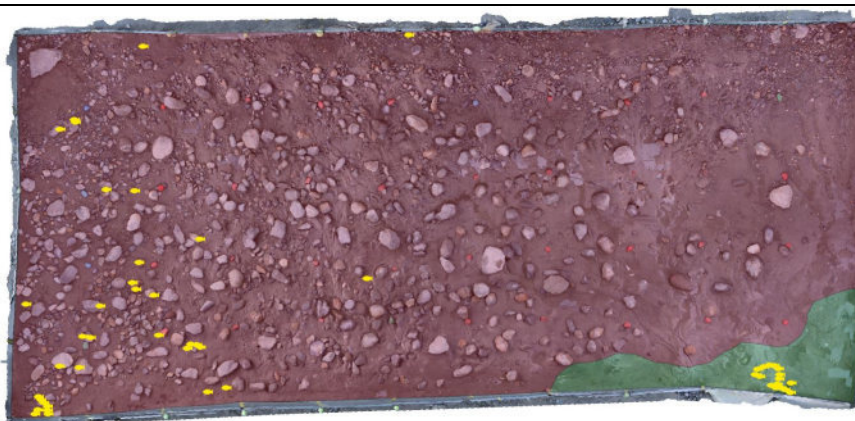
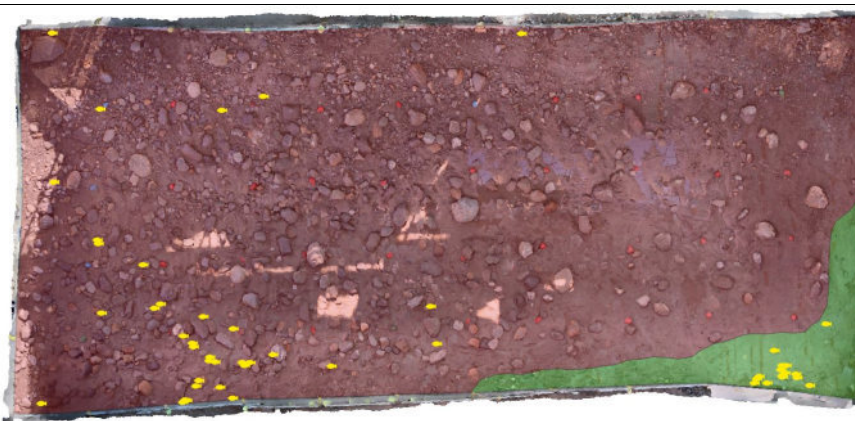
Tabelle 8: Übersicht der Versuchsflächen mit Einteilung der Zonen und Fischfundorten

Beschreibung	Versuchsfläche
Versuch: 1 Datum: 16.04.2021	
Versuch: 2 Datum: 21.04.2021	
Versuch: 3 Datum: 23.04.2021	

Versuch: 4 Datum: 27.04.2021	
Versuch: 5 Datum: 28.04.2021	
Versuch: 6 Datum: 29.04.2021	
Versuch: 7 Datum: 04.05.2021	

Versuch: 8 Datum: 05.05.2021	
Versuch: 9 Datum: 06.05.2021	
Versuch: 10 Datum: 17.05.2021	
Versuch: 11 Datum: 18.05.2021	

Versuch: 12 Datum: 19.05.2021	
Versuch: 13 Datum: 20.05.2021	
Versuch: 14 Datum: 21.05.2021	
Versuch: 15 Datum: 25.05.2021	

Versuch: 16 Datum: 26.05.2021	
Versuch: 17 Datum: 28.05.2021	
Versuch: 18 Datum: 28.05.2021	

Erklärung

Verfasser (Vorname, Name): Robin Hochgesand

Betreuer (Vorname, Name): Prof. Dr. Andreas Hoffmann

Thema der Arbeit: Einfluss der Schwall-Sunk sensitiven Parameter
Wasserwechselzone und Pegelrückgangsrage auf das
Stranden von wild emergierten Forellenlarven (*Salmo
trutta*)

Ich erkläre hiermit, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst, noch nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Ort	Datum	Unterschrift Verfasser

Erklärung bzgl. der Zugänglichkeit von Diplom-/Bachelor-/Masterarbeiten

Verfasser (Vorname, Name): Robin Hochgesand

Betreuer (Vorname, Name): Prof. Dr. Andreas Hoffmann

Thema der Arbeit: Einfluss der Schwall-Sunk sensitiven Parameter Wasserwechselzone und Pegelrückgangsrage auf das Stranden von wild emergierten Forellenlarven (*Salmo trutta*)

Ich bin damit einverstanden, dass die von mir angefertigte Arbeit mit o.g. Titel innerhalb des Bibliothekssystems der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf aufgestellt und damit einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird. Die Arbeit darf im Bibliothekskatalog der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (und zugeordneten Verbundkatalogen) nachgewiesen werden und steht allen Nutzern der Bibliothek entsprechend den jeweils gültigen Nutzungsmodalitäten der Hochschulbibliothek der HSWT zur Verfügung. Ich bin mir auch darüber im Klaren, dass die Arbeit damit von Dritten ohne mein Wissen kopiert werden kann. Die Veröffentlichung der Arbeit habe ich mit meinem Betreuer und falls zutreffend, mit der Firma/Institution abgesprochen, die eine Mitbetreuung übernommen hatte.

☐	Ja
☐	Ja, nach Ablauf einer Sperrfrist von _____ Jahren
☐	NEIN

Ort	Datum	Verfasser

Fachgebiet:

Umweltsicherung

- ☐ Abfall
- ☐ Boden
- ☐ Wasser
- ☐ Analytik, Mikrobiologie
- ☐ Ökologie & Naturschutz
- ☐ Umwelttechnik, EDV
- ☐ Verwaltung, Recht, Wirtschaft
- ☐ Umweltmanagement
- ☐ Erneuerbare Energien

☐ Ernährung und Versorgungsmanagement

- ☐ Lebensmittelmanagement

Master:

- ☐ Energiemanagement und Energietechnik
- ☐ MBA Agrarmanagement
- ☐ MBA Regionalmanagement

Landwirtschaft

- ☐ Pflanzliche Erzeugung
- ☐ Tierische Erzeugung
- ☐ Agrarökonomie
- ☐ Landtechnik
- ☐ Erneuerbare Energien
- ☐ Agrarökologie
- ☐ Vieh und Fleisch

Als Betreuer bin ich mit der Aufnahme in das Bibliothekssystem der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf **NICHT** einverstanden.

Ort	Datum	Unterschrift Betreuer