

Masterarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur

Drift- und Strandrungsversuche mit
Äschenlarven (*Thymallus thymallus* L.)
bei
unterschiedlichen Strukturverhältnissen

verfasst von
Andreas Fischer

eingereicht an der
Universität für Bodenkultur
Department Wasser – Atmosphäre – Umwelt
Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement

Matrikelnummer: 0521367
Studienkennzahl: H 419
Studienrichtung: Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur

Betreuer: Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Stefan Schmutz
Mitbetreuer: Dipl.-Ing. Bernhard Zeiringer

Wien, Dezember 2013

„Wenn man Fische studieren will, wird man am besten selber zum Fisch.“

Jacques-Yves Cousteau

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Hausarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, alle Ausführungen, die anderen Schriften wörtlich oder sinngemäß entnommen wurden, kenntlich gemacht sind und die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht Bestandteil einer Studien- oder Prüfungsleistung war.

Unterschrift des Verfassers

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all denen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Masterarbeit unterstützt haben. Meinen ausgesprochenen Dank für die gute Betreuung möchte ich an Bernhard ZEIRINGER entrichten. Die kompetente Unterstützung mit zielgerichteter Hilfeleistung und die gleichzeitige Möglichkeit des eigenständigen Arbeitens wusste ich sehr zu schätzen.

Besonderer Dank gilt Nora FOHLER für die Vermittlung ihres Wissens und ihrer Erfahrungen in der Versuchsdurchführung sowie in der statistischen Datenauswertung.

Vielen Dank an die Studentinnen und Studenten Stefan AUER, Simon FÜHRER und Bernadette RAUCH. Ohne ihre Mithilfe und ihr Engagement bei der Datenerhebung wären die Versuchsreihen nicht bewerkstelligt worden.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir das Studium überhaupt erst ermöglicht haben. Herzlichen Dank für die finanzielle und moralische Unterstützung während meiner Studienzeit.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Projektes „*Experimentelle Untersuchungen zur Schwallproblematik – Stranden und Drift von juvenilen Äschen und Bachforellen*“ erstellt. Ziel der Arbeit ist es, die Drift und Strandung von Äschenlarven (*Thymallus thymallus* L.) infolge eines simulierten Schwallereignisses zu erforschen. Anhand weiterführender Versuche an der HyTEC – Versuchsanlage (**H**ydromorpological and **T**emperature **E**xperimental **C**hannel) in Lunz am See sollen vorliegende Ergebnisse geprüft und neue Schwallszenarien getestet werden. Zusätzlich werden morphologische Aspekte in Bezug auf die Drift und Strandung der Larven durch den Einbau spezieller Strukturen berücksichtigt und erforscht. Das Alter- und Entwicklungsstadium der in Versuchen eingesetzten Fische erstreckt sich bis zu 12 Tagen nach der Emergenz aus dem Schotterkörper bzw. bis zum Erreichen einer durchschnittlichen Körperlänge von 20 mm. Das Versuchsdesign wurde entsprechend zuvor durchgeführter Versuchsreihen angepasst, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Anhand von Strandungsbeobachtungsversuchen konnte erneut eine Erhöhung der Strandrungsrate infolge eines schnelleren Rückgangs der Wasseranschlagslinie festgestellt werden. Darüber hinaus ergab die Untersuchung eines weiteren Abstiegsszenarios, dass die Strandrungsrate der Larven bei einer Abstiegsgeschwindigkeit kleiner als 0,32 cm/min nahezu null ist. Die Erforschung morphologischer Einflüsse erfolgte durch den Einbau zweier spezieller Strukturen in Form von Mulden und Buchten. Diese Strukturen unterschieden sich hinsichtlich ihrer Größe und der Anbindung an den Wasserkörper bei Sunkabfluss. Das Ergebnis der Muldenversuche stellte erneut eine Zunahme der Strandrungsrate bei erhöhter Abstiegsgeschwindigkeit fest. Zudem konnte ein „Falleneffekt“ dieser Struktur aufgrund der fehlenden Anbindung an den Wasserkörper bei Sunkabfluss nachgewiesen werden. Im Mittelpunkt der Buchtversuche stand die Analyse der gedrifteten Larven. Dabei zeigte sich kein Unterschied der Driftrate bei Schwall- und Referenzbedingungen. Auch zwischen den getesteten An- und Abstiegsszenarios im Rahmen dieser Versuchsanordnung konnte keine signifikante Differenz ermittelt werden. Der Vergleich mit den Ergebnissen der Versuche auf einer homogenen Schotterbank ergab eine Reduktion der Driftrate infolge des Vorhandenseins von Buchtstrukturen. Die Versuchsreihen brachten somit eindeutig hervor, dass die Struktur einen Einfluss auf die Drift und Strandung von Äschenlarven während eines Schwallereignisses hat.

Abstract

This study was carried out within the frame of the project „*Experimentelle Untersuchungen zur Schwallproblematik – Stranden und Drift von juvenilen Äschen und Bachforellen*“. The thesis deals with downstream displacement and stranding risk of larval grayling (*Thymallus thymallus* L.) due to a hydropeaking event. On the basis of further experiments at the experimental facility “HyTEC” (**H**ydromorphological and **T**emperature **E**xperimental **C**hannel) in Lunz am See (Lower Austria) compiled results are checked and new hydropeaking scenarios are tested. Additionally morphological aspects are considered and researched with regard to drifting and stranding of larvae through the installation of special structures. The fish used in experiments were up to 12 days old (after emergence) and reached an average body length up to 20 mm. The test procedure was adapted to performed experiments to ensure the comparability of the results. It was determined by direct observation of larvae that a faster decline in the water level leads to a higher rate of stranding. An additional test showed that the stranding risk of larvae is nearly zero at a down-ramping rate lower than 0,32 cm/min. The exploration of morphological influences was carried out by the installation of specific structures like potholes and alcoves. These structures differed in size and connection to the water body. Based on the experiments with potholes, an increased ramping-rate leads to a higher stranding risk. It was also detected that a structure shaped like a pothole causes “trapping” of larvae due to the lack of access to the water body after a hydropeaking event. The main focus of the alcove-experiments was on the downstream displacement of larvae. The rate of drifting was the same under reference and hydropeaking conditions. There was also no significant difference of drifting larvae between the tested ramping-rates. The comparison with the results of experiments on a homogeneous gravel bank resulted in a reduction of the drift-rate due to the presence of alcove structures. The experiments clearly showed that structure has an influence on drifting and stranding of larval grayling during a hydropeaking event.

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG.....	(VII) 7
ZUSAMMENFASSUNG.....	(IX) 9
ABSTRACT.....	(XI) 11
1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	15
1.1 SCHWALLPROBLEMATIK.....	15
1.2 ZIELSETZUNG	17
2 VERSUCHSANLAGE „HYTEC“	19
2.1 DER STANDORT	19
2.2 TECHNISCHE ANLAGENBESCHREIBUNG	20
2.2.1 Wasserentnahme.....	20
2.2.2 Transportwasserleitung.....	21
2.2.3 Forschungsstation mit Schieberkammer.....	22
2.2.4 Experimentierinnen	22
3 VERSUCHSOBJEKT „ÄSCHE“	24
3.1 HABITAT	24
3.2 LARVENSTADIUM.....	25
3.3 DIE VERSUCHSFISCHE.....	26
4 DIE VERSUCHSANORDNUNGEN	28
4.1 ÜBERSICHT.....	28
4.1.1 Begriffserklärungen	30
4.1.2 Berechnungsmethoden	31
4.1.3 Hydromorphologie.....	34
4.2 VERSUCHSANORDNUNG 1, „STRANDUNG“	36
4.2.1 Versuchsablauf	41
4.2.2 Ergebnisse und Interpretation der Versuchsanordnung „Strandung“	45
4.2.2.1 Fehlende Larven	46
4.2.2.2 Drift	49
4.2.2.3 Strandung	53
4.2.2.4 Vergleich mit Strandungsergebnissen aus dem Jahr 2012.....	58
4.3 VERSUCHSANORDNUNG 2, „MULDE“	59
4.3.1 Versuchsablauf	60
4.3.2 Ergebnisse und Interpretation der Versuchsanordnung „Mulde“	63
4.3.2.1 Fehlende Larven	64
4.3.2.2 Drift	66
4.3.2.3 Strandung	70
4.3.2.4 Vergleich mit den Ergebnissen der Versuchsanordnung „Strandung“	73

4.4	VERSUCHSANORDNUNG 3, „BUCHT“	75
4.4.1	<i>Versuchsablauf</i>	80
4.4.2	<i>Ergebnisse und Interpretation der Versuchsanordnung „Bucht“</i>	82
4.4.2.1	Verbliebene und fehlende Larven.....	83
4.4.2.2	Vergleich „verbliebener Larven“ mit Ergebnissen einer Versuchsreihe ohne Buchtstrukturen	87
4.4.2.3	Drift	89
4.4.2.4	Vergleich der „Drift“ mit Ergebnissen einer Versuchsreihe ohne Buchtstrukturen	93
4.4.2.5	Strandung	96
4.4.2.6	Vergleich der „Strandung“ mit Ergebnissen einer Versuchsreihe ohne Buchtstrukturen	99
5	ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE	101
5.1	AUSWIRKUNGEN VON SCHWELLBETRIEB AUF ÄSCHENLARVEN	101
5.2	EINFLUSS DER STRUKTUR	102
6	AUSBLICK	104
	LITERATURVERZEICHNIS	105
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	107
	TABELLENVERZEICHNIS	110

1 Einleitung und Zielsetzung

Die vorliegende Masterarbeit wurde im Rahmen des Studiums Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur am Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement (IHG) der Universität für Bodenkultur Wien verfasst. Es handelt sich dabei um eine eigenständig erstellte, wissenschaftliche Arbeit im Themenbereich des Vertiefungsschwerpunktes Gewässermanagement und Flusslandschaftsplanung.

Inhaltlich ist die Arbeit Teil des Projektes „*Experimentelle Untersuchungen zur Schwallproblematik – Stranden und Drift von juvenilen Äschen und Bachforellen*“ des Institutes für Hydrobiologie und Gewässermanagement.

Bisherige und laufende Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass für die Beurteilung der ökologischen Auswirkungen des Schwellbetriebs noch entscheidende Wissenslücken bestehen. Eine Forschungskooperation zwischen dem Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement (IHG) an der Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien und dem Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wasser, soll daher die Möglichkeiten der Expertise und der Einrichtungen des IHG nutzen und sich offenen ökologischer Fragestellungen für schwallbeeinflusste Fließgewässerabschnitte widmen.

1.1 Schwallproblematik

In Österreich wird Strom aus Wasserkraft mittels Lauf- und Speicherkraftwerken erzeugt. Schwallproblematik umfasst die negativen ökologischen Auswirkungen, die mit der Betriebsweise von vorwiegend Speicherkraftwerken einhergehen.

Die Energieerzeugung aus Wasserkraft erfolgt in Speicherkraftwerken durch Rückhalt von Wasser in Speicherstauen, um Bedarfsspitzen im Stromverbrauch abzudecken. In Zeiten erhöhten Energiebedarfs wird Wasser stoßweise abgearbeitet und in den Vorfluter eingeleitet (GUDERIAN and GUNKEL, 2000). Diese Betriebsweise von Kraftwerken, bei der Wasser stoßartig in sogenannten „Schwällen“ in den Vorfluter abgegeben wird, bezeichnet man als Schwellbetrieb. (JUNGWIRTH et al., 2003)

Schwellbetrieb führt im aufnehmenden Gewässer zu einem künstlichen Hochwasser, das bei vielen Speicherkraftwerken mehrmals täglich stattfinden kann. Aus gewässerökologischer Sicht ergeben sich dadurch Probleme, vor allem weitreichende Folgen für aquatische Lebensgemeinschaften. Neben dem Problem der ausreichenden Restwasserdotations in der Ausleitungsstrecke ist das in hochwasserartigen Schwällen abgearbeitete Triebwasser sowie der bei Abschaltung der Kraftwerke abrupte Rückgang des Wasser, der als Sunk bezeichnet wird, mit starken Beeinträchtigungen der aquatischen Biozönose verbunden. Der Abfluss zwischen zwei Schwallwellen sinkt dabei oft auf ein Niveau unter dem natürlichen Niedrigwasser (LIMNEX, 2004). Schwall/Sunkerscheinungen reichen oft über mehrere Kilometer vom Kraftwerksstandort entfernt, bis sie durch die Wirkung der sogenannten „fließenden Retention“ abgedämpft werden. (JUNGWIRTH et al., 2003)

Die Abfolgen von Schwall/Sunk heben sich vom natürlichen Abflussregime ab. Besonders bei Niedrigwasserführung im Herbst und Winter hat Schwellbetrieb gravierende Auswirkungen auf aquatische Biozönosen, da hier das Verhältnis Basiswasserführung/Schwall besonders hoch ist (LIMNEX, 2004). Auswirkungen des Schwellbetriebs stehen im direkten Zu-

sammenhang mit der Geschwindigkeit des Anstiegs und des Wiederabfalls sowie der Dauer, Amplitude und Frequenz eines solchen Ereignisses. (JUNGWIRTH et al., 2003)

Wie aus dem Forschungsbericht „Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern – ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten“ (SCHMUTZ et al., 2013) hervorgeht, sind in Österreich 811 km Fließstrecke an 122 Wasserkörpern als signifikant schwallbelastet eingestuft. Im Detail handelt es sich dabei um 75 Schwallstrecken und 2,6 % des Gewässernetzes mit einem Einzugsgebiet >10 km², bzw. ca. 30 % der größeren Fließgewässer (Einzugsgebiet > 1000 km²) (BMLFUW, 2010). Betroffen sind vor allem mittlere und größere alpine Flüsse wie Drau, Möll, Enns, Mur, Alpenrhein, die der Forellenregion (Epi-, Metarhithral), Äschenregion (Hyporrhithral) und dem Übergang zur Barbenregion (Epipotamal) zuzuordnen sind. Der größte Teil der belasteten Fließstrecke (>60 %) gehört dem Hyporrhithral, mit der Äsche (*Thymallus thymallus*) als Leitfischart, an.



Abb. 1: Sölkbach in Stein an der Enns bei Sunk
(Quelle: <http://hydropeaking.boku.ac.at/>)



Abb. 2: Sölkbach in Stein an der Enns bei Schwall
(Quelle: <http://hydropeaking.boku.ac.at/>)

Untersuchungen an der Drau in Kärnten (Möll-Malta-Unterstufe) zeigen eine durch Schwellbetrieb verursachte Reduktion des Fischbestandes um ca. 50 %. Ursache dafür ist das Verhalten diverser Fischarten während eines Schwallenszenarios. Das Abbläuen der Fische erfolgt häufig während eines Schalles an überströmten Schotterbänken. Nach dem Sunk sind viele Laichplätze außerhalb der benetzten Fläche und trocknen aus. (JUNGWIRTH et al., 2003)

Neben dem Laich sind auch Fischbrut und Jungfische stark gefährdet, da diese flach überströmte Schotterbänke (bzw. Litoralhabitate), aufgrund der geringeren Fließgeschwindigkeiten, bevorzugen. Nach dem abrupten Rückgang des Wasserstandes stranden viele Jungfische oder bleiben in Mulden im Bereich des Wasser-Land-Überganges zurück und gehen dort zugrunde. (JUNGWIRTH et al., 2003)

Weiters werden während eines Schwallereignisses vermehrt Organismen von ihrer natürlichen Unterlage weggerissen und abgeschwemmt. Je nach Gewässer kommt es dabei bei einem hohen Abfluss zu einem massenhaften und unkontrollierten Abtreiben von Pflanzen und Tieren (vor allem Makroinvertebraten). Dieses Phänomen wird in Fachkreisen als „Katastrophendrift“ bezeichnet.

Eine indirekte Auswirkung auf den Fischbestand hat die Benthosbiomasse, die in schwallbelasteten Fließstrecken (wie beispielsweise an der Drau) einen Rückgang von bis zu 90 % aufweist. Das verdünnte Nahrungsangebot kann in weiterer Folge eine reduzierende Wirkung auf den Fischbestand haben. (JUNGWIRTH et al., 2003)

Die Änderung im Organismenbestand führt in weiterer Folge zu einer differenzierten biologischen Einstufung und Beurteilung (Indikation) des Gewässers. In Schwallstrecken wurde ein erhöhter Anteil von Fresstypen innerhalb des Makrozoobenthos festgestellt. Ebenso zeigte sich ein sogenannter „Rhithralisierungs-Effekt“ durch das Einstellen diverser Fisch- und Invertebraten-Arten, die normalerweise in weiter flussaufwärts gelegenen Abschnitten vorkommen. (LIMNEX, 2004)

Neben diesen Beeinträchtigungen gibt es jedoch noch zahlreiche weitere ökologische Auswirkungen durch Schwellbetrieb wie z. B. eine zunehmende Kolmation (Verstopfung) des Flussbettes durch Feinmaterial (LIMNEX, 2004). Das Wissen über Auswirkungen von Schwall/Sunkereignissen ist noch nicht ausreichend (SCHMUTZ et al., 2009). Es bedarf wissenschaftlich fundierter Daten, um das Ausmaß der Veränderungen belegen zu können und nachhaltige Lösungsansätze zur Minderung der Auswirkungen auf die Gewässerökologie, wie Gewässersanierungsmaßnahmen und Betriebsvorgaben für Wasserkraftwerke, zu entwickeln. (SCHMUTZ et al., 2013)

1.2 Zielsetzung

Gemäß der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRRL, 2000) ist die Sanierung von Schwallstrecken Teil eines ökologisch orientierten Gewässermanagements zum Schutz und zur Verbesserung des Zustandes aquatischer Ökosysteme. Um die durch Schwellbetrieb verursachten Auswirkungen und deren ökologische Folgen wissenschaftlich zu erfassen, wird zurzeit an der Universität für Bodenkultur in Wien am Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement (IHG) das Projekt „Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern – ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten“ bearbeitet. Die im Rahmen dieses Projekts gewonnenen Kenntnisse sollen die Beurteilung der Wirkungen von Schwellbetrieb ermöglichen sowie Sanierungsmöglichkeiten und Maßnahmen für eine ökologische Aufwertung von Schwallstrecken aufzeigen.

Da bestimmte Fragestellungen bezüglich der Reaktion von Fischen auf Schwall- und Sunkereignisse in freien Fließgewässern kaum oder nur eingeschränkt bearbeitbar sind, wurde in Lunz am See (NÖ) die sogenannte HyTEC-Anlage errichtet. Diese eigens konstruierte Anlage, bestehend aus zwei Fließrinnen, ermöglicht es experimentell unter kontrollierten Bedingungen ein vertiefendes Verständnis über die Zusammenhänge zwischen der Reaktion diverser Fischarten auf unterschiedliche Schwellbetriebsweisen zu erlangen. (SCHMUTZ et al., 2013)

Da mehr als 60 % der durch Schwall belasteten Fließstrecken der Äschenregion zuzuordnen sind, konzentrieren sich die an der HyTEC-Anlage durchgeführten Untersuchungen auf die Leitfischart Äsche. Bereits 2012 wurde die Drift und Strandung von Larven und juvenilen Äschen in diversen Versuchsreihen untersucht. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem ersten kritischen Altersstadium dieser Fischart – dem Larvenstadium. In weiteren Versuchen soll im Detail festgestellt werden, wie Äschenlarven auf unterschiedliche Schwellbetriebsweisen reagieren. Dabei werden Drift- und Strandungsraten erhoben und mit den Ergebnissen der im Jahr 2012 ident durchgeführten Versuchsanordnung verglichen, um zu überprüfen, ob die im Jahr zuvor gewonnenen Kenntnisse verifizierbar sind. Mit der Durchführung eines zusätzlichen Schwallszenarios soll in weiterer Folge der Grenzbereich für die Strandung von Larven infolge des Schwellbetriebs eingeschränkt werden.

Der zweite Teil der Arbeit beschäftigt sich mit den Auswirkungen spezieller Strukturen auf die Drift- und Strandungsraten der Äschenlarven. Durch den Einbau einer Mulde bzw. Buchten wird überprüft, ob dadurch die Wirkung von Schwall/Sunk auf diese Fischart gemindert oder verstärkt wird.

Die in diesen Versuchen gewonnenen Erkenntnisse können in weiterer Folge bei der Erarbeitung einer Empfehlung für eine ökologisch vertretbare Betriebsweise von Wasserkraftwerken herangezogen werden sowie für weitere Maßnahmenentwicklungen zur Minderung der Auswirkungen von Schwall- und Sunkereignissen dienlich sein.

Für diese Arbeit wurden folgende Hypothesen formuliert:

- *Schwellbetrieb wirkt sich negativ auf das Larvenstadium von Äschen aus und führt nach Überschreitung eines Schwellenwertes zu einer stark erhöhten Strandungsrate.*
- *Das Vorhandensein spezieller Strukturen, wie Bucht und Mulde, hat Auswirkung auf die Drift- und Strandungsraten von Äschenlarven während eines Schwall Szenarios.*

Die Untersuchung der Auswirkungen des Schwellbetriebs auf das Larvenstadium der Äsche wurde an der Versuchsanlage HyTEC in Lunz am See durchgeführt. Zur Prüfung der Hypothesen wurden drei Versuchsanordnungen entwickelt und formuliert. In diesem Kapitel wird zunächst die Versuchsanlage HyTEC beschrieben sowie auf spezifische Charakteristika des Versuchsobjekts Äsche eingegangen. Im Anschluss daran erfolgen die detaillierte Darstellung der einzelnen Versuchsanordnungen sowie die Beschreibung der Durchführung.

2 Versuchsanlage „HyTEC“

Im Rahmen des Projektes „Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern – ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten“ wurde die Versuchsanlage HyTEC (**H**ydromorphological and **T**emperature **E**xperimental **C**hannel) in Lunz am See errichtet. In den eigens konstruierten Fließrinnen können bestimmte Fragestellungen betreffend der Auswirkungen von Schwellbetrieb bearbeitet werden, die im freien Fließgewässer nicht oder nur eingeschränkt möglich wären. Unter kontrollierten Bedingungen wird die Reaktion von Fischen auf Schwall- und Sunkphänomene gemessen und beobachtet. Die dadurch gewonnenen Erkenntnisse sollen ein vertieftes Verständnis für den Zusammenhang zwischen Schwellbetrieb und den damit verbundenen ökologischen Auswirkungen ermöglichen. In auf die Leitfischart des Hyporhithrals, der Äsche (*Thymallus thymallus*), konzipierten Versuchsreihen werden die Auswirkungen von Schwall/Sunk auf die diversen Entwicklungsstadien der Äsche, von der Larve bis zum Jungfisch, genau erforscht. Potenzielle negative Einflüsse von Schwellbetriebsweisen auf bestimmte Altersstadien können somit quantifiziert und beurteilt werden. Die Ermittlung von Drift- und Strandrungsraten, sowie die Simulation diverser An- und Abstiegsgeschwindigkeiten wären in situ nicht oder nur schwer durchführbar. (SCHMUTZ et al., 2013)

2.1 Der Standort

Die Versuchsanlage HyTEC befindet sich im niederösterreichischen Lunz am See (Bezirk Scheibbs), ca. 400 m vom Ausrinn des Lunzer Sees entfernt, in unmittelbarer Nähe des Seebachs (Abb. 3, Seite 19).

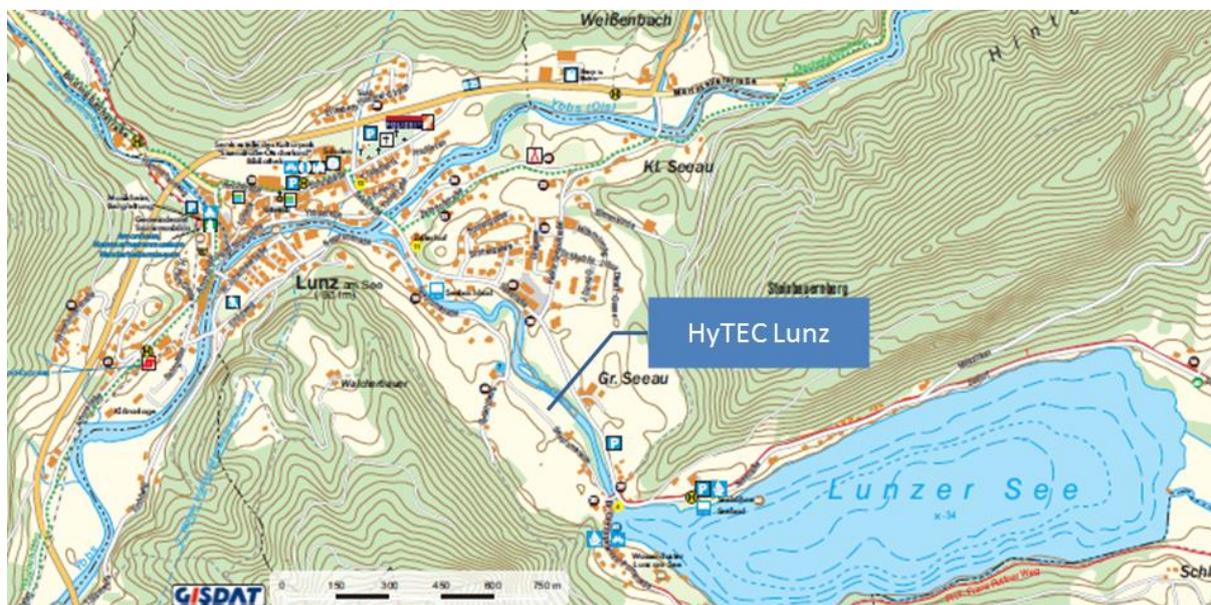


Abb. 3: Standort der Versuchsanlage HyTEC;
(Quelle: <http://www.lunz.at/tourismus/ortsplan2013.pdf>, bearbeitet)

Die Anlage besteht aus zwei Experimentierinnen, deren Wasserspiegel am Einlass (600,90 m ü. A.) etwas mehr als 7 m unterhalb des Seespiegels des Lunzer Untersees (608,05 m ü. A.) liegen. Über zwei Druckrohrleitungen, die eine maximale Dotation von 600l/s gewährleisten, gelangt das Wasser des Lunzer Sees zur Versuchsanlage. Das durchschnittliche Gefälle beträgt dabei 13 ‰. (SCHMUTZ et al., 2013)



Abb. 4: Übersicht Versuchsanlage (Quelle: eigene Aufnahme, 13/06/2013)

2.2 Technische Anlagenbeschreibung

Die für diverse Versuchszwecke errichtete Anlage besteht im Wesentlichen aus 4 Teilelementen, deren Funktion und Bauweise in weiterer Folge erläutert wird.

2.2.1 Wasserentnahme

Das Wasser in den Experimentierinnen wird über zwei Druckrohrleitungen (DN400) aus dem Lunzer See entnommen. Die untere der beiden Rohrleitungen, die sog. „Kaltwasserleitung“, entnimmt das Wasser in ca. 10 m Tiefe. Die andere Leitung, die sog. „Warmwasserleitung“, befindet sich in Oberflächennähe und wurde am Holzsteg der „Bootsvermietung Leichtfried“ verankert. Um das Ansaugrisiko für Schwimmer und Taucher zu minimieren, sind beide Rohreinlässe mit einer Gitterkäfigkonstruktion geschützt. Um die Ansauggeschwindigkeit vor dem Rohreinlass zu reduzieren, wurden eine Seitenlänge von 1,0 m und eine Maschenweite von 3,0 cm für den Gitterkäfig gewählt. Des Weiteren wurde die Käfigoberkante der Warmwasserleitung in mind. 0,5 m Tiefe unter dem minimalen Seewasserspiegel fixiert, um einen reibungslosen Bootsbetrieb zu gewährleisten. (SCHMUTZ et al., 2013)

Die vertikale Anordnung der Rohreinlässe ermöglicht es die Temperatur in den Rinnen, innerhalb des Temperaturspektrums der Entnahmestellen, zu regulieren.

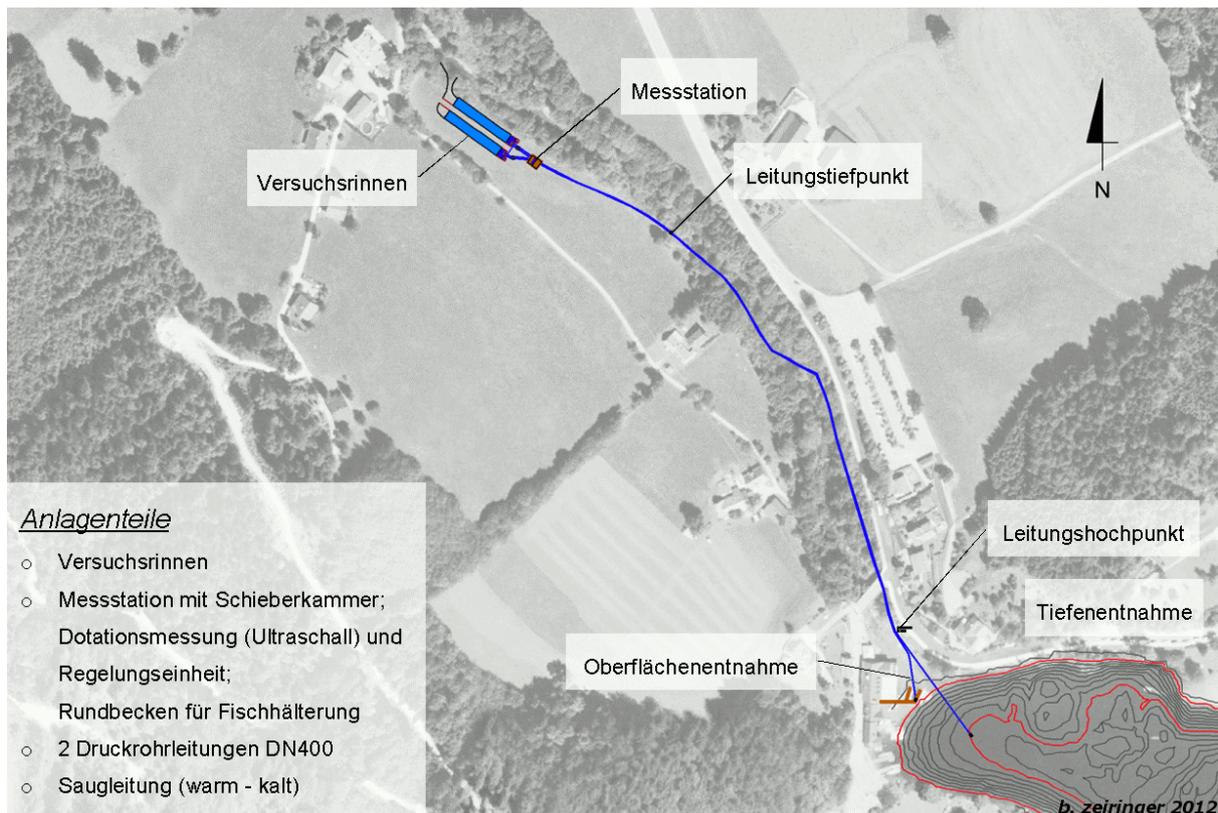


Abb. 5: Schemaskizze der Versuchsanlage (Quelle: <http://hydropeaking.boku.ac.at/hytec.htm>)

2.2.2 Transportwasserleitung

Die Transportwasserleitung versorgt die Rinne ständig mit einer Mindestdotationsmenge, um ein permanentes aquatisches und wechselfeuchtes Habitat darzustellen, sowie mit der benötigten Wassermenge für die Durchführung von Schwallexperimenten. Sie besteht aus zwei voneinander unabhängigen, parallel verlaufenden Rohrleitungen (DN400), die jeweils einen maximalen Durchfluss von 300 l/s erlauben.

Die Transportwasserleitung besteht aus folgenden zwei Strängen:

- *Strang 1 – Kaltwasserleitung mit einer Länge von 490 m in GF-UP und Stahl DN 400 mm*
- *Strang 2 – Warmwasserleitung mit einer Länge von 456 m in GF-UP und Stahl DN 400 mm*

Die Kaltwasserleitung besteht nach dem Rohreinlass in einer Tiefe von 9,6 m (Rohrmitte; 598,47 m ü. A.) des Lunzer Sees zunächst aus einem Stahlrohr (DN400). Es hat eine Länge von rund 71 m und verläuft bis zu den Verschlussorganen kurz vor dem Leitungshochpunkt. Die Oberflächenleitung besteht ebenso aus einem Stahlrohr, das jedoch nur eine Länge von 35,5 m bis zu den Verschlussorganen aufweist. An Hoch- und Tiefpunkten wurden entsprechende Be- und Entlüftungsarmaturen eingebaut.

Bei der weiteren Leitungstrasse wurde besonders auf das Landschaftsbild geachtet, der Laubbaumbestand am linken Seebachufer sollte möglichst erhalten bleiben. Ebenso wurden bestehende Einbauten anderer Leitungsträger berücksichtigt sowie bei der Festlegung der Trassenführung auf eine hydraulisch möglichst günstige Ausführung geachtet. Eine Entleerungsleitung mündet in einem Auslaufbauwerk vor der Messstation in den Seebach. (AUER, 2013; SCHMUTZ et al., 2013)

2.2.3 Forschungsstation mit Schieberkammer

Die Forschungsstation befindet sich in unmittelbarer Nähe der Experimentierinnen. Um eine Beeinträchtigung des Landschaftsbilds möglichst gering zu halten, entspricht ihr Erscheinungsbild einer für die Region typischen Heulagerhütte. Die Forschungsstation hat eine Grundfläche von 4 m x 5 m. Sie verfügt zusätzlich über einen angrenzenden Verschlag mit ungefähr derselben Größe. Der Verschlag dient zur Aufbewahrung diverser Utensilien sowie zum Schutz der Rundbecken, in denen die Fische für die Versuche in den Rinnen aufbewahrt und versorgt werden. Die Rundbecken verfügen über einen zentralen Abfluss und werden permanent mit Frischwasser aus den Rohrleitungen versorgt.

Unterhalb der Forschungsstation münden die beiden Stränge (Kalt-/Warmwasserleitung) in die Schieberkammer, die für die Regulierung der Wasserversorgung in den beiden Rinnen zuständig ist. Kurz vor der Schieberkammer teilen sich die beiden Stränge, um jede Rinne mit Wasser aus der Tiefen- und Oberflächenleitung zu versorgen. 4 Parallelstränge führen nun durch die Schieberkammer, welche über ansteuerbare Stellmotoren mit Plattenschiebern verfügt. Etwa 1 m vor der Schieberkammer wird die Wassertemperatur mit einem Fühler festgestellt. Der Durchfluss wird mithilfe von Ultraschallmessgeräten (1-Pfad Messung, Typ-RISONIC 2000 Sensoren Typ A der Firma Rittmeyer) gemessen, die sich in einem Schacht (DN2500) nach der Schieberkammer befinden. Dadurch kann die Durchflussmenge durch eine Kontroll- und Steuereinheit in der Forschungsstation reguliert, und Schwall Szenarien können exakt durchgeführt und wiederholt werden. Die Messungen werden im Modul RISONIC (Komponenten: RISONIC Controller und RISONIC Ultraschall-Laufzeit) verarbeitet und angezeigt. Zusätzlich werden die Durchflusswerte in 5-Minuten-Intervallen gespeichert, um eine Prüfung der Betriebsweise der Anlage zu gewährleisten. (AUER, 2013; SCHMUTZ et al., 2013)

2.2.4 Experimentierinnen

Die Rinnen bestehen zunächst aus zwei Tosbecken (Mischbecken) mit einer Grundfläche von 6 m x 4 m und einer Tiefe von 1,5 m. In diesen Becken wird das Wasser aus der Tiefen- und Oberflächenleitung entsprechend den Versuchsanordnungen gemischt und beruhigt. Dazu wurde vor den Rohrauslässen eine Prallwand aus Stahl errichtet. Die Wände der Tosbecken wurden aus Lärchenholz (200/100) und Fremdfeder gefertigt und erneut mit Brunnenschaum nach einem Versickerungsversuch abgedichtet. Der Boden wurde mit sich überlappenden, geotextilen Bentonitmatten wasserundurchlässig gemacht. Darüber wurde eine Schicht aus Magerbeton und eine weitere aus Flussschotter aufgetragen. Über eine 3 m lange Öffnung fließt das Wasser aus den Becken gleichmäßig in die eigentlichen Fließrinnen (Versuchsrinnen) ab.

Die Versuchsrinnen weisen eine Länge von 40 m und eine effektiv benetzbare Breite von 6 m auf. Der Aufbau ist geometrisch ident, jedoch spiegelverkehrt. Die horizontale Abdichtung

erfolgte, gleich dem Tosbecken, mit Bentonitmatten. Als seitliches Stützwerk, wie auch zur Abdichtung, dienen waagrecht liegende Lärchenholzpfosten. Die Tiefe der Rinnen beträgt 1,4 m, das Gefälle 0,5 %, kann jedoch durch eingebrachten Flussschotter modelliert werden. Weiters besteht die Möglichkeit jede Rinne durch Querbauwerke in 4 aufeinanderfolgende Segmente zu unterteilen.



Abb. 6: Tosbecken mit darin befindlicher Prallwand; Planktonnetze (Quelle: eigene Aufnahme, 13/06/2013)

Am Ende der Rinnen befindet sich eine höhenverstellbare Stützwand aus Lärchenholz, die gleichzeitig eine abdichtende Funktion erfüllt. An diese Stützwand wurde eine Holzbalken-Stahl-Konstruktion montiert, die mehrere Netzrahmen trägt. Diese werden vom Abfluss der Rinnen durchströmt und können in Bezug auf die Fischgröße während eines Versuches angepasst werden. Die Netze in diesen Netzrahmen werden als „Driftnetze“ bezeichnet und dienen dazu abgedriftete Fische unbeschadet zu entnehmen und in die Rundbecken zurückzuführen. Durch das vertikale Einsetzen von Lochblechen kann die Drift der Fische auch gänzlich vermieden werden.

Hinter den Rinnen wurde ein Bereich geschaffen, der den Abfluss sammelt und in den Seebach zurückleitet. Um des gesamte Wasser abzuleiten, musste der 3,5 m breite Schotterweg zwischen den Rinnen mit einem Stahlrohr (DN800) unterführt werden. (SCHMUTZ et al., 2013)

3 Versuchsobjekt „Äsche“

In Österreich sind mehr als 60 % der durch Schwall/Sunk belasteten Fließstrecken der Äschenregion (Hyporhithral) zuzuordnen (BMLFUW, 2010). Entsprechend diesem Ergebnis wurden die an der HyTEC-Anlage durchgeführten Versuche auf die charakteristische Fischart (Leitfischart) dieser ökologischen Lebensraumzone konzipiert. In Abhängigkeit von der An- bzw. Abstiegsgeschwindigkeit wurden die Drift- und Strandungsraten von Larven und Jungfischen der Fischart Äsche (*Thymallus thymallus* L.) ermittelt. Für die Versuchsanordnungen wurden abiotische Rahmenbedingungen geschaffen, die den bevorzugten Habitaten der Äsche in den schwallbelasteten Strecken entsprechen. Die Schaffung dieser abiotischen Gegebenheiten sowie die Versuchsdurchführung setzt Wissen über die Habitat-Präferenzen der Äsche in unterschiedlichen Altersstadien voraus. In dieser Arbeit wird ausschließlich die Wirkung von Schwall- und Sunkphänomenen auf Äschenlarven untersucht. Es lässt vermuten, dass besonders Individuen dieses Altersstadiums sensibel auf abiotische Störungen reagieren und für den Fortbestand der Population von enormer Bedeutung sind.

3.1 Habitat

Die Äschenregion wird in der Limnologie als Hyporhithral bezeichnet. Sie stellt den untersten Abschnitt der Salmonidenregion dar und liegt unterhalb der Forellen- sowie oberhalb der Barbenregion. Das Hyporhithral umfasst kühle, sauerstoffreiche und schnellfließende Gewässer mit einem Gefälle etwa zwischen 2 und 7 ‰. Als charakteristisches Sediment findet sich hier ausgewaschener Kies, der eine etwas geringere Korngröße aufweist als der der Forellenregion. In weiterer Folge unterscheidet sich die Äschenregion von der Forellenregion durch etwas höhere Wassertemperaturen, geringeres Gefälle und das Auftreten bereits weicher und schlammiger Böden an beruhigten Stellen. Pools, die vorwiegend von Äschen besiedelt werden, wechseln mit stark überströmten Stellen, die eher von Forellen als Aufenthaltsort genutzt werden. (DUJMIC, 1997)

In Österreich sind ein Großteil der Fließstrecken der Flüsse Ager, Traun, Inn, Salzach, Mur, Möll, Drau, ... der Äschenregion zuzuordnen.



Abb. 7: Äschenregion: Inn bei Ried im Oberinntal, Tirol
(Quelle: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fluss-inn-bei-ried.jpg>)



Abb. 8: Äschenregion: Salzach bei Werfen
(Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Salzach>)

Als verbreitungsregulierender Faktor hat der Wasserchemismus kaum Bedeutung. Entscheidender Faktor für die Vorkommen von Äschen sind vielmehr die sommerlichen Temperaturverhältnisse. Nach DUJMIC (1997) besiedeln Äschen keine Strecken, die eine höhere mittlere

re Sommertemperatur als 17° C erreichen. Kurzeitige Wassertemperaturanstiege bis 20,5° C werden jedoch vertragen. Die Vorzugstemperatur beträgt 4 bis 18° C.

Äschenvorkommen sind in Österreich auf Fließgewässer beschränkt. In Skandinavien können Äschen auch in Seen vorkommen sowie vom Ursprung bis zur Mündung von Flüssen. Sogar in Höhen von 1500 m (ü. A.) wurden Exemplare entdeckt. Die häufigsten Begleitfische der Äschen in unseren Fließgewässern sind jene der Forellenregion, wie die Bachforelle (*Salmo trutta*, L.), die Ellritze (*Phoxinus phoxinus*, L.), die Schmerle (*Noemacheilus barbatulus*, L.) und die Koppe (*Cottus Gobio*, L.). Des Weiteren sind Weißfische, wie Barben (*Barbus barbus*, L.), Aitel (*Leuciscus cephalus*, L.), Nasen (*Chondrostoma nasus*, L.), Gründlinge (*Gobio gobio*, L.), Schneider (*Alburnoides bipunctatus*, BLOCH), Hasel (*Leuciscus leuciscus*, L.) und Strömer (*Leuciscus souffia*, CUV. & VAL.) mit der Äsche vergesellschaftet.

Äschen besiedeln sowohl stehende als auch fließende Gewässer und sind weniger von schützenden Strukturen innerhalb des Wasserkörpers abhängig als Bachforellen oder andere Salmoniden-Arten (VEHANEN et al., 2003). Da Äschen auch in stehenden Gewässern anzutreffen sind, ist es naheliegend, dass die Intensität der Strömung als verbreitungsregulierender Faktor ausgeschlossen wird. DUJMIC (1997) beschreibt diesbezüglich ein Experiment, bei dem die Reaktion von juvenilen Äschen auf geänderte Strömungsbedingungen, wie sie etwa bei Schwellbetrieb von Kraftwerken auftreten, untersucht wurde. Das Resultat zeigt, dass die Jungfische im Stande sind durch Ausweichen in strömungsberuhigte Zonen auf diese Extremsituation zu reagieren. Nach Rückgang der Fließgeschwindigkeit beginnen die Äschen erneut mit der Nahrungssuche im Hauptgerinne. Bei diesem Experiment wurde jedoch die Strandung der Fische nach einem solchen Extremereignis gänzlich außer Acht gelassen.

Untersuchungen zeigen veränderte Präferenzen der Äsche in Bezug auf die Wahl des Habitats während ihrer ersten Entwicklungsstadien. Beobachtungen an einem mittelgroßen Fluss im nördlichen Finnland stellten eine veränderte Habitat-Wahl innerhalb der ersten 3 Wochen nach der Emergenz der Larven aus dem Schotterkörper fest. Kleine Larven (17 – 21 mm) bevorzugten seichte Habitate (10 – 30 cm), mit feinem Substrat (< 2 mm) und geringen Strömungsgeschwindigkeiten (< 10 cm/s). Mittelgroße Larven (22 – 25 m) zeigten Präferenzen für höhere Wassertiefen (30 – 90 cm) mit größerem Substrat und leicht erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten. Große Larven bzw. kleine Jungfische (26 – 31 mm) wählten bereits Habitate in noch größerer Tiefe (> 50 cm) mit sandigem und kiesigem Untergrund und deutlich höheren Strömungsgeschwindigkeiten (10 – 50 cm/s). (NYKÄNEN and HUUSKO, 2003)

Daraus geht hervor, dass die Wahl des Habitats für Äschenlarven stark von Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe abhängt. Um eine frühe Bestandsdezimierung zu vermeiden, müssen ausreichend Habitate vorhanden sein, die den Anforderungen der Larven in diesem Entwicklungsstadium gerecht werden.

3.2 Larvenstadium

Die Experimente an der HyTEC-Anlage wurden im Rahmen dieser Arbeit ausschließlich mit Äschenlarven durchgeführt. In den ersten Tagen nach dem Schlüpfen ernähren sich die Larven von ihrem Dottersack. Ist der Dottersack nahezu aufgebraucht, gelangen die Äschenlarven ins freie Wasser. Zu diesem Zeitpunkt sind die Larven ca. 4 bis 8 Tage alt und haben eine Größe von 15 bis 19 mm. Dieser Zeitpunkt wird auch als Emergenz bezeichnet, da die

Larven aus dem Substrat emporsteigen. Im weiteren Entwicklungsverlauf wird auch die Oberfläche besiedelt, um Nahrung zu suchen. Wie DUJMIC (1997) erwähnt, beginnt diese Phase jedoch nicht vor einer Größe von 22 mm.

Die Larven beginnen in sogenannten Schulen von bis zu 15 Individuen, in maximaler Uferentfernung von 1,5 m, zu stehen. Eine maximale Wassertiefe von 0,5 m wird dabei nicht überschritten. Ebenso ist die Strömungsgeschwindigkeit an diesen Stellen mit 0 – 20 cm/s sehr gering. (DUJMIC, 1997)

Im Unterschied zu den Larven des atlantischen Lachses (*Salma salar*) verstecken sich die Äschenlarven nicht im Substrat, um höheren Strömungsgeschwindigkeiten standzuhalten, sondern stehen frei im Bereich des Wasserkörpers, der durch ihre maximale Schwimmleistung begrenzt wird. Auf Dauer bevorzugen die Äschenlarven Bereiche mit Strömungsgeschwindigkeiten, die in etwa der Hälfte ihrer maximalen Schwimmleistung entsprechen. (NYKÄNEN and HUUSKO, 2003)

Im freien Fließgewässer ernähren sich die Äschenlarven von knapp unter der Wasseroberfläche treibenden wirbellosen Tieren, wie Zuckmückenlarven (Chironomidae). Die Nahrungskonkurrenz ist zu diesem Zeitpunkt für die Äschen sehr gering. Lediglich die Hasel (*Leuciscus leuciscus*, L.) nimmt in diesem Stadium bereits Nahrung von der Wasseroberfläche zu sich, jedoch hält sie sich meist in größeren Distanzen zum Ufer auf. Ab dem Zeitpunkt der Emergenz beginnen die Larven frei zu schwimmen und fangen an strömungsberuhigte, ufernahe Bereiche aufzusuchen. Dies wurde als Startzeitpunkt für die Verwendung von Äschen bei der Durchführung der Experimente gewählt. (DUJMIC, 1997)

Die Wandlung der Larve zum Jungfisch vollzieht sich ab einer Größe von 25 – 28 mm. Ab diesem Zeitpunkt, etwa 20 bis 36 Tage nach der Freischwimmphase, ziehen die Jungfische in die für Äschen typischen tieferen Habitate. Die Strömungsgeschwindigkeiten (15 – 50 cm/s), sowie die Tiefe (40 – 70 cm), sind in diesen Bereichen deutlich erhöht (DUJMIC, 1997). Ab einer Größe von 25 mm wurden die Äschenlarven nicht mehr für Versuchszwecke verwendet, da man davon ausgehen musste, dass die Larven kurz vor der Metamorphose zum Jungfisch standen.

Die für die Versuche verwendeten Äschen stammen aus Fischzuchten mit Mutterfischen aus den Flüssen Ybbs, Enns und Isel. Die Fütterung der Äschenlarven erfolgt in Fischzuchtanstalten überwiegend mit Kunstfutter, das Wachstum, Gewichtszunahme und die Überlebensrate der Fische verbessert. Wie Erfahrungen der Fischzucht Kreuzstein bei Mondsee zeigen, kann die Aufzucht der Äschenbrut mit Kunstfutter problematisch sein (DUJMIC, 1997). Um eine möglichst naturnahe Entwicklung zu gewährleisten, wurden die an der Anlage in Rundbecken gehaltenen Äschen ausschließlich mit Lebendfutter (Zooplankton) gefüttert. Das Futter wurde mithilfe von Planktonnetzen mehrmals täglich aus den Rinnen gefischt und an die Larven in den Rundbecken verfüttert. Mit andauernder Beobachtung hat sich erwiesen, dass die Lebendigkeit/Aktivität des Zooplanktons entscheidend für das Fressverhalten der Äschen ist.

3.3 Die Versuchsfische

Die Äschenlarven wurden in Rundbecken im seitlich offenen, überdachten Teil der Forschungsstation gehalten und teilweise auch erbrütet. Insgesamt standen für die Versuche 3 große und 2 kleine Rundbecken zur Verfügung, in die das Dotationswasser der Versuchsrinnen aus den Versorgungsleitungen zugeführt wurde. Die Wassertemperatur in den Becken

konnte durch Regulierung des Zuflusses aus der Tiefen- bzw. Oberflächenleitung gesteuert werden. Dies ermöglichte es die Schlupfzeitpunkte der Versuchstiere zu beschleunigen oder zu verzögern.

Für die Versuche wurden 4 Chargen Larven, nummeriert entsprechend des zeitlichen Eintreffens an der Versuchsanlage, aus Fischzuchten geholt. Die 1. Charge stammt aus der Fischzucht „Füsselberger“, die 2. von Ing. Bernd Puritscher, die 3. aus der Fischzucht „Köttl“ und die 4. von Michael Gallowitsch. Die Mutterfische stammen aus den Flüssen Ybbs, Enns und Isel. Nachfolgend sind die Schlupfzeitpunkte der Chargen sowie das verwendete Rundbecken aufgelistet:

1. Charge „Füsselberger“: Schlupfzeitpunkt: 22.04.2013, aus Rundbecken 1
2. Charge „Puritscher“: Schlupfzeitpunkt: 01.05.2013, aus Rundbecken 3
3. Charge „Köttl“: Schlupfzeitpunkt: 05.06.2013, aus Rundbecken 5 und 2
4. Charge „Gallowitsch“: Schlupfzeitpunkt: 14.06.2013, aus Rundbecken 2

Das Alter der Larven, die für die Versuche herangezogen wurden, war zwischen 0 und 12 Tage nach Emergenz. Als Zeitpunkt für die Emergenz der Larven der 1. und 2. Charge wurde der 11. Tag nach dem Schlüpfen gewählt. Dies resultiert aus dem Vorhandensein eines Dottersacks, welcher erst ab dem 15. Tag nach dem Schlüpfen zur Gänze aufgebraucht war. Der Emergenz-Zeitpunkt der Larven der 3. und 4. Charge wurde auf den 6. Tag nach dem Schlüpfen festgelegt. Die Wahl der Emergenz-Zeitpunkte entspricht annähernd literarischen Fachquellen, wie beispielweise DUJMIC (1997), der den Emergenz-Zeitpunkt im freien Fließgewässer auf den 4. bis 8. Tag beziffert, wobei der Dottersack fast aufgebraucht ist. Da die Entwicklung stark von der Wassertemperatur beeinflusst wird, ist dieser Unterschied durchaus legitim. Möglicherweise hatten die Wassertemperatur in der Fischzucht sowie die einmonatige Differenz der Schlupfzeitpunkte Einfluss auf die Entwicklung der Larven.

Schwellbetriebsweise von Wasserkraftwerken. Ökologische Grundlagen für die Versuchsdurchführung beinhalten Wissen über die bevorzugte Habitatnutzung von Äschenlarven.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Schwallexperimente mit Äschenlarven umfassen 3 Versuchsanordnungen:

- *Strandungsversuche*
- *Muldenversuche*
- *Buchtversuche*

Die Drift der Larven wurde mithilfe von feinmaschigen Driftnetzen (2 mm) ermittelt. Die Netze wurden in mehrere Holzrahmen gespannt und horizontal in einer Stahlkonstruktion am Ende der Rinnen montiert (Abb. 10). Spalten zwischen den Rahmen und der Stahlkonstruktion wurden mit „Gummistreifen“ abgedichtet. Dieses System sollte gewährleisten, dass die gesamte Wassermenge auch während eines simulierten Schwalles die Netze passiert und somit sämtliche gedrifteten Fische in den Netzen zurückbleiben.



Abb. 10: Driftnetze in Holzrahmen, linke Rinne (Quelle: eigene Aufnahme, 13/06/2013)

Die Strandung wurde in den Strandungs- und Muldenversuchen direkt ermittelt. Dies erforderte eine permanente Beobachtung der Besatzfische während des gesamten Versuchs. Bei den Buchtversuchen wurde die Strandung am Versuchsende ermittelt. Die Driftraten standen im Rahmen dieser Versuchsanordnung im Vordergrund.

Das Versuchskonzept der Versuchsanordnung „Bucht“ sollte einen eventuellen Unterschied zwischen Schwall- und Referenzrinne aufzeigen. Beide Rinnen wurden im Zuge jedes Versuches dieser Versuchsreihe mit der gleichen Anzahl an Äschenlarven besetzt. Die Versuchsfische wurden dafür einzeln aus den Rundbecken ausgezählt und mittels Kübeln zu

den Rinnen transportiert. Die Dotation in der Referenzrinne blieb auf dem Niveau des Sunkabflusses. Die Schwallrinne (eigentliche Versuchsrinne) wurde mit unterschiedlichen, reproduzierbaren An- und Abstiegsgeschwindigkeiten dotiert. Um etwaige Fehler zu vermeiden und eine Verifikation der Ergebnisse zu gewährleisten, wurde zwischen Schwall- und Referenzrinne (linker und rechter Rinne) während der Versuchsanordnung mehrmals gewechselt. Die folgende Tabelle ist eine Gesamtschau wesentlicher Kennzahlen sämtlicher Versuchsanordnungen (VAo 1 – 3), die im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführt und bearbeitet wurden.

Tab. 1: Übersicht der wesentlichen Kennzahlen sämtlicher Versuchsanordnungen

	VAo 1	VAo 2	VAo 3
Gerinnemorphologie	Kiesbank	Mulde	Bucht
Besatz	100	100	500
Schwallversuche	36	31	10
Referenzversuche	-	-	10
Schwalldotation	125 l/s	125 l/s	125 l/s
v-Anstieg (cm/min)	-	-	0,6/4,8
Schwalldauer	20 bzw. 10 min	10 min	30 min
v-Abstieg (cm/min)	0,2/0,32/0,5/2,9	0,2/0,32/0,5/2,9	0,5/2,8
Fischalter (nach Emergenz)	1 – 12 Tage	0 – 12 Tage	1 – 9 Tage

Das Schema dieser Versuchsanordnungen wird in weiterer Folge detailliert dargelegt. Zuvor ist es jedoch notwendig wichtige Begriffe sowie Berechnungsmethoden für einige Kennzahlen zu erläutern.

4.1.1 Begriffserklärungen

Jede Versuchsanordnung wird durch eine Vielzahl an Parametern bestimmt. Zur Vermeidung von Unklarheiten sowie aus Gründen der Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse werden nun wichtige und häufig wiederkehrende Begriffe ausgeführt.

Versuchsanordnung: Umfasst alle Aspekte, die entsprechend einer bestimmten Fragestellung behandelt werden. Im Rahmen einer Versuchsanordnung werden mehrere Versuche durchgeführt. Ziel ist die bestmögliche Beantwortung der zuvor formulierten Fragestellung. Versuchsanordnungen können sich durch Besatzzahlen, Abflussmenge, zeitlicher Ablauf, etc., unterscheiden.

Adaptionszeit, -phase: umfasst den Zeitraum, ab dem Besatzzeitpunkt der Rinnen mit Äschenlarven bis zum eigentlichen Versuchsstart. In dieser Zeit wird den Larven die Möglichkeit gegeben sich an die abiotischen Gegebenheiten in den Rinnen anzupassen.

Referenzrinne: Rinne, in der sich die Abflussmenge während eines parallel verlaufenden Schwallversuches nicht ändert. Die Sunkdotation bleibt in dieser Rinne im Zeitraum des Versuches konstant.

Schwallrinne: Rinne, in der ein Schwallscenario simuliert wird.

Drift: aktiv und passiv aus Rinnen abgewanderte Larven, in Fließrichtung. Die Anzahl der gedrifteten Fische wird mithilfe von Netzen am Ende der Rinnen ermittelt.

- *Aktive Drift: Abwandern der Fische bei Sunkdotation während einer Versuchsdurchführung*
- *Passive Drift: Abwandern der Fische ab dem Zeitpunkt der Änderung der Abflussmenge. Umfasst die Anstiegs-, Schwall- und Abstiegsphase eines Versuches.*

Strandung: Anzahl der Larven, die während bzw. nach einem Schwallabstieg auf der Schotterbank zurückbleiben (stranden). Entsprechend der Versuchsanordnung wird eine relative Strandungsrate ermittelt.

Clearing: Am Ende eines Versuches werden die im Wasserkörper verbliebenen Fische entfernt.

An- und Abstiegsgeschwindigkeit: Geschwindigkeit der Pegelstandsänderung in der Rinne vor bzw. nach Erreichen des Schwallmaximums. Wird in cm/min gemessen.

Maximalabfluss: Bezeichnet die höchste Abflussmenge, die während eines Schwallversuches erreicht wird.

Retention: Die hydrologischen Bedingungen bei Wasserstandsänderung treten innerhalb der Rinne mit zeitlicher Verzögerung und unterschiedlicher Intensität auf.

Sunkdotation: Konstante Abflussmenge der Referenzrinne bzw. Abflussmenge der Versuchsrinne vor und/bzw. nach einem Schwallversuch (vor Anstiegsphase bzw. nach Abstiegsphase). Die Sunkdotation wurde mit 25 l/s beziffert.

Schwallereignis: Abfluss- bzw. Wasserstandsänderung in der Schwallrinne während einer Versuchsdurchführung. Umfasst den Zeitraum ab dem Anstieg, über die Dauer des Schwalles bis zum Ende des Abstiegs.

Schwallintensität: Abflussmenge während eines simulierten Schwallscenarios.

4.1.2 Berechnungsmethoden

Während der Durchführung der Schwallversuche wurden zeitlich detailliert, entsprechend der Dauer der versuchsrelevanten Phasen (Adaptions-, Anstiegs-, Schwall- und Abstiegsphasen), Drift- und Strandungszahlen der Äschenlarven erhoben. Basierend auf diesen Werten wurden für die Berechnung der Versuchsergebnisse wesentliche Kennzahlen festgelegt:

- $R = B - Dad$

Die Variable R (*Rest*) beschreibt den Restbestand an Äschenlarven, der sich am Ende der Adaptionsphase noch in der Rinne befindet. Sie wird durch die Subtraktion der Drift während der Adaptionsphase (D_{ad}) von der Anzahl der zu Beginn besetzten Fische (B) ermittelt. R (*Rest*) gibt somit an, wie viele Fische für den Schwallversuch nach der Adaptionsphase zur Verfügung stehen.

- $D_x = D_a + D_s + D_{ab}$

In der Variable D_x ist die gesamte Drift ab Versuchsbeginn bis zum Versuchsende inbegriffen. Sie setzt sich aus der Summe der Driftzahlen aus Anstiegsphase (D_a), Schwallphase (D_s) und Abstiegsphase (D_{ab}) zusammen.

- $D_x/R \%$

D_x/R stellt das Verhältnis der Anzahl gedrifteter Fische während eines Schwallversuches zu den in der Rinne verbliebenen Fischen nach der Adaptionsphase dar. D_x/R drückt somit prozentuell aus, wie viele Äschenlarven während eines Schwallversuches gedriftet sind.

- $S_d = R - D_x$

Die Variable S_d beinhaltet die Anzahl an Individuen, die nach Versuchsende in der Rinne verblieben sind. Sie wird durch Subtraktion der Drift während des Schwallversuches vom Bestand der nach Adaptionsphase in der Rinne verbliebenen Äschen ermittelt. S_d umfasst alle Äschen, die nach Versuchsende im Wasserkörper zurückgeblieben oder gestrandet sind.

- $C/R \%$

Die Variable C (*Clearing*) definiert die Menge an Larven, die nach Versuchsende mithilfe einer geeigneten Methode aus der Rinne entnommen werden konnte. Die Zahl S_d enthält diese Äschen als „im Wasserkörper freischwimmende Fische“. Die während des Clearings (C) entnommenen Fische werden in Relation zur Anzahl der Äschen gesetzt, die nach der Adaptionsphase noch in der Rinne waren (R). $C/R \%$ drückt somit aus, wie viele Äschen prozentuell nach Versuchsende im Wasserkörper verblieben sind.

- $S_{st} = S_d - C$

Die Strandung wird durch Subtraktion der Äschen des Clearings (C) von der Gesamtzahl an Fischen, die nach Schwallende nicht gedriftet sind (S_d), ermittelt. Die Anzahl gestrandeter Fische ergibt sich somit aus der Menge nicht gedrifteter Fische nach Versuchsende, abzüglich jener Fische, die sich im wasserführenden Teil der Rinne aufgehalten haben und entnommen wurden. Um eventuelle methodische Fehler konstant zu halten, wurde die Berechnung auch für die Referenzrinne durchgeführt.

- $S_{st}/R \%$

Die berechnete Strandung (S_{st}) wird in Relation zur Anzahl an Larven gesetzt, die ab Versuchsbeginn in der Rinne vorhanden war (R). $S_{st}/R \%$ drückt somit aus, wie viele Äschen nach Versuchsende gestrandet sind. Durch Addition der absoluten sowie prozentuellen Raten S_{st}/R , C/R und D_x/R resultiert die Menge an Larven am Versuchsanfang (= 100 %).

- Σ Strandung / Σ Sichtung in %

Für die Versuchsanordnungen „Strandung“ und „Mulde“ wurde die Strandungsrate aus der Anzahl gesichteter Larven zu Beginn des Abstiegs (Σ Sichtung) und der Menge gestrandeter Larven am Ende der Abstiegsphase (Σ Strandung) errechnet. Die Strandungsrate (Σ Strandung / Σ Sichtung in %) stellt prozentuell dar, wie viele der Äschenlarven, die sich trotz Schwallabfluss im Nahuferbereich aufhielten, gestrandet sind.

Diese Kennzahlen bilden in weiterer Folge die Grundlage für statistische Berechnungen. Für die Charakterisierung der Versuche wurden das arithmetische Mittel, die Standardabweichung und der mittlere Fehler des arithmetischen Mittels, sowie der Median und das erste und dritte Quartil berechnet. Aufgrund der geringen Anzahl an Versuchen einer Anordnung (=Fälle) wurden die Teststatistiken aus den Möglichkeiten der nicht-parametrischen Statistik gewählt. Ein weiterer Grund dafür besteht darin, dass nicht-parametrische Tests wesentlich geringere Anforderung an die Verteilung der Werte in der Grundgesamtheit sowie an das Skalenniveau der zu untersuchenden Variablen stellen. Parametrische Tests, wie beispielsweise der t-Test, verlangen eine annähernde Normalverteilung der Werte der zu vergleichenden Stichproben sowie eine Varianzhomogenität (BROSIUS, 1998). Dies trifft jedoch hier nicht zu.

Um Fragestellungen hinsichtlich der Unterschiede der Stichproben zu testen, wurden der „Mann-Whitney-U-Test“ bzw. der „Kruskal-Wallis-Test“ aus den Testverfahren der nicht-parametrischen Statistik gewählt. Zur schnellen Orientierung wurde zudem vor diesen Tests ein Mediantest gerechnet. Der kritische α -Level wurde mit 0,05 festgelegt.

Mithilfe des Mediantests wird untersucht, ob zwei verschiedene Stichproben in der Grundgesamtheit den gleichen Median aufweisen. Die Nullhypothese ist die Annahme, dass sich die Mediane der Stichproben nicht vom Median der Grundgesamtheit unterscheiden. Ein p-Wert kleiner als 0,05 bedeutet somit, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den Medianwerten der Stichproben gibt (BROSIUS, 1998). Der Mediantest kommt bei geringer Information über die Verteilungsform und das Messniveau der Daten zur Verwendung, da die Effizienz sehr gering ist. (BORTZ et al., 2008)

Der Mann-Whitney-Test (U-Test) überprüft, ob zwei unabhängige Stichproben derselben Grundgesamtheit angehören. Die Werte beider Stichproben werden dabei zunächst zu einer Gruppe zusammengefasst und in aufsteigender Reihenfolge sortiert. Entsprechend der Position in dieser Ordnung wird jedem Wert ein Rang zugeordnet. Im Anschluss wird die Summe der Rangwerte getrennt für beide Stichproben berechnet. Anhand der Summen der beiden Stichproben wird die Hypothese getestet, ob die beiden Stichproben derselben Grundgesamtheit entstammen (BROSIUS, 1998). Auch wenn keine gleichen Verteilungsformen vorliegen, darf davon ausgegangen werden, dass der U-Test auf Unterschiede in der zentralen Tendenz reagiert. Bei gleicher Verteilungsform weist der U-Test eine hohe Effizienz auf. (BORTZ et al., 2008)

Für den Vergleich von mehr als zwei unabhängigen Stichproben wurden der Mehrstichproben-Mediantest und der Kruskal-Wallis-Test (H-Test) verwendet. Beim Mehrstichproben-Mediantest wird ermittelt, wie viele Messwerte jeder Stichprobe sich unter- bzw. oberhalb des gemeinsamen Medians befinden. Dieser Test weist jedoch eine sehr geringe Effizienz auf. Beim Kruskal-Wallis-Test handelt es sich wie beim U-Test um einen Rangsummentest, der jedoch im Unterschied dazu bei mehr als 2 Stichproben angewandt wird. (BORTZ et al., 2008)

Bei zu geringer Anzahl an Fällen wurden Methoden der deskriptiven Statistik verwendet, um die Daten auszuwerten und zu interpretieren.

4.1.3 Hydromorphologie

Für die unterschiedlichen Versuchsanordnungen wurden die Rinnen entsprechend dem charakteristischen Lebensraum von Äschenlarven gestaltet. Die Besonderheiten des bevorzugten Habitats der Larven betreffen vorwiegend die Schotterbank sowie die Fließgeschwindigkeit. Die beiden Rinnen wurden ident hinsichtlich Längs- und Quergefälle, Sohlhöhe und Substrat konstruiert. Im Querprofil der Rinnen zeigt sich, dass nur eine Uferseite ein Quergefälle aufweist. Die Rinnen sollen keinen vollständigen Gewässerabschnitt simulieren, sondern nur den Randbereich einer Schotterbank, welche ein Quergefälle von 5,1 % aufweist. Auf der gegenüberliegenden Seite der Schotterbank befindet sich eine Steilwand mit einer Tiefenrinne. Die Längsneigung der Rinnen beträgt 0,8 ‰. Die Korngröße des Substrates der Deckschicht der Schotterbank wurde in beiden Rinnen jeweils im 2. und 4. Teilsegment bestimmt. Mithilfe der Linienzahlanalyse (LZA) und Kreuzmessungen konnte die Verteilung der Korngrößen ermittelt werden (Abb. 11).

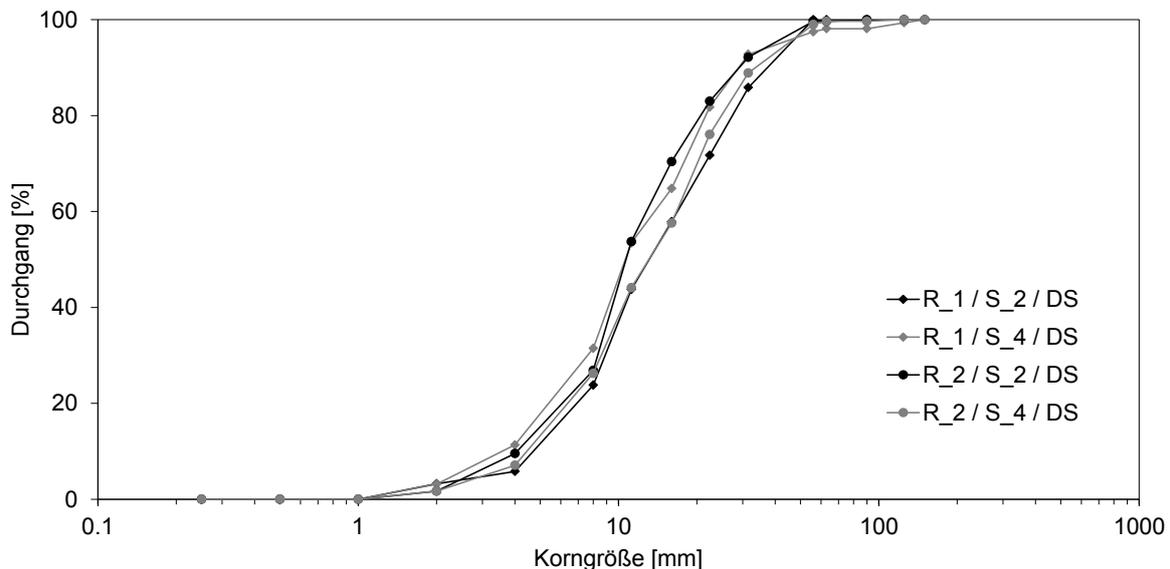


Abb. 11: kumulative Korngrößenverteilung der Deckschicht (DS) (Quelle: Zeiringer, 2013)

Die Methode der Linienzahlanalyse zur Bestimmung der Komponenten eines Materials beschreibt FEHR (1987) als äußerst rasch und anwenderfreundlich, da die Steine nicht bewegt werden müssen. Dabei wird eine 2 m lange Schnur oder ein Maßband über die zu analysierende Deckschicht gespannt. Die b-Achse (kurze Achse) jedes angrenzenden Steins wird dabei vermessen und zuvor definierten Durchmesserklassen (=Fraktionen) zugeordnet. Pro Messung sollten mindesten 150 Steinchen enthalten sein. Die Kreuzmessung, eine Messung in Längs- und Querrichtung, ermöglicht die Bestimmung der kumulativen Kornverteilung der gesamten Kiesbank jeder Rinne. (FEHR, 1987)

Der Abfluss der Rinnen wird mittels Regelorgane (siehe Kapitel 2.2.3) gesteuert. Für sämtliche Versuche betrug der Sunkabfluss 25 l/s und der Schwallabfluss 125 l/s. Aufgrund der Retention wurde die exakte Wasserstandsänderung in den Rinnen mittels Drucksonden (BEAVER-Datenlogger-Sonde) gemessen. Dadurch konnte die An- und Abstiegsgeschwindigkeit (cm/min) des Schwallabflusses genau erfasst werden. Neben der Erhebung der Wasserstandsänderung wurde zudem die Fließgeschwindigkeitsverteilung im Querprofil

der Rinne ermittelt. Dies wiederum erfolgte mittels Profilmessungen nach der Vielpunkt-Methode. Die Fließgeschwindigkeiten wurden dabei mit einem Induktivstrommessgerät erfasst. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die an den Regelorganen der Forschungsstation programmierten An- und Abstiegszeiten (Sek.) sowie über die damit verbundenen An- bzw. Abstiegsgeschwindigkeiten (cm/min). Eine geringfügige Abweichung ergibt sich aufgrund der unterschiedlichen Gerinnemorphologien der Versuchsanordnungen.

Tab. 2: Übersicht über programmierte An-/Abstiegsdauer und An-/Abstiegsgeschwindigkeiten

	Programmierte An-/Abstiegsdauer	Anstiegsgeschw. (cm/min)	Abstiegsgeschw. (cm/min)
Versuchsanordnung 1 "Strandung"	60 Sek.	-	-2,9
	840 Sek.	-	-0,5
	1260 Sek.	-	-0,32
	2100 Sek.	-	-0,2
Versuchsanordnung 2 "Mulde"	60 Sek.	-	-2,9
	840 Sek.	-	-0,5
	1260 Sek.	-	-0,32
	2100 Sek.	-	-0,2
Versuchsanordnung 3 "Bucht"	60 Sek.	4,8	-2,8
	840 Sek.	0,6	-0,5
	1260 Sek.	-	-
	2100 Sek.	-	-

Da die Pegeländerung nach einem Schwallanstieg oder Schwallabstieg deutlich rascher passiert als am Ende der jeweilige Phase, wurde diesbezüglich bei der Berechnung der An-/Abstiegsgeschwindigkeit Rücksicht genommen. So wurde die Anstiegsgeschwindigkeit aus der Differenz des Mittelwertes (MW) des Schwallpegels und des MW des Sunkpegels ermittelt ($=\Delta H$). In weiterer Folge wurde für die Berechnung der Anstiegsgeschwindigkeit jener Bereich erfasst, der sich zwischen 10 % von ΔH über dem MW des Sunkabflusspegels und 20 % von ΔH unter dem MW des Schwallabflusspegels befand. Für die Berechnung der Abstiegsgeschwindigkeit wurde ebenfalls die raschere Wasserstandsänderung zu Beginn einer Abflussänderung berücksichtigt. Die Abstiegsgeschwindigkeit wurde aus dem Bereich zwischen 10 % des ΔH unter dem MW des Schwallabflusspegels und 20 % des ΔH über dem MW des Sunkabflusspegels ermittelt. (ZEIRINGER et al., 2013)

4.2 Versuchsplanung 1, „Strandung“

Die Versuche im Rahmen der Versuchsplanung „Strandung“ wurden im Zeitraum von 14. 05. 2013 bis 13. 06. 2013 vollzogen und entsprechen hinsichtlich des Verfahrensablaufs einer Versuchsplanung, die 2012 an den HyTEC-Rinnen durchgeführt wurden. Die Versuchsreihe im Jahr 2012 wurde im Rahmen der Masterarbeit von Nora Fohler abgehandelt. Ziel der neuerlichen Abwicklung dieser Anordnung war es, die Ergebnisse des Vorjahres zu verifizieren sowie einen präziseren Grenzwert für die Abstiegs geschwindigkeit hinsichtlich minimierten Strandungsrisikos für Äschenlarven zu bestimmen. Damit einher geht das wesentliche Ziel dieser Versuchsreihe, nämlich das Strandungsrisiko während eines simulierten Schwallbetriebs zu ermitteln.

Gleich der Versuche im Jahr zuvor wurden Schwälle simuliert, die sich ausschließlich hinsichtlich ihrer Abstiegs geschwindigkeit unterscheiden. Die Schwalldauer bleibt unterdessen konstant. Der maximale Abfluss (Schwallphase) beträgt bei jedem Versuch 125 l/s und fällt bis zur Sunkdotations von 25 l/s ab. Abb. 12 zeigt die schematische Darstellung des Verfahrensablaufs. Die dunkelblaue Linie repräsentiert die Abflussmenge in der Schwallrinne.

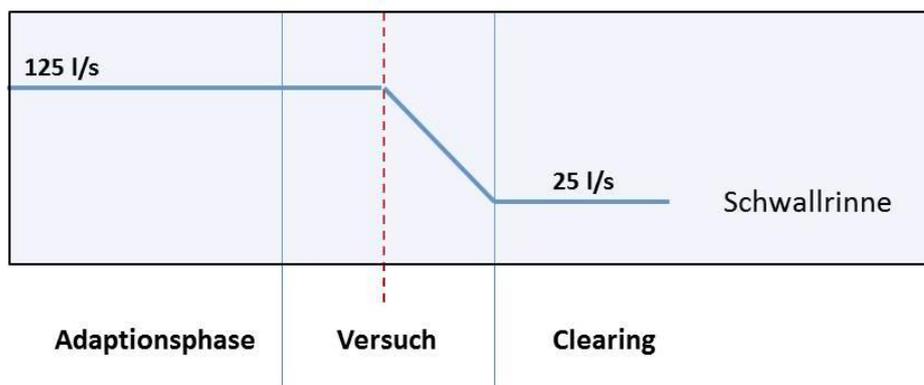


Abb. 12: Verfahrensablauf Strandungversuche

Die Abstiegs geschwindigkeit der Schwallganglinie beschreibt die vertikale Änderung der Wasserspiegellage im Profil pro Zeiteinheit und wird in cm/min angegeben. Diese Veränderung des Wasserstands wurde in der Versuchsrinne mittels Drucksonden gemessen. Die Schwallganglinien der Versuchsplanung „Strandung“ werden in nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Die Abkürzung „DS“ bezeichnet die Schwallganglinie, welche von den Drucksonden gemessen wurde. Die strichlierte Linie beschreibt den in der Forschungsstation an den Regelorganen regulierten Abfluss in der Rinne.

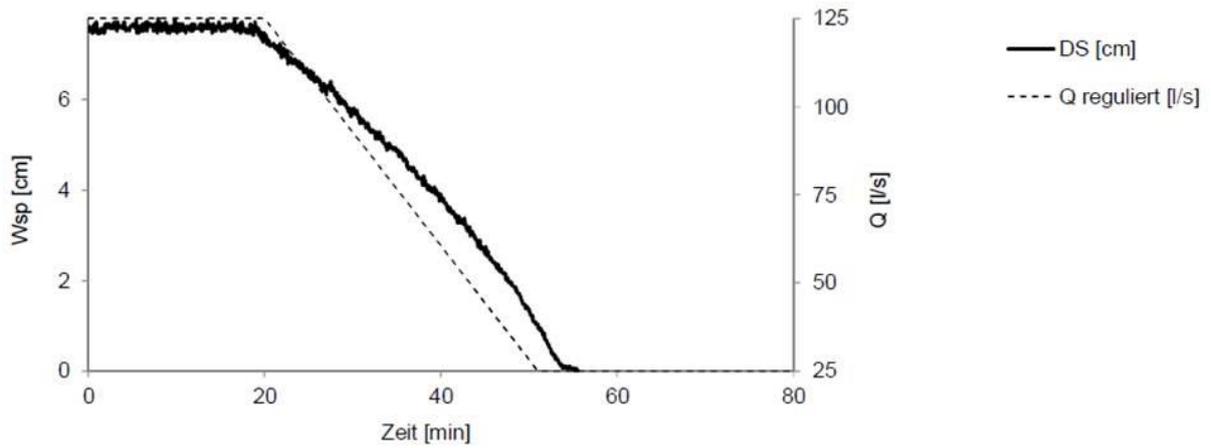


Abb. 13: Abflussgangline „Strandung“: v -Abstieg = 0,2 cm/min; programmierte Abstiegsdauer = 2100 Sek.
(Quelle: ZEIRINGER, 2013)

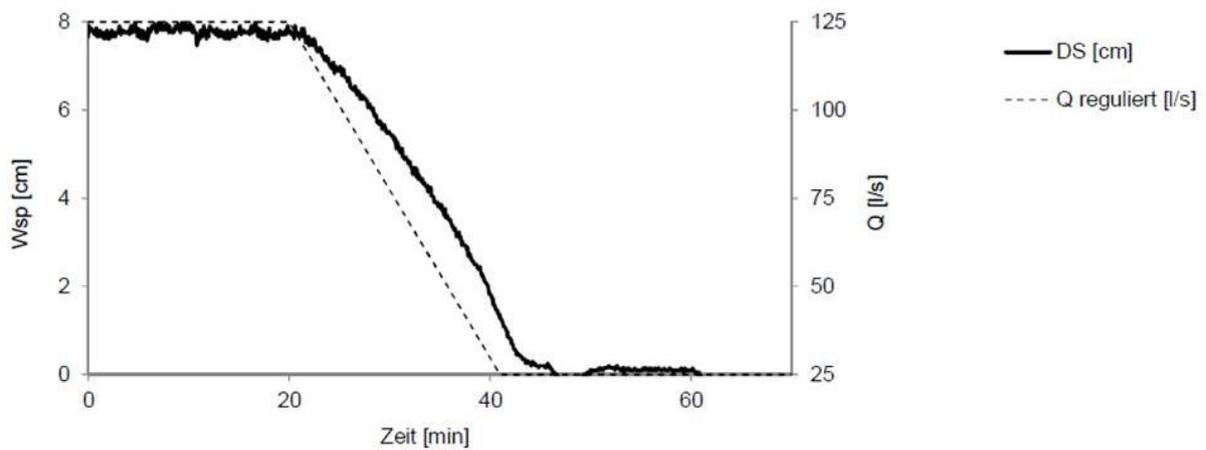


Abb. 14: Abflussgangline „Strandung“: v -Abstieg = 0,32 cm/min; programmierte Abstiegsdauer = 1260 Sek.
(Quelle: ZEIRINGER, 2013)

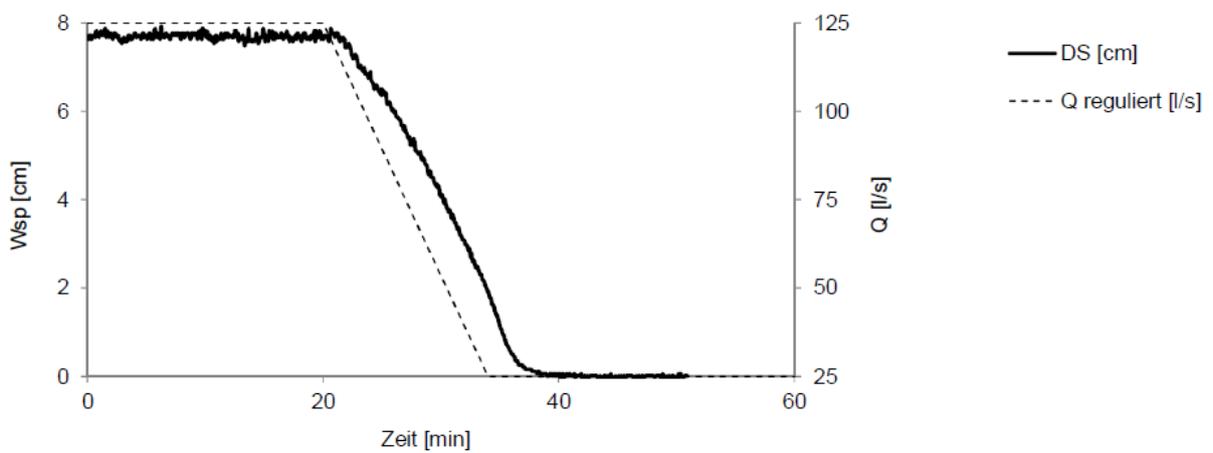


Abb. 15: Abflussgangline „Strandung“: v -Abstieg = 0,5 cm/min; programmierte Abstiegsdauer = 840 Sek.
(Quelle: ZEIRINGER, 2013)

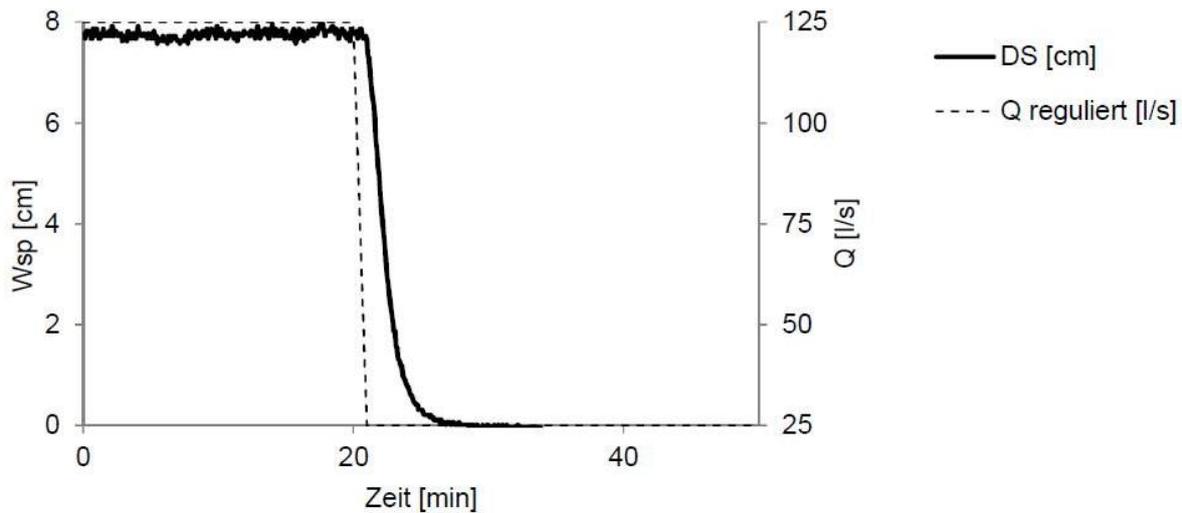


Abb. 16: Abflussgangline „Strandung“: v -Abstieg = 2,9 cm/min; programmierte Abstiegsdauer = 60 Sek. (Quelle: ZEIRINGER, 2013)

Da der Fokus dieser Versuchsanordnung vor allem auf dem Strandungsverhalten der Äschenlarven lag, wurde auf eine Schwallanstiegsphase verzichtet. Der Besatz der Äschen erfolgte im strömungsberuhigten Bereich, wo für die Äschen dieses Altersstadiums zumutbare Fließgeschwindigkeiten herrschten. Die nachfolgende Darstellung (Abb. 17) zeigt die Fließgeschwindigkeitsverteilung im Querprofil der Rinne. Die Fließgeschwindigkeiten wurden nach 10 m des Versuchsabschnittes (= 3. Teilsteg) bzw. nach 30 m der Gesamtrinne gemessen. Basis für die Messung der Wassertiefen bildete die Oberkante der Holzprallwand an der Tiefenrinne.

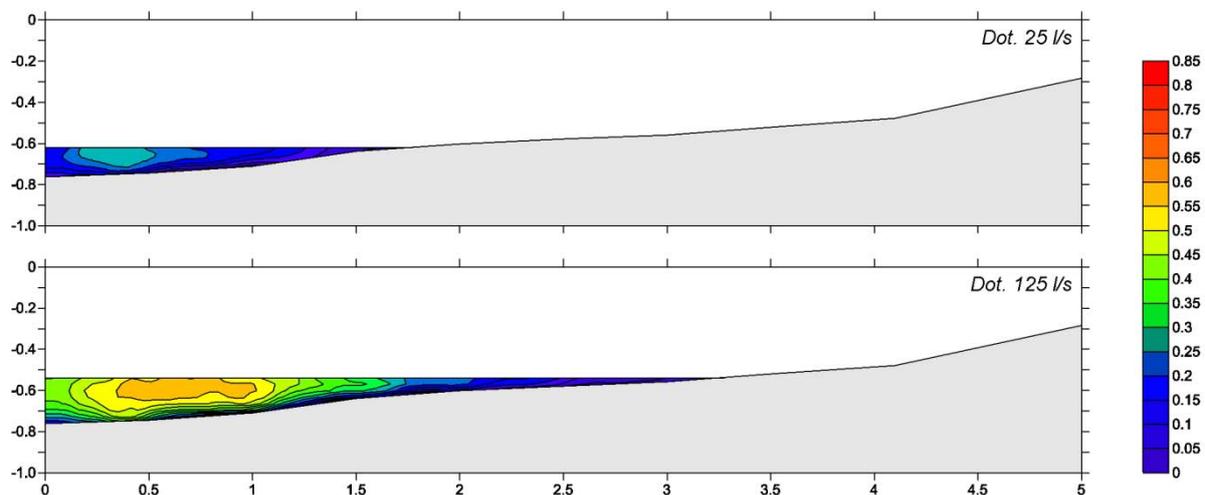


Abb. 17: Tiefen- und Fließgeschwindigkeitsverteilung im Querprofil (Quelle: ZEIRINGER, 2013)

Aufgrund des Rückgangs der Abflussmenge werden die Äschen dazu gezwungen ihr Habitat zu ändern. Die Fische, die sich den geänderten Verhältnissen nicht anpassen können, stranden. Die tatsächliche Strandung entlang der Rinnen mit bloßem Auge zu erfassen ist aufgrund der Größe der Larven und der Dauer der Versuche sehr schwer und wurde deshalb in anderen Versuchsanordnungen des Vorjahres aus dem Rest der nach Versuchsende in der Rinne verbliebenen Larven (= Anzahl der beim Clearing entnommenen Fische) errechnet. Diese Versuchsanordnung beschränkte den Untersuchungsraum auf einen überschaubaren Bereich, sodass die Anzahl gestrandeter Larven exakt erfasst werden konnte. Die Berech-

nung der Strandungsraten dieser Versuchsanordnung erfolgte aus der gesichteten Anzahl an Larven bei Abstiegsbeginn (Σ Sichtung) und den gestrandeten Larven bei Versuchsende (Σ Strandung). Damit konnte die prozentuelle Strandungsrate (Σ Strandung/ Σ Sichtung in %) aufgezeigt werden. Diese Methodik reduziert den Einfluss diverser Faktoren, wie Scheuchwirkung oder Umwelteinflüsse, und fokussiert die Abstiegs geschwindigkeit als entscheidendes Kriterium für das Strandungsverhalten. Durch punktuellen Besatz einer der Rinnenlänge entsprechenden, verhältnismäßigen Menge an Larven wurde die wahrnehmbare Strandung erforscht und dokumentiert. Um eine eventuelle „Scheuchwirkung“ zu vermeiden, fand die Beobachtung von einer geschützten Position aus statt. Hierfür wurde ein leicht geneigter Sichtschutz aus einem Metallrahmen und einer Plastikplane gefertigt, hinter diesem sich ab Versuchsbeginn mindestens 2 Personen aufhielten, um das Verhalten der Äschen zu dokumentieren.

Darüber hinaus wurden detaillierte Driftzahlen erhoben. Die Drift wurde am Ende der Adaptionsphase, zur Halbzeit und am Schluss der Schwallphase, und nach der Abstiegsphase erfasst.

Um systematische Fehler der Versuche in Anbetracht der Beschaffenheit der Rinne auszuschließen, wurde zwischen der linken und rechten Rinne als Experimentierrinne gewechselt. Die folgende Grafik (Abb. 18) zeigt beide Versuchsrinnen sowie deren topografische und geometrische Beschaffenheit.

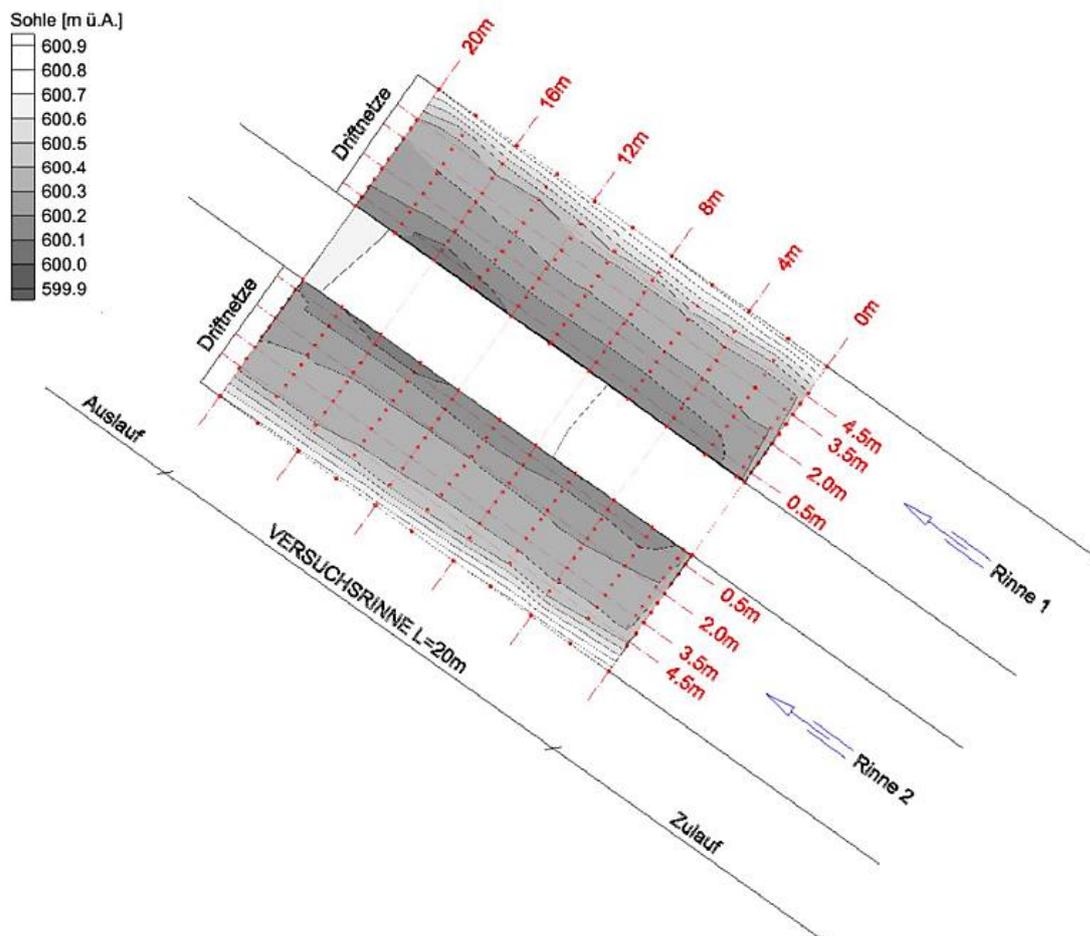


Abb. 18: VAO „Strandung“: Sohlhöhen (10 cm Höhenschichtlinien), Vermessungspunkte (rote Punkte) und Transektbeschreibung (rote Linien mit Längs- und Querstationierungen) (Quelle: ZEIRINGER, 2013)

Versuchsordnung 1, „Strandung“

Für die Experimente dieser Versuchsreihe wurden Äschen der ersten 3 Chargen verwendet. Um eine eventuelle Beeinträchtigung des Verhaltens der Larven, bezüglich Drift und Strandung, durch das Vorhandensein oder Fehlen eines Dottersacks zu ermitteln, wurden 2 Altersklassen untersucht:

- Altersklasse 1: 1 – 4 Tage nach Emergenz, Dottersack noch vorhanden
- Altersklasse 2: 5 – 12 Tage nach Emergenz, Dottersack nicht mehr vorhanden

Tab. 3: Übersicht der für Versuche verwendeten Äschenlarven der Versuchsordnung „Strandung“

Äschenlarven der VAO 1 „Strandung“			
verwendete Charge	1	2	3
Schlüpfezeitpunkt	22.04.2013	01.05.2013	05.06.2013
Versuchszeitraum	14.05.2013	15.05.2013 – 24.05.2013	12.06.2013 – 13.06.2013
Larvenalter (n. E.)	11 Tage	3 – 12 Tage	1 – 2 Tage
Larvenlänge	18 – 23 mm	15 – 20 mm	12 – 15 mm

Im Unterschied zu den Versuchen des Vorjahres wurde zusätzlich eine Abstiegs geschwindigkeit getestet, deren Wert sich zwischen den beiden niedrigeren Testgeschwindigkeiten befindet. Der Grund dafür liegt im Resultat der Vorjahresergebnisse, das keine signifikante Strandung bei der getesteten niedrigen Abstiegs geschwindigkeit zeigte, jedoch ein Strandungsrisiko bei einer Erhöhung feststellte. Es sollte somit ein präziserer Grenzwert zwischen einer signifikanten Strandung bzw. „nicht“-Strandung gefunden und überprüft werden. In der Tabelle (Tab. 4) werden die wichtigsten Kennzahlen dieser Versuchsordnung dargestellt.

Tab. 4: Kennzahlen der Versuchsordnung „Strandung“

Versuchsanzahl (N)	36
Besatzanzahl pro Versuch	100
Adaptionszeit	20 min
Schwalldotation	125 l/s
Schwalldauer	20 bzw. 10 min
Abstiegs geschwindigkeiten	0,2; 0,32; 0,5; 2,9 (cm/min)
Sunkdotation	25 l/s
Wechselfeuchte Zone	1,64 m
Wechselfeuchte Zone (lateral)	1,50 m
Clearing	Kescher / Elektrobefischung
ΔWSP	7,6 cm
Rinne Längsneigung	0,5 ‰
Rinne Querneigung	5,1 %

4.2.1 Versuchsablauf

Die Versuchsanordnung „Strandung“ umschließt 8 Schritte:

- (1) Besatz von 100 Individuen in einer Rinne
- (2) Adaptionsphase (20 min) in einem Rahmengitter nahe dem Ufer bei Schwallabfluss
- (3) Versuchsbeginn nach Adaptionsphase
- (4) Kontrolle (Zählung) der Drift am Ende der Versuchsstrecke
- (5) Schwallphase (20 bzw. 10 min)
- (6) Schwallabstiegsphase (variiert)
- (7) Erfassung der Strandung durch Beobachtung in dem Besatzsegment (Personen hinter Sichttafel)
- (8) Erfassung in der Rinne verbliebener Larven (Clearing)

Besatz von Äschenlarven

Vor Versuchsbeginn wurden 100 Stück Äschenlarven aus den Rundbecken entnommen und mithilfe eines kleinen Eimers zum unteren Teil der Versuchsrinne transportiert. Die Kiesfraktion wurde vor jedem Versuch mithilfe eines Rechens eingeebnet und ein Quergefälle von annähernd 5 – 6 % generiert. Des Weiteren wurde ein Rahmengitter (50 x 50 cm) im benetzten strömungsberuhigten Bereich des 4. Teilsegments der Rinne positioniert, in einer Entfernung von ca. 10 cm zur Uferkante (Abb. 19). Die Abflussmenge betrug zu diesem Zeitpunkt 125 l/s. Die Äschenlarven wurden vorsichtig innerhalb des Rahmengitters besetzt, um eine Senkung, Ausspülung und Aufwirbelung des Substrats zu vermeiden. Das Rahmengitter (Abb. 20) besteht aus einem Lochblech, wodurch die Strömungsbedingungen der Rinne innerhalb des Rahmens annähernd gleich bleiben sollten. In der anschließenden Adaptionsphase sollten sich die Larven an die hydrologischen Verhältnisse gewöhnen.

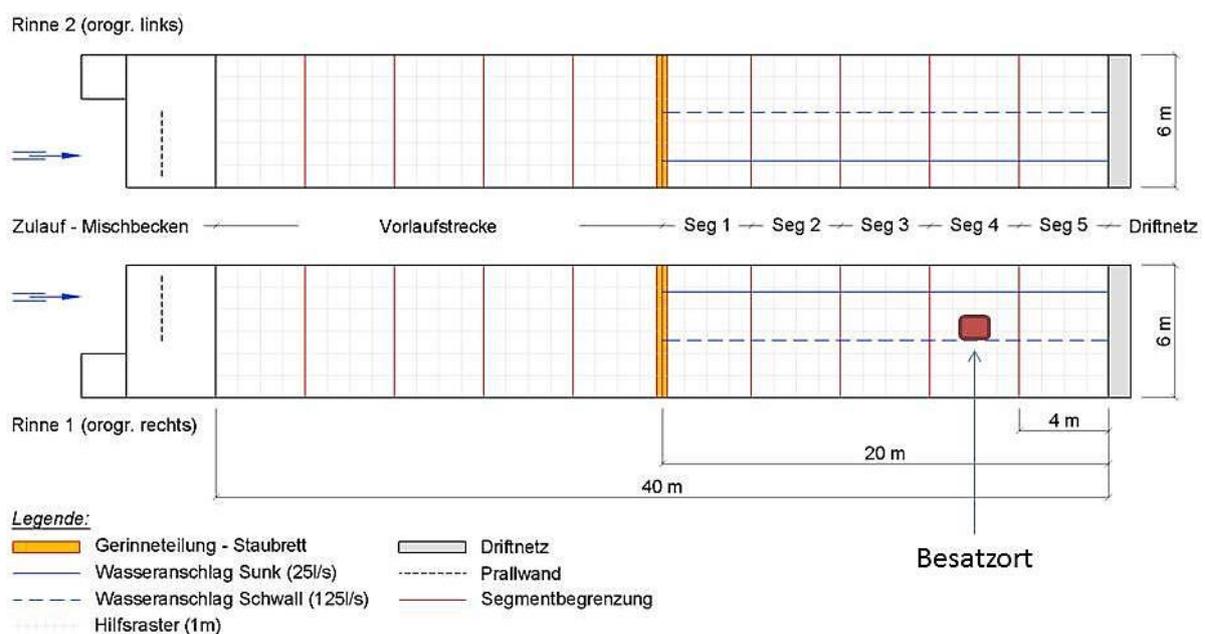


Abb. 19: Teilsegmente der Rinnensegmente und Besatzort (bearbeitet, Quelle: ZEIRINGER, 2013),



Abb. 20: Sichtschutz und Rahmengitter für Besatz (bearbeitet, Quelle: eigene Aufnahme, 13/06/2013)

Adaptionsphase

In dieser Phase sollen sich die Äschenlarven bestmöglich an die abiotischen Bedingungen in der Experimentierrinne anpassen. Zudem ermöglicht es den Fischen sich vom Stress durch das Umsetzen vom Becken in die Rinne zu erholen. Die Dauer der Adaptionsphase bezieht sich auf 20 Minuten. Während dieser Zeit empfiehlt es sich, sich vorsichtig und ruhig in Nähe des Rahmengitters aufzuhalten, um eine eventuelle „Scheuchwirkung“ zu vermeiden. Erwähnenswert sei hierbei, dass die Witterungsverhältnisse, insbesondere die Tageslichtintensität, Einfluss auf die Sensibilität der Fische gegenüber Bewegungen in ihrem Umfeld bzw. auf die „Scheuchwirkung“ ausüben. Dieses Verhalten wurde jedoch nicht genauer untersucht und soll hier nur als Beobachtung angemerkt werden.

Versuchsbeginn

Der eigentliche Versuch beginnt mit Ende der Adaptionsphase ab dem Zeitpunkt, an dem das Rahmengitter vorsichtig entfernt wird. Bei der Wegnahme des Rahmengitters muss besonders auf die Vermeidung ruckartiger Bewegungen geachtet werden, um, wie zuvor erwähnt, eine „Scheuchwirkung“ zu verhindern. Die Larven können sich nun in der Rinne frei bewegen und ihr Verhalten wird von einer Person hinter dem Sichtschutz beobachtet. Der Zeitpunkt des Freilassens der Fische wird als „Release“ bezeichnet. Ab „Release“ beginnt der erste Teil des Versuches, die sogenannte Schwallphase.

Kontrolle der Drift

Nach „Release“ beginnt die Kontrolle und Dokumentation der gedrifteten Larven in den Driftnetzen am Ende der Rinne. Um eventuelle Verletzungen der Larven zu vermeiden, ist es wichtig die Fische sofort aus den Netzen zu befreien. Die geringe Größe der Tiere führt zu einer erhöhten Gefahr des Vertrocknens in den nicht durchspülten Bereichen des Netzes und es besteht das Risiko einer (Kiemen-)Verletzung aufgrund des Drucks der Abflussmen-

ge, der auf die Fische in den Netzen wirkt. Mithilfe von Federn und Pinseln werden die Äschen schonend aus den Driftnetzen befreit und in Kübeln zu den Becken transportiert.

Schwallphase

Ab „Release“ startet die Schwallphase, welche als erste Phase des Versuches bezeichnet wird. Sie hält 20 Minuten lang an und die Abflussgeschwindigkeit wird auch in dieser Phase konstant auf 125 l/s belassen. In diesem Zeitraum haben die Fische die Möglichkeit sich in der Rinne frei zu bewegen bzw. ihrem natürlichen Verhalten zu folgen. In Bezug auf die Dokumentation der Drift wird die Schwallphase unterteilt in:

- *Drift nach halber Schwallphase*
- *Drift nach Schwallphase*

Diese zeitliche Einteilung ermöglicht eine grundlegende Einschätzung bezüglich des Driftverhaltens der Fische und kann für weitere Untersuchungszwecke herangezogen werden.

Schwallabstiegsphase:

Mit dem Ende der Schwallphase beginnt die Abstiegsphase, die zentrale Phase des Versuches. In dieser Phase sinkt die Abflussmenge von 125 l/s bis zur Sunkdotaton von 25 l/s. Die Abstiegs geschwindigkeit der Schwallganglinie beschreibt die Absenkung der Wasserspiegellage im Profil pro Zeiteinheit und wird in cm/min angegeben. Der Wasserspiegel der Rinne sinkt dabei um ca. 7 cm, wodurch sich eine wechselfeuchte Zone von 1,64 m ergibt.

Während der Abstiegsphase werden die Larven genau beobachtet. Die Anzahl der visuell wahrnehmbaren Fische wird zu Beginn der Phase schriftlich festgehalten. Dafür ist es notwendig die Larven bereits während der Schwallphase zu überwachen, um die präzise Anzahl am Abstiegsanfang zu vermerken. Ab diesem Zeitpunkt wurden die Äschenlarven von mindestens 3 Personen für die Dauer des Abstiegs beobachtet. Wie im Jahr zuvor wurden 3 Abstiegs geschwindigkeiten getestet, die realen Schwallereignissen entsprechen. Zusätzlich wurde die Strandung der Larven infolge einer weiteren Abstiegs geschwindigkeit erfasst. Die Tabelle (Tab. 5) gibt einen Überblick über die getesteten Abstiegs geschwindigkeiten sowie über die Anzahl der damit durchgeführten Versuche. Nach der Abstiegsphase ist der Versuch beendet.

Tab. 5: Getestete Abstiegs geschwindigkeiten und durchgeführte Wiederholungen

Abstiegs- geschwindigkeit	Anzahl der Versuche
0,2 cm/min	7
0,32 cm/min	7
0,5 cm/min	9
2,9 cm/min	13

Erfassung der Strandung

Die exakte Anzahl gestrandeter Larven sowie die Drift während des Schwallrückgangs wurden mit Abschluss der Abstiegsphase niedergeschrieben. Um die Strandungsrate der Äschen zu ermitteln, wurde die Summe der gestrandeten Äschen in Relation zur Summe der Äschen gesetzt, die man zu Beginn der Abstiegsphase erfassen konnte.

Berechnungsmethode:

$$\Sigma\text{Strandung} / \Sigma\text{Sichtung in \%}$$

Durch diese Vorgehensweise wird der Fokus des Experiments primär auf den Einfluss der Abstiegs geschwindigkeit auf die Strandung der Larven gerichtet. Die Bezugsbasis bildet die Menge an Larven, die sich im benetzten Uferbereich der Rinne am Abstiegsbeginn aufhält und somit lediglich vom Rückgang des Wassers in Hinblick auf ihren Aufenthaltsort beeinflusst wird.

Clearing

Als „Clearing“ wird die Phase nach Versuchsende bezeichnet. Dabei wird versucht die Larven zu entfernen, von denen man vermutet, dass sie im Wasserkörper verblieben sind. Nach Abzug der Drift und Strandung von der Besatzzahl fehlt häufig eine gewisse Anzahl Äschen. Damit diese fehlenden Äschen nicht nachfolgende Versuche verfälschen, werden sie aus der Rinne entnommen. Dies erfolgt in mehreren Durchgängen mithilfe von Keschern oder durch Elektrobefischung in Fließrichtung. Nach diesem Vorgehen wird davon ausgegangen, dass die Rinne frei von lebenden Äschen ist, auch wenn in der Endabrechnung einige fehlen, da einige Äschen im Sediment (z. B. bei Flucht) umkommen und nicht mehr auffindbar sind.

4.2.2 Ergebnisse und Interpretation der Versuchsanordnung „Strandung“

Insgesamt wurden im Zuge der Versuchsanordnung „Strandung“ 36 Versuche in einem Zeitraum von ca. 4 Wochen durchgeführt (Mitte Mai bis Mitte Juni 2013). Während dieser Zeit schwankte die Tagestemperatur zwischen 8°C und 23°C ($\bar{x} = 16,4^\circ\text{C}$) und die Wassertemperatur zwischen 7,1°C und 9,5°C ($\bar{x} = 8,2^\circ\text{C}$). Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die elementaren Daten der Einzelversuche dieser Versuchsanordnung.

Tab. 6: Überblick – Einzelversuche der Versuchsanordnung „Strandung“

Versuch	Rinne	Durchführungsdatum	Besetzzeitpunkt	besetzte Fische	Schwalldauer (min)	programmierte Abstiegsdauer (sek)	gemessene Abstiegs geschwindigkeit (cm/min)
1.1	rechts	14.05.2013	11:18	100	20	2100	0,2
1.2	rechts	14.05.2013	13:35	100	20	840	0,5
1.3	rechts	14.05.2013	16:31	100	20	60	2,9
1.4	rechts	15.05.2013	16:25	100	20	840	0,5
1.5	rechts	15.05.2013	18:11	100	20	840	0,5
1.6	rechts	16.05.2013	11:30	100	20	2100	0,2
1.7	rechts	16.05.2013	13:45	100	20	2100	0,2
1.8	rechts	16.05.2013	15:35	100	20	840	0,5
1.9	rechts	16.05.2013	16:47	100	20	840	0,5
1.10	rechts	16.05.2013	19:13	100	20	60	2,9
1.11	rechts	17.05.2013	09:37	100	20	2100	0,2
1.12	rechts	17.05.2013	10:58	100	20	60	2,9
1.13	rechts	18.05.2013	12:00	100	10	60	2,9
1.14	rechts	18.05.2013	12:50	100	20	840	0,5
1.15	rechts	18.05.2013	15:00	100	10	60	2,9
1.16	rechts	18.05.2013	15:30	100	10	840	0,5
1.17	links	21.05.2013	15:05	100	20	840	0,5
1.18	links	21.05.2013	17:04	100	20	840	0,5
1.19	links	22.05.2013	10:13	100	20	1260	0,32
1.20	links	22.05.2013	12:42	100	20	1260	0,32
1.21	links	22.05.2013	14:20	100	20	2100	0,2
1.22	links	22.05.2013	16:12	100	20	1260	0,32
1.23	links	22.05.2013	19:14	100	20	60	2,9
1.24	links	23.05.2013	10:25	100	20	60	2,9
1.25	links	23.05.2013	12:10	100	20	60	2,9
1.26	links	23.05.2013	13:10	100	20	1260	0,32
1.27	links	23.05.2013	16:40	100	20	60	2,9
1.28	links	23.05.2013	18:15	100	20	2100	0,2
1.29	links	24.05.2013	11:31	100	20	2100	0,2
1.30	links	12.06.2013	11:30	100	20	60	2,9
1.31	links	12.06.2013	13:49	100	20	1260	0,32
1.32	links	12.06.2013	16:21	100	20	1260	0,32
1.33	links	12.06.2013	17:27	100	20	1260	0,32
1.34	links	13.06.2013	12:55	100	20	60	2,9
1.35	links	13.06.2013	14:03	100	20	60	2,9
1.36	links	13.06.2013	16:03	100	20	60	2,9

Neben der Summe der gestrandeten Larven pro Einzelversuch, die im Fokus dieser Untersuchung stand, wurden zusätzlich Drift- und Clearing-Werte erhoben. Die gewonnenen Daten dieser drei Kategorien bildeten die Grundlage für weitere Berechnungen.

4.2.2.1 Fehlende Larven

Am Ende jedes Versuches wurde kontrolliert, wie viele der besetzten Äschenlarven aus der Rinne wieder entnommen werden konnten. Diese Zahl ergibt sich durch Summierung der erhobenen Werte aus Strandung, Drift und Clearing. Nach Subtraktion dieser Summe von der Besatzzahl erhält man die Anzahl fehlender Larven.

Tab. 7: Strandungs-, Drift- und Clearing-Werte der Versuchsordnung „Strandung“ sowie fehlende Fische

Versuch	Rinne	besetzte Fische	ΣStrandung	Drift gesamt	Clearing (= Drift nach Versuchsende)	entnommene Fische	fehlende Fische	fehlende Fische in %
1.1	rechts	100	0	29	62	91	9	9
1.2	rechts	100	0	36	50	86	14	14
1.3	rechts	100	6	29	59	94	6	6
1.4	rechts	100	3	81	0	84	16	16
1.5	rechts	100	0	78	1	79	21	21
1.6	rechts	100	0	87	3	90	10	10
1.7	rechts	100	0	91	4	95	5	5
1.8	rechts	100	0	88	9	97	3	3
1.9	rechts	100	0	71	5	76	24	24
1.10	rechts	100	5	85	10	100	0	0
1.11	rechts	100	0	83	0	83	17	17
1.12	rechts	100	0	98	1	99	1	1
1.13	rechts	100	2	79	10	91	9	9
1.14	rechts	100	3	66	10	79	21	21
1.15	rechts	100	1	97	2	100	0	0
1.16	rechts	100	9	77	14	100	0	0
1.17	links	100	6	73	12	91	9	9
1.18	links	100	7	57	14	78	22	22
1.19	links	100	0	87	6	93	7	7
1.20	links	100	0	96	4	100	0	0
1.21	links	100	1	91	4	96	4	4
1.22	links	100	0	87	0	87	13	13
1.23	links	100	37	35	3	75	25	25
1.24	links	100	2	81	7	90	10	10
1.25	links	100	1	97	1	99	1	1
1.26	links	100	1	88	10	99	1	1
1.27	links	100	11	72	0	83	17	17
1.28	links	100	0	91	8	99	1	1
1.29	links	100	0	92	7	99	1	1
1.30	links	100	2	90	5	97	3	3
1.31	links	100	0	100	0	100	0	0
1.32	links	100	0	96	0	96	4	4
1.33	links	100	1	81	1	83	17	17
1.34	links	100	1	95	0	96	4	4
1.35	links	100	5	92	0	97	3	3
1.36	links	100	4	93	0	97	3	3

In weiterer Folge wurde untersucht, ob es einen Unterschied der fehlenden Larven in Bezug auf die Rinne gibt, in der sie besetzt wurden.

Statistische Kennzahlen und Testverfahren

Da die Besatzanzahl pro Einzelversuch 100 Stück betrug, sind die Werte für die verbliebenen Larven sowohl absolut als auch prozentuell zu betrachten.

Tab. 8: Statistische Kennzahlen: Vergleich der fehlenden Fische der Versuchsanordnung „Strandung“ in linker und rechter Rinne.

	Fehlende Fische	
	rechte Rinne	linke Rinne
n	16	20
arithm. Mittel	9,75	7,25
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	2,052	1,712
Standardabweichung	8,21	7,656
Median	9	4
Quartil ₂₅	1,5	1
Quartil ₇₅	16,75	12,25

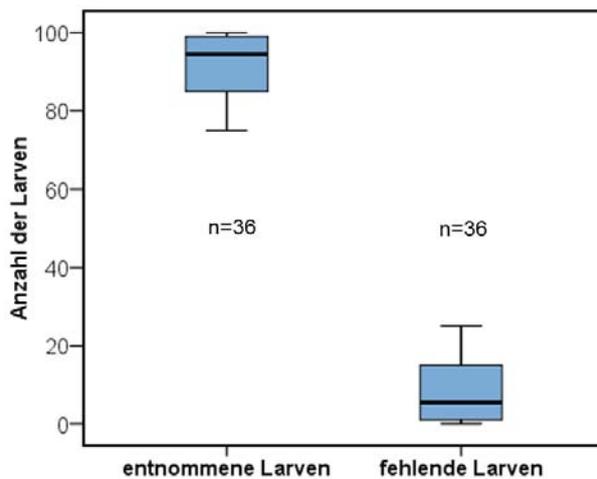


Abb. 21: Entnommene und fehlende Larven der Versuchsreihe „Strandung“

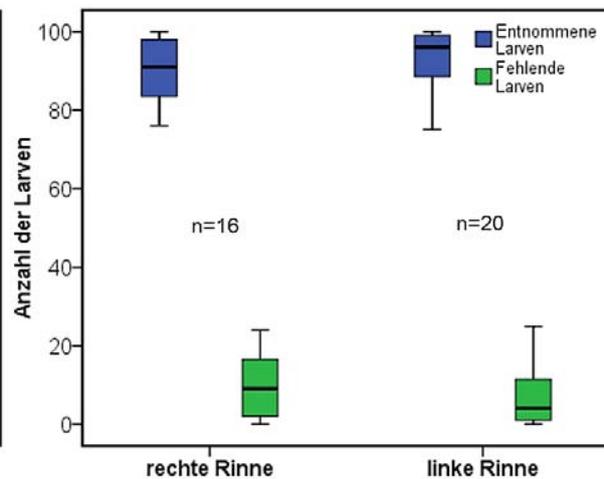


Abb. 22: Entnommene und fehlende Larven in linker und rechter Rinne

Bereits die Kennzahlen (Tab. 8) sowie die grafische Darstellung vergleichender Boxplots (Abb. 22) lassen erkennen, dass es keinen wesentlichen Unterschied bezüglich der fehlenden Larven in linker und rechter Rinne gibt. In Abb. 21 ist zudem ersichtlich, dass die absolute wie prozentuelle Anzahl fehlender Larven gering ist (Median = 5,5). Bezüglich der fehlenden Larven in rechter und linker Rinne wurden ein nicht-parametrischer Vergleich mittels U-Test nach Mann-Whitney sowie ein Mediantest durchgeführt. Beide Tests bestätigen die Vermutung, dass es keinen statistisch signifikanten Unterschied in der rechten und linken Rinne in Bezug auf die Anzahl der fehlenden Larven gibt (Mediantest: $p=0,314$ / Mann-Whitney-U-Test: $p=0,443$).

Interpretation

Die rinnenspezifische Untersuchung der fehlenden Larven wurde vollzogen, um zu begutachten, ob etwaige abiotische Einflüsse, die möglicherweise nicht berücksichtigt wurden, oder die mit der Zeit entstanden sind (z. B. Substrat-Ausspülungen), die Experimente beeinträchtigten. Aufgrund der Ergebnisse der nicht-parametrischen Testverfahren gibt es keinen Unterschied zwischen linker und rechter Rinne. Dieses Resultat bestätigt zudem den Erfolg der Methode des Clearings, da in beiden Rinnen annähernd dieselbe Anzahl an Äschen entnommen werden konnte. Dennoch muss festgehalten werden, dass nur in sehr wenigen Versuchen die Gesamtmenge besetzter Larven wieder entnommen werden konnte. Mögliche Ursachen für fehlende Larven sind sehr spekulativ. So könnte die Methode des Clearings, die in Anbetracht der entnommenen Larven ein sehr gutes Ergebnis lieferte, da es keine rinnenspezifischen Unterschiede gab, dennoch keinen absoluten Erfolg gewährleisten, da eventuell einige Äschen fliehen konnten oder sich im Substrat zurückzogen. Bei letzterem kann davon ausgegangen werden, dass eine gewisse Anzahl an Larven im Substrat verendete. Dies bestätigt zudem die Nivellierung der Schotterbank der Rinne vor jedem Einzelversuch mittels Rechen, wobei einige tote Larven entdeckt wurden. Ein weiterer Grund für das Fehlen der Larven wäre das Fressen durch Vögel, die an der Rinne und bei den Driftnetzen beobachtet werden konnten (Abb. 23). Tab. 4



Abb. 23: Rotkehlchen bei der Futtersuche (Quelle: eigene Aufnahme, 27/03/2013)

Die Problematik in Bezug auf das Wiederfinden sämtlicher Fische zeigte sich auch im Rahmen anderer Forschungen sowohl im freien Gewässer als auch an künstlich geschaffenen Rinnen. Als Ursache wird dabei häufig die geringe Größe im Zusammenhang mit dem Fluchtverhalten der Fische aufgrund des erhöhten Stresses während eines Schwallrückgangs genannt. Dabei wurde ein Rückzug der Fische in das Substrat beobachtet, wodurch ein Wiederfinden sämtlicher Fische kaum möglich war. (SALTVEIT et al., 2001; HALLERAKER et al., 2003)

4.2.2.2 Drift

Während der Einzelversuche wurde die Menge der gedrifteten Larven exakt erhoben. Wie sich aus dem Versuchsdesign erkennen lässt, stand die Erforschung der Drift in dieser Versuchsordnung jedoch nicht im Brennpunkt. Auf Basis der gesammelten Daten (Tab. 9) wurden wesentliche Auffälligkeiten selektiert, veranschaulicht und interpretiert.

Tab. 9: Drift – Übersicht der erhobenen Daten

Versuch	Schwalldauer (min)	Larvenalter nach Emergenz	Altersklasse	Chargennummer	Drift vor Release	Drift Ende halber Schwall	Drift Ende Schwall	Drift Abstieg	Drift gesamt
1.1	20	11	2	1	0	19	8	2	29
1.2	20	11	2	1	0	24	6	6	36
1.3	20	11	2	1	0	25	1	3	29
1.4	20	3	1	2	0	57	18	6	81
1.5	20	3	1	2	0	66	5	7	78
1.6	20	4	1	2	0	76	4	7	87
1.7	20	4	1	2	0	64	19	8	91
1.8	20	4	1	2	0	79	9	0	88
1.9	20	4	1	2	0	60	6	5	71
1.10	20	4	1	2	0	75	10	0	85
1.11	20	5	2	2	0	79	2	2	83
1.12	20	5	2	2	1	90	7	0	98
1.13	10	6	2	2	0	74	0	5	79
1.14	20	6	2	2	0	63	0	3	66
1.15	10	6	2	2	0	94	0	3	97
1.16	10	6	2	2	0	61	0	16	77
1.17	20	9	2	2	0	60	10	3	73
1.18	20	9	2	2	0	25	27	5	57
1.19	20	10	2	2	2	23	26	36	87
1.20	20	10	2	2	3	57	8	28	96
1.21	20	10	2	2	1	62	9	19	91
1.22	20	10	2	2	2	56	15	14	87
1.23	20	10	2	2	1	23	6	5	35
1.24	20	11	2	2	2	70	5	4	81
1.25	20	11	2	2	0	92	5	0	97
1.26	20	11	2	2	5	54	8	21	88
1.27	20	11	2	2	0	61	9	2	72
1.28	20	11	2	2	4	77	8	2	91
1.29	20	12	2	2	6	73	5	8	92
1.30	20	1	1	3	0	88	2	0	90
1.31	20	1	1	3	0	77	18	5	100
1.32	20	1	1	3	0	86	5	5	96
1.33	20	1	1	3	0	59	7	15	81
1.34	20	2	1	3	2	88	4	1	95
1.35	20	2	1	3	2	87	2	1	92
1.36	20	2	1	3	1	87	2	3	93

Die Adaptionsphase bzw. der Besatz der Larven erfolgte angesichts des Versuchsdesigns in einem Rahmengitter. Trotz Vorkehrungen und Bemühungen gelang es manchmal einigen

wenigen Larven das Gitter durch Lücken im Substrat zu verlassen. Die Larven, die vor der eigentlichen Wegnahme des Rahmengitters in den Driftnetzen am Ende der Rinne gefunden wurden, sind in der oberen Tabelle in der Kategorie „Drift vor Release“ vermerkt.

Statistische Kennzahlen und Testverfahren

Da vorwiegend die hohe Drift zu Beginn der Schwallphase auffällt, wurden die Werte genauer untersucht und grafisch veranschaulicht. Für diese Untersuchung wurden nur Einzelfälle ausgewählt, deren Schwalldauer 20 Minuten beträgt. Die Gesamtzahl der Fälle reduzierte sich somit auf 33.

Tab. 10: Statistische Kennzahlen: Drift am Ende des halben Schwalls und Gesamtdrift

	Drift	
	halber Schwall	Gesamt
n	33	33
arithm. Mittel	63,09	79,27
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	3,851	3,515
Standardabweichung	22,124	20,195
Median	64	87
Quartil ₂₅	56,5	72,5
Quartil ₇₅	79	92

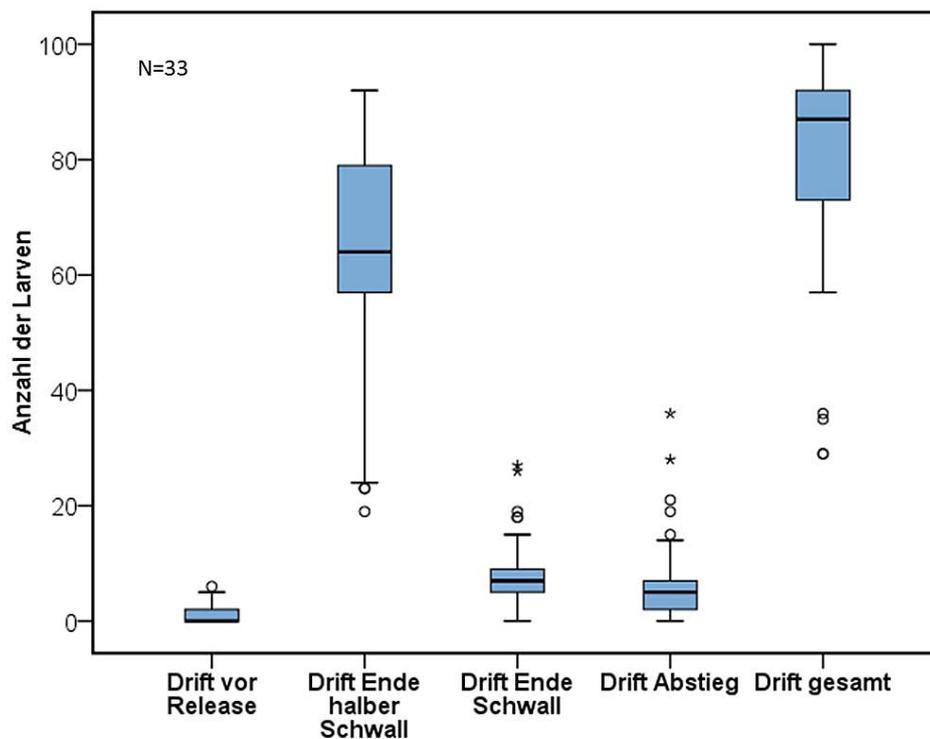


Abb. 24: Detaillierte Driftzahlen der Versuchsordnung „Strandung“

Wegen der homogenen Bedingungen, die zum Zeitpunkt der Aufnahme der Drift zur Halbzeit des Schwalls herrschten, wurde ein möglicher Unterschied des Driftverhaltens, das Alter der Larven betreffend, untersucht.

Tab. 11: Statistische Kennzahlen der Altersklassen bezüglich Drift am Ende des halben Schwalls

	Drift Ende halber Schwall	
	Altersklasse 1	Altersklasse 2
n	14	19
arithm. Mittel	74,93	54,37
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	3,123	5,536
Standardabweichung	11,685	24,13
Median	76,5	60
Quartil ₂₅	63	25
Quartil ₇₅	87	73

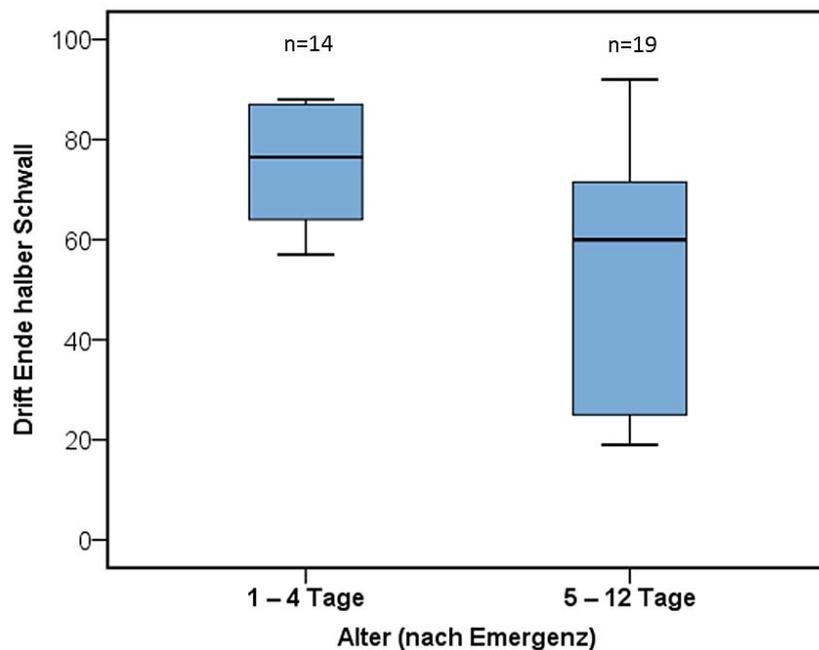


Abb. 25: Vergleich der Altersklassen in Bezug auf die Drift zu Schwallbeginn (N=33)

Die grafische Umsetzung der Ergebnisse mittels Boxplot lässt einen Unterschied zwischen den Altersklassen in Bezug auf die Drift zu Schwallbeginn vermuten. Ein Mediantest konnte diese Vermutung nur knapp nicht bestätigen ($p=0,056$). Der Mann-Whitney-U-Test zeigt jedoch, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den Altersklassen gibt ($p=0,015$). In weiterer Folge wurden Versuche mit Larven der 1. Charge nicht berücksichtigt, da diese Larven einen Wachstumsvorsprung im Vergleich mit Fischen anderer Chargen aufwiesen. Es handelte sich dabei um drei Versuche, die nunmehr nicht in die Analyse einbezogen wurden (siehe Tab. 9, Chargennummer 1). Die Anzahl der Versuche reduzierte sich somit auf 30.

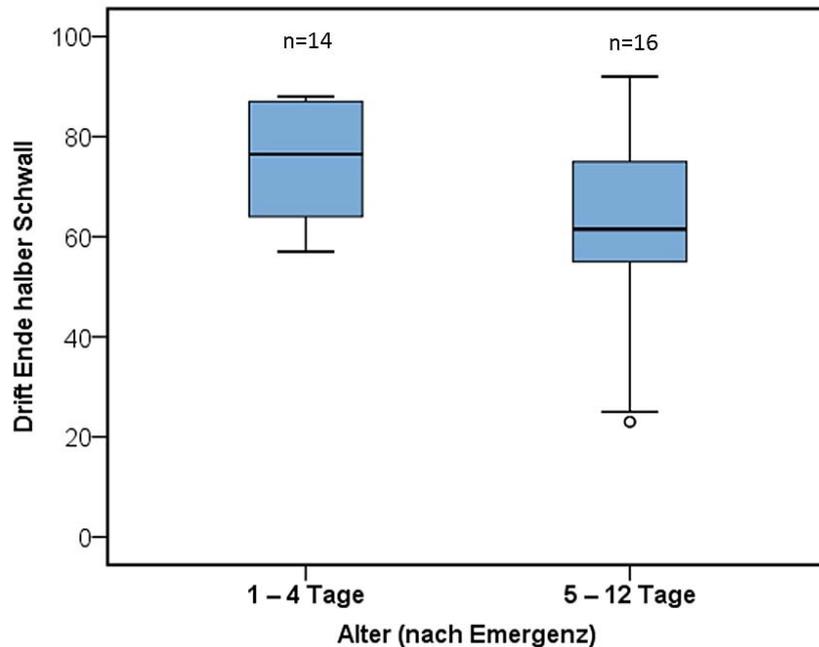


Abb. 26: Vergleich der Altersklassen in Bezug auf die Drift zu Schwallbeginn (N=30)

Nach Anwendung der Testverfahren wurde festgestellt, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersklassen bezüglich Drift zu Schwallbeginn gibt (Mediantest: 0,272). Der Mann-Whitney-U-Test konnte dieses Ergebnis jedoch nur sehr knapp bestätigen ($p=0,056$).

Interpretation

Die erhobenen Daten dieser Versuchsreihe zeigen, dass die Drift nach Release sehr hoch ist. Da der „Release“ bei einem Abfluss von 125 l/s stattfand, kann man hierbei von passiver Drift ausgehen. Mehr als 60 % der besetzten Fische drifteten bereits während der ersten Hälfte des Schwalls. Dies deutet darauf hin, dass sich die Fische im Rahmengitter nicht optimal auf die Fließgeschwindigkeiten der Rinne einstellen konnten. Eine weitere Ursache für die hohe Drift könnte die Scheuchwirkung sein, verursacht durch die Wegnahme des Rahmengitters bei Release. Dabei wurde ein Fluchtverhalten der Äschenlarven in Rinnenmitte bemerkt. Aufgrund der dort herrschenden hohen Fließgeschwindigkeiten ist ein passives Driften der Larven sehr naheliegend. In Anbetracht des Larvenalters konnte kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Drift ermittelt werden. Es ist jedoch ein Trend erkennbar, dass sich die Drift der Larven mit zunehmendem Alter bzw. Wachstum reduziert.

4.2.2.3 Strandung

Die Erforschung der Strandung ist das primäre Ziel dieser Versuchsordnung. Dementsprechend wurde das Versuchsdesign für die Erprobung der Strandung konzipiert. In der nachfolgenden Tabelle werden die erstrangigen Erhebungskategorien der Einzelversuche in Hinsicht auf die Strandung sowie die gewonnenen Daten veranschaulicht.

Tab. 12: Strandung – wesentliche Erhebungsdaten

Versuch	Abstiegs- geschwindigkeit (cm/min)	programmierte Abstiegsdauer (sek)	Larvenalter nach Emergenz	Alters- klasse	Chargen- nummer	ΣSichtung	ΣStrandung	ΣStrandung/ΣSichtung in %
1.1	0,2	2100	11	2	1	54	0	0
1.2	0,5	840	11	2	1	29	0	0
1.3	2,9	60	11	2	1	38	6	15,79
1.4	0,5	840	3	1	2	11	3	27,27
1.5	0,5	840	3	1	2	11	0	0
1.6	0,2	2100	4	1	2	11	0	0
1.7	0,2	2100	4	1	2	11	0	0
1.8	0,5	840	4	1	2	8	0	0
1.9	0,5	840	4	1	2	20	0	0
1.10	2,9	60	4	1	2	23	5	21,74
1.11	0,2	2100	5	2	2	10	0	0
1.12	2,9	60	5	2	2	3	0	0
1.13	2,9	60	6	2	2	3	2	66,67
1.14	0,5	840	6	2	2	6	3	50
1.15	2,9	60	6	2	2	2	1	50
1.16	0,5	840	6	2	2	21	9	42,86
1.17	0,5	840	9	2	2	15	6	40
1.18	0,5	840	9	2	2	20	7	35
1.19	0,32	1260	10	2	2	40	0	0
1.20	0,32	1260	10	2	2	35	0	0
1.21	0,2	2100	10	2	2	17	1	5,88
1.22	0,32	1260	10	2	2	16	0	0
1.23	2,9	60	10	2	2	40	37	92,5
1.24	2,9	60	11	2	2	9	2	22,22
1.25	2,9	60	11	2	2	1	1	100
1.26	0,32	1260	11	2	2	11	1	9,09
1.27	2,9	60	11	2	2	12	11	91,67
1.28	0,2	2100	11	2	2	7	0	0
1.29	0,2	2100	12	2	2	5	0	0
1.30	2,9	60	1	1	3	4	2	50
1.31	0,32	1260	1	1	3	5	0	0
1.32	0,32	1260	1	1	3	7	0	0
1.33	0,32	1260	1	1	3	15	1	6,67
1.34	2,9	60	2	1	3	4	1	25
1.35	2,9	60	2	1	3	5	5	100
1.36	2,9	60	2	1	3	5	4	80

Die Kategorie „ΣSichtung“ umfasst jene Larven, die zu Beginn der Abstiegsphase gesichtet wurden. Die absolute Anzahl an Fischen, die tatsächlich strandeten, wurde in der Kategorie „ΣStrandung“ erfasst. Diese beiden Werte bildeten die Kennzahlen für die Berechnung der Strandungsrate.

Statistische Kennzahlen und Testverfahren

Die folgenden statistischen Kennzahlen gehen aus 36 Versuchen hervor.

Tab. 13: Strandungskennzahlen

n	Σ Strandung/ Σ Sichtung	Σ Strandung/ Σ Sichtung (%)
	36	36
arithm. Mittel	0,259	25,9
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,0553	5,532
Standardabweichung	0,332	33,2
Median	0,0788	7,88
Quartil ₂₅	0	0
Quartil ₇₅	0,482	48,21

Infolgedessen wurden die Strandraten den Abstiegs- geschwindigkeiten zugeordnet. Die Tabelle unten repräsentiert die Strandungskennzahlen, bezogen auf die verschiedenen getesteten Abstiegs- geschwindigkeiten.

Tab. 14: Strandungskennzahlen (%), bezogen auf die Abstiegs- geschwindigkeiten

n	Abstiegs- geschwindigkeiten			
	0,2 cm/min	0,32 cm/min	0,5 cm/min	2,9 cm/min
	7	7	9	13
arithm. Mittel	0,8403	2,25	21,68	55,045
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,8402	1,47	7,144	9,889
Standardabweichung	2,2233	3,908	21,433	35,654
Median	0	0	27,273	50
Quartil ₂₅	0	0	0	21,981
Quartil ₇₅	0	6,667	41,43	92,083

Die Strandungskennzahlen lassen bereits erahnen, dass es einen Unterschied der Strandraten in Bezug auf die Abstiegs- geschwindigkeiten gibt. Diese Vermutung bekräftigt sich in der grafischen Umsetzung mittels Boxplot (Abb. 27). Anhand der Grafik und der Zahlen ist eine enorme Streuung der Werte bei einer Abstiegs- geschwindigkeit von 2,9 cm/min erkennbar. Für die statistische Analyse wurden ein Median- und ein Kruskal-Wallis-Test vollzogen. Beide Testverfahren zeigten einen signifikanten Unterschied der Reaktion der Fische bei unterschiedlichen Abstiegs- geschwindigkeiten (Median-Test: $p=0,000$ / Kruskal-Wallis-Test: $p=0,000$).

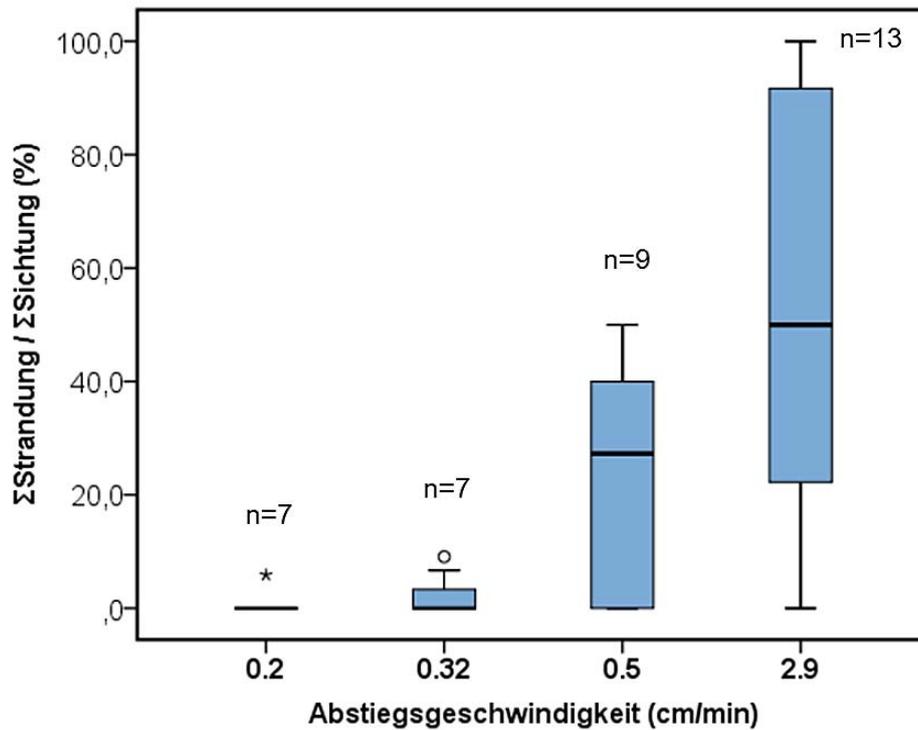


Abb. 27: Strandungsraten von Äschenlarven bei unterschiedlichen Abstiegsgeschwindigkeiten, Vergleich zwischen den Abstiegsgeschwindigkeiten 0,2 / 0,32 / 0,5 und 2,9 cm/min

Aufgrund des Versuchsdesigns bzw. der Methode für der Erprobung und Berechnung der Strandung wurde davon ausgegangen, dass eine unterschiedliche Schwalldauer von 10 und 20 Minuten keinen Einfluss auf die Strandungsrate hat. Um diese Annahme zu unterstützen, wurden die Strandungsraten der Äschen bei verschiedenen Abstiegsgeschwindigkeiten erneut getestet, jedoch ohne Einbeziehung von Versuchen mit einer Schwalldauer von 10 Minuten. Die Gesamtzahl der Versuche reduzierte sich somit auf 33. Die neuen statistischen Kennzahlen werden in folgender Tabelle dargelegt.

Tab. 15: Strandungskennzahlen (%), bezogen auf Abstiegsgeschwindigkeiten, ohne Versuche mit 10 Minuten Schwalldauer

	Abstiegsgeschwindigkeiten			
	0,2 cm/min	0,32 cm/min	0,5 cm/min	2,9 cm/min
n	7	7	8	11
arithm. Mittel	0,8403	2,25	19,034	54,447
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,8402	1,47	7,524	11,713
Standardabweichung	2,2233	3,908	21,282	38,846
Median	0	0	13,636	50
Quartil ₂₅	0	0	0	21,74
Quartil ₇₅	0	6,667	38,75	92,5

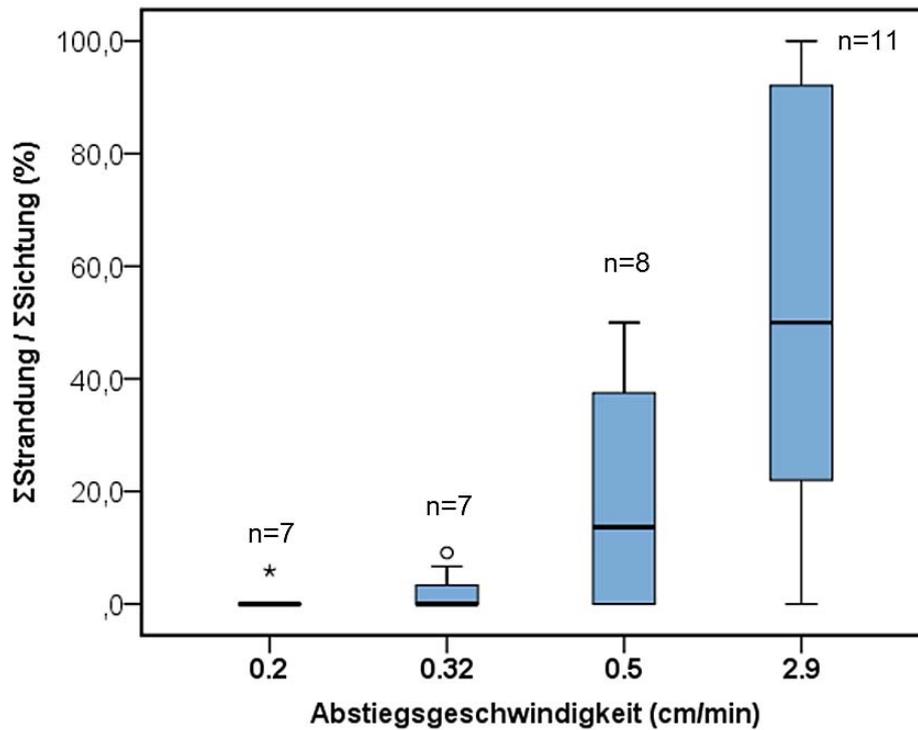


Abb. 28: Strandungsraten von Äschenlarven bei unterschiedlichen Abstiegsgeschwindigkeiten, ohne Versuche mit einer Schwalldauer von 10 Minuten

Statistische Testverfahren wurden für die Strandungsraten bei unterschiedlichen Abstiegsgeschwindigkeiten bei Versuchen mit einer einheitlichen Schwalldauer von 20 Minuten durchgeführt. Der Median-Test ($p=0,001$) und der Kruskal-Wallis-Test ($p=0,001$) zeigen wiederum einen signifikanten Unterschied der Strandungsraten in Bezug auf die Abstiegsgeschwindigkeiten. Bei einer detaillierten Analyse der niedrigen Abstiegsgeschwindigkeiten (0,2 und 0,32 cm/min) konnten der Median-Test ($p=0,515$) und der Mann-Whitney-U-Test ($p=0,424$) keinen signifikanten Unterschied feststellen.

Im Anschluss wurden die Kennzahlen für Σ Strandung/ Σ Sichtung (%) nach Altersklassen gegliedert und analysiert.

Tab. 16: Kennzahlen der Strandungsraten, gegliedert nach Altersklassen

	Σ Strandung / Σ Sichtung (%)	
	1 – 4 Tage	5 – 12 Tage
n	14	19
arithm. Mittel	22,191	24,324
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	8,737	8,003
Standardabweichung	32,689	34,883
Median	3,333	5,882
Quartil ₂₅	0	0
Quartil ₇₅	32,955	40

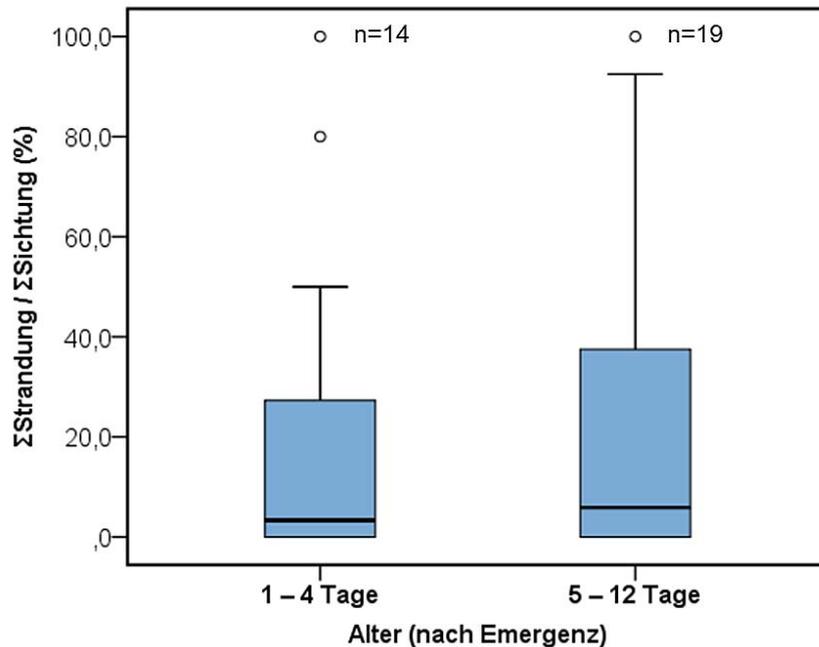


Abb. 29: Strandrungsrate, gegliedert nach Altersklassen

Anhand der Grafik (Abb. 29) und der Kennzahlen (Tab. 16) ist zu sehen, dass kein erwähnenswerter Unterschied zwischen den Altersklassen in Hinsicht auf die Strandrungsrate besteht. Auffällig ist zudem die enorme Streuung der Werte. Der Median-Test und der Mann-Whitney-U-Test brachten das Ergebnis, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersklassen gibt (Median-Test: $p=0,839$ / Mann-Whitney-U-Test: $p=0,892$).

Interpretation

Das Resultat dieser Versuchsanordnung, die auf den Nachweis der Strandung durch Beobachtung abzielt, zeigt eine eindeutige Zunahme der Strandrungsrate bei einer Erhöhung der Abstiegs geschwindigkeit. Trotz der enormen Streuung bei einer hohen Abstiegs geschwindigkeit (2,9 cm/min) ist ein signifikanter Unterschied zwischen den Abstiegs geschwindigkeiten festzustellen. Das Ergebnis basiert auf direkter Beobachtung und kann somit als sehr vertrauenswürdig eingestuft werden. Folglich wird die Aussage formuliert, dass eine Steigerung der Abstiegs geschwindigkeit ein erhöhtes Strandrungsrisiko für Äschenlarven initiiert. Die Analyse der beiden niedrigen Abstiegs geschwindigkeiten zeigt, dass Strandung bei einer Abstiegs geschwindigkeit von 0,2 cm/min praktisch nicht auftritt. Eine minimale Erhöhung dieser Abstiegs geschwindigkeit auf 0,32 cm/min bewirkt eine geringfügige Zunahme der Strandrungsrate, die jedoch noch immer annähernd null ist, wie die statistischen Kennzahlen darlegen. Die statistischen Tests zeigen eindeutig, dass es keinen Unterschied zwischen den geprüften niedrigen Abstiegs geschwindigkeiten in Bezug auf die Strandrungsrate gibt. Die gesuchte Abstiegs geschwindigkeit, die eine Strandung der Larven eindeutig in Gang setzt, wird somit auf den Bereich zwischen 0,32 und 0,5 cm/min beschränkt. Die Altersklassenanalyse brachte hervor, dass das Larvenalter keinen Einfluss auf die Strandrungsrate hat.

4.2.2.4 Vergleich mit Strandungsergebnissen aus dem Jahr 2012

Das Ergebnis der Versuchsordnung „Strandung“ wurde mit den erhobenen Daten einer ident konzipierten Versuchsreihe aus dem Jahr 2012 verglichen. Die statistischen Kennzahlen der Strandrungsraten, gegliedert nach Abstiegseschwindigkeiten, werden in der nachfolgenden Tabelle dargelegt. Da idente Abstiegszeiten programmiert wurden, ergaben sich die Unterschiede in Bezug auf die Abstiegseschwindigkeiten aufgrund der veränderten Retention der Rinnen. Für die Analyse der Daten beider Jahre wurden die Werte der Abstiegseschwindigkeiten 0,5 und 0,6 cm/min bzw. 2,9 und 3,0 cm/min gruppiert.

Tab. 17: Statistische Kennzahlen der Strandrungsraten einer identen Versuchsordnung aus dem Jahr 2012, gegliedert nach Abstiegseschwindigkeiten (bearbeitet, Quelle: FOHLER, 2013)

	Abstiegseschwindigkeiten		
	0,2 cm/min	0,6 cm/min	3,0 cm/min
n	11	7	8
arithm. Mittel	10,36	25,48	83,23
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	6,22	7,68	5,59
Standardabweichung	20,63	20,31	15,82
Median	0	22,73	91,61
Quartil ₂₅	0	6,25	67,60
Quartil ₇₅	7,69	50	93,80

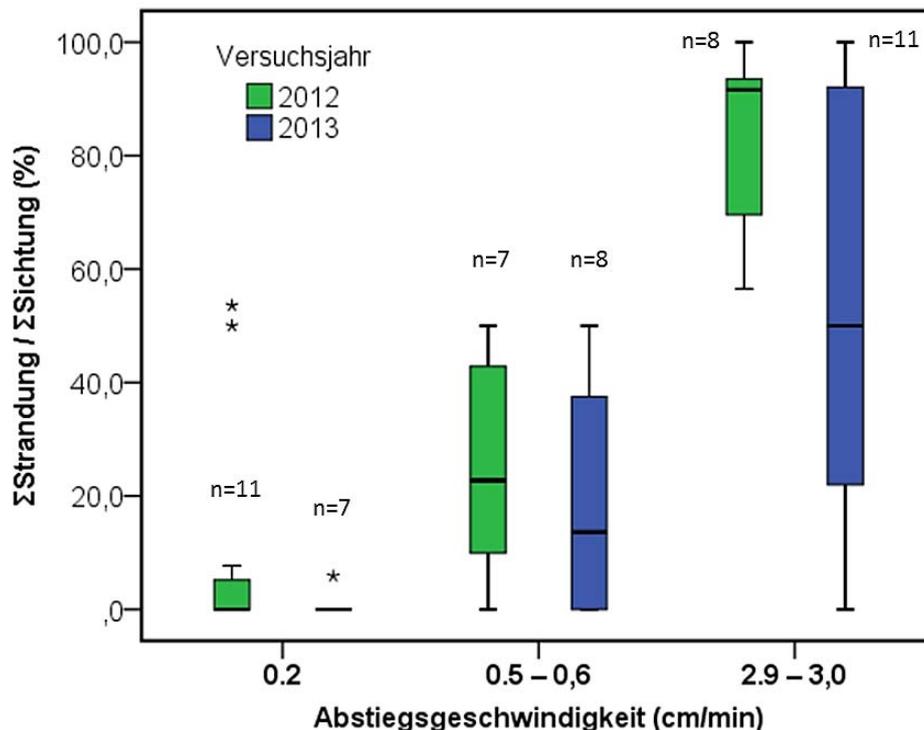


Abb. 30: Vergleich der Strandrungsraten 2012 und 2013

Für sämtliche Strandrungsraten aus beiden Versuchsjahren, in Bezug zur entsprechenden Abstiegseschwindigkeit, wurden ein Median-Test und ein Mann-Whitney-U-Test vollzogen. Die Testverfahren konnten keinen signifikanten Unterschied der Strandrungsraten beider Versuchsjahre feststellen (0,2 cm/min: Median-Test: $p=0,596$ / U-Test: $p=0,276$; 0,5 – 0,6 cm/min: Median-Test: $p=1,000$ / U-Test: $p=0,408$; 2,9 – 3,0 cm/min: Median-Test: $p=0,370$ / U-Test: $p=0,160$). Die Ergebnisse von 2012 konnten somit verifiziert werden.

4.3 Versuchsordnung 2, „Mulde“

Die Versuche zur Versuchsordnung „Mulde“ wurden im Zeitraum von 18. 05. 2013 bis 12. 06. 2013 durchgeführt. Wie die Grafik (Abb. 31) zeigt, ist der Verfahrensablauf dieser Versuchsreihe mit der Versuchsordnung „Strandung“ annähernd ident. Als Unterscheidungsmerkmal in Bezug auf den Ablauf der Versuche ist lediglich die verkürzte Schwalldauer anzuführen. Ziel dieser Versuchsordnung war es, das Strandrungsrisiko für Äschenlarven aufgrund eines „Falleneffekts“ zu untersuchen. Dieser „Falleneffekt“ wurde in Form einer Muldenstruktur im 4. Teilssegment der Experimentierrinne geschaffen. Die Mulde bot somit für die Äschen ein Habitat mit höheren Wassertiefen am Rande der Wasseranschlagslinie, das bei Schwall durchgehend benetzt wurde, jedoch bei Sunk nicht angebunden war.

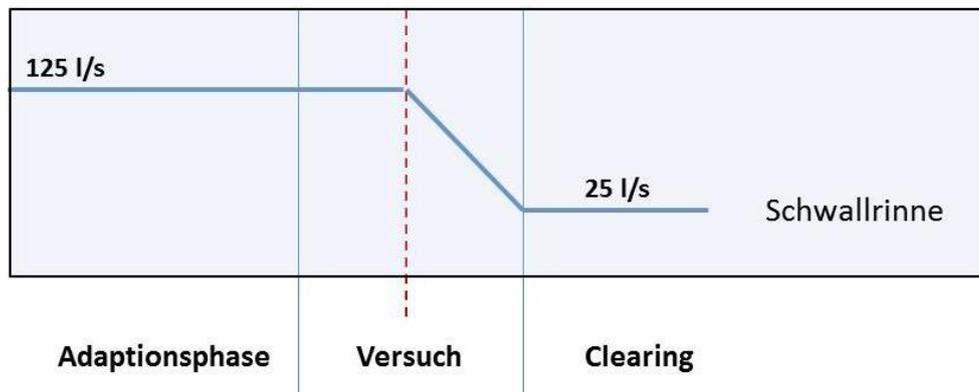


Abb. 31: Verfahrensablauf Muldenversuche

Das Strandrungsrisiko infolge verschiedener Abstiegsgeschwindigkeiten (0,2; 0,32; 0,5; 2,9 cm/min in Bezug auf die Senkung des Wasserspiegel) wurde ebenso im Rahmen dieser Versuchsordnung erforscht. Dadurch sollte untersucht werden, ob die Abstiegsgeschwindigkeit auch bei veränderten morphologischen Gegebenheiten signifikanten Einfluss auf die Strandung der Larven hat.

Für die Experimente im Rahmen der Versuchsordnung „Mulde“ wurden Äschen zweier Chargen verwendet. Die wesentlichen Kennzahlen der Versuchstiere werden in Tab. 18 dargestellt.

Tab. 18: Übersicht der für Versuche verwendeten Äschenlarven der Versuchsordnung „Mulde“

Äschenlarven der VAo 2 „Mulde“		
verwendete Charge	2	3
Schlüpzeitpunkt	01.05.2013	05.06.2013
Zeitraum	18.05.2013 – 24.05.2013	11.06.2013 – 12.06.2013
Larvenalter (n. E.)	6 – 12 Tage	0 – 1 Tage
Larvenlänge	17 – 20 mm	12 – 15 mm

Die Schwallganglinien der verschiedenen Abstiegsszenarien sind mit der Versuchsordnung 1 „Strandung“ identisch, da dieselben Abstiegsgeschwindigkeiten getestet wurden und die

Morphologie der Rinne kaum verändert wurde. Die Darstellungen (Abb. 13 – 16) auf Seite 37 bilden das Messergebnis der Drucksonden bezüglich der Abflussgangline der Rinne bei verschiedenen Abstiegsgeschwindigkeiten ab. Es wurde ebenso dieselbe Fließgeschwindigkeitsverteilung in der Rinne wie bei der Versuchsordnung „Strandung“ festgestellt.

Tab. 19: Kennzahlen der Versuchsordnung „Mulde“

Versuchszahl (N)	31
Besatzanzahl pro Versuch	100
Adaptionszeit	20 min
Schwalldotation	125 l/s
Schwalldauer	10 min
Abstiegsgeschwindigkeiten	0,2; 0,32; 0,5; 2,9 (cm/min)
Sunkdotation	25 l/s
Wechselfeuchte Zone	1,64 m
Wechselfeuchte Zone (lateral)	1,50 m
Clearing	Kescher
Δ WSP	7,6 cm
Rinne Längsneigung	0,5 ‰
Rinne Querneigung	5,1 %

4.3.1 Versuchsablauf

Die Versuchsordnung „Mulde“ umfasst 8 Schritte:

- (1) Besatz von 100 Individuen in einer Rinne mit Muldenstruktur
- (2) Adaptionsphase (20 min) in einem die Mulde umschließenden Rahmengitter nahe der Wasseranschlagslinie bei Schwalldotation
- (3) Versuchsbeginn nach Adaptionsphase
- (4) Kontrolle (Zählung) der Drift am Ende der Versuchsstrecke
- (5) Schwallphase (10 min)
- (6) Schwallabstiegsphase (variiert)
- (7) Erfassung der Strandung durch Beobachtung in dem Besatzsegment (Personen hinter Sichttafel)
- (8) Erfassung in der Rinne verbliebener Larven (Clearing)

Die Muldenstruktur im 4. Teilsegment der Versuchsrinne wurde durch die Größe des Rahmengitters, das für den Besatz der Larven verwendet wurde, beschränkt. Der Durchmesser (d) dieser neuen Struktur betrug ca. 40 cm und wies eine Maximaltiefe (T) von 5 cm auf (Abb. 32).

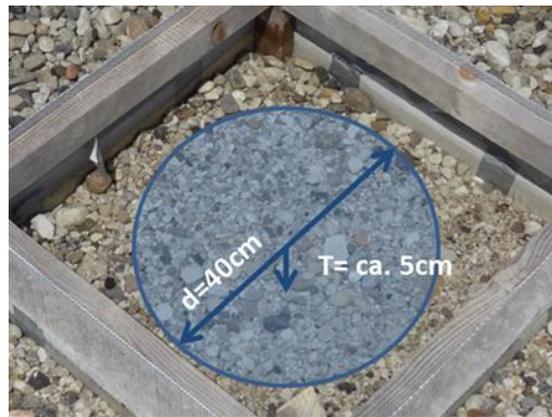


Abb. 32: Geometrie der Muldenstruktur (bearbeitet, Quelle: eigene Aufnahme, 13. 06. 2013)

Das Rahmengitter wurde in der Versuchsanordnung „Strandung“ in ungefähr 10 cm Entfernung zur Wasseranschlagslinie während eines Schwallabflusses (125 l/s) positioniert. Besatzort und Muldenstruktur werden in Abb. 33 ersichtlich gemacht. Das Schema des Besatzes der Larven ist somit mit der Versuchsanordnung 1 „Strandung“ ident.

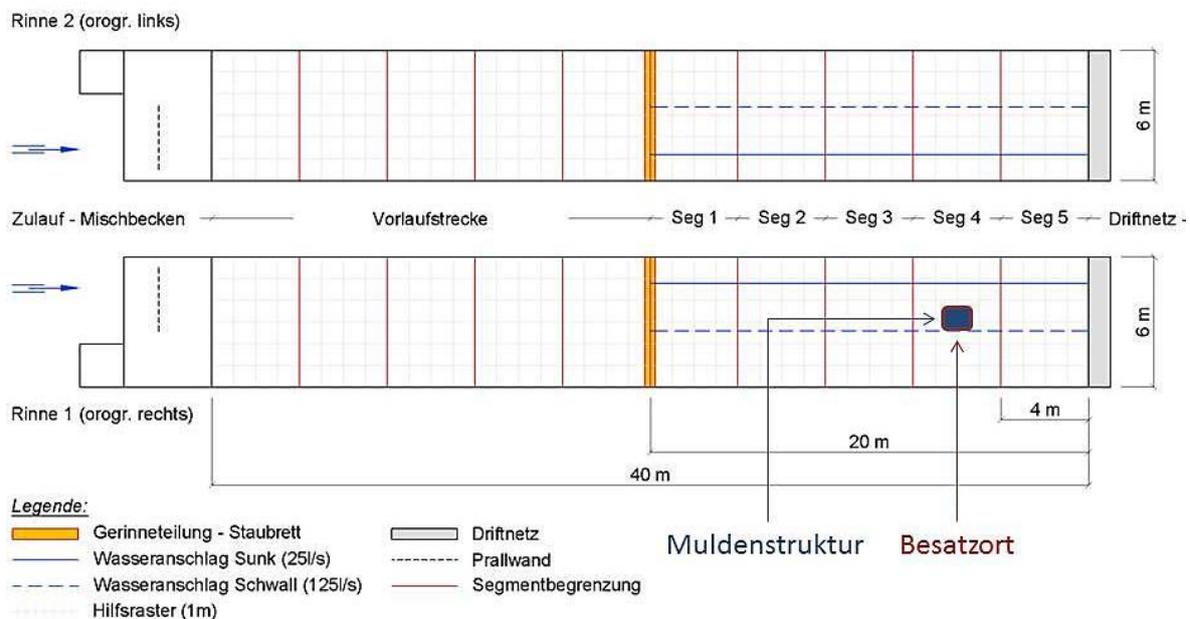


Abb. 33: Positionierung der Muldenstruktur und Besatzort (bearbeitet, Quelle: ZEIRINGER, 2013)

Die Driftzahlen der Larven wurden während der Versuche zeitlich detailliert erhoben, jedoch stand die Erhebung der Strandungsraten im Vordergrund. Die Fokussierung auf die Strandung war auch die Ursache für die Reduktion der Schwalldauer, da dadurch die prozentuellen Strandungsraten in Anbetracht der getesteten Abstiegsgeschwindigkeiten nicht beeinträchtigt wurden.

Die Berechnung der Strandung erfolgte aus dem prozentuellen Verhältnis der Summe der gestrandeten Äschen am Versuchsende zur Summe der gesichteten Larven am Beginn des Abstiegs.

$$\frac{\Sigma \text{Strandung}}{\Sigma \text{Sichtung}} \text{ in } \%$$

In weiterer Folge wurden die absoluten Strandungszahlen dieser Versuchsanordnung mit den absoluten Strandungszahlen der Versuchsanordnung „Strandung“ verglichen, um einen eventuellen Falleneffekt der Muldenstruktur festzustellen.

Versuchsanordnung 2, „Mulde“

Insgesamt wurden 31 Versuche durchgeführt, die sich nach ihrer Abstiegs-
geschwindigkeit unterscheiden. Die Tabelle (Tab. 20) gibt einen Überblick von den unterschiedlichen Ab-
stiegsgeschwindigkeiten und den damit durchgeführten Versuchen.

Tab. 20: Abstiegs-
geschwindigkeiten und Versuchszahl der Versuchsanordnung „Mulde“

Abstiegs- geschwindigkeit	Anzahl der Versuche
0,2 cm/min	8
0,32 cm/min	8
0,5 cm/min	8
2,9 cm/min	7

4.3.2 Ergebnisse und Interpretation der Versuchsordnung „Mulde“

Die Versuchsreihe umfasst 31 Einzelversuche, die in einem Zeitraum von ca. 4 Wochen abgehandelt wurden (Mitte Mai bis Mitte Juni 2013). Die Lufttemperatur an den Versuchstagen schwankte dabei zwischen 8°C und 18°C ($\bar{x} = 13,4^\circ\text{C}$) und die Wassertemperatur zwischen 7,5°C und 9,5°C ($\bar{x} = 8,1^\circ\text{C}$). Weitere grundlegende Daten der Einzelversuche werden in Tab. 21 veranschaulicht.

Tab. 21: Übersicht grundlegender Daten der Versuchsordnung „Mulde“

Versuch	Rinne	Durchführungsdatum	Besetzzeitpunkt	besetzte Fische	Schwalldauer (min)	programmierte Abstiegsdauer (sek)	gemessene Abstiegs geschwindigkeit (cm/min)
2.1	rechts	18.05.2013	16:30	100	10	840	0,5
2.2	rechts	20.05.2013	13:15	100	10	840	0,5
2.3	rechts	20.05.2013	14:24	100	10	2100	0,2
2.4	rechts	20.05.2013	15:47	100	10	840	0,5
2.5	rechts	20.05.2013	17:10	100	10	2100	0,2
2.6	rechts	20.05.2013	18:32	100	10	60	2,9
2.7	rechts	21.05.2013	09:17	100	10	840	0,5
2.8	rechts	21.05.2013	10:22	100	10	840	0,5
2.9	rechts	21.05.2013	11:24	100	10	2100	0,2
2.10	rechts	22.05.2013	09:38	100	10	2100	0,2
2.11	rechts	22.05.2013	12:02	100	10	1260	0,32
2.12	rechts	22.05.2013	13:50	100	10	1260	0,32
2.13	rechts	22.05.2013	15:46	100	10	1260	0,32
2.14	rechts	22.05.2013	18:14	100	10	60	2,9
2.15	rechts	23.05.2013	09:44	100	10	60	2,9
2.16	rechts	23.05.2013	13:46	100	10	1260	0,32
2.17	rechts	23.05.2013	15:53	100	10	60	2,9
2.18	rechts	23.05.2013	17:33	100	10	1260	0,32
2.19	rechts	24.05.2013	11:30	100	10	2100	0,2
2.20	rechts	24.05.2013	13:41	100	10	60	2,9
2.21	rechts	24.05.2013	14:27	100	10	1260	0,32
2.22	rechts	24.05.2013	16:05	100	10	840	0,5
2.23	rechts	11.06.2013	12:31	100	10	1260	0,32
2.24	rechts	11.06.2013	14:06	100	10	60	2,9
2.25	rechts	11.06.2013	15:20	100	10	2100	0,2
2.26	rechts	11.06.2013	17:33	100	10	840	0,5
2.27	rechts	11.06.2013	19:12	100	10	840	0,5
2.28	rechts	12.06.2013	10:10	100	10	2100	0,2
2.29	rechts	12.06.2013	12:36	100	10	1260	0,32
2.30	rechts	12.06.2013	15:07	100	10	2100	0,2
2.31	rechts	12.06.2013	18:08	100	10	60	2,9

Der Unterschied dieser Versuchsordnung zur Versuchsordnung „Strandung“ war ausschließlich durch den Einbau einer Struktur in Form einer Mulde gegeben. Dementsprechend lag der Fokus auf dem Einfluss dieser Struktur in Anbetracht des Strandungsverhaltens der Äschenlarven. Zusätzlich wurden Daten im Hinblick auf die Drift und die Anzahl fehlender Larven erhoben und verglichen.

4.3.2.1 Fehlende Larven

Gemäß der Versuchsordnung „Strandung“ wurde die Anzahl fehlender Larven nach Ende des Clearings ermittelt.

Tab. 22: Fehlende Larven und allgemeine Daten zu Drift, Strandung und Clearing der Versuchsordnung „Mulde“

Versuch	Rinne	besetzte Fische	ΣStrandung	Drift gesamt	Clearing (= Drift nach Versuchsende)	entnommene Fische	fehlende Fische	fehlende Fische in %
2.1	rechts	100	27	73	0	100	0	0
2.2	rechts	100	14	73	4	91	9	9
2.3	rechts	100	17	69	12	98	2	2
2.4	rechts	100	2	95	1	98	2	2
2.5	rechts	100	2	97	1	100	0	0
2.6	rechts	100	54	46	0	100	0	0
2.7	rechts	100	18	74	2	94	6	6
2.8	rechts	100	13	79	5	97	3	3
2.9	rechts	100	3	91	0	94	6	6
2.10	rechts	100	16	80	3	99	1	1
2.11	rechts	100	8	80	9	97	3	3
2.12	rechts	100	10	77	13	100	0	0
2.13	rechts	100	9	76	15	100	0	0
2.14	rechts	100	60	29	8	97	3	3
2.15	rechts	100	53	44	3	100	0	0
2.16	rechts	100	0	83	16	99	1	1
2.17	rechts	100	20	69	4	93	7	7
2.18	rechts	100	0	72	27	99	1	1
2.19	rechts	100	0	73	17	90	10	10
2.20	rechts	100	21	71	8	100	0	0
2.21	rechts	100	1	63	31	95	5	5
2.22	rechts	100	25	57	0	82	18	18
2.23	rechts	100	20	72	4	96	4	4
2.24	rechts	100	14	71	3	88	12	12
2.25	rechts	100	1	92	0	93	7	7
2.26	rechts	100	8	80	0	88	12	12
2.27	rechts	100	4	90	0	94	6	6
2.28	rechts	100	0	97	0	97	3	3
2.29	rechts	100	8	78	0	86	14	14
2.30	rechts	100	6	78	5	89	11	11
2.31	rechts	100	24	71	0	95	5	5

Zu den erhobenen Daten wurden wesentliche statistische Kennzahlen in Anbetracht fehlender Äschen berechnet und mit den Ergebnissen der Versuchsordnung „Strandung“ verglichen.

Statistische Kennzahlen und Testverfahren

Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über wesentliche statistische Kennzahlen der Versuchsordnung „Strandung“ und „Mulde“ bezüglich der fehlenden Larven der Versuchsreihen.

Tab. 23: Fehlende Larven: Statistische Kennzahlen der Versuchsordnungen „Strandung“ und „Mulde“

	Fehlende Fische	
	Versuchsordnung „Strandung“	Versuchsordnung „Mulde“
n	36	31
arithm. Mittel	8,361	4,87
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	1,315	0,86
Standardabweichung	7,893	4,81
Median	5,5	3
Quartil ₂₅	1	1
Quartil ₇₅	15,5	7

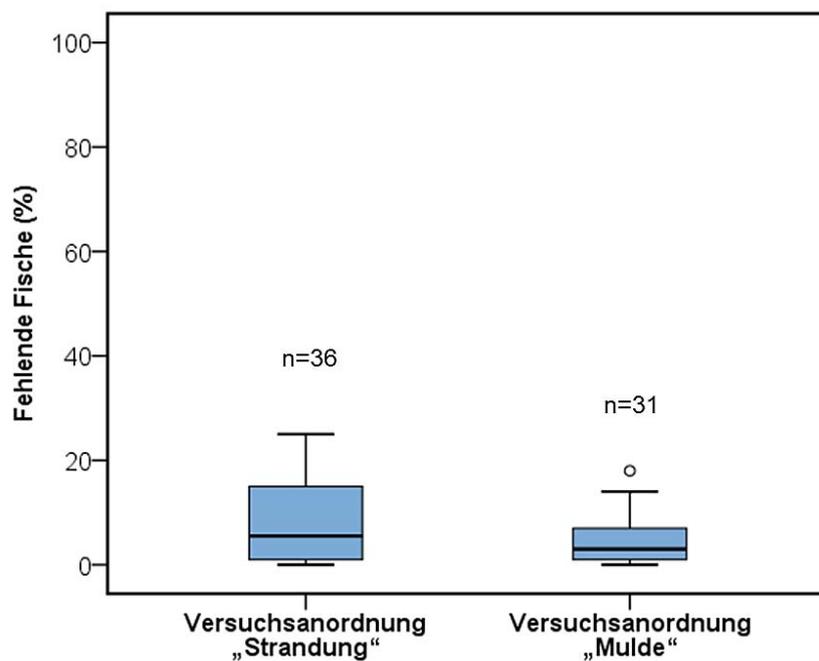


Abb. 34: Vergleich fehlender Fische im Zuge der Versuchsordnungen „Strandung“ und „Mulde“

Aus den statistischen Kennzahlen und der grafischen Darstellung dieser Werte geht hervor, dass kein Unterschied zwischen den Versuchsordnungen in Anbetracht der fehlenden Larven besteht. Der Mann-Whitney-U-Test ($p=0,108$) und der Median-Test ($p=0,706$) bestätigen, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Versuchsreihen gibt.

Interpretation

Der Vergleich beider Versuchsreihen zeigt, dass die Anzahl der fehlenden Fische annähernd gleich bleibt und die Streuung gering ist. Dies spricht sowohl für eine konstante und erfolg-

reiche Durchführung des Clearings als auch für die einheitliche Abhandlung der Versuche an sich (beispielsweise in Bezug auf externe Einflüsse).

4.3.2.2 Drift

Daten zur Drift wurden für kategorisierte zeitliche Phasen erhoben. Die dabei gesammelten Werte werden in der folgenden Tabelle für jeden Einzelversuch veranschaulicht.

Tab. 24: Detaillierte Übersicht der erhobenen Driftdaten der Versuchsordnung „Mulde“

Versuch	Schwalldauer (min)	Larvenalter nach Emergenz	Altersklasse	Chargennummer	Drift vor Release	Drift Ende halber Schwall	Drift Ende Schwall	Drift Abstieg	Drift gesamt
2.1	10	6	2	2	0	70	n.b.*	3	73
2.2	10	8	2	2	0	68	n.b.*	5	73
2.3	10	8	2	2	0	28	8	33	69
2.4	10	8	2	2	0	53	15	27	95
2.5	10	8	2	2	7	56	2	32	97
2.6	10	8	2	2	2	33	11	0	46
2.7	10	9	2	2	0	25	23	26	74
2.8	10	9	2	2	0	60	14	5	79
2.9	10	9	2	2	5	32	32	22	91
2.10	10	10	2	2	1	n.b.*	36	43	80
2.11	10	10	2	2	3	34	21	22	80
2.12	10	10	2	2	0	51	11	15	77
2.13	10	10	2	2	0	59	2	15	76
2.14	10	10	2	2	0	6	11	12	29
2.15	10	11	2	2	3	21	13	7	44
2.16	10	11	2	2	0	69	6	8	83
2.17	10	11	2	2	0	59	5	5	69
2.18	10	11	2	2	0	47	8	17	72
2.19	10	12	2	2	0	0	62	11	73
2.20	10	12	2	2	0	58	7	6	71
2.21	10	12	2	2	0	33	15	15	63
2.22	10	12	2	2	0	26	16	15	57
2.23	10	0	1	3	0	58	6	8	72
2.24	10	0	1	3	11	44	13	3	71
2.25	10	0	1	3	2	82	4	4	92
2.26	10	0	1	3	4	65	3	8	80
2.27	10	0	1	3	11	74	3	2	90
2.28	10	1	1	3	0	90	4	3	97
2.29	10	1	1	3	0	54	2	22	78
2.30	10	1	1	3	4	50	8	16	78
2.31	10	1	1	3	0	66	5	0	71

*n.b.= nicht berücksichtigt

Die Erhebung und vor allem die Analyse der Drift waren nicht Ziel dieser Versuchsordnung. Wesentliche Auffälligkeiten, wie beispielsweise die Drift zu Schwallbeginn, sollen dennoch aufgezeigt und analysiert werden.

Statistische Kennzahlen und Testverfahren

Bereits aus der Übersicht der Daten ist zu erkennen, dass die Drift zu Ende des halben Schwalles sehr hoch ist. Diesbezüglich werden wichtige statistische Kennzahlen in Tab. 25 aufgezeigt. Dabei wurden jedoch nur Versuche berücksichtigt, von denen vollständige Daten zu jeder Phase der Driftaufnahme vorlagen. Die Gesamtanzahl der Versuche, die für die Analyse der Drift berücksichtigt wurden, reduzierte sich somit auf 28.

Tab. 25: Statistische Kennzahlen zur Drift der Versuchsordnung „Mulde“

	Drift	
	Halber Schwall	Gesamt
n	28	28
arithm. Mittel	47,607	74,07
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	4,066	2,998
Standardabweichung	21,515	15,87
Median	52	75
Quartil ₂₅	32,25	69,5
Quartil ₇₅	59,75	82,25

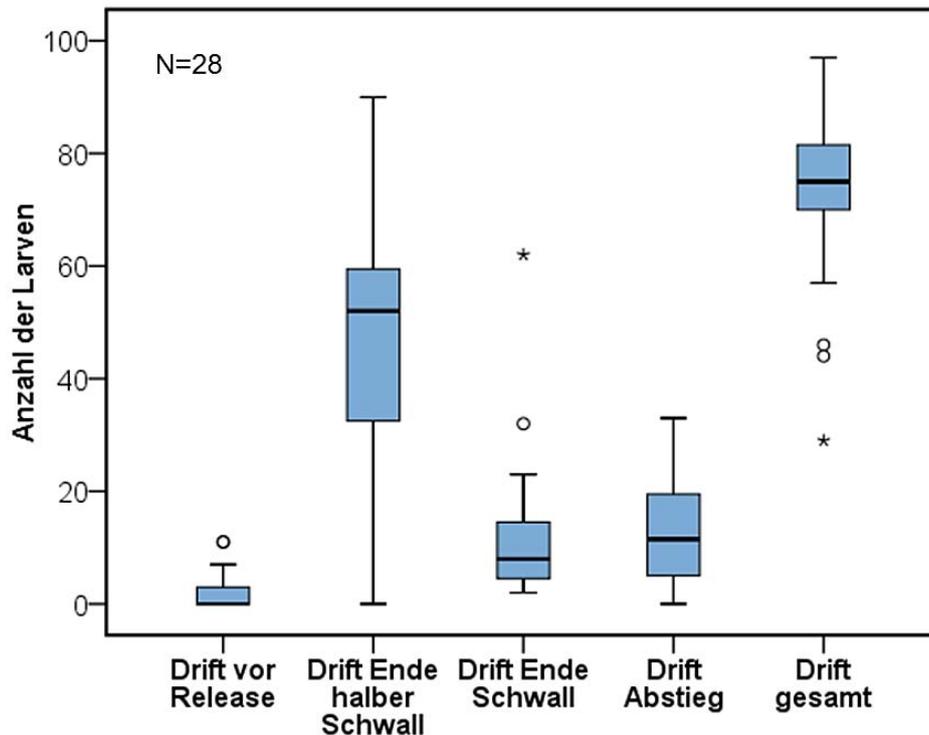


Abb. 35: Grafische Darstellung der detaillierten Driftzahlen

Anhand der Kennzahlen und der Boxplots ist ersichtlich, dass die meisten Larven während der ersten Schwallhälfte driften. Auffallend ist abermals die starke Streuung dieser Werte. Zusätzlich wurden die Driftraten während des halben Schwalls den entsprechenden Altersklassen zugeordnet und analysiert.

Tab. 26: Statistische Kennzahlen der Drift zur Hälfte des Schwalls, gegliedert nach Altersklassen

	Drift Ende halber Schwall	
	0 – 4 Tage	5 – 12 Tage
n	9	19
arithm. Mittel	64,778	39,47
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	5,044	4,445
Standardabweichung	15,131	19,375
Median	65	34
Quartil ₂₅	52	26
Quartil ₇₅	78	58

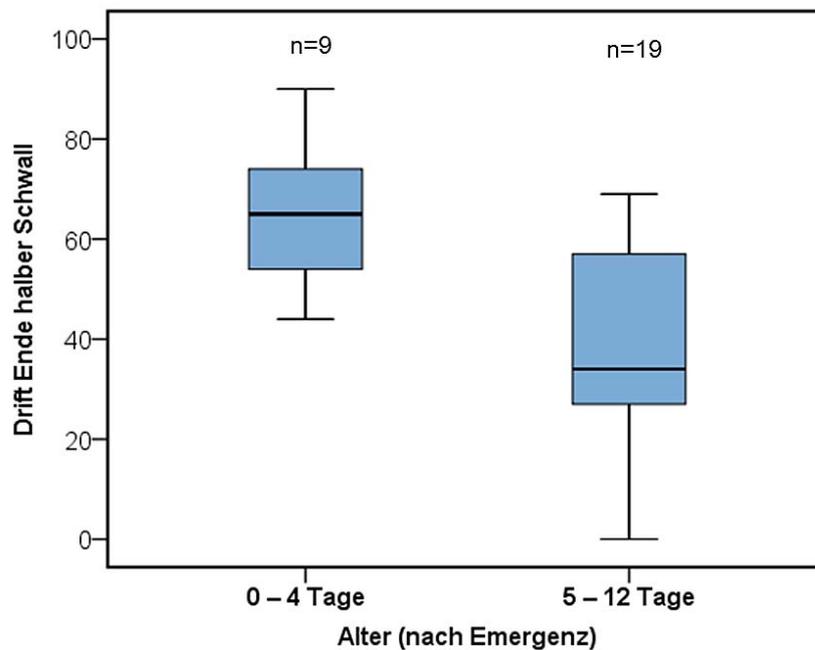


Abb. 36: Grafische Darstellung der Drift nach der Hälfte des Schwalls in Bezug auf das Alter der Larven

Die Drift nach Ende des halben Schwalls wurde hinsichtlich des Alters der Larven statistisch analysiert. Ein Median-Test konnte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersklassen feststellen ($p=0,103$). Der Mann-Whitney-U-Test ergab jedoch, dass es doch einen signifikanten Unterschied zwischen den Altersklassen in Bezug auf die Drift der Larven gibt ($p=0,006$). Aufgrund der höheren Effizienz des Mann-Whitney-U-Tests ist diesem Resultat mehr Vertrauen zu schenken.

Die Ergebnisse der Drift wurden zusätzlich mit den Driftraten der Versuchsanordnung „Strandung“ verglichen. Um uniforme Bedingungen für einen Vergleich zu schaffen, wurde die Drift während der gesamten Schwalldauer dieser Versuchsanordnung ermittelt. Die Werte beziehen sich somit auf die Drift nach einer Schwalldauer von 10 Minuten. Dies stimmt mit den ermittelten Werten der Versuchsanordnung „Strandung“ zur Hälfte des Schwalls überein.

Tab. 27: Drift nach einer Schwalldauer von 10 Minuten, Vergleich der Versuchsanordnungen „Strandung“ und „Mulde“

	Drift nach 10 Minuten Schwall	
	Versuchsanordnung „Strandung“	Versuchsanordnung „Mulde“
n	33	28
arithm. Mittel	63,090	59,39
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	3,851	3,024
Standardabweichung	22,124	16,003
Median	64	61,5
Quartil ₂₅	56,5	49,75
Quartil ₇₅	79	68

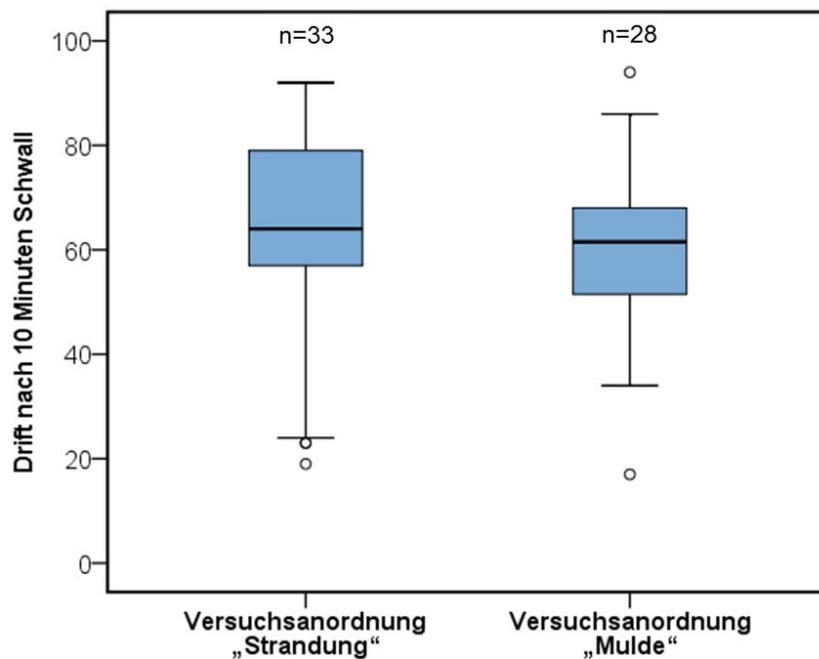


Abb. 37: Driftzahlen nach 10 Minuten Schwall der Versuchsanordnungen „Strandung“ und „Mulde“

Der Mann-Whitney-U-Test ($p=0,200$) und der Median-Test ($p=0.514$) zeigen, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Versuchsanordnungen „Strandung“ und „Mulde“ in Bezug auf die Drift nach 10 Minuten Schwall gibt.

Interpretation

Nach genauer Betrachtung der erhobenen Werte zeigt sich erneut, dass die Drift nach Release sehr hoch ist. Im Rahmen dieser Versuchsanordnung wird dieses Ergebnis verdeutlicht, da der Zeitraum bis zur Hälfte des Schwalls nur 5 Minuten betrug und somit die Aufnahme der Drift halb so lange dauerte wie in der Versuchsanordnung „Strandung“. Es zeigte sich, dass bereits in den ersten 5 Minuten nach Wegnahme des Rahmengitters mehr als die Hälfte der Larven drifteten. Die Testverfahren in Bezug auf die Drift nach einer Schwalldauer von 10 Minuten ergaben, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Versuchs-

anordnungen gibt. Aus diesem Ergebnis lässt sich rückschließend vermuten, dass die Mulde keine Minderung der Drift bewirkt. Dies bedeutet, dass durch den Einbau einer Muldenstruktur nicht mehr Fische in der Mulde bleiben als auf einer Schotterbank ohne diese Struktur. Die Analyse der Altersklassen konnte die Tendenz einer verringerten Drift mit zunehmendem Alter bzw. Wachstum bestätigen.

4.3.2.3 Strandung

Die Erforschung der Strandung bei Einbau einer Struktur in Form einer Mulde stand im Blickpunkt dieser Versuchsordnung. Folgende Tabelle veranschaulicht die essenziellen Kategorien und gewonnenen Werte für die Untersuchung des Strandungsverhaltens der Larven.

Tab. 28: Übersicht der erhobenen Werte für die Erforschung der Strandung bei Einbau einer Muldenstruktur

Versuch	Abstiegs- geschwindigkeit (cm/min)	programmierte Abstiegsdauer (sek)	Larvenalter nach Emergenz	Alters- klasse	Chargen- nummer	ΣSichtung	ΣStrandung	ΣStrandung/ΣSichtung in %
2.1	0,5	840	6	2	2	32	27	84,38
2.2	0,5	840	8	2	2	22	14	63,64
2.3	0,2	2100	8	2	2	33	17	51,52
2.4	0,5	840	8	2	2	33	2	6,06
2.5	0,2	2100	8	2	2	17	2	11,76
2.6	2,9	60	8	2	2	54	54	100
2.7	0,5	840	9	2	2	28	18	64,29
2.8	0,5	840	9	2	2	26	13	50
2.9	0,2	2100	9	2	2	19	3	15,79
2.10	0,2	2100	10	2	2	52	16	30,77
2.11	0,32	1260	10	2	2	36	8	22,22
2.12	0,32	1260	10	2	2	25	10	40
2.13	0,32	1260	10	2	2	16	9	56,25
2.14	2,9	60	10	2	2	62	60	96,77
2.15	2,9	60	11	2	2	58	53	91,38
2.16	0,32	1260	11	2	2	10	0	0
2.17	2,9	60	11	2	2	23	20	86,96
2.18	0,32	1260	11	2	2	22	0	0
2.19	0,2	2100	12	2	2	9	0	0
2.20	2,9	60	12	2	2	21	21	100
2.21	0,32	1260	12	2	2	22	1	4,55
2.22	0,5	840	12	2	2	39	25	64,10
2.23	0,32	1260	0	1	3	33	20	60,61
2.24	2,9	60	0	1	3	17	14	82,35
2.25	0,2	2100	0	1	3	4	1	25
2.26	0,5	840	0	1	3	12	8	66,67
2.27	0,5	840	0	1	3	5	4	80
2.28	0,2	2100	1	1	3	2	0	0
2.29	0,32	1260	1	1	3	20	8	40
2.30	0,2	2100	1	1	3	17	6	35,29
2.31	2,9	60	1	1	3	24	24	100

Statistische Kennzahlen und Testverfahren

Die prozentuelle Strandungsrate wurde aus den erhobenen Werten von 31 Versuchen berechnet. Zentrale statistische Kennzahlen werden nachstehend präsentiert.

Tab. 29: Statistische Kennzahlen der Strandung

n	Σ Strandung/ Σ Sichtung	Σ Strandung/ Σ Sichtung (%)
	31	31
arithm. Mittel	0,49	49,37
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,06	6,20
Standardabweichung	0,35	34,50
Median	0,52	51,52
Quartil ₂₅	0,16	15,79
Quartil ₇₅	0,82	82,35

Infolge wurde die prozentuelle Strandungsrate in Anbetracht der Abstiegs geschwindigkeit analysiert.

Tab. 30: Statistische Kennzahlen der Strandung, gegliedert nach Abstiegs geschwindigkeiten

n	Abstiegs geschwindigkeiten			
	0,2 cm/min	0,32 cm/min	0,5 cm/min	2,9 cm/min
	8	8	8	7
arithm. Mittel	21,267	27,953	59,891	93,923
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	6,326	8,763	8,553	2,707
Standardabweichung	17,892	24,787	24,191	7,162
Median	20,39	31,11	64,19	96,77
Quartil ₂₅	2,94	1,14	53,41	86,96
Quartil ₇₅	34,16	52,19	76,667	100

Aus den statistischen Kennzahlen und deren grafischer Umsetzung (Abb. 38) erkennt man einen Einfluss der Abstiegs geschwindigkeit im Hinblick auf die Strandungsrate der Äschenlarven. Der Median-Test ($p=0,000$) und der Kruskal-Wallis-Test ($p=0,000$) verifizierten einen signifikanten Unterschied zwischen den Abstiegs szenarien. Für die Abstiegs geschwindigkeiten 0,2 und 0,32 cm/min wurde eine eigene Analyse durchgeführt. Der Median-Test ($p=1,000$) und der Mann-Whitney-U-Test ($p=0,525$) brachten hervor, dass es keine signifikante Disparität der Strandungsraten zwischen diesen beiden niedrigen Abstiegs geschwindigkeiten gibt.

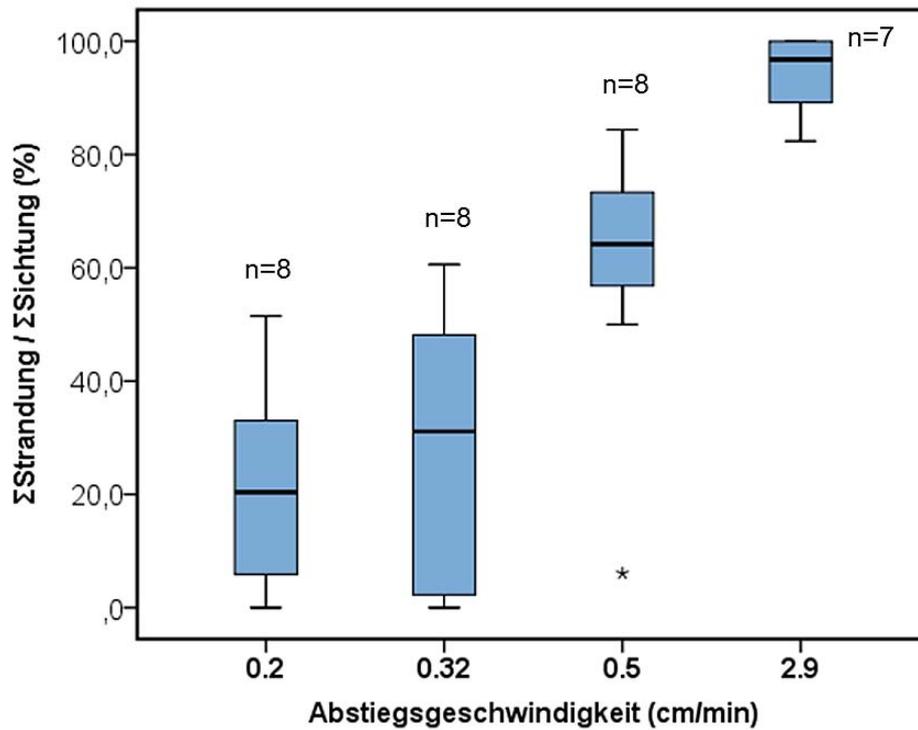


Abb. 38: Strandungsraten der Versuchsanordnung „Mulde“, gegliedert nach Abstiegsgeschwindigkeiten

Im Anschluss wurde wiederum die Strandungsrate in Bezug auf das Alter der Larven untersucht.

Tab. 31: Statistische Kennzahlen der Strandungsrate (%), gegliedert nach Alterklassen

	ΣStrandung / ΣSichtung (%)	
	0 – 4 Tage	5 – 12 Tage
n	9	22
arithm. Mittel	54,436	47,292
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	10,607	7,685
Standardabweichung	31,822	36,047
Median	60,606	50,758
Quartil ₂₅	30,147	10,339
Quartil ₇₅	81,176	85,02

Der Median-Test ($p=0,908$) sowie der Mann-Whitney-U-Test ($p=0,632$) zeigten, dass es keinen statistischen Unterschied der Strandungsraten im Hinblick auf das Alter der Larven gibt.

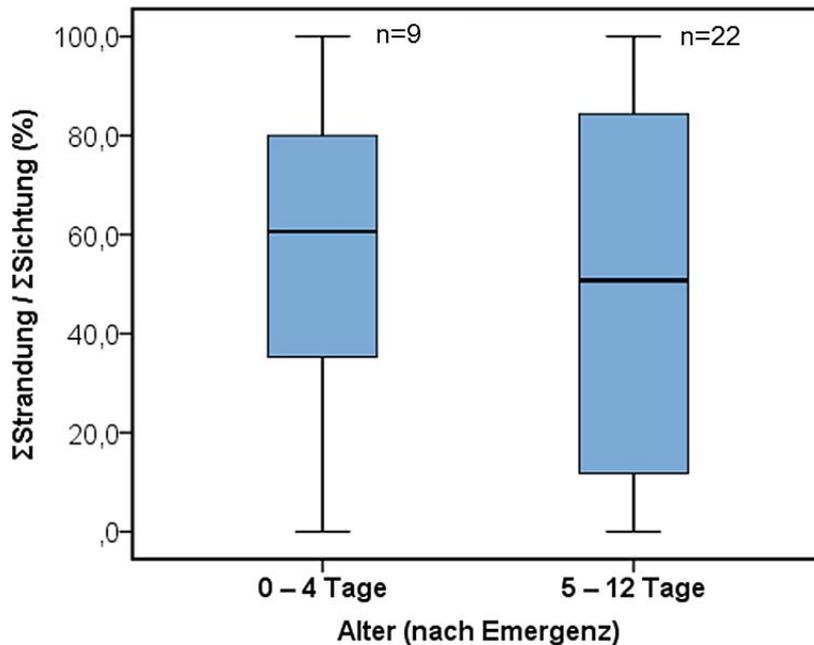


Abb. 39: Grafische Darstellung der Strandrungsraten (%) in Anbetracht des Larvenalters

Interpretation

Die Untersuchung des Strandungsverhaltens von Äschenlarven im Rahmen dieser Versuchsanordnung führte zu dem Ergebnis, dass die Abstiegs-geschwindigkeit einen signifikanten Einfluss auf das Stranden der Fische hat. Der Einbau einer Muldenstruktur zeigte wie in der vorhergehenden Versuchsreihe, dass die Larven der Äsche bei einer Erhöhung der Abstiegs-geschwindigkeit vermehrt stranden. Der rapide Rückgang des Wasserspiegels (2,9 cm/min) bewirkte eine Strandrungsrate von mehr als 80 %. Dies bedeutet, dass bei dieser raschen Absenkung des Wasserpegels mindestens 8 von 10 Fischen stranden, die sich zu Beginn des Abstiegs in der Mulde bzw. in Muldennähe befinden. Der Vergleich der niedrigen Abstiegs-szenarien zeigte abermals keinen Unterschied in Bezug auf die Strandrungsrate. Der Einbau einer Muldenstruktur führte jedoch bereits ab einer Abstiegs-geschwindigkeit von 0,2 cm/min zu einer eindeutigen Strandung der Fische. Wie in der Versuchsanordnung Strandung konnte zudem kein Einfluss des Alters der Larven in Hinblick auf die Strandrungsrate nachgewiesen werden.

4.3.2.4 Vergleich mit den Ergebnissen der Versuchsanordnung „Strandung“

Die Resultate dieser Versuchsanordnung wurden mit den Ergebnissen der Versuchsanordnung „Strandung“ verglichen. Der Vergleich dieser beiden Versuchsreihen sollte aufzeigen, ob der Einbau einer Struktur in Form einer Mulde signifikanten Einfluss auf die Strandung der Äschenlarven hat. Die unterschiedliche Dauer des Schwallts wird für diesen Vergleich nicht berücksichtigt, da lediglich der Einfluss der Abstiegs-geschwindigkeit und somit die Abstiegs-phase im Vordergrund der Untersuchung steht. Es wurde vorausgesetzt, dass ein Rückgang der Schwalldauer von 20 auf 10 Minuten noch keinen Einfluss auf die berechnete Strandrungsrate der Larven hat. Tab. 15 und Tab. 30 zeigen die für die Gegenüberstellung verwendeten statistischen Kennzahlen.

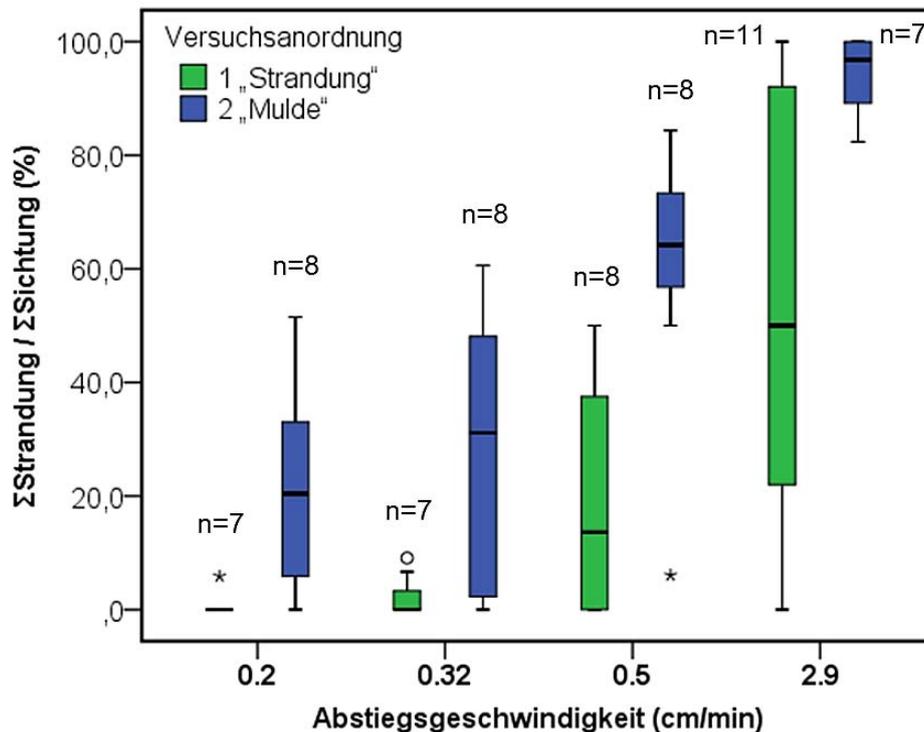


Abb. 40: Vergleich der Versuchsanordnungen „Strandung“ und „Mulde“

Aus dem Boxplot lässt sich bereits ein deutlicher Unterschied zwischen den Strandrungsraten der Versuchsanordnungen in Anbetracht der Abstiegsgeschwindigkeit feststellen. In weiterer Folge wurden für jedes Abstiegsszenario ein Median-Test und ein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt:

0,2 cm/min: Median-Test: $p=0,041$ / U-Test: $p=0,012$ → signifikanter Unterschied

0,32 cm/min: Median-Test: $p=0,315$ / U-Test: $p=0,038$ → kein bzw. signifikanter Unterschied

0,5 cm/min: Median-Test: $p=0,010$ / U-Test: $p=0,004$ → signifikanter Unterschied

2,9 cm/min: Median-Test: $p=0,335$ / U-Test: $p=0,049$ → kein bzw. signifikanter Unterschied

Die Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests zeigen für jedes Abstiegsszenario einen signifikanten Unterschied zwischen den Strandrungsraten der Versuchsanordnungen.

Interpretation

Das Vorhandensein einer Struktur in Form einer Mulde zeigt einen eindeutigen Einfluss auf das Stranden von Äschenlarven. Trotz der geringen Größe dieser Struktur (maximale Tiefe = 5 cm, Durchmesser = 40 cm) konnte eine Erhöhung der Strandrungsrate nachgewiesen werden. Die Mulde hat somit einen Falleneffekt für die Larven der Äsche bei Schwallrückgang. Dies verweist auf die Bedeutung einer Struktur im Zusammenhang mit der Strandung von Fischen.

4.4 Versuchsplanung 3, „Bucht“

Diese Versuchsreihe wurde im Zeitraum von 14. 06. 2013 bis 24. 06. 2013 durchgeführt und unterscheidet sich grundlegend von den zuvor behandelten Versuchsplanungen. Durch den Einbau zweier großer Strukturen (Buchten) sollte erforscht werden, inwieweit dadurch das Drift- und Strandrungsverhalten von Äschenlarven beeinflusst wird. Da beide Buchtstrukturen auch bei Sunk an die Gewässersohle angebunden waren, konnte ein „Falleneffekt“ auch bei rückschreitender Schwallwelle ausgeschlossen werden. Die großen angebundenen Buchten waren bei Sunk kaum durchströmt und stellten somit Ruhigwasserbereiche dar. Ziel der Versuchsplanung ist es in Erfahrung zu bringen, ob durch das Vorhandensein dieser Buchten die Drift- und Strandraten der Larven reduziert werden können. Hierfür wurden als Vergleichsbasis die Ergebnisse der Drift und Strandung von Äschen im Rahmen der Masterarbeit von Nora Föhler (2012) herangezogen. Um eine annähernd uneingeschränkte Vergleichbarkeit der Versuchsplanungen zu gewährleisten, wurde der gesamte Verfahrensablauf reproduziert.

Parallel zu jedem Versuch dieser Versuchsplanung wurde ein Referenzversuch gestartet. Dadurch sollte das Ergebnis des Schwallversuches verifizierbar werden und somit die Vergleichbarkeit der Versuchsplanung mit und ohne Buchtstruktur gewährleisten. Vor Beginn eines Versuches wurden die Schwall- und Referenzrinne jeweils mit 500 Stück Äschenlarven besetzt. Der Besatz erfolgte in gleichmäßigem Abstand im Flachwasserbereich der 20 m langen Experimentierrinne. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Rinne mit der Sunkabflussmenge von 25 l/s dotiert. Die folgende Darstellung (Abb. 41) zeigt den schematischen Ablauf der Versuchsplanung „Bucht“ für beide Rinnen.

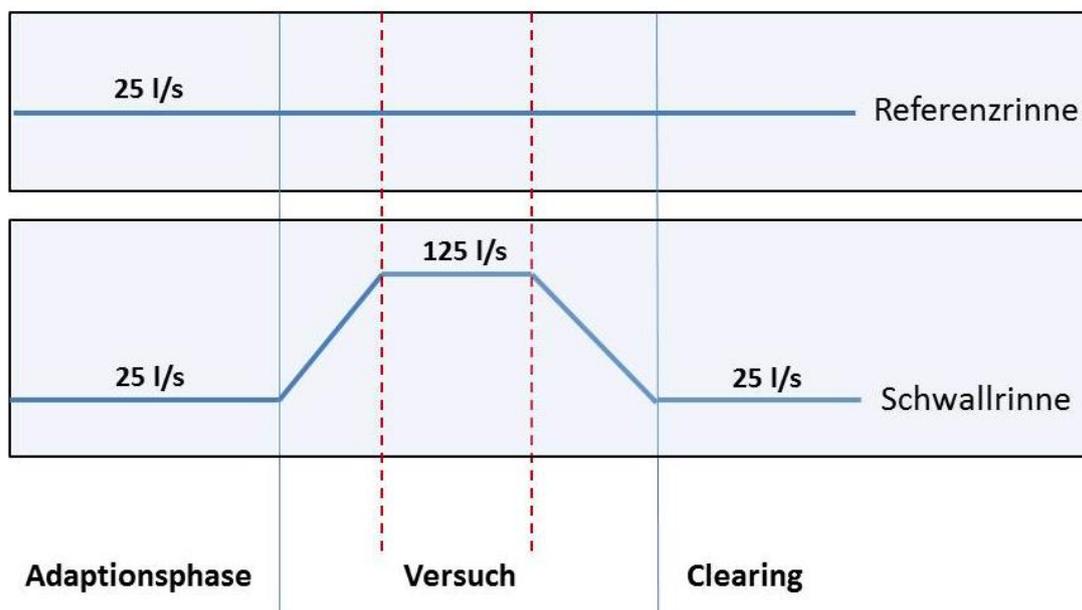


Abb. 41: Verfahrensablauf der Versuchsplanung „Bucht“

Ab dem Besatzzeitpunkt konnten sich die Äschen in der Rinne frei bewegen und sich an die abiotischen Gegebenheiten anpassen. Diese Phase wird als Adaptionphase bezeichnet und dauerte 60 Minuten lang. Als „aktive Drift“ wird die Menge jener Fische bezeichnet, die während dieser Zeit aus den Driftnetzen entnommen werden, da die Larven aufgrund ihrer Physiologie in der Lage wären sich gegen die geringe Strömung (max. 0,25 m/s in der Strömungsmitte) fortzubewegen. Nach dem Ende der Adaptionzeit beginnt der eigentliche Ver-

such. Dabei wird in der Schwallrinne die Abflussmenge von 25 l/s auf 125 l/s erhöht. Je nach Versuch beträgt die Anstiegsgeschwindigkeit 0,6 oder 4,8 cm/min und die Abstiegsgeschwindigkeit 0,5 oder 2,8 cm/min. Die programmierte An- bzw. Abstiegsdauer ist dabei jedoch ident. Ursache hierfür ist die Retention, die trotz gleich programmierter An-/Abstiegszeiten unterschiedliche An-/Abstiegsgeschwindigkeiten bewirkt, wie die Ergebnisse der Drucksondenmessungen zeigen. In den folgenden Grafiken (Abb. 42/Abb. 43) sind die Abflussganglinien der Versuchsanordnung „Bucht“ bei unterschiedlichen An- und Abstiegsgeschwindigkeiten ersichtlich.

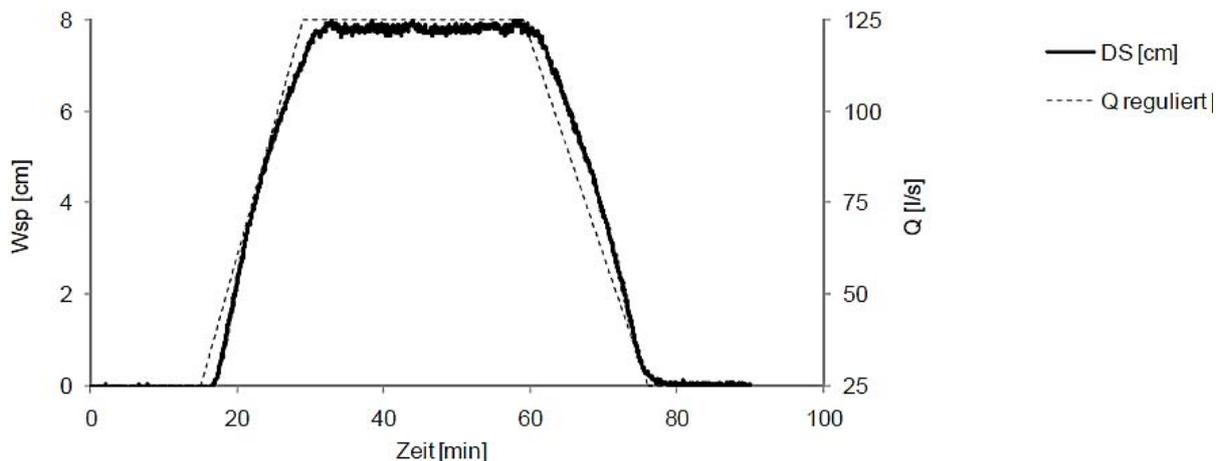


Abb. 42: Abflussganglinie „Bucht“: v -Anstieg = 0,6 cm/min; v -Abstieg = 0,5 cm/min (Quelle: ZEIRINGER, 2013)

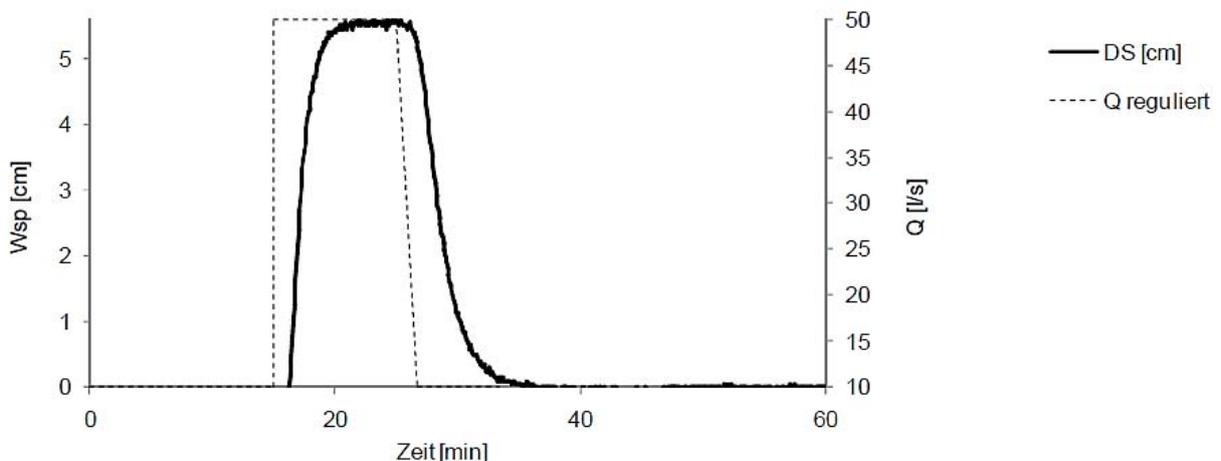


Abb. 43: Abflussganglinie „Bucht“: v -Anstieg = 4,8 cm/min; v -Abstieg = 2,8 cm/min (Quelle: ZEIRINGER, 2013)

Ab dem Start der Anstiegsphase wird die Drift in der Schwallrinne als „passive Drift“ bezeichnet. Nach der Anstiegsphase beginnt die Schwallphase, in welcher die Schwallrinne für 30 Minuten mit 125 l/s dotiert wird. Die Drift wird wiederum während dieser Phase erhoben, bevor die letzte Phase des Versuchs, die sogenannte Abstiegsphase, beginnt. Die Anzahl von Fischen, die während dieser Zeit driftet, wird ebenfalls dokumentiert. Nach dem Versuchsende folgt die Clearing-Phase, in der versucht wird, die in der Rinne verbliebenen Larven zu entnehmen. Das Clearing ist im Rahmen dieser Versuchsanordnung von großer Bedeutung, da es in weiterer Folge für die Berechnung der Drift- und Strandungsraten herangezogen wird.

Im Zuge dieser Versuchsanordnung wurden pro Rinne 2 Buchtstrukturen konstruiert, die sich über das gesamte 2. und 4. Teilsegment in Längsrichtung erstreckten (Abb. 45). Die neuen

Strukturen wiesen somit in Fließrichtung eine Länge 4 m auf und verfügten über einen ausgeprägten Tiefenbereich mit Wassertiefen von bis zu 40 cm. Im Vergleich mit der restlichen Schotterbank waren die Buchten zum Ufer hin steiler geböscht. Um einen Falleneffekt zu vermeiden, waren die Buchtstrukturen auch bei Sunk an die Gerinnesohle angebunden. Zusätzlich wurden vorgelagerte Querriegel geschaffen, die sich deutlich über der Gerinnesohle befanden. Die wechselfeuchte Zone innerhalb der Buchten betrug 0,11 m. Durch den Einbau der Buchtstrukturen wurde das Strömungsmuster der Rinne deutlich verändert. Das Querprofil zeigt die Fließgeschwindigkeitsverteilung, die in der Mitte der 1. Bucht (nach 6 m der Versuchsrinne bzw. nach 26 m der Gesamtrinne) gemessen wurde.

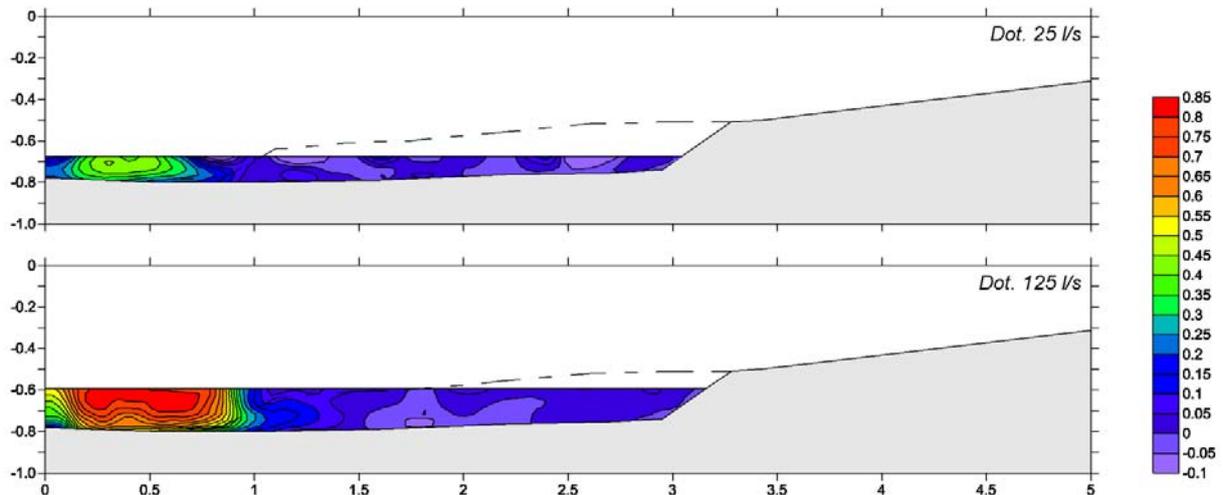


Abb. 44: Tiefen- und Fließgeschwindigkeitsverteilung der Versuchsanordnung „Bucht“ im Querprofil (Quelle: ZEIRINGER, 2013)

Bei Sunk wurden die Buchten kaum durchströmt und stellten somit Ruhigwasserbereiche dar. Bei Schwall konnte eine erhöhte Abflussgeschwindigkeit nahe dem „Kopf“ des Querriegels, unweit der Tiefenrinne, festgestellt werden. Aufgrund des gleichzeitigen Rückstaus im Bereich vor dem Querriegel wurde die Strömungsgeschwindigkeit im äußeren Bereich der Schotterbank verringert.

Für die Versuche dieser Versuchsanordnung wurden Larven zweier Chargen eingesetzt. Die Tabelle (Tab. 32) gibt Auskunft über die Merkmale dieser Versuchsfische.

Tab. 32: Kennzahlen von Äschenlarven der Versuchsanordnung „Bucht“

Äschenlarven der VAo 3 „Bucht“		
verwendete Charge	3	4
Schlüpzeitpunkt	05.06.2013	14.06.2013
Zeitraum	14.06.2013 – 20.06.2013	21.06.2013 – 24.06.2013
Larvenalter (n. E.)	3 – 9 Tage	1 – 4 Tage
Larvenlänge	13 – 16 mm	12 – 15 mm

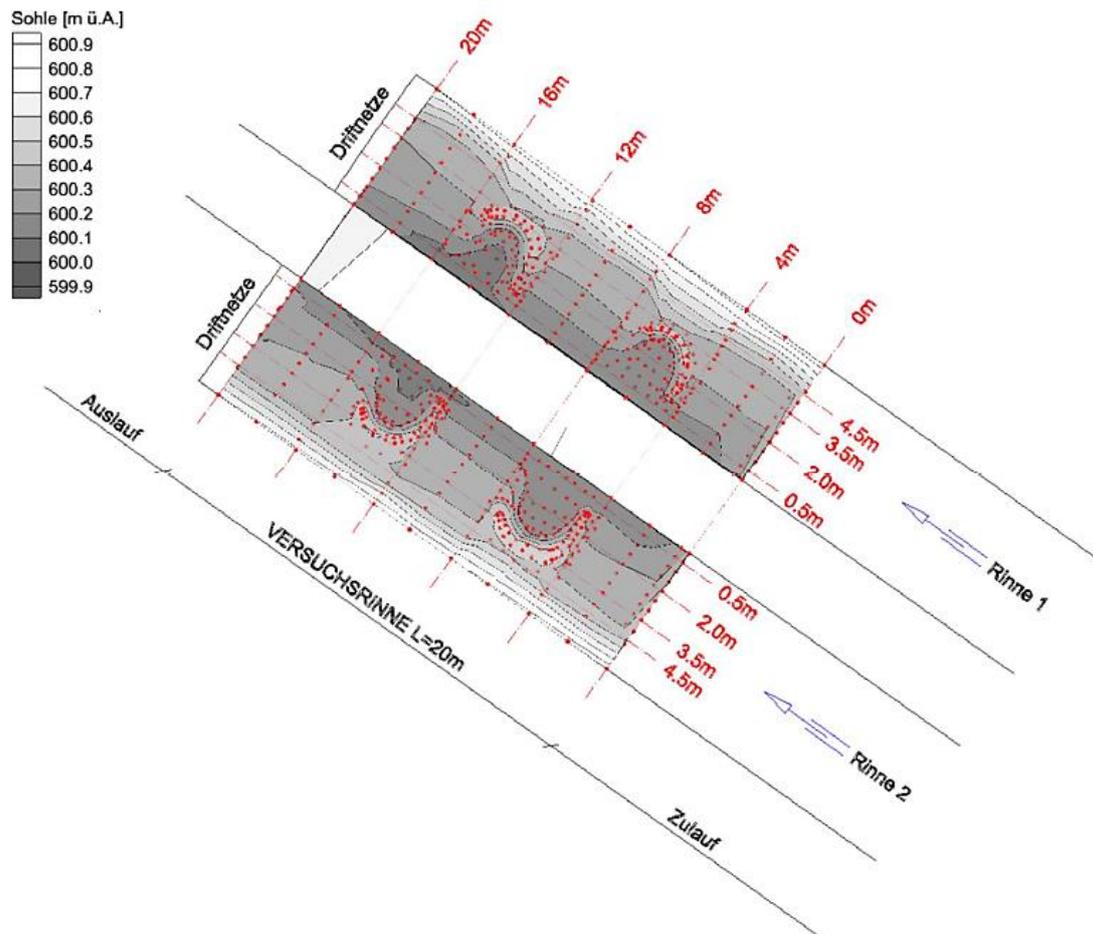


Abb. 45: VAO „Bucht“: Sohlhöhen (10 cm Höhenschichtlinien), Vermessungspunkte (rote Punkte) und Transektbeschreibung (rote Linien mit Längs- und Querstationierungen) (Quelle: ZEIRINGER, 2013)

Für die Untersuchung des Drift- und Strandungsverhaltens der Äschenlarven wurden verschiedene Berechnungsmethoden herangezogen. Da parallel zu jedem Schwallversuch ein Referenzversuch vollzogen wurde, konnte zunächst überprüft werden, ob ein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Anzahl der in jeder Rinne verbliebenen Larven vorliegt. Hierfür dienen die Clearingwerte (C) am Versuchsende als Grundlage. Diese wurden in Relation zu den in der Rinne verbliebenen Fischen nach dem Ende der Adaptionsphase (R) betrachtet. Der Wert (R) wird aus dem Besatz (B) abzüglich der während der Adaptionsphase gedrifteten Larven (Aad) ermittelt.

$$\text{Clearing (C) / Anzahl der Larven am Versuchsanfang (R)}$$

Das Ergebnis dieser Gegenüberstellung (C/R in %) zeigte den Anteil jener Fische, die in jeder Rinne am Versuchsende verblieben und somit während des Versuches weder strandeten noch drifteten. Die Ergebnisse der Versuchsanordnung ohne Buchtstrukturen (siehe FOHLER, 2013) ergaben dabei einen signifikanten Unterschied zwischen Schwall- und Referenzrinne. Durch den Vergleich der Ergebnisse „mit“ und „ohne“ Buchten in der Schwallrinne konnte der Einfluss dieser Strukturen begutachtet werden.

In weiterer Folge wurde die Drift der Larven analysiert. Zu Beginn erfolgte die Überprüfung der Drift während der Adaptionsphase, um festzustellen, ob eventuelle Unterschiede bezüglich der Wahl der Rinne vorliegen (Dad/B). Des Weiteren wurde die Drift während Anstieg (Dan), Schwall (Ds) und Abstieg (Dab) erfasst. Die gesamte Drift (Dx) während des Versuches ergibt sich aus der Summe dieser Kennzahlen.

$$Dx = Dan + Ds + Dab$$

Die Drift während der einzelnen Schwallphasen sowie die gesamte Drift (Dx) wurden in Relation zu den in der Rinne verbliebenen Äschen bei Versuchsbeginn betrachtet.

$$Dan / R$$

$$Ds / R$$

$$Dab / R$$

$$Dx / R$$

Das Verhältnis Dx/R gibt an, wie viele Fische während des gesamten Versuches in Bezug auf die Anzahl der in der Rinne verbliebenen Larven gedriftet sind. Des Weiteren wurden die Driftzahlen hinsichtlich unterschiedlicher An- und Abstiegsgeschwindigkeiten getestet. Die Ergebnisse wurden rinnenspezifisch ausgewertet und mit den Resultaten der Drift in der Schwallrinne ohne Buchtstruktur verglichen.

Die Strandung wurde im Rahmen dieser Versuchsordnung nicht direkt durch Beobachtung erfasst, da dies erwartungsgemäß aufgrund des Versuchsschemas einen zu hohen Fehleranteil mit sich bringen würde. Wie bei der Versuchsordnung ohne Buchtstruktur (FOHLER, 2013) wurde die Strandung aus der Drift während des Versuches (Dx/R) und der Anzahl der in der Rinne verbliebenen Larven (C/R) berechnet. Der Anteil der gestrandeten Larven ergab sich somit aus der Menge an Fischen, die nach Abzug der Drift und des Clearings, in Bezug auf die Anzahl der Fische zu Versuchsbeginn, übrig blieben.

$$\text{Strandung absolut (Sst)} = R - Dx - C$$

bzw.

$$\text{Strandung in Prozent (Sst \%)} = (1 - (Dx/R) - (C/R)) * 100$$

Die Strandung wurde ebenso hinsichtlich der unterschiedlichen Abstiegsgeschwindigkeiten ausgewertet und mit den Ergebnissen der Versuchsordnung ohne Buchtstruktur verglichen. Die folgende Tabelle (Tab. 33) gibt einen Überblick über die wesentlichen Kennzahlen dieser Versuchsordnung.

Tab. 33: Wesentliche Kennzahlen der Versuchsordnung „Bucht“

Versuchsanzahl (N)	10
Besatzanzahl pro Versuch	500
Adaptionszeit	60 min
Anstiegsgeschwindigkeiten	0,6; 4,8 (cm/min)
Schwalldotation	125 l/s
Schwalldauer	30 min
Abstiegsgeschwindigkeiten	0,5; 2,8 (cm/min)
Sunkdotation	25 l/s
Wechselfechte Zone (lateral)	0,11 m
Clearing	Kescher
Δ WSP	7,9 cm
Rinne Längsneigung	0,5 ‰
Böschungsneigung	72 %

4.4.1 Versuchsablauf

Nachfolgend wird der Verfahrensablauf der Versuchsanordnung „Bucht“ erläutert:

- (1) Besatz von 500 Individuen pro Rinne (Schwall- und Referenzrinne)
- (2) Adaptionsphase (60 min)
- (3) Versuchsbeginn: Kontrolle (Zählung) der Drift am Ende der Versuchsstrecke
- (4) Schwallanstiegsphase (variiert)
- (5) Schwallphase (30 min)
- (6) Schwallabstiegsphase (variiert)
- (7) Erfassung in der Rinne verbliebener Larven (Clearing)

Besatz von Äschenlarven

Vor Versuchsbeginn wurden 1000 Larven aus den Rundbecken ausgezählt und auf 10 Kübel zu je 100 Stück aufgeteilt. Anschließend wurden zu jeder Rinne 5 Kübel transportiert. Jeweils ein einzelner Kübel wurde dabei auf der nicht benetzten Schotterbank in der Mitte jedes Teilsegments positioniert. Diese Aufteilung sollte einen gleichmäßigen und raschen Besatz der Rinnen gewährleisten. Vor Besatz wurde ein ebenmäßiges Quergefälle von 5 – 6 % hergestellt. Der Besatz wurde parallel, beginnend im 1. Teilsegment der Rinne, von jeweils einer Person vollzogen. Die Äschen wurden dabei in einer Entfernung von ca. 30 cm zur Wasseranschlagslinie vorsichtig besetzt (siehe Abb. 46 und Abb. 47). Zu diesem Zeitpunkt betrug die Abflussmenge in der Rinne 25 l/s.



Abb. 46: Besatz in linker Rinne, Buchtstruktur
(Quelle: eigene Aufnahme, 14/06/2013)



Abb. 47: Besatz in rechter Rinne, Buchtstruktur
(Quelle: eigene Aufnahme, 14/06/2013)

Adaptionsphase

Nach dem vollständigen Besatz der Rinnen mit Äschenlarven begann die sogenannte Adaptionsphase. In Rahmen der Versuchsordnung „Bucht“ dauerte diese Phase 60 Minuten an. In dieser Phase konnten sich die Äschen an die abiotischen Gegebenheiten der Rinne anpassen. Gleichzeitig wurde darauf geachtet, dass sich niemand im unmittelbaren Nahbereich der Rinnen aufhält, um eine eventuelle „Scheuchwirkung“ zu vermeiden. Während dieses Zeitraums dokumentierte jeweils eine Person pro Rinne die Anzahl gedrifteter Larven und entfernte diese umgehend aus den Driftnetzen.

Versuchsbeginn

Nach Ablauf der Adaptionsphase begann der eigentliche Versuch. Die Anzahl an Fischen, die während der Adaptionsphase ermittelt wurde, diente zur Berechnung der in der Rinne verbliebenen Äschen. Dadurch wurde gewährleistet, dass ein relativer Bezug der Drift nachfolgender Phasen sowie der gesamten Drift des Versuches zur Menge verbliebener Larven in den Rinnen hergestellt werden konnte.

Schwallanstiegsphase

Ab Versuchsbeginn wurde die Abflussmenge in der Schwallrinne von 25 l/s auf die Schwalldotations von 125 l/s erhöht. Der Wasserspiegel der Rinnen erhöhte sich dabei um ca. 7 cm. Während dieser Phase wurde wiederum die Drift genau erfasst. Die Grafik (Tab. 34) gibt einen Überblick über die getesteten Anstiegsgeschwindigkeiten und die Anzahl an Wiederholungen. Während dieser Phase blieb die Sunkdotations in der Referenzrinne konstant bei 25 l/s.

Tab. 34: Buchtversuche: Anstiegsgeschwindigkeiten und Wiederholungen

Anstiegs- geschwindigkeit	Anzahl der Versuche
0,6 cm/min	6
4,8 cm/min	4

Schwallphase

Nachdem die Abflussmenge von 125 l/s erreicht wurde, begann die sogenannte Schwallphase. Die Dotations der Schwallrinne wird dabei für 30 Minuten konstant gehalten. In diesem Zeitraum wurde die Anzahl gedrifteter Larven festgehalten. In der Referenzrinne wurde während dieser Phase die Sunkabflussmenge von 25 l/s beibehalten. Die Drift wurde auch in dieser Rinne innerhalb dieses Zeitraums erhoben. Dies diente in weiterer Folge dazu, einen möglichen Einfluss der Buchtstrukturen in Bezug auf das Driftverhalten der Äschen nachzuweisen.

Schwallabstiegsphase

Während dieser Phase sinkt die Abflussmenge von 125 l/s auf die Sunkdotations der Referenzrinne ab. Im Rahmen dieser Versuchsordnung wurden 2 Abstiegszenarien simuliert, da man vermutete, dass die Abstiegs-
geschwindigkeit Auswirkung auf die Drift, vor allem aber auf die Strandung der Fische, hat. Für die Berechnung eventueller Zusammenhänge wurde die Drift in beiden Rinnen erhoben. Die Grafik (Tab. 35) zeigt getestete Abstiegs-
zenarien und die Anzahl der damit durchgeführten Versuche. Ab dem Erreichen der Sunkdotations von 25 l/s war der eigentliche Versuch zu Ende.

Tab. 35: Buchtversuche: Abstiegs- und Wiederholungen

Abstiegs- geschwindigkeit	Anzahl der Versuche
0,5 cm/min	6
2,8 cm/min	4

Clearing

Das Clearing ist für die Berechnung der Drift- und Strandraten dieser Versuchsreihe von entscheidender Bedeutung. Nach Versuche wurden die in der Rinne verbliebenen Larven mit Keschern und durch Elektrofischung entnommen. Die dabei entnommene Menge an Fischen wird in Relation zur Anzahl bei Versuchsbeginn (nach Adaptionsphase) betrachtet und mit den Ergebnissen der Versuchsordnung ohne Buchtstruktur verglichen. Darüber hinaus ist das Clearing für die Berechnung der Strandung unentbehrlich.

4.4.2 Ergebnisse und Interpretation der Versuchsordnung „Bucht“

Im Rahmen der Versuchsordnung „Bucht“ wurden innerhalb von 2 Wochen (Mitte Juni bis Ende Juni) 10 Versuche mit Äschenlarven durchgeführt. In diesem Zeitraum schwankte die gemessene Lufttemperatur zwischen 12°C und 32°C ($\bar{x} = 27,1^\circ\text{C}$). Die durchschnittliche Wassertemperatur ($\bar{x} = 8,2^\circ\text{C}$) entsprach den vorhergehenden Versuchsordnungen und schwankte zwischen 7,5°C und 8,9°C.

Tab. 36: Basisdaten der Schwall- und Referenzversuche innerhalb der Versuchsordnung „Bucht“

Versuch	Rinne	Versuchstyp	Durchführungs- datum	Besatz- zeitpunkt	besetzte Fische (B)	programmierte An-/Abstiegsdauer (sek)	gemessene Anstiegs- geschwindigkeit (cm/min)	gemessene Abstiegs- geschwindigkeit (cm/min)
3.1.1	rechts	Schwall	14.06.2013	14:00	500	840	0,6	0,5
3.1.2	links	Referenz	14.06.2013	14:00	500			
3.2.1	rechts	Referenz	17.06.2013	13:17	500			
3.2.2	links	Schwall	17.06.2013	13:17	500	840	0,6	0,5
3.3.1	rechts	Referenz	18.06.2013	09:56	500			
3.3.2	links	Schwall	18.06.2013	09:56	500	840	0,6	0,5
3.4.1	rechts	Schwall	18.06.2013	15:40	500	840	0,6	0,5
3.4.2	links	Referenz	18.06.2013	15:40	500			
3.5.1	rechts	Schwall	19.06.2013	09:50	500	840	0,6	0,5
3.5.2	links	Referenz	19.06.2013	09:50	500			
3.6.1	rechts	Referenz	19.06.2013	15:05	500			
3.6.2	links	Schwall	19.06.2013	15:05	500	840	0,6	0,5
3.7.1	rechts	Referenz	20.06.2013	10:32	500			
3.7.2	links	Schwall	20.06.2013	10:32	500	60	4,8	2,8
3.8.1	rechts	Schwall	20.06.2013	15:40	500	60	4,8	2,8
3.8.2	links	Referenz	20.06.2013	15:40	500			
3.9.1	rechts	Schwall	21.06.2013	09:06	500	60	4,8	2,8
3.9.2	links	Referenz	21.06.2013	09:06	500			
3.10.1	rechts	Referenz	24.06.2013	13:26	500			
3.10.2	links	Schwall	24.06.2013	13:26	500	60	4,8	2,8

4.4.2.1 Verbliebene und fehlende Larven

Die Anzahl der fehlenden Larven wurde für jeden Schwall- und Referenzversuch in Anlehnung an die zuvor durchgeführten Versuchsanordnungen „Strandung“ und „Bucht“ bestimmt. Die prozentuelle Rate wurde aus dem Gesamtbesatz (= 500 Stück) errechnet. Im Unterschied dazu bezieht sich die Menge verbliebener Larven (C) auf die Anzahl der Fische, die nach der Adaptionphase für den Versuch verfügbar waren (R).

Tab. 37: Ergebnisse der Drift während der Adaptionphase und des Schwalls sowie die im Zuge des Clearings wieder entnommenen Fische pro Einzelversuch und die daraus berechnete Anzahl fehlender Fische.

Versuch	Versuchstyp	besetzte Fische (B)	Drift Adaptionphase (Dad)	Larven bei Versuchsbeginn (R) (R=B-Dad)	Drift Versuch (Dx)	Gesamte Drift (Dad + Dx)	Clearing (C)	Clearing in % (C/R %)	entnommene Fische	fehlende Fische in %
3.1.1	Schwall	500	290	210	8	298	172	81,9	470	6
3.1.2	Referenz	500	298	202	7	305	176	87,1	481	3,8
3.2.1	Referenz	500	221	279	49	270	204	73,1	474	5,2
3.2.2	Schwall	500	233	267	23	256	229	85,8	485	3
3.3.1	Referenz	500	322	178	18	340	146	82	486	2,8
3.3.2	Schwall	500	270	230	31	301	185	80,4	486	2,8
3.4.1	Schwall	500	153	347	205	358	59	17	417	16,6
3.4.2	Referenz	500	178	322	42	220	214	66,5	434	13,2
3.5.1	Schwall	500	272	228	32	304	171	75	475	5
3.5.2	Referenz	500	243	257	72	315	160	62,3	475	5
3.6.1	Referenz	500	235	265	23	258	222	83,8	480	4
3.6.2	Schwall	500	258	242	15	273	191	78,9	464	7,2
3.7.1	Referenz	500	336	164	29	365	121	73,8	486	2,8
3.7.2	Schwall	500	343	157	20	363	124	79	487	2,6
3.8.1	Schwall	500	318	182	23	341	149	81,9	490	2
3.8.2	Referenz	500	362	138	19	381	94	68,1	475	5
3.9.1	Schwall	500	184	316	33	217	269	85,1	486	2,8
3.9.2	Referenz	500	176	324	13	189	293	90,4	482	3,6
3.10.1	Referenz	500	112	388	2	114	364	93,8	478	4,4
3.10.2	Schwall	500	168	332	55	223	246	74,1	469	6,2

Statistische Kennzahlen und Testverfahren

Tab. 38: Statistische Kennzahlen der fehlenden Fische (%) in Schwall- und Referenzrinne

n	Fehlende Fische (%)	
	Schwallrinne	Referenzrinne
	10	10
arithm. Mittel	5,420	4,980
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	1,368	0,953
Standardabweichung	4,327	3,013
Median	4	4,2
Quartil ₂₅	2,75	3,4
Quartil ₇₅	6,45	5,05

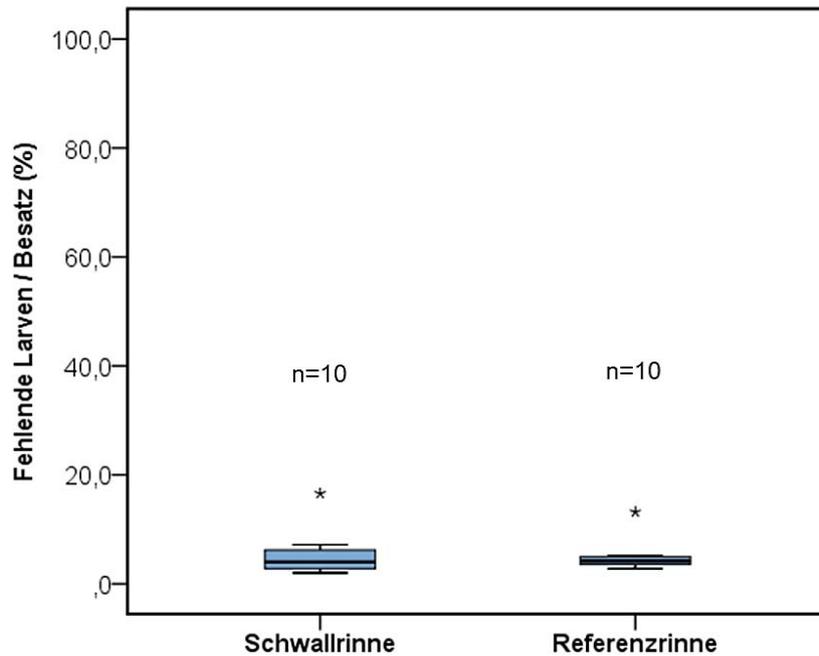


Abb. 48: Fehlende Larven in Bezug zur Besatzanzahl (%), gegliedert nach Referenz- und Schwallrinne

Die statistischen Kennzahlen und deren grafische Umsetzung mittels Boxplot lassen erkennen, dass nur ein geringer Prozentsatz an Fischen in beiden Rinnen letztendlich nicht wieder entnommen werden konnte. Ein Vergleich der beiden Rinnen wurde mit statistischen Testverfahren durchgeführt. Weder der Median-Test ($p=1,000$) noch der Mann-Whitney-U-Test ($p=0,879$) konnten einen signifikanten Unterschied bezüglich der prozentuellen Menge an fehlenden Fischen feststellen.

In weiterer Folge wurden die Clearingwerte verwendet, um den Anteil der verbliebenen Larven in den Rinnen nach Ende der Adaptionsphase zu ermitteln.

Tab. 39: Statistische Kennzahlen des Anteils verbliebener Larven (C/R %) in Schwall- und Referenzrinne

	Verbliebene Larven (%)	
	Schwallrinne	Referenzrinne
n	10	10
arithm. Mittel	73,910	78,090
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	6,435	3,422
Standardabweichung	20,350	10,823
Median	79,7	77,9
Quartil ₂₅	74,775	67,7
Quartil ₇₅	82,7	87,925

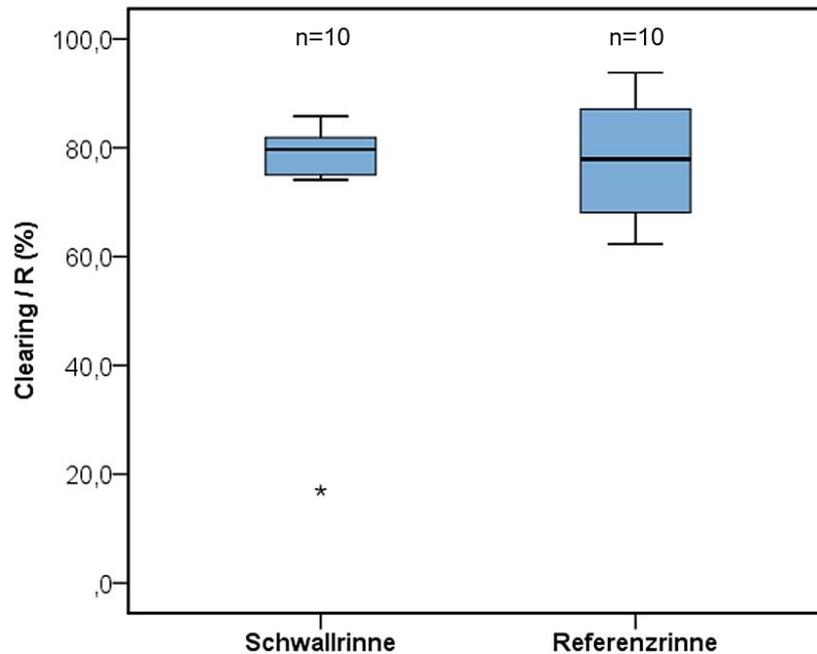


Abb. 49: Verbliebene Larven (C/R %), Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

Bei erster Betrachtung der oberen Grafik ist bereits zu erkennen, dass sich der Anteil verbliebener Larven in beiden Rinnen nicht wesentlich unterscheidet. Der Mann-Whitney-U-Test ($p=0,940$) zeigt keinen signifikanten Unterschied. Das Ergebnis des Median-Tests ($p=1,000$) ist ebenso eindeutig nicht signifikant. Die Streuung der Werte der Referenzrinne ist größer als jene der Schwallrinne. Generell ist hervorzuheben, dass die Streuung der Ergebnisse in der Schwallrinne sehr gering ist und der Anteil der verbliebenen Larven in beiden Rinnen sehr hoch ist (>60 %).

Die erhobenen Werte der Schwallrinne wurden zusätzlich in Hinblick auf das Larvenalter analysiert. Eine Übersicht des Alters der Larven während der Versuche liefert Tab. 41.

Tab. 40: Kennzahlen verbliebener Larven (%) der Schwallrinne, gegliedert nach Altersklassen

	Verbliebene Larven (%)	
	1 – 4 Tage	5 – 12 Tage
n	3	7
arithm. Mittel	80,367	71,143
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	3,267	9,108
Standardabweichung	5,658	24,099
Median	81,9	79
Quartil ₂₅	74,1	75
Quartil ₇₅		81,9

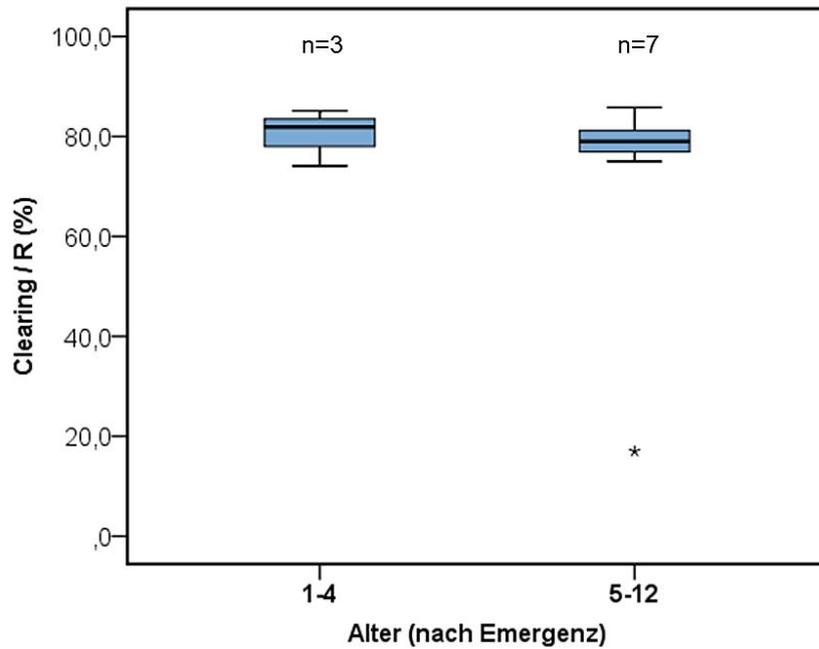


Abb. 50: Grafische Darstellung der verbliebenen Larven in der Schwallrinne in Anbetracht des Larvenalters

Der Median-Test ($p=1,000$) und Mann-Whitney-U-Test ($p=0,648$) zeigen keinen signifikanten Unterschied der verbliebenen Larven im Hinblick auf das Larvenalter. Da die Anzahl der Versuche mit Larven der Altersklasse 1 sehr gering ist, kann man dieses Ergebnis jedoch nicht als vertrauenswürdig einstufen.

Tab. 41: Übersicht des Alters der verwendeten Larven pro Einzelversuch

Versuch	Versuchstyp	programmierte An-/Abstiegsdauer (sek)	Larvenalter (nach Emergenz)	Altersklasse	Charge	Drift Adaptionsphase (Dad)	Drift während Schwall in % (Dx/R %)	Clearing in % (C/R %)
3.1.1	Schwall	840	3	1	3	290	3,8	81,9
3.1.2	Referenz		3	1	3	298	3,5	87,1
3.2.1	Referenz		6	2	3	221	17,6	73,1
3.2.2	Schwall	840	6	2	3	233	8,6	85,8
3.3.1	Referenz		7	2	3	322	10,1	82
3.3.2	Schwall	840	7	2	3	270	13,5	80,4
3.4.1	Schwall	840	7	2	3	153	59,1	17
3.4.2	Referenz		7	2	3	178	13	66,5
3.5.1	Schwall	840	8	2	3	272	14	75
3.5.2	Referenz		8	2	3	243	28	62,3
3.6.1	Referenz		8	2	3	235	8,7	83,8
3.6.2	Schwall	840	8	2	3	258	6,2	78,9
3.7.1	Referenz		9	2	3	336	17,7	73,8
3.7.2	Schwall	60	9	2	3	343	12,7	79
3.8.1	Schwall	60	9	2	3	318	12,6	81,9
3.8.2	Referenz		9	2	3	362	13,8	68,1
3.9.1	Schwall	60	1	1	4	184	10,4	85,1
3.9.2	Referenz		1	1	4	176	4	90,4
3.10.1	Referenz		4	1	4	112	0,5	93,8
3.10.2	Schwall	60	4	1	4	168	16,6	74,1

Interpretation

Das Analyseergebnis der fehlenden Larven in beiden Rinnen bringt zum Ausdruck, dass nur ein geringer Prozentsatz der besetzten Larven nicht wieder gefunden werden konnte. Dies schließt auf ein konstantes und erfolgreiches Clearing. In den zuvor abgehandelten Versuchsanordnungen war der Anteil der fehlenden Fische ausschlaggebend für die Funktionsweise des Clearings. Im Rahmen dieser Versuchsanordnung erhält dieser berechnete Anteil jedoch mehr Bedeutung, da diese Rate auch den Anteil der gestrandeten Larven beinhaltet. Da Strandung nur bei rückschreitender Schwallwelle passiert, wurde davon ausgegangen, dass der Anteil fehlender Larven in der Referenzrinne geringer ist als in der Schwallrinne. Da sich beide Rinnen diesbezüglich jedoch nicht signifikant unterscheiden, kann davon ausgegangen werden, dass Strandung in der Schwallrinne aufgrund der eingebauten Buchtstruktur kaum stattfindet. Auf die Analyse der Strandung wird in weiterer Folge detailliert eingegangen.

Die Analyse der Clearingwerte (C/R %) brachte ebenso keinen signifikanten Unterschied zwischen Schwall- und Referenzrinne hervor. Dies bedeutet, dass in einer Rinne mit Buchtstrukturen keine Auswirkung des Schwalls auf die in der Rinne verbliebenen Fische nachweisbar ist. Die verbliebenen Larven in der Schwallrinne wurden noch hinsichtlich eines Einflusses des Alters der Larven untersucht, jedoch konnte auch hierbei wiederum kein Unterschied ermittelt werden. Die Überprüfung der Altersklassen hat jedoch nur wenig Aussagekraft, da lediglich 3 Versuche mit Fischen der Altersklasse 1 vollzogen wurden.

4.4.2.2 Vergleich „verbliebener Larven“ mit Ergebnissen einer Versuchsreihe ohne Buchtstrukturen

Im Jahr 2012 wurde eine dem Ablauf entsprechende idente Versuchsreihe mit Äschenlarven durchgeführt. Dabei wurden Drift und Strandung der Fische auf einer Schotterbank ohne Buchtstruktur untersucht. Die dabei gewonnenen Ergebnisse (FOHLER, 2013) wurden mit den Resultaten dieser Versuchsanordnung verglichen, um eventuelle Einflüsse der Buchtstrukturen nachzuweisen.

Statistische Kennzahlen und Testverfahren

Tab. 42: Statistische Kennzahlen verbliebener Larven (%) einer Versuchsanordnung ohne Buchtstruktur (Versuchsordnung 1) aus dem Jahr 2012 (bearbeitet, Quelle: FOHLER, 2013)

	Verbliebene Larven (%)	
	Schwallrinne	Referenzrinne
n	21	21
arithm. Mittel	16,166	68,240
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	2,559	4,402
Standardabweichung	11,726	20,172
Median	12,18	69,6
Quartil ₂₅	8,16	55,12
Quartil ₇₅	21,16	87,54

Auf Basis dieser Daten und der Kennzahlen dieser Versuchsanordnung (Tab. 39) wurde der folgende Boxplot erstellt.

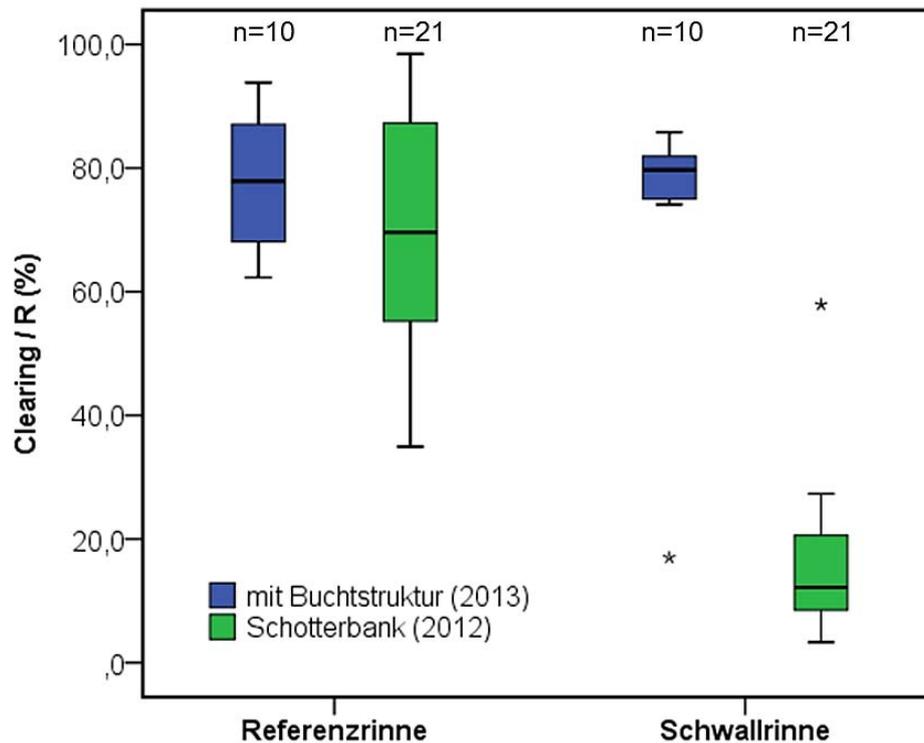


Abb. 51: Vergleich der verbliebenen Fische in Schwall- und Referenzrinne, gegliedert nach Versuchen mit und ohne Buchtstruktur

Die Versuchsreihe ohne Buchstruktur (Schotterbank) von 2012 zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen Schwall- und Referenzrinne bezüglich des Anteils verbliebener Fische nach Versuchsende. Das Ergebnis der Versuchsplanung „Bucht“ konnte jedoch keinen signifikanten Einfluss des Schwalls nachweisen. In weiterer Folge wurden die verbliebenen Larven der Versuchsreihen mit und ohne Buchtstruktur in der Referenzrinne verglichen. Der Median-Test ($p=0,202$) und der Mann-Whitney-U-Test ($p=0,220$) konnten keinen signifikanten Unterschied feststellen. Im Anschluss wurde dieselbe Analyse für die Schwallrinne durchgeführt. Dabei wurde ein signifikanter Unterschied nachgewiesen (Median-Test: $p=0,005$ / Mann-Whitney-U-Test: $p=0,000$)

Interpretation

Der klare Unterschied der verbliebenen Larven zwischen den Versuchen mit und ohne Buchtstruktur in der Schwallrinne hebt den Einfluss der Buchtstruktur auf die Drift der Fische hervor. Es zeigt sich somit, dass durch das Vorhandensein dieser Buchtstrukturen die Wirkung des Schwalls auf die Fischlarven gemindert wird und nachweislich mehr Larven in der Rinne zurückblieben, die somit nicht drifteten oder strandeten.

4.4.2.3 Drift

Die Versuchsordnung „Bucht“ wurde auf die Erfassung und Analyse der Drift konzipiert. Detaillierte Driftzahlen wurden jeweils für eine Schwall- und Referenzsituation erhoben.

Versuch	Versuchstyp	programmierte An-/Abstiegsdauer (sek)	Drift Adaptionphase (Dad)	Drift Anstieg (Dan)	Drift Schwall (Ds)	Drift Abstieg (Dab)	Drift Versuch (Dx) (Dx=Dan+Ds+Dab)	Larven bei Versuchsbeginn (R) (R=B-Dad)	Drift während Schwall in % (Dx/R %)
3.1.1	Schwall	840	290	8	0	0	8	210	3,8
3.1.2	Referenz		298	3	2	2	7	202	3,5
3.2.1	Referenz		221	11	25	13	49	279	17,6
3.2.2	Schwall	840	233	5	12	6	23	267	8,6
3.3.1	Referenz		322	5	12	1	18	178	10,1
3.3.2	Schwall	840	270	8	5	18	31	230	13,5
3.4.1	Schwall	840	153	31	141	33	205	347	59,1
3.4.2	Referenz		178	12	21	9	42	322	13
3.5.1	Schwall	840	272	7	6	19	32	228	14
3.5.2	Referenz		243	22	29	21	72	257	28
3.6.1	Referenz		235	8	6	9	23	265	8,7
3.6.2	Schwall	840	258	3	0	12	15	242	6,2
3.7.1	Referenz		336	6	21	2	29	164	17,7
3.7.2	Schwall	60	343	5	11	4	20	157	12,7
3.8.1	Schwall	60	318	9	12	2	23	182	12,6
3.8.2	Referenz		362	2	11	6	19	138	13,8
3.9.1	Schwall	60	184	9	22	2	33	316	10,4
3.9.2	Referenz		176	2	9	2	13	324	4
3.10.1	Referenz		112	0	2	0	2	388	0,5
3.10.2	Schwall	60	168	46	8	1	55	332	16,6

Abb. 52: Übersicht erhobener Driftzahlen der Versuchsreihe mit Buchtstruktur

Statistische Kennzahlen und Testverfahren

Zunächst wurde die aktive Drift der Larven während der Adaptionphase (Dad) in der Schwall- und Referenzrinne erforscht.

Tab. 43: Statistische Kennzahlen der Drift während der Adaptionphase in Hinblick auf den Besatz

	Drift in der Adaptionphase / Besatz (%)	
	Schwallrinne	Referenzrinne
n	10	10
arithm. Mittel	49,780	49,660
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	4,032	5,087
Standardabweichung	12,752	16,086
Median	52,8	47,8
Quartil ₂₅	36	35,5
Quartil ₇₅	59,4	65,1

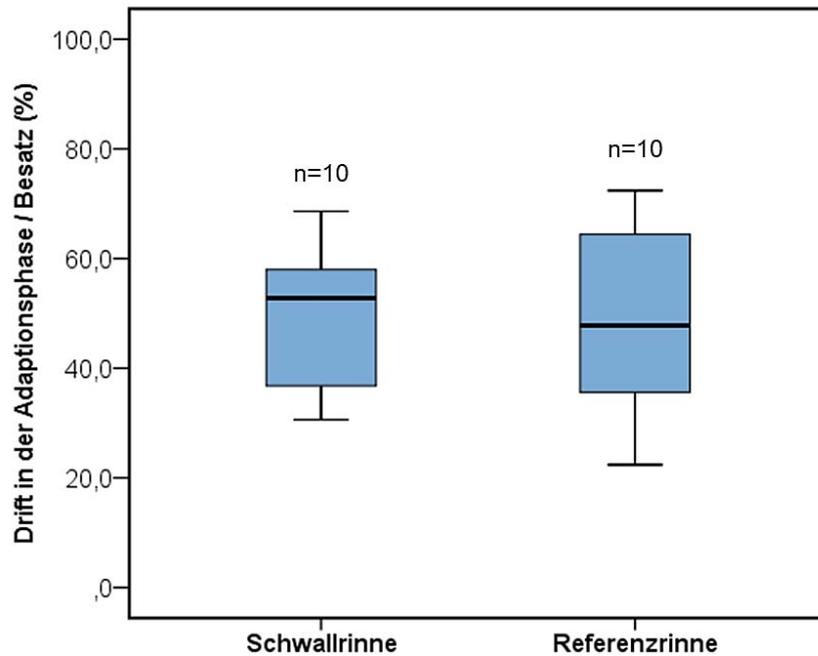


Abb. 53: Aktive Drift während der Adaptionsphase, gegliedert nach Schwall- und Referenzrinne

Aus den Boxplots wird bereits ersichtlich, dass sich die Drift der Larven in der Schwall- und Referenzrinne nicht unterscheidet. Dies entspricht den Erwartungen, da das Abflussregime in beiden Rinnen während dieses Zeitraums noch ident war. Der Median-Test ($p=0,656$) und der Mann-Whitney-U-Test ($p=0,940$) bestätigen dieses Ergebnis. Auffallend ist die große Streuung der Daten. Aus der grafischen Umsetzung der erhobenen Werte geht zudem hervor, dass die Drift der Larven in dieser Phase sehr hoch ist. Dementsprechend wurde die Drift während dieses Zeitraums mit den nachfolgenden Schwallphasen verglichen (Abb. 54).

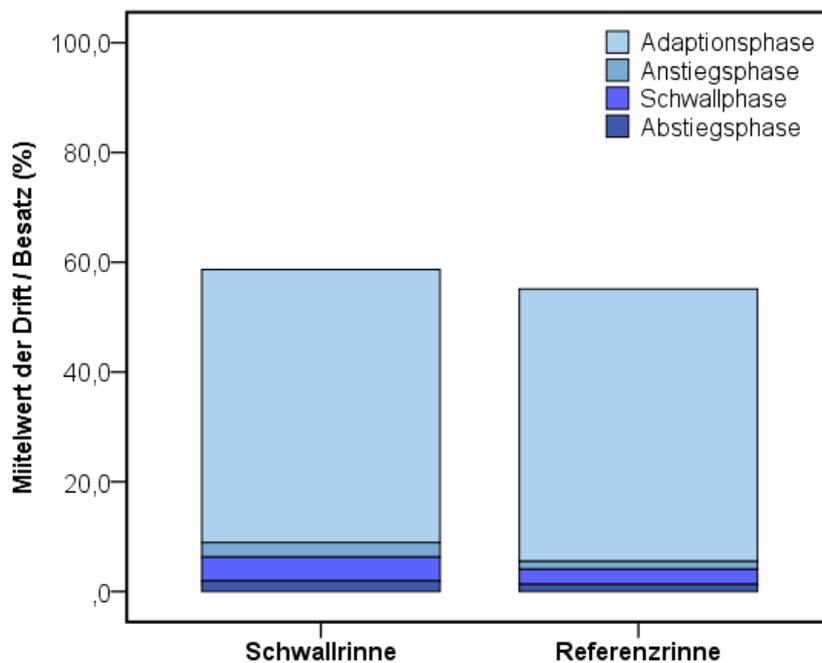


Abb. 54: Darstellung der arithmetischen Mittelwerte (%) der einzelnen Phasen in Bezug zum Besatz, gegliedert nach Schwall- und Referenzrinne

Daraus ist ersichtlich, dass der Großteil der Larven (ca. 50 %) in beiden Rinnen bereits in der Adaptionsphase driftete. Für den eigentlichen Versuch stand somit nur mehr die Hälfte der

Larven zur Verfügung. Die Drift während der eigentlichen Phasen des Schwall war sehr gering und unterschied sich kaum von dem Ergebnis der Referenzrinne.

Referenz- und Schwallrinne wurden bezüglich der Drift während „Anstieg“, „Schwall“ und „Abstieg“ in weiterer Folge genauer analysiert. Die prozentuellen Werte beziehen sich auf die Anzahl der Larven, die nach Abschluss der Adaptionphase für die Versuche zur Verfügung standen.

Tab. 44: Statistische Kennzahlen der Drift während des Schwall in Bezug zur Menge an Larven, die nach der Adaptionphase in der Rinne verblieben (Dx/R %), Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

	Drift während der Phasen des Schwall (Dx/R %)	
	Schwallrinne	Referenzrinne
n	10	10
arithm. Mittel	15,750	11,690
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	4,968	2,595
Standardabweichung	15,709	8,207
Median	12,65	11,55
Quartil ₂₅	8	3,875
Quartil ₇₅	14,65	17,625

Bereits aus den Kennzahlen und noch deutlicher aus deren grafischer Umsetzung (Abb. 55), geht hervor, dass kein Unterschied zwischen Schwall- und Referenzbedingungen in Bezug auf die Drift der Larven besteht. Die beiden statistischen Testverfahren bestätigen, dass Schwall in einer Rinne mit Buchtstrukturen keinen signifikanten Einfluss auf die Larvendrift hat (Median-Test: $p=1,000$ / U-Test: $p=0,821$).

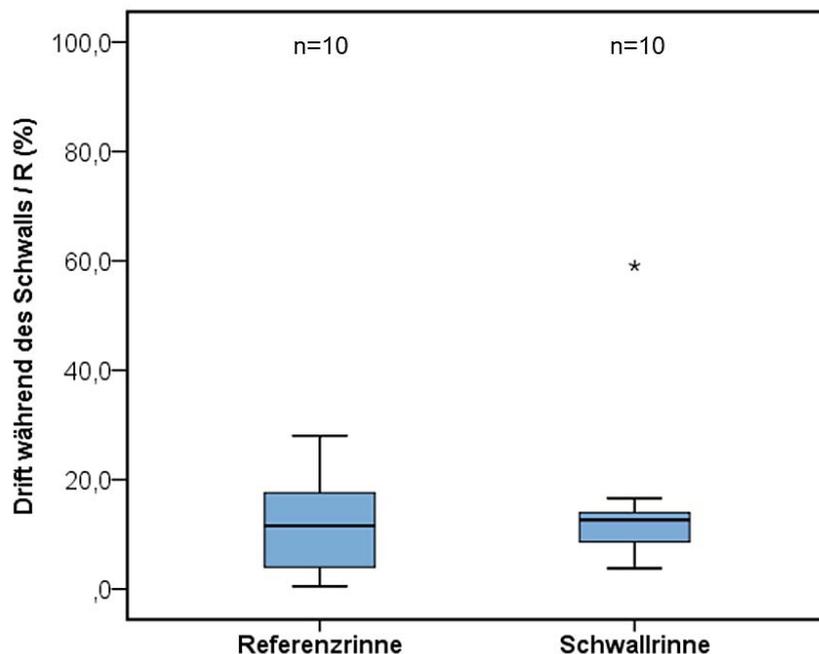


Abb. 55: Gedriftete Larven während des Schwall (Dx/R %), gegliedert nach Schwall- und Referenzrinne

Die Summe der prozentuellen Drift in der Schwallrinne (Dx/R %) wurde hinsichtlich des Einflusses der An-/Abstiegsgeschwindigkeit untersucht.

Tab. 45: Statistische Kennzahlen für die Drift während des Schwalls (Dx/R %) in Bezug zur Abstiegs-
geschwindigkeit

	Drift während der Phasen des Schwalls (Dx/R %)	
	0,5 cm/min	2,8 cm/min
n	6	4
arithm. Mittel	17,533	13,075
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	8,472	1,289
Standardabweichung	20,753	2,579
Median	11,05	12,65
Quartil ₂₅	5,6	10,95
Quartil ₇₅	25,275	15,625

Jede Abstiegs- und Anstiegsgeschwindigkeit ist an eine eigene Anstiegsgeschwindigkeit gekoppelt, da die programmierte Dauer dieser beiden Phasen identisch ist. Dies bedeutet, dass einer raschen Abstiegsphase (2,8 cm/min) auch eine rasche Anstiegsphase (4,8 cm/min) vorausgeht. Die langsamere getestete Abstiegs- und Anstiegsgeschwindigkeit (0,5 cm/min) ist somit mit einer langsamen Anstiegsgeschwindigkeit (0,6 cm/min) verbunden. Mithilfe des Median-Tests und des Mann-Whitney-U-Tests wurde untersucht, ob eventuelle Unterschiede zwischen den Abstiegs- und Anstiegsgeschwindigkeiten in Anbetracht der Driftrate während des Schwalls vorliegen. Dabei konnte jedoch kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden (Median-Test: $p=1,000$ / Mann-Whitney-U-Test: $p=0,670$).

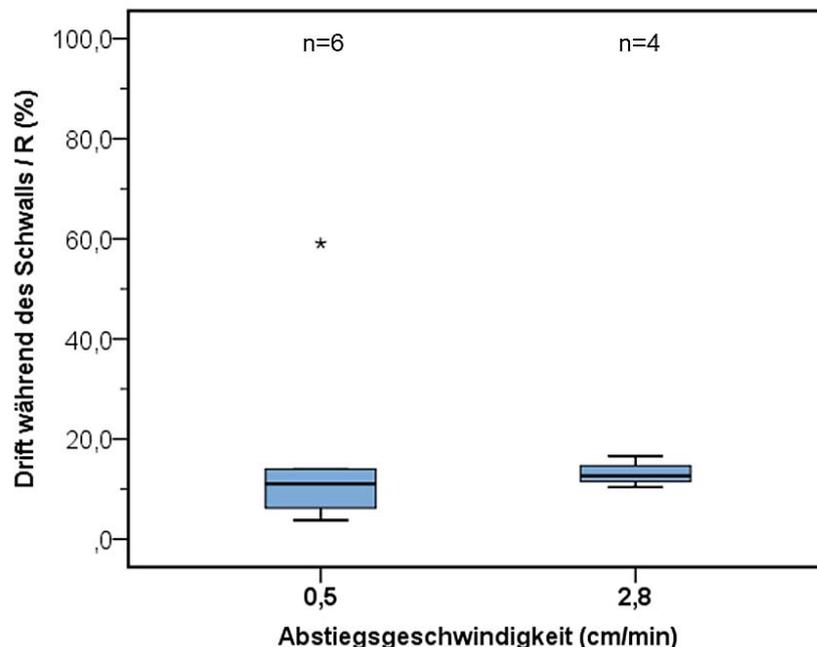


Abb. 56: Darstellung der bei unterschiedlichen Abstiegs- und Anstiegsgeschwindigkeiten gedrifteten Larven während des Schwalls

Auf eine Analyse der Drift während des Schwall hinsichtlich des Alters der Larven wurde verzichtet, da nur 3 Versuche mit Larven der Altersklasse 1 durchgeführt werden konnte.

Interpretation

Erwartungsgemäß gab es keinen Unterschied der gedrifteten Larven in der Schwall- und Referenzrinne während der Adaptionsphase. Auffallend ist jedoch die sehr hohe aktive Drift in beiden Rinnen während dieser Phase. Mehr als 50 Prozent der Fische drifteten in diesem Zeitraum, obwohl keine Erhöhung der Abflussmenge erfolgte. Somit war ab Versuchsbeginn nur mehr die Hälfte der besetzten Fische verfügbar. Die Analyse der darauffolgenden Phasen des Schwall zeigte, dass in diesem Zeitraum nur mehr sehr wenige Larven drifteten. Hervorzuheben ist hierbei, dass kein Unterschied der gedrifteten Larven bei Schwall- und Referenzbedingungen festgestellt werden konnte. Dies bekundet einen mindernden Effekt der Buchtstruktur bezüglich der Larvendrift während eines Schwallereignisses. Dafür spricht zusätzlich das Ergebnis der Analyse der Abstiegs geschwindigkeiten des Schwall, wobei sich herausstellte, dass die Geschwindigkeit des Abstiegs keinen Einfluss auf die Drift der Larven hat.

4.4.2.4 Vergleich der „Drift“ mit Ergebnissen einer Versuchsreihe ohne Buchtstrukturen

Um den Einfluss der Buchtstruktur auf die Drift der Larven während eines Schwallereignisses zu verifizieren, wurden die Ergebnisse mit den Resultaten einer Versuchsordnung ohne Buchtstruktur (Schotterbank) aus dem Jahr 2012 verglichen.

Statistische Kennzahlen und Testverfahren

Die nachfolgende Tabelle basiert auf den erhobenen Daten der im Jahr zuvor durchgeführten Versuchsreihe.

Tab. 46: Statistische Kennzahlen der Drift während des Schwall der Versuchsordnung ohne Buchtstruktur aus dem Jahr 2012, gegliedert nach Schwall- und Referenzrinne (bearbeitet, Quelle: FOHLER, 2013)

	Drift während der Phasen des Schwall (Dx/R %)	
	Schwallrinne	Referenzrinne
n	21	21
arithm. Mittel	56,599	9,736
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	3,895	2,177
Standardabweichung	17,849	9,977
Median	59,14	6,03
Quartil ₂₅	47,52	2,14
Quartil ₇₅	66,81	14,19

Die folgenden Boxplots (Abb. 55) basieren auf den statistischen Kennzahlen der Tabellen 44 und 46. Wie aus der Grafik ersichtlich, brachte die Analyse der Drift im Jahr 2012 einen signifikanten Unterschied zwischen Schwall- und Referenzrinne hervor. Die damals gewonnenen Ergebnisse wurden mit den Resultaten der Versuchsordnung „Bucht“ in Hinblick auf Schwall- und Referenzbedingungen verglichen.

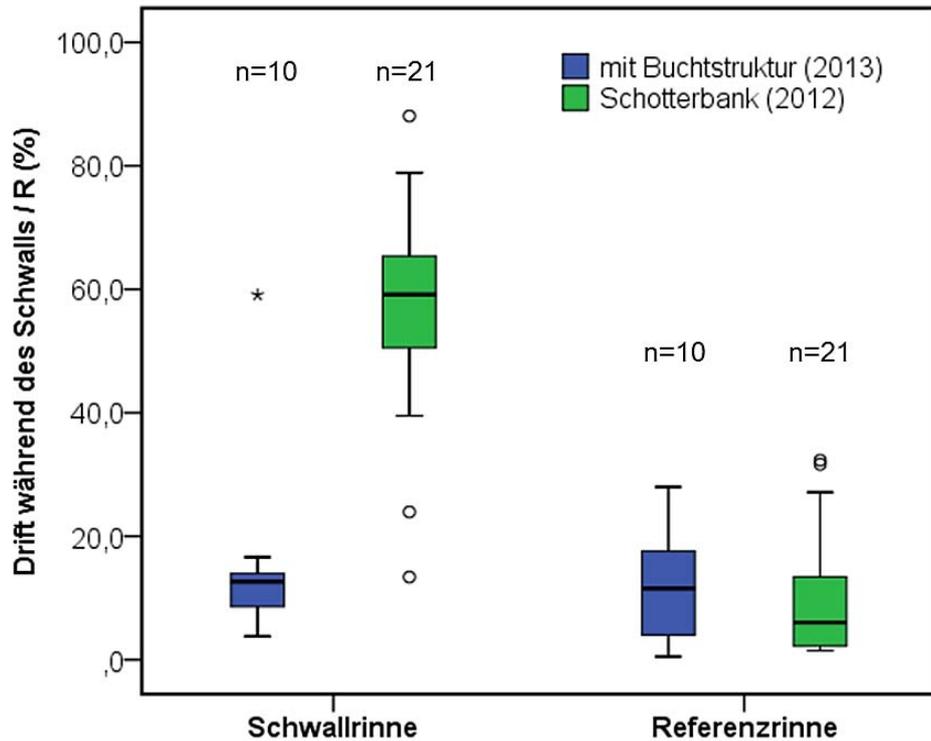


Abb. 57: Vergleich der Versuchsanordnungen mit und ohne Buchtstruktur bezüglich der gedrifteten Larven während des Schwall

Die statistischen Testverfahren zeigten beim Vergleich beider Versuchsreihen in der Schwallrinne einen signifikanten Unterschied (Median-Test: $p=0,010$ / U-Test: $p=0,000$). Die Analyse der Referenzrinne ergab hingegen keine signifikante Differenz zwischen den Versuchen mit und ohne Buchtstruktur (Median-Test: $p=0,202$ / U-Test: $p=0,310$).

Im Anschluss daran wurde die Drift beider Versuchsreihen während eines Schwallereignisses in Anbetracht der Abstiegsgeschwindigkeit ausgewertet. Hierfür wurden die getesteten Abstiegsgeschwindigkeiten gruppiert, wenn diese sich nur geringfügig unterschieden. Ein Unterschied zwischen den erprobten Schwallenszenarien besteht lediglich bei den Versuchen der gruppierten raschen Abstiege (2,8 – 3,0 cm/min) im Hinblick auf die Anstiegsgeschwindigkeit (0,5 bzw. 4,8 cm/min).

Tab. 47: Statistische Kennzahlen der Drift während des Schwall der Versuchsanordnung ohne Buchtstruktur, gegliedert nach Abstiegsgeschwindigkeiten (bearbeitet, Quelle: FOHLER, 2013)

	Drift während der Phasen des Schwall (Dx/R %)		
	0,6 cm/min	2,3 cm/min	3,0 cm/min
	n	n	n
arithm. Mittel	53,102	59,867	56,828
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	9,453	4,719	6,021
Standardabweichung	25,009	12,485	15,931
Median	63,80	61,11	50,83
Quartil ₂₅	23,94	50,61	44,53
Quartil ₇₅	74,70	68,22	64,66

Die Versuche mit einer Abstiegs geschwindigkeit von 2,3 cm/min wurden für den weiteren Vergleich nicht berücksichtigt. Die in die Analyse einfließenden statistischen Kennzahlen befinden sich in den Tabellen Tab. 45 und Tab. 47.

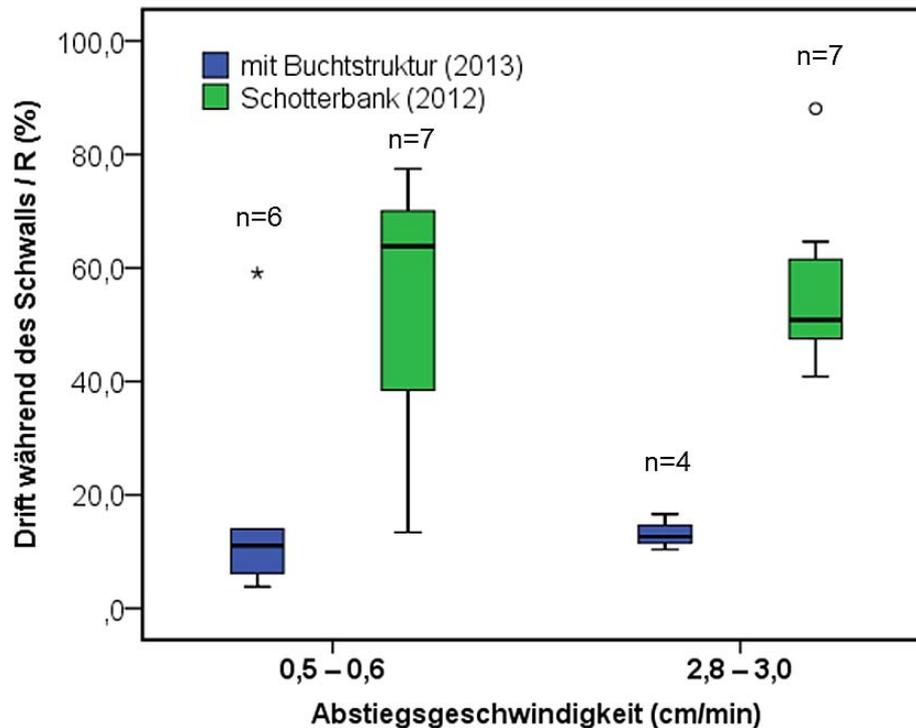


Abb. 58: Grafische Darstellung der Drift bei Versuchsanordnungen mit bzw. ohne Buchtstrukturen, gegliedert nach Abstiegs geschwindigkeiten

Aus den Boxplots sind bereits Differenzen der Driftraten zwischen Versuchen mit und ohne Buchtstruktur ersichtlich. Bei einer Abstiegs geschwindigkeit von 0,5 – 0,6 cm/min konnte der Mann-Whitney-U-Test einen signifikanten Unterschied bezüglich der Drift zwischen den beiden Versuchsanordnungen belegen (Median-Test: $p=0,103$ / U-Test: $p=0,022$). Auch in Anbetracht der Abstiegs geschwindigkeit von 2,8 – 3,0 cm/min wurde dasselbe Resultat erzielt (Median-Test: $p=0,061$ / U-Test: $p=0,008$). Der Median-Test würde bei beiden Analysen knapp auf keinen signifikanten Unterschied verweisen. Dies wird jedoch aufgrund der geringen Effizienz vernachlässigt. Das Ergebnis bei einer Abstiegs geschwindigkeit von 0,5 – 0,6 cm/min ist als besonders vertrauenswürdig einzustufen, da bei den getesteten Versuchen die Anstiegsgeschwindigkeit nahezu gleich war.

Interpretation

Die durchgeführten Versuche im Jahr 2012 auf einer einfachen Schotterbank kamen zu dem Ergebnis, dass Schwall zu einer Erhöhung der Larvendrift führt. Die Untersuchung der Drift während eines Schwallereignisses bei bestehenden Buchtstrukturen konnte keinen signifikanten Unterschied zu den Referenzbedingungen aufzeigen. Durch den Vergleich der beiden Versuchsanordnungen wurde ersichtlich, dass Buchtstrukturen die Drift der Larven während eines Schwallereignisses reduzieren. Die Versuche auf einer einfachen homogenen Schotterbank zeigten nach FOHLER (2013) eine ebenfalls sehr hohe Drift der Larven während der Adaptionsphase (>50 %). Eine Zunahme der Drift bei Erhöhung der Abstiegs geschwindigkeit konnte in beiden Versuchsanordnungen nicht nachgewiesen werden. Es wurde jedoch bewiesen, dass die Drift der Larven bei Versuchen mit einer homogenen Schotterbank bei beiden getesteten Abstiegs geschwindigkeiten höher ist als bei jenen mit vorhande-

nen Buchten. Dieses Ergebnis bestätigt erneut die mindernde Wirkung der Buchtstrukturen auf die Larvendrift.

4.4.2.5 Strandung

Die Strandung der Larven wurde im Rahmen dieser Versuchsordnung im Gegensatz zur „Drift“ und den „verbliebenen Larven“ nicht durch direkte Beobachtung erfasst. Die Strandungsrate wurde aus der Anzahl der Larven berechnet, die nach Abschluss der Schwallphase und des Clearings nicht wieder aus der Rinne entnommen werden konnten. Im Unterschied zur prozentuellen Rate der „fehlende Fische“ bezieht sich die Strandungsrate auf jene Fische, die nach Abschluss der Adaptionphase für den Versuch zur Verfügung standen.

Tab. 48: Übersicht grundlegender erhobener und berechneter Werte für die Erforschung der Strandung

Versuch	Versuchstyp	programmierte An-/Abstiegsdauer (sek)	Larven bei Versuchsbeginn (R) (R=B-Dad)	Drift Versuch (Dx) (Dx=Dan+Ds+Dab)	Clearing (C)	Drift während Schwall in % (Dx/R %)	Clearing in % (C/R %)	Strandung berechnet in % (Sst/R %)
3.1.1	Schwall	840	210	8	172	3,8	81,9	14,3
3.1.2	Referenz		202	7	176	3,5	87,1	9,4
3.2.1	Referenz		279	49	204	17,6	73,1	9,3
3.2.2	Schwall	840	267	23	229	8,6	85,8	5,6
3.3.1	Referenz		178	18	146	10,1	82	7,9
3.3.2	Schwall	840	230	31	185	13,5	80,4	6,1
3.4.1	Schwall	840	347	205	59	59,1	17	23,9
3.4.2	Referenz		322	42	214	13	66,5	20,5
3.5.1	Schwall	840	228	32	171	14	75	11
3.5.2	Referenz		257	72	160	28	62,3	9,7
3.6.1	Referenz		265	23	222	8,7	83,8	7,5
3.6.2	Schwall	840	242	15	191	6,2	78,9	14,9
3.7.1	Referenz		164	29	121	17,7	73,8	8,5
3.7.2	Schwall	60	157	20	124	12,7	79	8,3
3.8.1	Schwall	60	182	23	149	12,6	81,9	5,5
3.8.2	Referenz		138	19	94	13,8	68,1	18,1
3.9.1	Schwall	60	316	33	269	10,4	85,1	4,4
3.9.2	Referenz		324	13	293	4	90,4	5,6
3.10.1	Referenz		388	2	364	0,5	93,8	5,7
3.10.2	Schwall	60	332	55	246	16,6	74,1	9,3

Statistische Kennzahlen und Testverfahren

Die statistischen Kennzahlen basieren auf den berechneten Strandungswerten (Sst/R %) der 10 Versuche, getrennt nach Schwall- und Referenzrinne.

Tab. 49: Statistische Kennzahlen der Strandungswerte in Schwall- und Referenzrinne

	Strandung (Sst/R %)	
	Schwallrinne	Referenzrinne
n	10	10
arithm. Mittel	10,330	10,220
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	1,901	1,588
Standardabweichung	6,011	5,023
Median	8,8	8,9
Quartil ₂₅	5,575	7,05
Quartil ₇₅	14,45	11,8

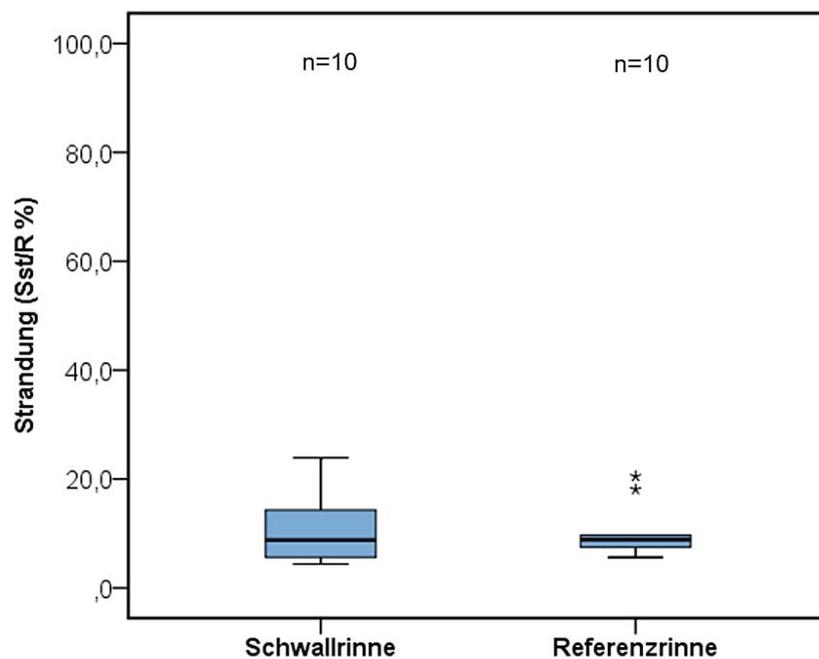


Abb. 59: Darstellung der berechneten Strandung (Sst/R %) in Referenz- und Schwallrinne

Mithilfe der statistischen Testverfahren konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der Schwall- und Referenzsituation bezüglich der Strandung der Fische festgestellt werden (Median-Test: $p=1,000$ / Mann-Whitney-U-Test: $p=0,762$). Die Strandungswerte der Schwallrinne streuen jedoch mehr als jene der Referenzrinne.

Da in der Schwallrinne zwei unterschiedliche Abstiegsszenarien getestet wurden, rückte in weiterer Folge die Abstiegsgeschwindigkeit ins Zentrum der Untersuchung. Die nachfolgende Tabelle beinhaltet die nach der Art des Abstiegs gegliederten, statistischen Kennzahlen der Strandungswerte in der Schwallrinne.

Tab. 50: Statistische Kennzahlen der berechneten Strandung in der Schwallrinne, gegliedert nach Abstiegs-
geschwindigkeiten

	Strandung (Sst/R %)	
	0,5 cm/min	2,8 cm/min
n	6	4
arithm. Mittel	12,633	6,875
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	2,767	1,152
Standardabweichung	6,778	2,304
Median	12,65	6,9
Quartil ₂₅	5,975	4,675
Quartil ₇₅	17,15	9,05

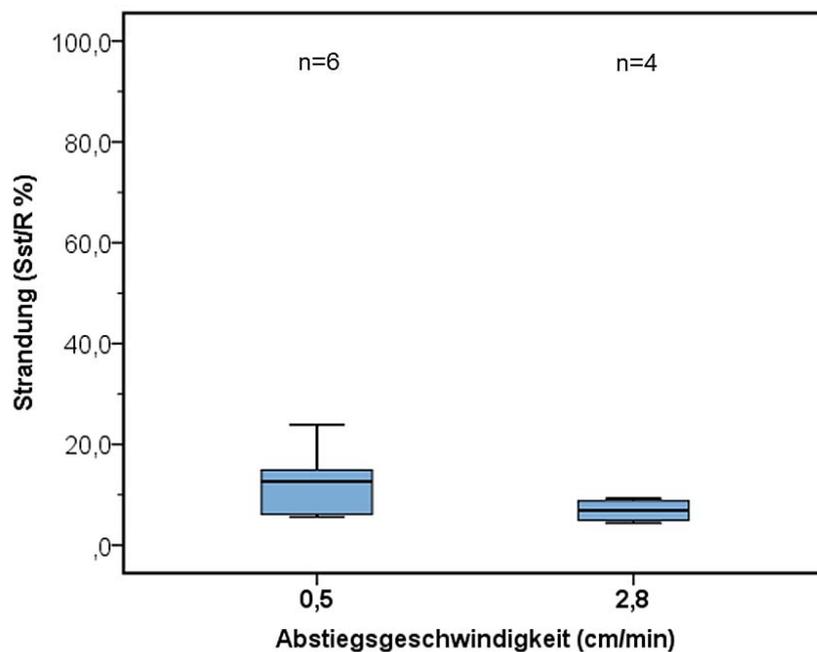


Abb. 60: Grafische Umsetzung der Strandungswerte (Sst/R %) in Anbetracht der Abstiegsgeschwindigkeit

Die grafische Umsetzung der Strandungswerte mittels Boxplots zeigte eine erhöhte Streuung bei einer Abstiegsgeschwindigkeit von 0,5 cm/min im Vergleich mit dem schnelleren Abstieg. Der Median-Test ($p=0,197$) und der Mann-Whitney-U-Test ($p=0,114$) ergaben keinen signifikanten Unterschied zwischen den Abstiegsszenarien bezüglich der Strandung der Fische.

Interpretation

Der Verfahrensablauf bzw. das Versuchsdesign dieser Versuchsordnung war nicht auf die Erfassung der Strandung der Larven konzipiert. Es fand keine direkte Beobachtung des Strandens der Larven statt und somit konnte eine Strandungsrate nur anhand anderer beobachteter Werte berechnet werden. Aufgrund dieser Art der Berechnung wurde in der Referenzrinne ein Stranden der Fische festgestellt, das jedoch wegen des gleich gebliebenen Abflusses nicht passiert sein konnte. Wie in den beiden vorhergehenden Versuchsordnungen bereits erwähnt, könnte die Ursache stark im Zusammenhang mit der geringen Größe der Fische stehen, die es in Verbindung mit den morphologischen Rahmenbedingungen er-

schwert, alle Individuen wiederzufinden. Die Strandungsrate könnte somit eher als Rate fehlender Fische betrachtet werden, die in der Schwallrinne eine eventuelle Strandung beinhaltet. Aufgrund dieses Ansatzes zeigte der Vergleich der Strandungsrate in der Referenz- und Schwallrinne, wobei kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte, dass somit keine/kaum Strandung eintrat. Daraus geht der Rückschluss hervor, dass Buchstrukturen das Stranden von Äschenlarven reduzieren. Diese Aussage beruht jedoch auf der Annahme, dass pro Versuch in beiden Rinnen immer die gleiche Anzahl an Fische fehlt, und ist somit nur als Spekulation zu betrachten. Die zuvor getätigten Aussagen zu den verbliebenen und gedrifteten Larven dieser Versuchsanordnung haben nach wie vor Gültigkeit.

4.4.2.6 Vergleich der „Strandung“ mit Ergebnissen einer Versuchsreihe ohne Buchtstrukturen

Aufgrund der angesprochenen Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Strandungsrate wurde kein Vergleich mit den Strandungsergebnissen der Versuche bei homogener Schotterbankstruktur vollzogen. Zur Veranschaulichung wurden die Strandungswerte beider Versuchsanordnungen mittels Boxplots dargestellt. Die statistischen Kennzahlen in Bezug auf die Strandungswerte von 2012 werden in Tabelle Tab. 51 präsentiert.

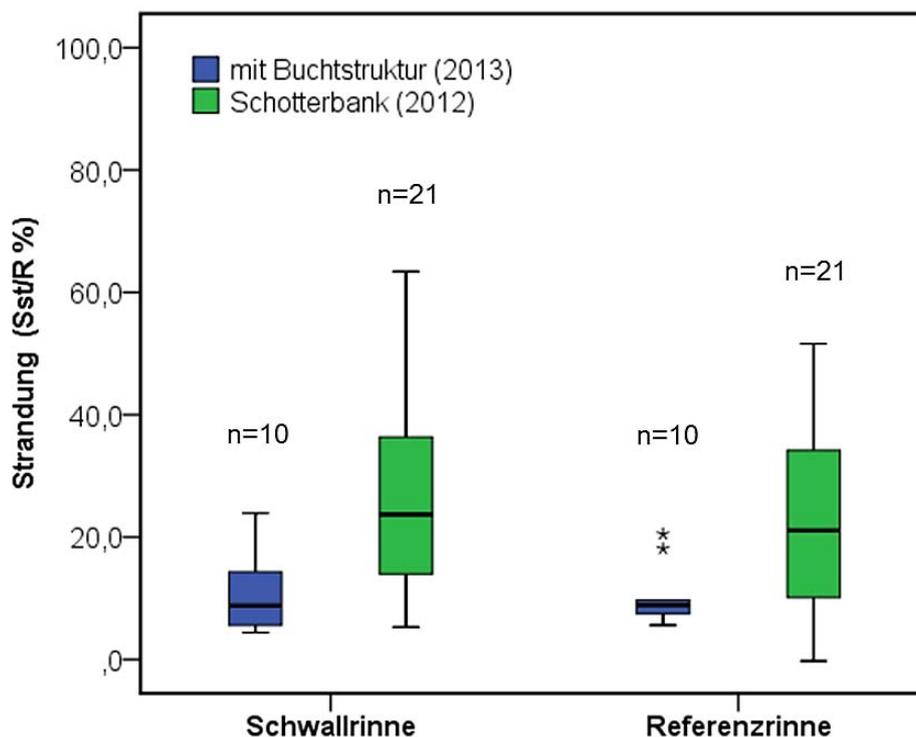


Abb. 61: Darstellung der Strandungsraten (Sst/R %) beider Versuchsanordnungen in Schwall- und Referenzrinne

Tab. 51: Statistische Kennzahlen der Strandungswerte einer Versuchsreihe auf einer homogenen Schotterbank aus dem Jahr 2012, gegliedert nach Schwall- und Referenzrinne (bearbeitet, Quelle: FOHLER, 2013)

	Strandung (Sst/R %)	
	Schwallrinne	Referenzrinne
n	21	21
arithm. Mittel	27,235	22,024
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	3,514	3,230
Standardabweichung	16,105	14,802
Median	23,72	21,09
Quartil ₂₅	13,13	7,87
Quartil ₇₅	39,56	34,40

Die Versuche im Vorjahr zeigten dieselbe Problematik bezüglich der Berechnung der Strandung. In der Referenzrinne ergab das arithmetische Mittel sogar eine Strandrungsrate von mehr als 20 Prozent. FOHLER (2013) verweist auf mögliche ähnliche Ursachen für dieses Ergebnis wie sie bereits bei der Interpretation der Strandrungsrate dieser Versuchsordnung erwähnt wurden. Wenn man das Resultat der Strandung in der Referenzrinne bei beiden Versuchsordnungen vernachlässigt, um den Einfluss der Buchtstruktur in der Schwallrinne bezüglich der Strandung zu untersuchen, zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Versuchsordnungen (Median-Test: $p=0,010$ / Mann-Whitney-U-Test: $p=0,002$). Dies würde bedeuten, dass Buchtstrukturen das Stranden der Larven signifikant verringern. Auch in der Referenzrinne liegt ein signifikanter Unterschied zwischen den Strandrungsraten der beiden Versuchsordnungen vor (Median-Test: $p=0,072$ / Mann-Whitney-U-Test: $p=0,038$). Das Ergebnis des Median-Tests zeigt zwar knapp keinen Unterschied, jedoch wurde für diese Interpretation nur der Mann-Whitney-U-Test herangezogen, da dieser effizienter ist und der Median-Test nur als Schnelltest dient.

5 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Erkenntnisse aus den 3 Versuchsreihen, die im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführt wurden, zusammengefasst und mit Studien verglichen, die sich mit der gleichen oder einer ähnlichen Thematik auseinandersetzen. Mithilfe der Ergebnisse werden die zu Beginn formulierten Hypothesen geprüft.

5.1 Auswirkungen von Schwellbetrieb auf Äschenlarven

Durch direkte Beobachtung konnte im Zuge der ersten Versuchsanordnung ein negativer Effekt für die Larven der Äschen, verursacht durch Schwall, nachgewiesen werden. Es zeigte sich, dass die Senkung des Wasserspiegels bzw. der Rückgang der Wasseranschlagslinie das Stranden der Fische herbeiführt. In Norwegen wurde anhand von Experimenten mit juvenilen Salmoniden-Arten, wie Lachs (*Salmo salar*) und Bachforelle (*Salmo trutta*), sowohl an schwallbeeinflussten Gewässerabschnitten als auch in künstlichen Rinnen eine Strandung der Fische infolge eines Schwallrückgangs nachgewiesen (SALTVEIT et al., 2001, HALLERAKER et al., 2003). Diese negative Auswirkung wird auch von FOHLER (2013), anhand der Ergebnisse einer Versuchsreihe mit Äschenlarven an der HyTEC-Anage in Lunz, bekräftigt. FOHLER (2013) verweist dabei ebenso wie SALTVEIT (2001) und HALLERAKER et al. (2003) auf eine Erhöhung der Strandungsrate, bedingt durch eine Steigerung der Abstiegsgeschwindigkeit. Dasselbe Resultat präsentierte sich auch nach dieser Versuchsanordnung. Selbst bei detaillierterer Analyse der einzelnen Abstiegszenarien konnte kein statistisch signifikanter Unterschied in Bezug auf die Ergebnisse im Jahr 2012 festgestellt werden. Eine signifikante Erhöhung der Strandungsrate infolge der Zunahme der Abstiegsgeschwindigkeit bestätigen zudem die Ergebnisse der Versuchsanordnung „Mulde“.

Auf einer homogenen Schotterbank mit einem Quergefälle von 5 – 6 % betrug die Strandung bei einer Abstiegsgeschwindigkeit von 0,2 cm/min nahezu null. Bei einer Abstiegsgeschwindigkeit von 0,5 cm/min belief sich jedoch der Mittelwert der Strandungsrate bereits auf 21,7 %. Dies deutet auf einen Schwellbereich der Abstiegsgeschwindigkeit hin, nach dessen Überschreitung mit einer Erhöhung der Strandungsrate zu rechnen ist. Diesbezüglich wurde im Unterschied zu der von FOHLER (2013) durchgeführten Versuchsreihe eine weitere Abstiegsgeschwindigkeit von 0,32 cm/min getestet. Diese Abstiegsgeschwindigkeit unterschied sich jedoch im Hinblick auf die Strandungsrate nicht signifikant von einem Abstiegszenario mit 0,2 cm/min. Somit kann festgehalten werden, dass bis zu einer Abstiegsgeschwindigkeit von 0,32 cm/min kein bzw. nur ein geringes Strandungsrisiko für Äschenlarven besteht. Das Resultat stimmt zudem mit den Forschungsergebnissen von SALTVEIT (2001) und HALLERAKER et al. (2003) überein. Dabei wurde ein Ausbleiben bzw. eine starke Reduktion der Strandungsrate von juvenilen Bachforellen (*Salmo salar*) bei einer Abstiegsgeschwindigkeit $<0,31$ cm/min festgestellt.

Die Unterteilung der Larven nach Altersklassen zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Strandungsraten, weder bei den Versuchen auf einer homogenen Schotterbank, noch bei den Versuchen mit Muldenstruktur. FOHLER (2013) überprüfte idente Altersklassen von Äschenlarven und konnte dabei ebenso keine signifikante Ungleichheit entdecken. Die Analogie der Ergebnisse in Bezug auf die Strandungsraten der unterschiedlichen Altersklassen bei verschiedenen Abstiegsgeschwindigkeiten verweist auf ein veritables Ergebnis und bekräftigt die authentische Durchführung der Versuchsanordnung „Strandung“. Mit fortschrei-

tender Größe bzw. Länge der Fische zeigt sich jedoch ein geringeres Strandungs- und Driffrisiko (SALTVEIT et al., 2001). Dies ist auf die Zunahme der Schwimmleistung und die veränderte Wahl des Habitats der Äschen mit fortschreitendem Alter zurückzuführen (NYKÄNEN and HUUSKO, 2003; NYKÄNEN, 2004; VEHANEN et al., 2003).

Zusammenfassend kann somit wiedergegeben werden, dass eine Schwellbetriebsweise mit erhöhten Abstiegsgeschwindigkeiten zu einem vermehrten Stranden der Äschenlarven auf einer homogenen Schotterbank führt. Diese negative Beeinflussung des frühen Entwicklungsstadiums der Äsche kann in weiterer Folge zu einer Dezimierung des Äschenbestands im belasteten Fließgewässer führen und zu einer negativen Beurteilung des fischökologischen Zustands beitragen. Anhand der Versuchsergebnisse kann eine Empfehlung für die Betriebsweise von Schwallerzeugenden Wasserkraftwerken abgegeben werden, da ersichtlich wurde, dass annähernd keine Strandung bei einer Abstiegsgeschwindigkeit kleiner als 0,32 cm/min erfolgt.

5.2 Einfluss der Struktur

Die Auswirkung des Schwallts auf die Lebensgemeinschaften des Fließgewässers hängt nicht nur von der Charakteristik des Schwellbetriebs ab, sondern auch von der Morphologie des belasteten Gewässerabschnitts. Aufgrund der geringen Habitatsvielfalt in monotonen, begradigten Fließgewässern und der damit verbundenen geringen Rückzugsmöglichkeit für Jungfische sind die Auswirkungen des Schwallts umso gravierender. (BAUMANN and KLAUS, 2003; LIMNEX, 2004)

Zwei der Versuchsreihen, die anlässlich dieser Masterarbeit an den HyTEC-Rinnen in Lunz am See ausgeführt wurden, widmeten sich dem Einfluss spezieller Strukturen auf die Larven der Äsche (*Thymallus thymallus* L.) während eines simulierten Schwallereignisses. Durch den Einbau einer Muldenstruktur wurde untersucht, inwieweit sich dadurch die Strandungsrate der Äschen bei einem simulierten Schwallrückgang verändert. Bei dieser Struktur handelte es sich um eine kleine kreisrunde Vertiefung/Mulde, die bei Sunk nicht angebunden war. Aufgrund des Vergleichs der dabei gewonnenen Ergebnisse mit den Resultaten der Versuchsanordnung „Strandung“, die auf den Strandungszahlen der Larven auf einer homogenen Schotterbank basieren, wurde der Effekt dieser Muldenstruktur ersichtlich. Es zeigte sich, dass die Strandungsrate der Larven signifikant höher war als bei den Versuchen ohne diese Struktur. Auch ein detaillierter Vergleich der Strandungsraten bei den getesteten Abstiegsgeschwindigkeiten brachte dasselbe Ergebnis hervor. Es konnte somit eindeutig ein Falleneffekt dieser Mulde bei rückschreitender Wasseranschlagslinie nachgewiesen werden. Bei Experimenten mit juvenilen Bachforellen (*Salmo trutta*) an einem schwallbelasteten Fluss in Norwegen wurde festgestellt, dass durch den Einbau kleiner Strukturen (Ziegelsteine/Steine) in der wechselfeuchten Zone die Strandungsrate der Fische erhöht wird (SALTVEIT et al., 2001). Dabei wurde beobachtet, dass die Fische bei Schwallrückgang den strömungsberuhigten Bereich hinter den Steinen sehr spät verließen, wodurch sich das Strandungsrisiko erhöhte. Die Präferenz für ein Habitat scheint die Strandung diverser Fischarten zu beeinflussen. Diese Erkenntnis könnte für mögliche morphologische Verbesserungsmaßnahmen an schwallbelasteten Fließstrecken von Bedeutung sein. Die Zunahme der Gewässerbreite mit entsprechend flacheren Ufern schafft zwar neue Habitate, jedoch führt sie bei Sunk zu größeren trockenfallenden Wasserwechselzonen. Wie BAUMANN and KLAUS (2003) erwähnen, müssen in Anbetracht einer Aufweitung des belasteten Gewässers

die Vorteile (neu entstehende Lebensräume) und die Nachteile (breitere Verödungszone) abgewogen werden.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde untersucht, ob sich durch den Einbau von Buchtstrukturen die Auswirkungen eines Schwallereignisses auf die Larven der Äschen ändern. Im Unterschied zur Mulde stellten die Buchten größere Strukturen dar, die auch bei Sunk an den Wasserkörper angebunden waren. Zudem boten sie für die Fische ein strömungsberuhigtes Habitat. Anhand der Versuche konnte in Erfahrung gebracht werden, dass sich die Anzahl gedrifteter Larven während eines Schwalls nicht von den Referenzbedingungen unterscheiden. Ebenso konnte kein Unterschied in Anbetracht der in den Rinnen verbliebenen Larven bei Schwall- und Referenzbedingungen festgestellt werden. Bei einer von FOHLER (2013) durchgeführten identen Versuchsreihe auf einer Schotterbank ohne Buchtstrukturen konnte eine prägnante Differenz der gedrifteten Larven bei einem Schwallereignis bewiesen werden. Dieses Ergebnis verweist auf einen Drift-reduzierenden Effekt der Buchten. Der detaillierte Vergleich der beiden Versuchsanordnungen zeigte, dass sich die Driftraten während eines Schwallereignisses signifikant unterscheiden. Der Vergleich der Versuchsreihen bei Referenzbedingungen ergab keine signifikante Differenz. Selbst die genaue Analyse der getesteten Schwallenszenarien belegte eine signifikant höhere Drift bei Versuchen ohne Buchtstrukturen. Wie in den Versuchen ohne Buchtstrukturen zeigte sich zudem erneut, dass sich die Driftraten der Larven zwischen den erprobten langsamen und schnellen An- und Abstiegsgeschwindigkeiten nicht unterscheiden. Dies führt zu dem Erkenntnis, dass sich die An- und Abstiegsgeschwindigkeit während eines Schwalls nicht auf die Drift der Larven auswirkt. Ein vermindertes Abdriften kann vor allem im Winter für das Überleben der Fische entscheidend sein, da dadurch der Energieverlust infolge der Lebensraumverschiebung reduziert wird (PERSON, 2013).

Angesichts dieser Ergebnisse lässt sich resümieren, dass die Morphologie eines Gewässers einen prägnanten Einfluss auf die schwallbedingten Auswirkungen für die Larven der Äsche offenbart. Dies steht im direkten Zusammenhang mit dem bevorzugten Habitat der Äschenlarven, die in diesem Entwicklungsstadium Flachwasserbereiche mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten in Ufernähe bevorzugen (NYKÄNEN and HUUSKO, 2003). Der Einbau von Mulden führte zu einer Erhöhung der Strandungsrate während eines Schwallereignisses und bewies somit einen „Falleneffekt“ dieser speziellen Struktur. Die negative Auswirkung des Schwallbetriebs im Hinblick auf das Stranden der Äschenlarven wird folglich durch diese Strukturform verstärkt. Ein ganz anderes Bild präsentierten die Buchtversuche. Das Vorhandensein dieser besonderen Struktur erwies sich als positiv in Bezug auf die Drift der Larven. Die Buchten wurden während Schwall als Refugialhabitat genutzt. Dies lässt sich auf die dort herrschenden geringeren Strömungsgeschwindigkeiten zurückführen. Infolgedessen wurde die Driftrate der Larven während eines Schwallereignisses durch den Einbau der Buchten reduziert. Aus beiden Versuchsanordnungen geht hervor, dass die Anbindung der Struktur an den Wasserkörper in einem schwallbelasteten Gewässer in Anbetracht der Auswirkungen eines Schwall-/Sunkereignisses für die Larven der Äsche von wesentlicher Bedeutung ist. Diese Erkenntnis kann in weiterer Folge bei der Ausarbeitung von morphologischen Verbesserungsmaßnahmen an einer schwallbelasteten Fließstrecke dienlich sein. Dabei gilt es auf die Habitatsansprüche der Äschenlarven Rücksicht zu nehmen und ein Trockenfallen dieser Lebensräume nach einem Schwall zu verhindern, um eine frühzeitige Populationsreduktion zu vermeiden. In Anbetracht der Ergebnisse erweist es sich als sinnvoll nicht die größtmögliche Sohlbreite anzustreben, sondern durch gezielte Anlage nicht trockenfallender Nebengewässer eine ökologische Verbesserung zu erreichen (BAUMANN and KLAUS, 2003).

6 Ausblick

Die an der HyTEC-Anlage in Lunz am See durchgeführten Versuche bestätigen erneut die negativen Wirkungen von Schwellbetrieb für das frühe Entwicklungsstadium der Äsche, wie sie von SCHMUTZ et al. (2013) aufgezeigt werden konnte. Zudem wurde die Vermutung bestätigt, dass Strukturen wie Buchten und Mulden einen signifikanten Einfluss auf die Drift und Strandung der Larven während eines Schwallereignisses ausüben. Letztendlich darf jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass die Versuchsreihen jeweils auf eine spezifische Beschaffenheit der Rinne konzipiert wurden, die wiederum einen bestimmten Ausschnitt einer Fließstrecke darstellt. Die Hydromorphologie eines naturnahen Fließgewässers erweist sich als sehr komplex, wodurch deren Einfluss auf den Fischbestand in einer Schwallstrecke nur schwer nachweisbar ist. Die Erforschung von Einzelkomponenten bzw. spezieller Strukturen wie Mulden und Buchten ermöglicht in weiterer Folge die Auswirkung von Schwellbetrieb auf die Fischzönose aufzuzeigen und morphologische Verbesserungsmaßnahmen an schwallbelasteten Gewässern zu entwickeln. Diesbezüglich besteht noch Forschungsbedarf, um die Einflüsse der Strukturen oder anderen Strukturtypen in einem schwallbelasteten Fließgewässer für weitere Fischarten, wie etwa der Bachforelle (*Salmo trutta*), auszumachen. Zudem erweist sich die Wassertemperatur als entscheidender Einflussfaktor für die Abdrift der Fische. Wie VEHANEN et al. (2000) berichtet, konnte anhand von Versuchen mit juvenilen Bachforellen eine erhöhte Drift im Winter infolge niedriger Temperaturen festgestellt werden. Ein jahreszeitlicher Einfluss wurde auch infolge der Experimente von SALTVEIT et al. (2001) nachgewiesen. Dabei erhöhte sich die Strandungsrate juveniler Bachforellen im Winter bei Wassertemperaturen von ca. 4,5°C. Als mögliche Ursache wird die geringe Aktivität und physische Fitness der Fische bei niedrigen Temperaturen angeführt. Diesbezüglich wäre eine Erforschung der Auswirkungen auf die frühen Entwicklungsstadien der Äsche von Interesse.

Ein weiterer Einflussfaktor für die Strandung und die Drift der Larven könnte die Tageszeit bzw. die Lichtintensität sein. SALTVEIT et al., (2001) und HALLERAKER et al., (2003) verweisen auf ein erhöhtes Strandungsrisiko für diverse Salmoniden-Arten während der Nacht. Im Rahmen einer weiteren Masterarbeit werden an der HyTEC-Anlage in Lunz Versuche durchgeführt, die das Strandungsrisiko für Larven und juvenile Äschen während eines Schwallereignisses bei Tag und Nacht untersuchen.

Es ist zu sehen, dass die Erforschung der Auswirkung des Schwellbetriebs sehr komplex ist. Umso mehr wird der Forschungsbedarf bezüglich dieser Thematik ersichtlich. Nur anhand der dabei gewonnenen Erkenntnisse ist es letztendlich möglich, Verbesserungsmaßnahmen für schwallbelastete Fließstrecken zu entwickeln und eine Regelung für eine ökologisch vertretbare Betriebsweise von Wasserkraftwerken zu finden.

Literaturverzeichnis

- AUER, S. (2013): Vorversuche zu Drift und Strandung von Äschen (*Thymallus thymallus* L.) in Schwallexperimentierinnen. Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement. Wien, Universität für Bodenkultur.
- BAUMANN, P.; KLAUS, I. (2003): Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes: Ergebnisse einer Literaturstudie. 112. Online: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00776/index.html?lang=de> (12/09/2013)
- BMLFUW (2010): Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009. Online: http://www.lebensministerium.at/wasser/wasseroesterreich/plan_gewaesser_ngp/nationaler_gewaesserbewirtschaftungsplan-nlp/ngp.html (16/09/2013)
- BORTZ, J.; LIENERT, G.; BOEHNKE, K. (2008): Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- BROSIUS, F. (1998): SPSS 8. Professionelle Statistik unter Windows. MITP-Verlag GmbH.
- DUJMIC, A. (1997): Der vernachlässigte Edelfisch: Die Äsche. Wien: Facultas Universitätsverlag.
- FEHR, R. (1987): Geschiebeanalysen in Gebirgsflüssen. Umrechnung und Vergleich von verschiedenen Analyseverfahren. Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule. Online: http://people.ee.ethz.ch/~vawweb/vaw_mitteilungen/092/092_g.pdf (03/12/2013)
- FOHLER, N. (2013): Experimente zu Drift und Strandung von Äschenlarven (*Thymallus thymallus* L.) in Schwallversuchsrinnen. Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement. Wien, Universität für Bodenkultur.
- GUDERIAN, R.; GUNKEL, G. (2000): Aquatische Systeme. Grundlagen – Physikalische Belastungsfaktoren – Anorganische Stoffeinträge. Berlin: Springer.
- HALLERAKER, J. H. et al. (2003): Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River Research and Applications* Volume 19, Issue 5-6. *River Research and Applications* 19: 589 – 603. Online: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rra.752/abstract> (04/01/2014)
- JUNGWIRTH, M. et al. (2003): Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. Wien: Facultas Universitätsverlag.
- LIMNEX, A. (2004): Auswirkungen des Schwallbetriebes auf das Ökosystem der Fließgewässer: Grundlagen zur Beurteilung. 35. Online: http://assets.wwf.ch/downloads/wwf_schwallbericht.pdf (12/09/2013)
- NYKÄNEN, M.; HUUSKO, A. (2003): Size-related changes in habitat selection by larval grayling (*Thymallus thymallus* L.). *Ecology of Freshwater Fish* 12: 127 – 133. Online: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1034/j.1600-0633.2003.00013.x/pdf> (12/09/2013)
- NYKÄNEN, M. (2004): Habitat selection by riverine grayling, *Thymallus thymallus* L. Department of Biological and Environmental Science. Jyväskylä, University of Jyväskylä. Online: <https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/13129/9513917894.pdf?sequence=1> (12/09/2013)

- PERSON, É. (2013): Impact of Hydropeaking on Fish and their Habitat. Faculté de l'environnement naturel, architectural et construit. Lausanne, École Polytechnique FÉDÉRALE de Lausanne. Online: http://infoscience.epfl.ch/record/187169/files/EPFL_TH5812.pdf&version=1 (12/09/2013)
- SALTVEIT, S. J. et al. (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 Volume 17, Issue 4-5. Regulated Rivers: Research & Management 17: 609 – 622. Online: <http://online.library.wiley.com/doi/10.1002/rrr.652/abstract> (04/01/2014)
- SCHMUTZ, S. et al. (2013): Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten. BMFLUW, Wien. Online: <http://www.lebensministerium.at/publikationen/wasser/Schwallproblematik-an-Oesterreichs-Fluessgewaessern-Bericht.html> (10/01/2014)
- SCHMUTZ, S. et al. (2009): Erfahrungen zur Schwallproblematik aus Österreich. Wasser-Agenda 21 – Fachtagung Schwall & Sunk. Solothurn. Online: http://www.wa21.ch/images/content/4%20Fachtagung/4.1%202009/Schall%20und%20Sunk%20Folien/6_StefanSchmutz.pdf (18/09/2013)
- VEHANEN, T. et al. (2000): Effect of fluctuating flow and temperature on cover type selection and behaviour by juvenile brown trout in artificial flumes. Journal of Fish Biology 56: 923 – 937. Online: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1095-8649.2000.tb00882.x/abstract> (30/12/2013)
- VEHANEN, T. et al. (2003): Habitat preference by grayling (*Thymallus thymallus*) in an artificially modified, hydropeaking riverbed: a contribution to understand the effectiveness of habitat enhancement measures. Journal of Applied Ichthyology 19: 15 – 20. Online: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1439-0426.2003.00354.x/abstract?deniedAccessCustomisedMessage=&userIsAuthenticated=true> (12/09/2013)
- WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften. Online: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:327:0001:0072:DE:PDF> (28/09/2013)
- ZEIRINGER, B.; FOHLER, N.; AUER, S. (2013): Experimentelle Untersuchungen zur Schwallproblematik. Stranden und Drift von juvenilen Äschen und Bachforellen. Zwischenbericht. Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement. Wien, Universität für Bodenkultur.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Sölkbach in Stein an der Enns bei Sunk.....	16
Abb. 2: Sölkbach in Stein an der Enns bei Schwall.....	16
Abb. 3: Standort der Versuchsanlage HyTEC.....	19
Abb. 4: Übersicht Versuchsanlage	20
Abb. 5: Schemaskizze der Versuchsanlage.....	21
Abb. 6: Tosbecken mit darin befindlicher Prallwand; Planktonnetze	23
Abb. 7: Äschenregion: Inn bei Ried im Oberinntal, Tirol.....	24
Abb. 8: Äschenregion: Salzach bei Werfen.....	24
Abb. 9: Schemaskizze Rinnengeometrie	28
Abb. 10: Driftnetze in Holzrahmen, linke Rinne	29
Abb. 11: kumulative Korngrößenverteilung der Deckschicht (DS).....	34
Abb. 12: Verfahrensablauf Strandungsversuche	36
Abb. 13: Abflussgangline „Strandung“: v-Abstieg = 0,2 cm/min; programmierte Abstiegsdauer = 2100 Sek.	37
Abb. 14: Abflussgangline „Strandung“: v-Abstieg = 0,32 cm/min; programmierte Abstiegsdauer = 1260 Sek.	37
Abb. 15: Abflussgangline „Strandung“: v-Abstieg = 0,5 cm/min; programmierte Abstiegsdauer = 840 Sek.	37
Abb. 16: Abflussgangline „Strandung“: v-Abstieg = 2,9 cm/min; programmierte Abstiegsdauer = 60 Sek.	38
Abb. 17: Tiefen- und Fließgeschwindigkeitsverteilung im Querprofil.....	38
Abb. 18: VAo „Strandung“: Sohlhöhen, Vermessungspunkte (rote Punkte) und Transektbeschreibung (rote Linien mit Längs- und Querstationierungen)	39
Abb. 19: Teilsegmente der Rinnensegmente und Besatzort	41
Abb. 20: Sichtschutz und Rahmengitter für Besatz.....	42
Abb. 21: Entnommene und fehlende Larven der Versuchsreihe „Strandung“	47
Abb. 22: Entnommene und fehlende Larven in linker und rechter Rinne	47
Abb. 23: Rotkehlchen bei der Futtersuche.....	48
Abb. 24: Detaillierte Driftzahlen der Versuchsanordnung „Strandung“	50
Abb. 25: Vergleich der Altersklassen in Bezug auf die Drift zu Schwallbeginn (N=33).....	51
Abb. 26: Vergleich der Altersklassen in Bezug auf die Drift zu Schwallbeginn (N=30).....	52
Abb. 27: Strandungsraten von Äschenlarven bei unterschiedlichen Abstiegs- geschwindigkeiten, Vergleich der Abstiegs- geschwindigkeiten 0,2 / 0,32 / 0,5 und 2,9 cm/min ..55	55
Abb. 28: Strandungsraten von Äschenlarven bei unterschiedlichen Abstiegs- geschwindigkeiten, ohne Versuche mit einer Schwalldauer von 10 Minuten	56
Abb. 29: Strandungsraten, gegliedert nach Altersklassen.....	57
Abb. 30: Vergleich der Strandungsraten 2012 und 2013	58

Abb. 31: Verfahrensablauf Muldenversuche	59
Abb. 32: Geometrie der Muldenstruktur	61
Abb. 33: Positionierung der Muldenstruktur und Besatzort	61
Abb. 34: Vergleich fehlender Fische im Zuge der Versuchsanordnungen „Strandung“ und „Mulde“	65
Abb. 35: Grafische Darstellung der detaillierten Driftzahlen	67
Abb. 36: Grafische Darstellung der Drift nach der Hälfte des Schwalls in Bezug auf das Alter der Larven	68
Abb. 37: Driftzahlen nach 10 Minuten Schwall der Versuchsanordnungen „Strandung“ und „Mulde“	69
Abb. 38: Strandungsraten der Versuchsanordnung „Mulde“, gegliedert nach Abstiegs- geschwindigkeiten	72
Abb. 39: Grafische Darstellung der Strandungsraten (%) in Anbetracht des Larvenalters	73
Abb. 40: Vergleich der Versuchsanordnungen „Strandung“ und „Mulde“	74
Abb. 41: Verfahrensablauf der Versuchsanordnung „Bucht“	75
Abb. 42: Abflussganglinie „Bucht“: v-Anstieg = 0,6 cm/min; v-Abstieg = 0,5 cm/min	76
Abb. 43: Abflussganglinie „Bucht“: v-Anstieg = 4,8 cm/min; v-Abstieg = 2,8 cm/min	76
Abb. 44: Tiefen- und Fließgeschwindigkeitsverteilung der Versuchsanordnung „Bucht“ im Querprofil	77
Abb. 45: VAO „Bucht“: Sohlhöhen, Vermessungspunkte (rote Punkte) und Transektbeschreibung (rote Linien mit Längs- und Querstationierungen)	78
Abb. 46: Besatz in linker Rinne, Buchtstruktur	80
Abb. 47: Besatz in rechter Rinne, Buchtstruktur	80
Abb. 48: Fehlende Larven in Bezug zur Besatzanzahl (%), gegliedert nach Referenz- und Schwallrinne	84
Abb. 49: Verbliebene Larven (C/R %), Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne	85
Abb. 50: Grafische Darstellung der verbliebenen Larven in der Schwallrinne in Anbetracht des Larvenalters	86
Abb. 51: Vergleich der verbliebenen Fische in Schwall- und Referenzrinne, gegliedert nach Versuchen mit und ohne Buchtstruktur	88
Abb. 52: Übersicht erhobener Driftzahlen der Versuchsreihe mit Buchtstruktur	89
Abb. 53: Aktive Drift während der Adaptionphase, gegliedert nach Schwall- und Referenzrinne	90
Abb. 54: Darstellung der arithmetischen Mittelwerte (%) der einzelnen Phasen in Bezug zum Besatz, gegliedert nach Schwall- und Referenzrinne	90
Abb. 55: Gedriftete Larven während des Schwalls (Dx/R %), gegliedert nach Schwall- und Referenzrinne	91
Abb. 56: Darstellung der bei unterschiedlichen Abstiegs- geschwindigkeiten gedrifteten Larven während des Schwalls	92

Abb. 57: Vergleich der Versuchsanordnungen mit und ohne Buchtstruktur bezüglich der gedrifteten Larven während des Schwallis94

Abb. 58: Grafische Darstellung der Drift bei Versuchsanordnungen mit bzw. ohne Buchtstrukturen, gegliedert nach Abstiegs-
geschwindigkeiten95

Abb. 59: Darstellung der berechneten Strandung (Sst/R %) in Referenz- und Schwallrinne .97

Abb. 60: Grafische Umsetzung der Strandungswerte (Sst/R %) in Anbetracht der Abstiegs-
geschwindigkeit.....98

Abb. 61: Darstellung der Strandungsraten (Sst/R %) beider Versuchsanordnungen in Schwall- und Referenzrinne99

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Übersicht der wesentlichen Kennzahlen sämtlicher Versuchsanordnungen	30
Tab. 2: Übersicht – programmierte An-/Abstiegsdauer und An-/Abstiegsgeschwindigkeit	35
Tab. 3: Übersicht der für Versuche verwendeten Äschenlarven der Versuchsanordnung „Strandung“	40
Tab. 4: Kennzahlen der Versuchsanordnung „Strandung“	40
Tab. 5: Getestete Abstiegsgeschwindigkeiten und durchgeführte Wiederholungen	43
Tab. 6: Überblick – Einzelversuche der Versuchsanordnung „Strandung“	45
Tab. 7: Strandungs-, Drift- und Clearing-Werte der Versuchsanordnung „Strandung“	46
Tab. 8: Statistische Kennzahlen: Vergleich der fehlenden Fische der Versuchsanordnung „Strandung“ in linker und rechter Rinne.....	47
Tab. 9: Drift – Übersicht der erhobenen Daten	49
Tab. 10: Statistische Kennzahlen: Drift am Ende des halben Schwalls und Gesamtdrift.....	50
Tab. 11: Statistische Kennzahlen der Altersklassen bezüglich Drift am Ende des halben Schwalls	51
Tab. 12: Strandung – wesentliche Erhebungsdaten	53
Tab. 13: Strandungskennzahlen	54
Tab. 14: Strandungskennzahlen (%), bezogen auf die Abstiegsgeschwindigkeiten	54
Tab. 15: Strandungskennzahlen (%), bezogen auf Abstiegsgeschwindigkeiten, ohne Versuche mit 10 Minuten Schwalldauer	55
Tab. 16: Kennzahlen der Strandungsraten, gegliedert nach Altersklassen	56
Tab. 17: Statistische Kennzahlen der Strandungsraten einer identen Versuchsanordnung aus dem Jahr 2012, gegliedert nach Abstiegsgeschwindigkeiten	58
Tab. 18: Übersicht der für Versuche verwendeten Äschenlarven der Versuchsanordnung „Mulde“	59
Tab. 19: Kennzahlen der Versuchsanordnung „Mulde“	60
Tab. 20: Abstiegsgeschwindigkeiten und Versuchsanzahl der Versuchsanordnung „Mulde“	62
Tab. 21: Übersicht grundlegender Daten der Versuchsanordnung „Mulde“	63
Tab. 22: Fehlende Larven und allgemeine Daten zu Drift, Strandung und Clearing der Versuchsanordnung „Mulde“	64
Tab. 23: Fehlende Larven: Statistische Kennzahlen der Versuchsanordnung „Strandung“ und „Mulde“	65
Tab. 24: Detaillierte Übersicht der erhobenen Driftdaten der Versuchsanordnung „Mulde“ ...	66
Tab. 25: Statistische Kennzahlen zur Drift der Versuchsanordnung „Mulde“	67
Tab. 26: Statistische Kennzahlen der Drift zur Hälfte des Schwalls, gegliedert nach Alters- klassen	68
Tab. 27: Drift nach einer Schwalldauer von 10 Minuten, Vergleich der Versuchsanordnungen „Strandung“ und „Mulde“	69

Tab. 28: Übersicht der erhobenen Werte für die Erforschung der Strandung bei Einbau einer Muldenstruktur	70
Tab. 29: Statistische Kennzahlen der Strandung	71
Tab. 30: Statistische Kennzahlen der Strandung, gegliedert nach Abstiegs- geschwindigkeit	71
Tab. 31: Statistische Kennzahlen der Strandungsrate (%), gegliedert nach Alterklassen	72
Tab. 32: Kennzahlen von Äschenlarven der Versuchsanordnung „Bucht“	77
Tab. 33: Wesentliche Kennzahlen der Versuchsanordnung „Bucht“	79
Tab. 34: Buchtversuche: Anstiegsgeschwindigkeiten und Wiederholungen	81
Tab. 35: Buchtversuche: Abstiegs- geschwindigkeiten und Wiederholungen	82
Tab. 36: Basisdaten der Schwall- und Referenzversuche innerhalb der Versuchsanordnung „Bucht“	82
Tab. 37: Ergebnisse der Drift während der Adaptionsphase und des Schwall- s, sowie die im Zuge des Clearings wieder entnommenen Fische pro Einzelversuch und die daraus berechnete Anzahl fehlender Fische	83
Tab. 38: Statistische Kennzahlen der fehlenden Fische (%) in Schwall- und Referenzrinne	83
Tab. 39: Statistische Kennzahlen des Anteils verbliebener Larven (C/R %) in Schwall- und Referenzrinne	84
Tab. 40: Kennzahlen verbliebener Larven (%) der Schwallrinne, gegliedert nach Altersklassen	85
Tab. 41: Übersicht des Alters der verwendeten Larven pro Einzelversuch	86
Tab. 42: Statistische Kennzahlen verbliebener Larven (%) einer Versuchsanordnung ohne Buchtstruktur (Versuchsanordnung 1) aus dem Jahr 2012	87
Tab. 43: Statistische Kennzahlen der Drift während der Adaptionsphase in Hinblick auf den Besatz	89
Tab. 44: Statistische Kennzahlen der Drift während des Schwall- s in Bezug zur Menge an Larven, die nach der Adaptionsphase in der Rinne verblieben (Dx/R %), Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne	91
Tab. 45: Statistische Kennzahlen für die Drift während des Schwall- s (Dx/R %) in Bezug zur Abstiegs- geschwindigkeit	92
Tab. 46: Statistische Kennzahlen der Drift während des Schwall- s der Versuchsanordnung ohne Buchtstruktur (2012), gegliedert nach Schwall- und Referenzrinne	93
Tab. 47: Statistische Kennzahlen der Drift während des Schwall- s der Versuchsanordnung ohne Buchtstruktur, gegliedert nach Abstiegs- geschwindigkeiten	94
Tab. 48: Übersicht grundlegender erhobener und berechneter Werte für die Erforschung der Strandung	96
Tab. 49: Statistische Kennzahlen der Strandungswerte in Schwall- und Referenzrinne	97
Tab. 50: Statistische Kennzahlen der berechneten Strandung in der Schwallrinne, gegliedert nach Abstiegs- geschwindigkeiten	98
Tab. 51: Statistische Kennzahlen der Strandungswerte einer Versuchsreihe auf einer homogenen Schotterbank (2012), gegliedert nach Schwall- und Referenzrinne	100

