Masterarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur[in]

Experimente zu Drift und Strandung von Äschenlarven (*Thymallus thymallus* L.) in Schwallversuchsrinnen

verfasst von

Nora Fohler

eingereicht an der

Universität für Bodenkultur
Department Wasser - Atmosphäre - Umwelt
Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement

Matrikelnummer:	0040033
Studienkennzahl:	H 419
Studienrichtung:	Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur

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

Wien, Oktober 2013

Dank an

Bernhard Zeiringer
Stefan Fuchshuber
Stefan Auer

an die Studentinnen und Studenten, die
bei der Datenerhebung mitgearbeitet haben

Elisabeth Lauss
Thomas Mackowitz
Franziska Maier
Katharina Rosenberger
Kim Welzig

sowie für Beratung
in statistischen Belangen

Erwin Lautsch

Abstract Deutsch

Ziel der Arbeit ist, die Drift und die Strandung von Äschenlarven (*Thymallus thymallus* L.) unter Schwallbedingungen zu untersuchen. Die getestete Hypothese besagt, dass die Dichte früher Larvenstadien der Fischart durch Schwall-Sunk-Ereignisse reduziert wird, indem sie bei Schwall abgedriftet werden und bei Sunk stranden. Das Alters- und Entwicklungsstadium der eingesetzten Fische erstreckt sich über den Zeitraum unmittelbar nach der Emergenz aus dem Schotterkörper bis zum Erreichen einer durchschnittlichen Körpergröße von 31 mm. Die Versuche wurden in Lunz am See (Niederösterreich) in der HyTEC – Versuchsanlage (**Hy**dromorphological and **T**emperature **E**xperimental **C**hannel) durchgeführt. Zum Einsatz kommen zwei Versuchsdesigns. Das erste Versuchsdesign ist so gestaltet, dass ein Unterschied zwischen einer Referenzsituation und einem simulierten Schwallszenario berechnet wird. Das zweite Versuchsdesign zielt auf direkte Beobachtung von Strandung ab. Es wurden verschiedene Anstiegs- und Abstiegsgeschwindigkeiten getestet. Die Drift und die Anzahl jener Äschen, welche nach Beenden eines Versuchs noch in der Rinne schwammen, wurden mittels Zählung erfasst. Strandungszahlen wurden einerseits berechnet und andererseits im zweiten Versuchsdesign direkt beobachtet. Die Ergebnisse zeigen einen statistischen Unterschied zwischen der Schwall- und der Referenzsituation: In der Referenzrinne verbleiben insgesamt mehr Fische und es driften weniger Äschen aus der Rinne. Es konnte nicht nachgewiesen werden, dass sich die Driftzahlen je nach An- und Abstiegsgeschwindigkeiten ändern. In Versuchen, bei denen die Strandung berechnet wurde, unterschied sich die Strandung nicht zwischen Schwall- und Referenzsituation. Allerdings ergaben die Strandungsbeobachtungsversuche, dass bei höheren Abstiegsgeschwindigkeiten mehr Äschen stranden. Es zeigte sich, dass die Äschen mit zunehmender Körpergröße besser mit dem Schwall-Sunk-Ereignis umgehen konnten.

Abstract English

This thesis deals with drift and stranding of larval grayling (*Thymallus thymallus* L.) under hydropeaking conditions. The tested hypothesis is that the abundance of fishlarvae is reduced due to pulsed flows and sudden flow decreases caused by hydropower plants. The tests were run at the Hydromorphological and Temperature Experimental Channel in Lunz am See (Lower Austria) with grayling immediately after emergence up to a body length of 31 mm. In the first experimental design a difference between a reference situation and the simulated hydropeaking condition was measured. In the second experimental design fish stranding was observed. We tested different up-ramping rates and down-ramping rates. Drifted fish and those fish which remained in the channel were counted. The number of fish stranded was calculated. Whereas in the experiments of the second experimental design fish were observed while stranding and numbers were taken down. The results indicate that there is an influence of hydropeaking conditions on grayling: More fish remained in the channel under reference condition and the amount of drifting fish was lower. At the same time we found no evidence that the numbers of drifting grayling larvae change with different up-ramping rates or down-ramping rates. In those experiments where stranding rates were calculated the amount of stranded fish was the same under reference and hydropeaking conditions. In experiments where fish stranding was directly observed we found that stranding increased with increasing down-ramping rate. It turns out that the ability of grayling to cope with hydropeaking conditions improves with increasing size.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung . . . 3
Abstract Deutsch . . . 5
Abstract English . . . 7

Inhaltsverzeichnis **9**

I Hauptteil **13**

1 Einleitung **14**
1.1 Wasserkraftnutzung in Österreich . . . 14
1.2 Schwall und Sunk: Begriffserklärung . . . 15
1.2.1 Schwallcharakterisierung . . . 15
1.3 Gewässerökologische Auswirkungen von Schwall-Sunk-Ereignissen . . . 16
1.3.1 Auswirkungen von Schwall-Sunk-Ereignissen auf Fische . . . 17
1.4 Schwallbetrieb in Österreich . . . 18

2 Zielsetzung und Fragestellung **20**
2.1 Ziel der Versuche . . . 20
2.2 Fragestellung . . . 20

3 Ortsbeschreibung **22**

4 Beschreibung der Fische **25**
4.1 Entwicklung und Ernährung der Äsche . . . 25
4.2 Habitat der Äsche . . . 26
4.3 Alter und Körpergröße der Versuchsfische . . . 27

5 Versuchsbeschreibung **29**
5.1 Genereller Aufbau des ersten Versuchsdesigns . . . 29
5.2 Genereller Aufbau des zweiten Versuchsdesigns . . . 33

6 Berechnungsmethode **34**

7 Versuchsanordnung 1 **37**
7.1 Kurzcharakteristik . . . 37
7.2 Details . . . 37
7.3 Versuchsanzahl - Überblick . . . 38
7.4 Ergebnisse und Interpretationen . . . 38
7.4.1 Verbliebene - Ergebnis . . . 39
7.4.2 Verbliebene - Interpretation . . . 40
7.4.3 Drift - Ergebnis . . . 41
7.4.4 Drift - Interpretation . . . 47
7.4.5 Strandung - Ergebnis . . . 47
7.4.6 Strandung - Interpretation . . . 50

8 Versuchsanordnung 2 **52**
8.1 Kurzcharakteristik . . . 52
8.2 Details . . . 52
8.3 Versuchsanzahl - Überblick . . . 53
8.4 Berechnungen . . . 53
8.5 Ergebnisse . . . 54
8.6 Interpretation . . . 56

9 Versuchsanordnung 3.1 **58**
9.1 Kurzcharakteristik . . . 58
9.2 Details . . . 58
9.3 Versuchsanzahl - Überblick . . . 59
9.4 Ergebnisse und Interpretationen . . . 59
9.4.1 Verbliebene - Ergebnis . . . 59
9.4.2 Verbliebene - Interpretation . . . 61
9.4.3 Drift - Ergebnis . . . 61
9.4.4 Drift - Interpretation . . . 66
9.4.5 Strandung - Ergebnis . . . 66
9.4.6 Strandung - Interpretation . . . 69

10 Vergleich der Altersklasse 2 zwischen Versuchsanordnungen **70**

11 Versuchsanordnung 3.2 **72**
11.1 Kurzcharakteristik . . . 72
11.2 Details . . . 72
11.3 Versuchsanzahl – Überblick . . . 73
11.4 Ergebnisse und Interpretationen . . . 73
11.4.1 Verbliebene - Ergebnis . . . 73
11.4.2 Verbliebene - Interpretation . . . 74
11.4.3 Drift - Ergebnis . . . 74
11.4.4 Drift - Interpretation . . . 78
11.4.5 Strandung - Ergebnis . . . 78

11.4.6 Strandung - Interpretation 80

12 Versuchsanordnung 4 **82**
12.1 Kurzcharakteristik 82
12.2 Details 82
12.3 Versuchsanzahl – Überblick 83
12.4 Ergebnisse und Interpretationen 83
12.4.1 Verbliebene - Ergebnis 83
12.4.2 Verbliebene - Interpretation 84
12.4.3 Drift - Ergebnis 84
12.4.4 Drift - Interpretation 88
12.4.5 Strandung - Ergebnis 88
12.4.6 Strandung - Interpretation 90

13 Diskussion **92**
13.1 Verbliebene 92
13.2 Drift 93
13.2.1 Drift in der Adaptionsphase 93
13.2.2 Drift während des Schwalls 93
13.3 Strandung 94

14 Ausblick **96**

Literaturverzeichnis **98**

Abbildungsverzeichnis **102**

Tabellenverzeichnis **105**

II Anhang **i**

A Rohdaten-Versuchsanordnung 1 **ii**

B Rohdaten-Versuchsanordnung 2 **v**

C Rohdaten-Versuchsanordnung 3.1 **viii**

D Rohdaten-Versuchsanordnung 3.2 **x**

E Rohdaten-Versuchsanordnung 4 **xii**

Teil I

Hauptteil

Kapitel 1

Einleitung

Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen des Projekts „Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten“ entstanden. Das Ziel des gesamten Projekts ist, die Auswirkungen des Schwallbetriebs von Wasserkraftwerken auf die Gewässerbiozönose zu untersuchen. Mit den erhobenen Daten soll bereits bestehendes Wissen aus vorangegangenen Arbeiten erweitert und das Verständnis für ablaufende Prozesse vertieft werden. Auf diese Weise wird die wissenschaftliche Grundlage geschaffen, um das Ausmaß der Veränderungen, die Schwall-Sunk-Ereignisse in Fließgewässern bewirken, analysieren zu können. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen letztendlich dazu, negative Folgen von Schwall-Sunk-Ereignissen auf die Gewässerökologie zu verringern bzw. zu eliminieren. Das passiert, indem Maßnahmen abgeleitet werden, welche die Herstellung bzw. Erhaltung des guten Zustandes oder des guten ökologischen Potentials der Fließgewässer Österreichs zum Ziel haben, wie es die EU – Wasserrahmenrichtlinie vorgibt. (vgl. IHG, 2010)
In meiner Masterarbeit beschäftige ich mich mit den Auswirkungen von Schwall-Sunk-Ereignissen auf das Larvenstadium und erste Juvenilstadium einer heimischen Fischart, der Äsche (*Thymallus thymallus* L.). Die Datenerhebung erfolgte in den Rinnen der HyTEC-Versuchsanlage (**Hy**dromorphological and **T**emperature **E**xperimental **C**annel). Die Versuchsanlage bietet die Möglichkeit, Experimente unter kontrollierten Bedingungen durchzuführen. Auf diese Weise können Einflussfaktoren einzeln variiert und somit gezielt getestet werden. Gleichzeitig liegen die Fließrinnen im Freiland und sind so gebaut und gestaltet, dass sie die Situation in einem Fließgewässer modellhaft wiedergeben. Daher lassen die generierten Daten und Ergebnisse, Rückschlüsse auf das Geschehen im Fließgewässer zu.

1.1 Wasserkraftnutzung in Österreich

Österreichs Fließgewässer eignen sich aufgrund ihrer ganzjährigen Wasserführung und der Topographie des Landes gut für die energiewirtschaftliche Nutzung durch Wasserkraftwerke. Daher ist der Anteil der Stromerzeugung aus Wasserkraft in Österreich vergleichsweise hoch. (vgl. Kaltschmitt und Streicher, 2009) In Zahlen ausgedrückt, liegt der

Wasserkraftanteil bei rund 60 % der gesamten inländischen Stromerzeugung. Das entspricht rund 40.000 GWh, die jährlich durch Wasserkraftwerke in Österreich bereitgestellt werden. (vgl. BMWFJ und BMLFUW, 2010) Im Zuge des Ausbaus der erneuerbaren Energien, wie sie die EU in ihrer Energiestrategie vorschreibt, um Treibhausgasemissionen und die Importabhängigkeit zu verringern, wird in Österreich besonders auf die Wasserkraft gesetzt. Einerseits, da noch ausreichend ungenutztes Potential vorhanden ist und andererseits, weil es sich um eine vergleichsweise günstige Ressource handelt. Besonders eine Erhöhung des Anteils an Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken ist in diesem Zusammenhang erwünscht, da diese in der Lage sind, Ausgleichsenergie bei Erzeugungsausfall von stark intermittierenden Ökostromerzeugungsanlagen, beispielsweise der Wind- oder Solarenergie, bereitzustellen. (vgl. Bachhiesl und Stigler, 2009) Das Prinzip der Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke besteht darin, das natürliche Wasserdargebot des Flusses zu stauen. Bei Bedarf wird dann die Wasserkraftanlage in Betrieb genommen und das Wasser über die Turbinen in das Unterwasser abgegeben. (vgl. Giesecke und Mosonyi, 2009) Diesen Kraftwerken ist gemeinsam, dass sie durch sogenannten Schwallbetrieb Schwall- und Sunkphänomene erzeugen.

1.2 Schwall und Sunk: Begriffserklärung

Die Begriffe Schwall und Sunk beschreiben eine anthropogene Veränderung der Abflussganglinie eines Fließgewässers. Unter Schwall ist eine künstliche Abflusserhöhung zu verstehen. Diese tritt dann auf, wenn das zurückgehaltene Wasser über die Turbinen in den Vorfluter abgegeben wird. Das Wort Sunk bezeichnet die Niederwassersituation unterhalb des Wasserkraftwerks in Phasen, in denen Wasser gestaut wird. Die hintereinander geschaltete Abfolge von Schwall und Sunk wird Schwallbetrieb genannt. Dieser Wechsel zwischen Schwallphasen und Sunkphasen kann bis zu mehrmals täglich erfolgen und ist im Wesentlichen vom Strombedarf, und damit vom aktuellen Einspeisetarif in das Stromnetz, abhängig. (vgl. Baumann und Klaus, 2003)

1.2.1 Schwallcharakterisierung

Zur Charakterisierung von Schwall und Sunk werden verschiedenen Kennwerte herangezogen. Die wichtigsten sind:

a) das Abflussverhältnis zwischen (Maximal-) Schwall und (Minimal-) Sunk ausgedrückt in m^3/s oder als Verhältniszahl x:1

b) die Pegeldifferenz zwischen Maximal- (Schwall) und (Minimal-) Sunk in der Einheit m oder cm

c) die horizontale Differenz des Wasserspiegels (Zu- beziehungsweise Abnahme der benetzten Breite, Ausdehnung der Wasserwechselzone) ausgedrückt in m

d) die maximale Geschwindigkeit (Rate) des Überganges zwischen den beiden Abflusszuständen, d.h. zwischen Schwallanstieg und Schwallabstieg, dargestellt als Änderung des Abflusses pro Zeiteinheit, in m^3/s pro min

e) die Anstiegs- beziehungsweise Rückgangsrate des Pegelstandes angegeben in cm/min oder der benetzten Breite pro Zeiteinheit angegeben in cm/min oder m/h

(vgl. Baumann und Klaus, 2003; vgl. Limnex AG, 2004)

1.3 Gewässerökologische Auswirkungen von Schwall-Sunk-Ereignissen

Es gibt keine natürliche Entsprechung zu jener hydrologischen Situation, die durch Schwall-Sunk-Ereignisse in einem Fließgewässer ausgelöst werden. Das Sunkphänomen kommt in unbeeinträchtigten Fließgewässern nicht vor und zwischen Schwall und natürlich auftretenden Hochwässern gibt es einige wesentliche Unterscheidungen. Schwälle haben eine höhere Frequenz als Hochwässer, d.h. sie kommen weitaus häufiger vor. Zusätzlich widersprechen sie oft der natürlichen Jahresganglinie, da der Abfluss auch in natürlichen Niederwasserperioden während des Winters künstlich erhöht wird. Ihre Abstiegsgeschwindigkeiten sind schneller, als das bei natürlichen Hochwässern der Fall ist. Außerdem fehlt eine hydrologische Ankündigung für die Biozönose, beispielsweise durch eine Änderung des Wasserchemismus oder einen vorherigen Anstieg des Grundwassers, wie er bei Hochwässern vorkommt. Die Fließgewässerorganismen haben daher keine Möglichkeit rechtzeitig Schutz zu suchen, weil Schwallereignisse für sie vermutlich nicht, oder nur schwer vorhersehbar sind. (vgl. Limnex AG, 2004; vgl. Meile, 2005)

Zu den abiotischen Faktoren die sich durch Schwall-Sunk-Ereignisse verändern, zählen weiters:

Wassertemperatur
Wassertemperaturänderungen entstehen, da das turbinierte Wasser aus dem Speicher eine andere Temperatur hat, als das Flusswasser des Vorfluters. Je nach Jahreszeit, Abflussmenge und Kraftwerksanlagenspezifika handelt es sich dabei um eine Temperaturerhöhung oder Temperaturabsenkung. Änderungen der Wassertemperatur haben unter anderem Auswirkungen auf die Benthosproduktion des Gewässers und die Embryonalentwicklung von Fischen. (vgl. Jungwirth et al., 2003; vgl. Baumann und Klaus, 2003; vgl. Limnex AG, 2004)

Sedimenttransport
Der Transport von Feinmaterial führt zu erhöhter Trübe im Gewässer. Die Trübe beeinträchtigt die Nahrungsaufnahme von Fischen, die auf gute Sichtigkeit angewiesen sind. Sobald das transportierte Feinmaterial wieder sedimentiert, füllt es den Schotterlückenraum (Interstitial). Es kommt zur Kolmation der Gewässersohle. Das Interstitial kann nicht mehr durchströmt werden, und es steht den Gewässerorganismen nicht mehr als Lebens- und Rückzugsraum zu Verfügung. Bereits im Substrat

inkubierte Eier und Larvenstadien von Interstitiallaichern werden nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt und sind daher in ihrer Entwicklung beeinträchtigt oder können nicht überleben. (vgl. Limnex AG, 2004; vgl. Eberstaller et al., 2001; vgl. Meile, 2005)

Wassertiefe, Strömung, benetzte Breite
Die Wassertiefe, Strömung und die benetzte Breite ändern sich mit jedem Schwall- und Sunkereignis. Alle drei Parameter sind wesentliche Eigenschaften der Habitate von Gewässerorganismen. Sobald sie sich lokal ändern, steht dieser Ort für die dort eingenischten Organismen bzw. Alterstadien nicht mehr zu Verfügung. Sie müssen bei jeder Änderung neuerlich ein für sie geeignetes Habitat suchen. Das ist über lange Sicht gesehen mit Energieverlust verbunden. Außerdem zwingt es die Gewässerorganismen, sich einem erhöhten Risiko gegenüber Fressfeinden auszusetzten, da sie gezwungen sind, geschützte Bereiche zu verlassen. (vgl. Baumann und Klaus, 2003; vgl. Limnex AG, 2004)

1.3.1 Auswirkungen von Schwall-Sunk-Ereignissen auf Fische

Gegenstand dieser Masterarbeit sind zwei Auswirkungen von Schwall-Sunk-Ereignissen auf Fische und zwar die Drift und die Strandung.

Drift
Steigen die Fließgeschwindigkeiten bei Schwall an, kommt es zur Abdrift von Fischen. Das betrifft besonders Fische in ihren ersten Lebensabschnitten, da ihre Schwimmleistung noch nicht hoch genug ist, um starken Strömungen widerstehen zu können. (vgl. Eberstaller et al., 2001) Diese passive Drift wird in dieser Arbeit verkürzt als „Drift“ bezeichnet. Im Gegensatz dazu steht die aktive Drift, die Äschenlarven nach der Emergenz aus dem Schotterkörper durchführen, um vom Laichplatz in geeignete Larvenhabitate zu wechseln. (vgl. Baars et al., 2001)

Stranden
Während der Wechsel zwischen Schwall- und Sunkphasen müssen Fische mit der sich ändernden Wasseranschlagslinie mitwandern. Jene Fische, die Uferbereiche als Habitat nutzen, müssen dabei besonders weite Wege zurücklegen. (vgl. Eberstaller et al., 2001) Es kann dabei passieren, dass Fische in Mulden zurückbleiben und dort gefangen sind, weil keine Verbindung mehr mit der fließenden Welle besteht. Die Fische sind einerseits der Gefahr des Trockenfallens ausgesetzt und andererseits sind sie in diesen Bereichen terrestrischen Räubern ausgeliefert. Außerdem kann eine Temperaturerhöhung des Wassers in den Mulden letale Folgen für die eingeschlossenen Fische haben. Neben dem Risiko in einer Mulde zu stranden kann es auch passieren, dass das Wasser durch die Drainagewirkung des Substrats zurückgeht und die Fische am (muldenlosen) Substrat trockenfallen. (vgl. Hunter, 1992) Fallen bei einem Sunkereignis nur wenige Fische der Strandung zum Opfer, so summiert sich trotzdem die Anzahl der Fische, die innerhalb einer Saison ausfallen. In erster Linie sind Fischlarven und juvenile Fische durch Strandung gefährdet. Ihr Ausfall

hat in letzter Konsequenz Auswirkungen auf die gesamte Population. (vgl. Young et al., 2011)

1.4 Schwallbetrieb in Österreich

In Österreich sind 960 km Fließstrecken durch Schwallbetrieb beeinflusst. Besonders stark sind die großen Fließgewässer betroffen. Zu den großen Fließgewässern zählen jene, mit einer Einzugsgebietsgröße von > 1.000 km. Von allen österreichischen Fließgewässern, die in diese Kategorie fallen, sind 23 Prozent von Schwallbetrieb beeinflusst. (vgl. Schmutz et al., 2010)
Weiterführende wissenschaftliche Untersuchungen der Auswirkungen von Schwall-Sunk-Ereignissen sind nicht nur aufgrund dieser Dimension von Relevanz, sondern auch im Rahmen der Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Die EU-Wasserrahmenrichtlinie ist seit dem Jahr 2000 in Kraft und wurde 2003 in österreichisches Recht überführt. Die grundlegenden Ziele dieser Richtlinie sind, bis zum Jahr 2015 einen guten ökologischen und guten chemischen Zustand der natürlichen Oberflächengewässer zu erreichen. Für bereits erheblich veränderte oder künstliche Oberflächengewässer muss ein guter chemische Zustand sowie ein gutes ökologisches Potential erzielt werden. (vgl. Art 4. Zi. 1a Richtlinie 2000/60/EG; vgl. Umweltbundesamt, 2013a; vgl. Umweltbundesamt, 2013b)
Die Definition des ökologischen Zustands eines Gewässers orientiert sich dabei am gewässertypspezifischen Referenzzustand. Der Referenzzustand entspricht dem weitgehend natürlichen Gewässer, welches höchstens geringfügige Beeinträchtigungen aufweisen darf. Zur Realisierung der vorgegebenen Ziele wurde vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft gemeinsam mit den wasserwirtschaftlichen Planungen der Länder ein Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan erarbeitet. Der Nationale Gewässerbewirtschaftungsplan legt auf Basis einer Bestandsanalyse die erforderlichen Maßnahmen zur Zielerreichung fest. (vgl. BMLFUW, 2009; vgl. Umweltbundesamt, 2013a; vgl. Umweltbundesamt, 2013b) Damit eine Einschätzung des Zustands der österreichischen Gewässer getroffen werden kann, ist die Überwachung anhand festgelegter Parameter notwendig. Zu diesen Parametern zählen unter anderem hydromorphologische Qualitätskomponenten. In dieser Kategorie werden Schwall-Sunk-Ereignisse als anthropogenen Belastungen eines Fließgewässers angeführt, sofern sie eine signifikante Änderung des Wasserhaushalts bewirken. (vgl. BMLFUW, 2009) Der ökologische Zustand eines Fließgewässers wird letztendlich anhand von Kriterien bewertet, welche die Qualitätszielverordnung Ökologie spezifiziert (vgl. Umweltbundesamt, 2013a). Die Qualitätszielverordnung Ökologie legt als eines der Kriterien für den sehr guten Zustand eines Oberflächenwasserkörpers hinsichtlich des Wasserhaushalts, der Durchgängigkeit des Flusses und der Morphologie fest:

„Es kommt zu keinen anthropogenen Wasserführungsschwankungen mit Schwall-Sunk-Erscheinungen.“ (§ 12 Abs. 2 Zi. 2 QZV Ökologie OG)

Das bedeutet, dass Oberflächenwasserkörper, die von Schwall-Sunk-Ereignissen beein-

flusst sind, maximal den guten hydromorphologischen Zustand, nicht jedoch den sehr guten hydromorphologischen Zustand erreichen können. In der Qualitätszielverordnung sind die Richtwerte für den zu erreichenden guten hydromorphologischen Zustand hinsichtlich Schwall-Sunk-Erscheinungen definiert als:

„Anthropogene Wasserführungsschwankungen sind bei großen Flüssen [...] im Einzelfall zu beurteilen. Bei allen anderen Gewässern überschreiten sie nicht das Verhältnis von 1 zu 3 zwischen Sunk und Schwall und die Wasserbedeckung der Gewässersohle beträgt bei Sunk mindestens 80% der bei Schwall bedeckten Sohlfläche.“ (§ 13 Abs. 3 QZV Ökologie OG)

Österreich ist verpflichtet bis Ende des Jahres 2015 Sanierungsmaßnahmen an Strecken durchzuführen, an denen der gute ökologische Zustand bzw. das gute ökologische Potential nicht erfüllt ist. Im Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan wird die Verlängerung der auf 2015 festgelegten Frist für die Sanierung dieser Strecken begründet, indem festgestellt wird:

„Bei Belastungen, für deren Reduzierung noch geringes Wissen in Bezug auf die technische Durchführbarkeit und/oder die Verhältnismäßigkeit der Kosten vorhanden ist (Schwall), ist die mittel- und langfristige Planung von Sanierungsmaßnahmen (bis 2021 und 2027) aufbauend auf den Erkenntnissen aus den Ergebnissen von bis 2015 durchzuführenden Forschungsarbeiten zu konkretisieren.“ (BMLFUW, 2009, 74)

und:

„Bezüglich Maßnahmen zur Reduzierung der Auswirkungen des Schwalls wird bei der Erstellung des nächsten Bewirtschaftungsplans auf Basis der Ergebnisse der bis 2015 durchgeführten Forschungsarbeiten zu entscheiden sein, welche geeigneten kosteneffizienten Maßnahmen zur Erreichung der Umweltziele in Betracht kommen. Deren Umsetzung ist für die 2. Planperiode bzw. (aus heutiger Sicht überwiegend) die 3. Planperiode bis 2027 geplant.“ (BMLFUW, 2009, 97)

Die vorliegende Arbeit soll mit dazu beitragen, eine Grundlage zu schaffen, auf deren Basis die Sanierungsmaßnahmen für von Schwall und Sunk beeinflusste Gewässerabschnitte festgelegt werden können.

Kapitel 2

Zielsetzung und Fragestellung

2.1 Ziel der Versuche

Das Ziel der durchgeführten Versuche war, die folgende Hypothese zu prüfen:

„Frühe Larvenstadien stranden bei Sunk bzw. werden bei Schwall abgedriftet und so wird die Larvendichte bereits früh reduziert.“ (IHG, 2010, 16)

2.2 Fragestellung

Die bereits genannte allgemeine Hypothese wurde in Detailfragen aufgesplittet. Sie werden mit den durchgeführten Versuchsanordnungen beantwortet. Die Detailfragen sind in drei Fragenblöcke aufgeteilt. Die Darstellung der Ergebnisse der einzelnen Versuchsanordnungen folgt dieser Gliederung.

Im ersten Fragenblock wird das Verbleiben bzw. Nicht-Verbleiben der Fische in den Versuchsrinnen während eines Versuchs beleuchtet. Die dazu gestellten Fragen lauten:

1. Gibt es einen Unterschied zwischen Referenz- und Schwallrinne hinsichtlich des Verbleibens der eingesetzten Fische?
2. Gibt es einen Unterschied zwischen verschiedenen Altersklassen hinsichtlich des Verbleibens der Fische in der Rinne?

Im zweiten Fragenblock wird das Thema der Drift untersucht.

1. Gibt es einen Unterschied der Drift in der Adaptionsphase zwischen Referenz- und Schwallrinne?
2. Gibt es unterschiedlich hohe Drift in der Adaptionsphase zwischen verschiedenen Altersgruppen?

3. Gibt es einen Unterschied der Drift während des Schwalls zwischen Referenz- und Schwallrinne?
4. Gibt es einen Unterschied der Drift bei unterschiedlichen An- bzw. Abstiegsgeschwindigkeiten?
5. Gibt es unterschiedlich hohe Drift zwischen verschiedenen Altersgruppen während des Schwalls?
6. Gibt es Unterschiede bezüglich der Drift zwischen den Altersgruppen in Schwall- und Referenzrinne?
7. Wie viele Fische driften während der Adaptionsphase und wie viele während des Versuchs in Relation zum Besatz?

Der dritte Fragenblock umfasst die Thematik der Strandung von Fischen.

1. Unterscheidet sich die (berechnete) Zahl der gestrandeten Fische zwischen Schwall- und Referenzrinne?
2. Unterscheidet sich die (berechnete) Zahl an gestrandeten Fische zwischen den verschiedenen Anstiegsgeschwindigkeiten bzw. Abstiegsgeschwindigkeiten?
3. Unterscheiden sich die (berechneten) Strandungszahlen bezüglich der Altersgruppen?

Diese Fragen werden in weiterer Folge anhand der Versuchsergebnisse beantwortet.

Kapitel 3

Ortsbeschreibung

Die Experimente wurden in der HyTEC-Versuchsanlage (**Hy**dromorphological and **T**emperature **E**xperimental **C**hannel) in Lunz am See (Niederösterreich) durchgeführt. Es handelt sich um zwei Freiland-Versuchsrinnen, welche ca. 400 m flussab des Lunzer Seeausrinnes errichtet wurden. Die Wasserspeisung der Rinnen erfolgt über zwei Rohrleitungen, welche Wasser aus zwei unterschiedlichen Tiefen des Lunzer Sees entnehmen. Die oberflächennahe Leitung transportiert verhältnismäßig warmes Wasser zu den Versuchsrinnen, während die in rund 10 m Tiefe liegende Rohrleitung kälteres Wasser aus dem See entnimmt. (vgl. Schmutz et al., 2013)

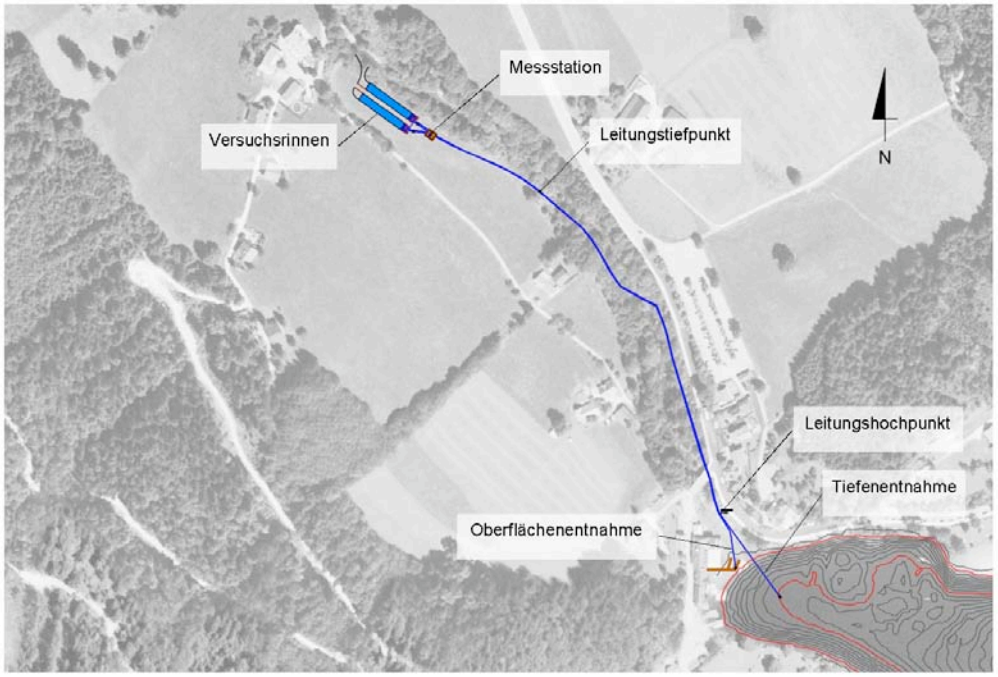

Abbildung 3.1: Lage der HyTEC-Versuchsanlage (mit Zuleitung und See)

Beiden Rinnen ist jeweils ein Mischbecken der Größe 6,0 m x 4,0 m vorgeschaltet. In diesen Becken wird das Wasser aus den beiden Rohrsträngen vermischt, womit eine Temperaturregelung des eingeleiteten Wassers möglich ist. Direkt hinter den Rohreinlässen in die Mischbecken sind Prallwände eingebaut, die dazu dienen das Wasser vor dem Einrinn in die Versuchsrinnen zu beruhigen. Die zugeführte Wassermenge kann, je nach Bedarf, zwischen insgesamt 0 und 600 l/s variiert werden. Die Dotation der beiden Rinnen erfolgt unabhängig voneinander. Die gesamte Steuerungs- und Messtechnik befindet sich in einer Forschungsstation direkt bei den Rinnen. Die eigentlichen Versuchsrinnen sind jeweils 40 m lang und weisen eine maximal mögliche benetzte Breite von 6 m auf. Gegen die Mitte der Anlage sind die Rinnen mit einer senkrecht abfallenden Holzwand begrenzt, während die Außenufer je nach Bedarf modelliert werden können. Die Versuchsrinnen sind 1,40 m tief und mit einer Bentonit-Dichtung abgedichtet, um Versickerung in die Sohle zu verhindern. An ihren flussab gelegenen Enden sind die Rinnen jeweils mit einem, auf Sohlniveau eingebauten, Holzbalken und dahinter liegenden Driftnetzen begrenzt. Die Maschenweite der Driftnetze beträgt 1 mm. Das aus dem Lunzer See entnommene und in die Rinnen eingeleitete Wasser fließt am Rinnenende über einen Auslaufbereich in den Lunzer Seebach. (vgl. Schmutz et al., 2013)

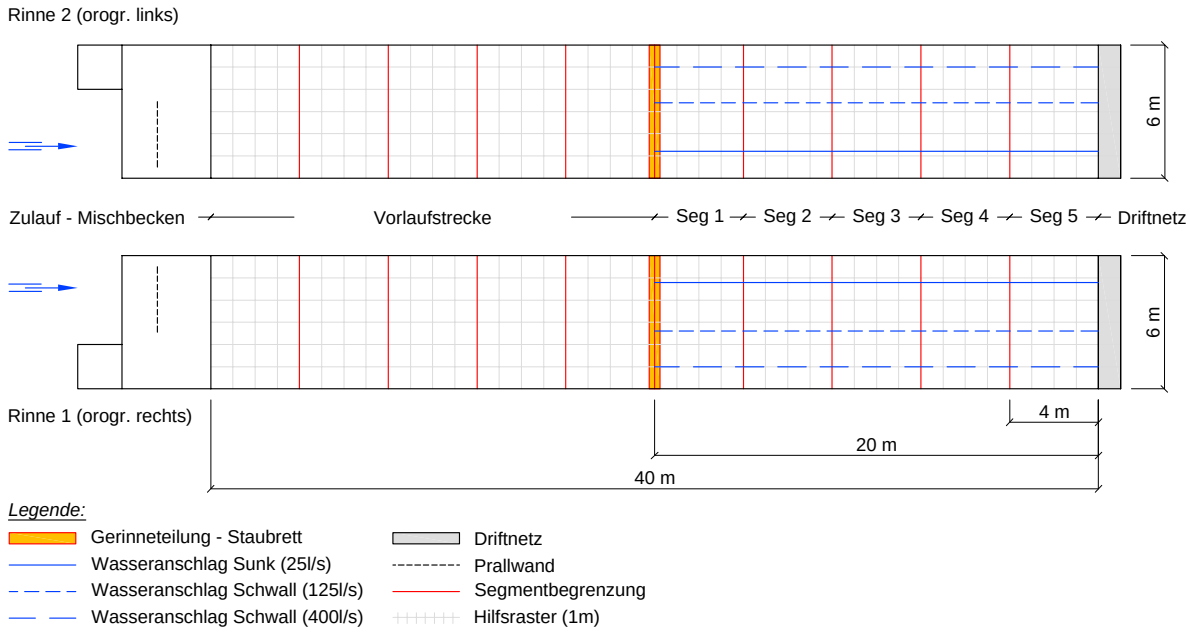

Abbildung 3.2: Grundriss der HyTEC-Versuchsanlage

Für die im Folgenden beschriebenen Experimente wurden die Rinnen mit Hilfe einer Holzabsperrung auf 20 Meter verkürzt, wobei die letzten flussab gelegenen 20 Meter genutzt wurden und die flussauf gelegenen ersten 20 Meter für die Experimente ungenutzt

geblieben sind. Die genutzten 20 Meter der Rinne wurden in fünf gedachte Segmente zu je 4 m eingeteilt. Diese Einteilung dient ausschließlich dazu, die Fische in allen Versuchen am gleichen Ort zu besetzen und ist physisch nicht realisiert. Die Gerinnegeometrie an den Außenufern simuliert in beiden Rinnen eine flache Schotterbank mit einer Querneigung von 5 % bis 6 %. Die Längsneigung beträgt 0,25 %. Die Rinnensohle besteht aus dem Choriotoptyp Mikrolithal, d.h. es wurden Korngrößen von 2 – 6,3 cm eingebracht. (vgl. Schmutz et al., 2013)

Kapitel 4

Beschreibung der Fische

Bei den Versuchsfischen handelt es sich ausschließlich um Äschen (*Thymallus thymallus* L.). Diese in Österreich heimische Fischart wurde gewählt, da sie eine Leitfischart der Äschenregion, des sogenannten Hyporhithrals ist. Die Hyporhithralabschnitte der Fließgewässer zählen laut Unterscheidung der EU Fischgewässerrichtlinie zu den Salmonidengewässern (vgl. Art. 1 Abs. 4 Richtlinie 78/659/EWG). Mit 54 Fließgewässern bzw. Fließgewässerstrecken und bei einer Gesamtlänge von rund 2 907 km wird der Großteil der Fließgewässerabschnitte Österreichs als Salmonidengewässer ausgewiesen (vgl. BMLFUW, 2005).

4.1 Entwicklung und Ernährung der Äsche

Die Äsche laicht im Frühjahr, normalerweise zwischen März und April (vgl. Kottelat und Freyhof, 2007). Ihre Eier entwickeln sich im Interstitial, d. h. im Schotterlückenraum der Fließgewässersohle. In der ersten Zeit nach dem Schlüpfen leben die Tiere nach wie vor im Interstitial und ernähren sich von ihrem Dottersack. Sobald der Dottersack fast vollständig verbraucht ist, emergieren die Äschenlarven aus dem Schotterkörper. In dieser Phase lernen die Äschen Nahrung aufzunehmen. Der zu diesem Zeitpunkt noch vorhandene Rest des Dottersacks unterstützt die Nährstoffversorgung. (vgl. Kottelat und Freyhof, 2007; vgl. Baars et al., 2001) Die Mutterfische der im Versuch eingesetzten Äschen stammen aus der Ybbs. Deren Eier wurden bis kurz vor dem Emergenzzeitpunkt der Fische in einem lokalen Fischzuchtbetrieb versorgt. Danach erfolgte die weitere Betreuung in Rundbecken direkt bei den Rinnen. Die Rundbecken werden permanent mit frischem Wasser versorgt. Es handelt sich um das gleiche Wasser, mit dem auch die Rinnen dotiert werden, da die Rundbecken aus denselben Leitungsrohren versorgt werden. Den Fischen steht Lebendfutter in Form von Zooplankton aus dem Lunzer See zur Verfügung. Das Plankton wird mit dem Seewasser angesaugt und gelangt direkt über die Wasserversorgungsleitungen in die Becken. Zusätzlich wurde Zooplankton mit Hilfe von Planktonnetzen aus den Rinnen gefiltert, um eine ausreichende Futtermenge für die Fische gewährleisten zu können. (vgl. Schmutz et al., 2013) Das zusätzliche, mit den Netzen gefilterte, Plankton wurde jeweils in der Früh und am Abend zugefüttert. An

Tagen mit geringem Planktonaufkommen wurde auch zu Mittag Plankton gefüttert, um sicherzustellen, dass der Großteil des Planktons zum Fütterungszeitpunkt noch lebt.

4.2 Habitat der Äsche

Nach der Emergenz aus dem Lückensystem des Laichsubstrats verlassen die Larven den Laichplatz und driften mit der Strömung ab. Diese aktive Drift dient dazu, ein günstiges Habitat zu finden und sich dort einzustellen. Der Standortwechsel erfolgt bei Dunkelheit um Fressfeinden zu entgehen. In diesem Lebensabschnitt entspricht die Körperlänge der Äschen in etwa 16 mm. (vgl. Baars et al., 2001) Sempeski und Gaudin (1995a, 1995b) sowie Gaudin und Sempeski (2001) haben Äschen nach ihrem ersten Erscheinen in den Bruthabitaten untersucht. Es hat sich gezeigt, dass die Habitatnutzung der Äsche einem Tag - Nacht Wechsel unterliegt. Laut ihren Studien sind Äschen mit 15 – 20 mm Körperlänge stark an Stillwasserzonen gebunden. Sie halten sich im Strömungsschatten von Kiesbänken in kleineren Buchten und an flachen Ufern auf (vgl. Baars et al., 2001). Diese Fische entfernen sich nicht weiter als 20 cm vom Ufer bzw. der Schotterbank. Sie wählen hauptsächlich Standorte mit Fließgeschwindigkeiten zwischen 0 cm/s und 5 cm/s (vgl. Bardonnet et al., 1991) und Wassertiefen $<$ 20 cm (vgl. Sempeski und Gaudin, 1995a). Das Substrat in diesen Bereichen ist homogen und setzt sich aus Sand und Silt zusammen. Zusätzlich kommt feiner Schotter und feiner Kies in geringeren Mengen vor. Während des Tages halten sich die meisten Individuen im oberen Bereich der freien Wassersäule auf. Sie leben pelagisch. In der Nacht werden Bereiche am Grund sehr seichter Zonen $<$ 5 cm nahe der Ufer genutzt. In diesem Stadium brauchen die Äschen das Habitat als Schutz vor der Strömung, da ihre Schwimmleistung noch zu gering ist, um bei höheren Fließgeschwindigkeiten bestehen zu können. Außerdem dient es als Schutz vor größeren Fischen besonders bei Nacht, wenn die Äschen inaktiv am Grund liegen. Bei Tag sind sie in diesen Zonen dem Räuberdruck von Vögeln ausgesetzt. Allerdings sind sie zu diesem Zeitpunkt aufgrund ihrer Größe und ihres Gewichts kein attraktives Futter. In Abbildung 5.2 ist zu sehen, dass in den Versuchsrinnen Habitate mit diesen Fließgeschwindigkeiten und Tiefen, sowohl bei der gewählten Schwalldotation von 125 l/s als auch bei der Sunkdotation von 25 l/s für die Fische zu Verfügung stehen.
Die Gruppe der 20 mm bis 35 – 40 mm großen Äschen braucht ebenfalls Stillwasserzonen. Sie zeigen auch bei Tag die Tendenz sich in Sohlnähe aufzuhalten, wobei sie sich nicht in Bereichen mit einer Wassertiefe $<$ 10 cm aufhalten. Sie nutzen bereits die Übergangszone zwischen der Stillwasserzone und der Hauptströmung. Die Fische haben so Sicht auf vorbei schwimmende und in die Übergangszone driftende Beute und befinden sich gleichzeitig im Strömungsschutz. In der Nacht wechseln sie in Bereiche $<$ 10 cm und die Nahrungsaufnahme wird eingestellt. Äschen, die größer als 35 – 40 mm sind, bevorzugen eine Substratzusammensetzung von Schotter und Kies. Sie halten sich untertags im Hauptstrom in Bereichen mit moderater Fließgeschwindigkeit von 20 – 40 cm/s auf und wählen Standorte mit Wassertiefen von 40 – 60 cm. Die Äschen dieser Größe können der Strömung bereits besser standhalten, sie sind auch in der Lage großen Fischen zu entgehen. Außerdem vermeiden sie seichte Standorte bei Tag, um nicht von Vögeln gefressen zu

werden. In der Nacht und bei zu hoher Strömung nutzen sie jedoch weiterhin die Stillwasserzonen mit Bereichen, die weniger als 40 cm Tiefe aufweisen. Weiters suchen 30 – 50 mm großen Fische bei moderaten Durchflussänderungen Schutz in Stillwasserzonen. Sobald der Durchfluss wieder gesunken ist, nehmen die Fische die vorher gehaltenen Positionen wieder ein. (vgl. Sempeski und Gaudin, 1995a; vgl. Sempeski und Gaudin, 1995b; vgl. Gaudin und Sempeski, 2001) Es ist zu sehen, dass es mit zunehmender Größe der Äschen einen Wechsel von Stillwasserbereichen in Richtung Hauptstrom gibt. Gleichzeitig wird im Verlauf des Tages zwischen Nahrungsaufnahme- und Ruhehabitaten gewechselt. Die Distanzen, welche die Äschen bei diesem Habitatwechsel zurücklegen, sind gering. Durch die starke Bindung der Fischlarven an die Uferzonen sind sie besonders in Bezug auf Abflussänderungen gefährdet. Es kann zu dramatischen Auswirkungen kommen, wenn diese Abflussänderungen in den ersten Entwicklungsstadien oder in der Nacht stattfinden. Wenn sie stark und unvorhergesehen ausfallen, können sie ein Grund für Mortalität und Abdrift sein. (vgl. Sempeski und Gaudin, 1995b; vgl. Gaudin und Sempeski, 2001)

4.3 Alter und Körpergröße der Versuchsfische

Für die ersten in dieser Arbeit beschriebenen Versuchsanordnungen wurden Fische im Alter zwischen 1 Tag bis 12 Tage nach Emergenz eingesetzt. Damit auch für spätere Versuche Äschen im richtigen Alter zu Verfügung standen, wurde die Eientwicklung durch Niedrighalten der Wassertemperatur verzögert. Es wurden die ersten Entwicklungsstadien der Äsche für die durchgeführten Versuche verwendet, um speziell für dieses sensible Altersstadium Aussagen zu Drift und Strandung treffen zu können. Die während der Versuchsanordnungen 1 bis 3.1 eingesetzten Äschen wurden in zwei Altersklassen eingeteilt. Die Unterteilung basiert auf dem Vorhandensein oder Fehlen des Dottersacks, wobei die Grenzen für die Altersklasse 1 mit 1 bis 4 Tage nach Emergenz, und jene für die Altersklasse 2 mit 5 bis 12 Tagen nach Emergenz festgelegt wurden. Das Ziehen der Altersgrenze mit Verschwinden des Dottersacks war nicht ausschließlich aufgrund dieser Entwicklung naheliegend. Sie erfolgte auch, da eine Verhaltensänderung der Fische wahrnehmbar war. Die Schwimmleistung erschien verbessert und das Fluchtverhalten hatte sich verändert. Die Äschen flüchteten früher und gleichzeitig orientierter.
Äschen der Altersklasse 1 (Abbildung 4.1) waren durchschnittlich 16,6 mm groß (zwischen min = 15 mm und max = 19 mm). Die Körperlänge der Fische in Altersklasse 2 (Abbildung 4.2) betrug durchschnittlich 17,2 mm (zwischen min = 15 mm und max = 19 mm).
In den letzten beiden Versuchsanordnungen (Versuchsanordnung 3.2 und Versuchsanordnung 4) wird nicht mehr in Altersklassen differenziert, da sich zu diesem Zeitpunkt aufgrund der individuell unterschiedlich schnellen Entwicklung der Fische die Unterschiede in Körperlänge und Gewicht im Wesentlichen angenähert hatten. Die Äschen, die für die Versuchsanordnung 3.2 verwendet wurden, hatten eine durchschnittliche Körperlänge von 31 mm (zwischen min = 23 mm und max = 38 mm). Die Fische der Versuchsanordnung 4 waren durchschnittlich 31 mm groß (zwischen min = 22 mm und max = 40 mm).

Abbildung 4.1: Äsche der Altersklasse 1: 1 bis 4 Tage nach Emergenz

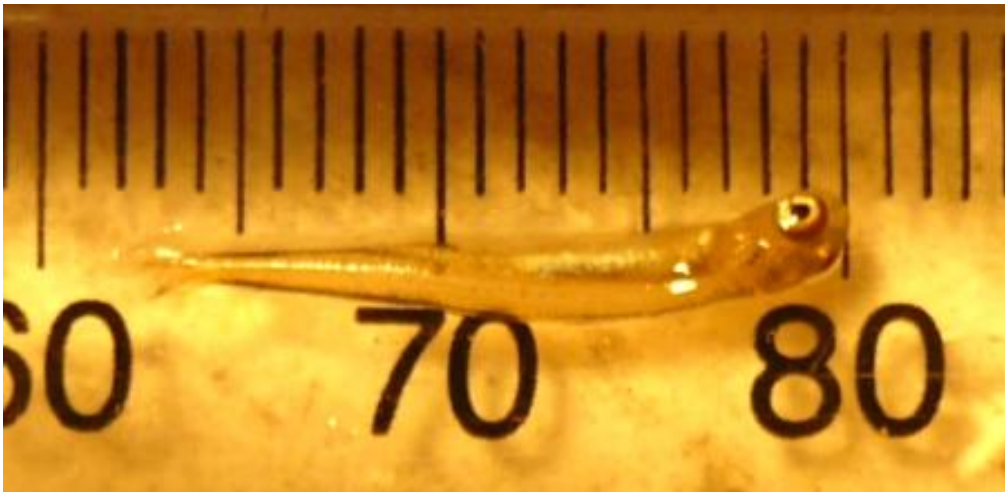

Abbildung 4.2: Äsche der Altersklasse 2: 5 bis 12 Tage nach Emergenz

Kapitel 5

Versuchsbeschreibung

Es wurden mehrere Versuchsanordnungen durchgeführt, um Zusammenhänge und Wirkungsweisen von Schwall- und Sunk-Ereignissen auf Fische zu erkennen. Nach Durchführung der ersten Versuche hat sich herausgestellt, dass das Stranden bei Fischen diesen Alters und in Kombination mit dem verwendeten Substratchoriotoptyp nicht durch direkte Zählung erfasst werden kann. Daher wurde im ersten Versuchsdesign die Strandung aus den erfassbaren Zahlenwerten errechnet. Dieses Versuchsdesign wurde in den Versuchsanordnungen 1, 3.1, 3.2 und 4 verwendet. Das zweite Versuchsdesign wurde entwickelt, um das Stranden von Fischen direkt beobachten und erfassen zu können. Es wurde für die Versuchsanordnung 2 eingesetzt. Aus diesem Grund unterscheidet sich die Versuchsanordnung 2 in ihrem Aufbau von den anderen. Im Folgenden wird der generelle Aufbau des ersten Versuchsdesigns (Versuchsanordnungen 1, 3.1, 3.2 und 4) erklärt, danach wird der Aufbau des zweiten Versuchsdesigns (Versuchsanordnung 2) erläutert.

5.1 Genereller Aufbau des ersten Versuchsdesigns

Das erste Versuchsdesign war darauf angelegt, einen Unterschied zwischen einer Schwall- und einer Referenzsituation zu prüfen. Daher wurden beide Rinnen gleichzeitig genutzt, wobei in einer Rinne die Schwallsituation und in der anderen Rinne die Referenzsituation simuliert wurde. Die Dotation in der Schwallrinne wurde, ausgehend von 25 l/s, auf 125 l/s erhöht. Danach wurde der Durchfluss wieder auf das Ausgangsniveau von 25 l/s reduziert. Zeitgleich wurde die Dotation in der Referenzrinne konstant bei 25 l/s belassen.

Die hydrologischen Charakteristika des Abflussgeschehens in der Schwallrinne während der Versuchsanordnungen 1, 3.1, 3.2 und 4 wird durch die unten angeführten Kenndaten (Tabelle 5.1), sowie die Schwallganglinie (Abbildung 5.1) abgebildet.

Die An- und Abstiegsgeschwindigkeit (kurz „Anstieg“ bzw. „Abstieg“) ist eine vertikale Änderung der Wasserspiegellage im Profil pro Zeiteinheit. Sie wird in cm/min angegeben. Die in Klammer angeführten Werte beschreiben die horizontale Verlagerung der Wasseranschlagslinie pro Zeiteinheit. Sie wird ebenfalls in cm/min angegeben. Die Wasserspie-

Sunk	25 l/s	
Anstieg	0,2 cm/min (4 cm/min)	0,6 cm/min (12 cm/min)
Schwall	125 l/s	
Abstieg	0,2 cm/min (4 cm/min) 3,0 cm/min (60 cm/min)	0,6 cm/min (12 cm/min)
△ WSP	7,8 cm	
Wechselfeuchte Zone	1,56 m	

Tabelle 5.1: Hydrologische Charakteristika des Abflussgeschehens in der Schwallrinne

geländerung △ WSP wird in cm angegeben. Die zum Schluss angeführte Wechselfeuchte Zone ist jener Uferbereich, der bei Schwall benetzt ist und während des Sunkgeschehens trockenfällt. (vgl. Schmutz et al., 2013)

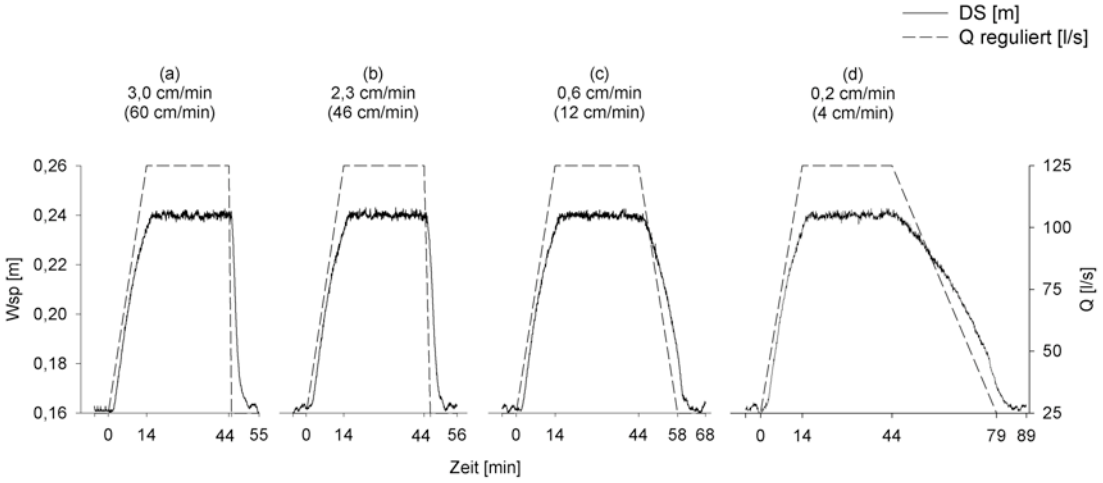

Abbildung 5.1: Schwallganglinie

In beiden Rinnen wurde dieselbe Anzahl an Fischen besetzt, wobei die Versuchsfische für jeden Versuch einzeln aus den Rundbecken ausgezählt wurden. Die Fische in der Referenz- und in der Schwallrinne waren während eines Versuchs immer gleich alt (Versuchsanordnungen 1, 3.1) beziehungsweise waren im Durchschnitt gleich groß (Versuchsanordnungen 3.2, 4). Daher ist ein direkter Vergleich der beiden Situationen möglich. Die Drift der Fische konnte durch direktes Zählen erhoben werden. Dazu dienten die Driftnetze bzw.

Driftnetzsäcke an den flussab gelegenen Enden der beiden Rinnen. Sie sind so montiert, dass sie die gedrifteten Versuchsfische auffangen. Während des Versuchsablaufs wurden die aus der Rinne gespülten Fische eingesammelt, und ihre Anzahl notiert. Das Stranden der Fische wurde hingegen aus den erfassbaren Zahlenwerten errechnet. Die Versuche waren so gestaltet, dass die Fische in der Schwallrinne durch das Schwallereignis gezwungen wurden eine laterale Bewegung mitzumachen, um das für sie geeignete Habitat nicht zu verlassen. Dieser laterale Ortswechsel muss von den Versuchstieren zweimal nachvollzogen werden. Das erste Mal mit dem Schwallanstieg nach außen, in das neue passende Habitat nahe der Uferlinie und das zweite Mal bei Schwallabstieg mit der in Richtung Mitte der Rinnenanlage wandernden Wasseranschlagslinie.

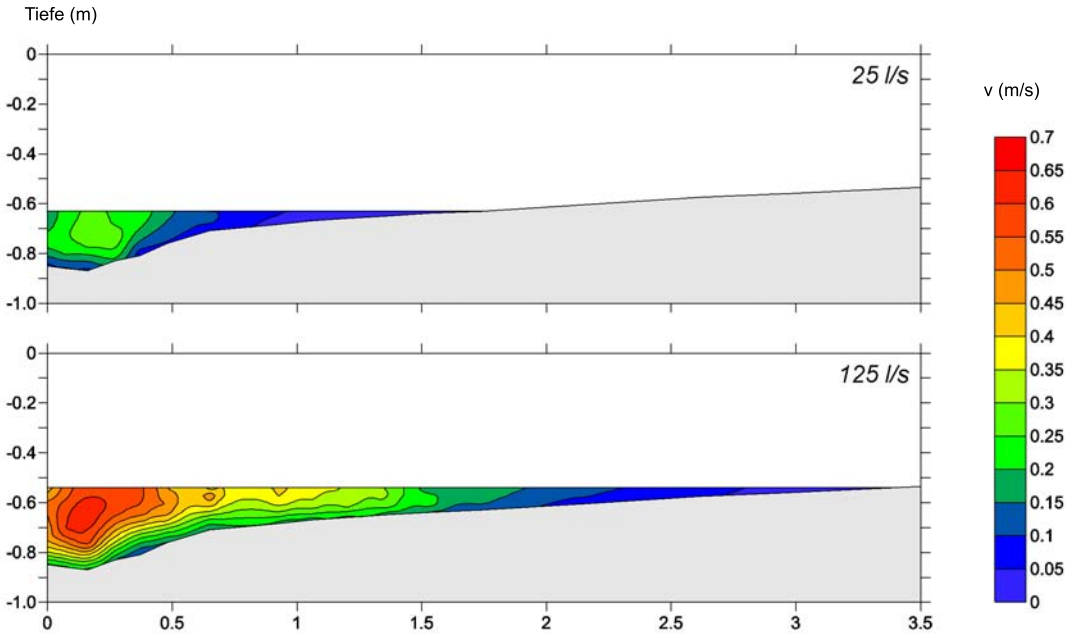

Abbildung 5.2: Fließgeschwindigkeitsverteilung in den Versuchsrinnen bei 25 l/s und bei 125 l/s

Beim Besetzen der Fische wurden darauf geachtet, die Kübel so langsam ins Wasser zu kippen, dass es den Fischen möglich war, selbständig in die Rinne zu schwimmen. Der dann beginnende gesamte Versuchsablauf ist in verschiedene Phasen unterteilt, wobei nach jeder Phase die Drift gezählt und notiert wurde. Die erste Phase wird im Weiteren als Adaptionsphase bezeichnet. In dieser Zeitspanne waren beide Rinnen gleichermaßen mit dem Sunkabfluss von 25 l/s dotiert und damit noch kein Unterschied zwischen der Referenz- und der Schwallrinne gegeben. Diese Phase dient dazu, den Versuchsfischen die

Möglichkeit zu geben sich in der für sie neuen Umgebung zu orientieren und sich in einem für sie hinsichtlich Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe etc., passenden Habitat einzustellen. Die Länge der Adaptionsphase wurde in Abstimmung mit dem Verhalten der Fische und nach Maßgabe der zeitlichen Möglichkeiten zwischen den Versuchsanordnungen variiert. Nach Ende der Adaptionsphase beginnt in der Schwallrinne die kontinuierliche Erhöhung der Dotation, bis der Schwallabfluss von 125 l/s erreicht ist. Die Länge dieser sogenannten Anstiegsphase variiert je nach Versuchsansatz. Gleichzeitig bleibt in der Referenzrinne der Sunkabfluss von 25 l/s bestehen. Darauf folgt die Schwallphase, wobei die Schwalldotation von 125 l/s konstant gehalten wird. Danach wird in der Abstiegsphase die Schwalldotation kontinuierlich auf den Sunkabfluss zurückreguliert. Die daran anschließende Phase ist das sogenannte Clearing. Es dient dazu, die restlichen Versuchstiere aus den Rinnen zu entfernen, um für den folgenden Versuch wieder neu besetzen zu können. In weiterer Folge wird in diesem Zusammenhang von „verbliebenen“ Fischen gesprochen.

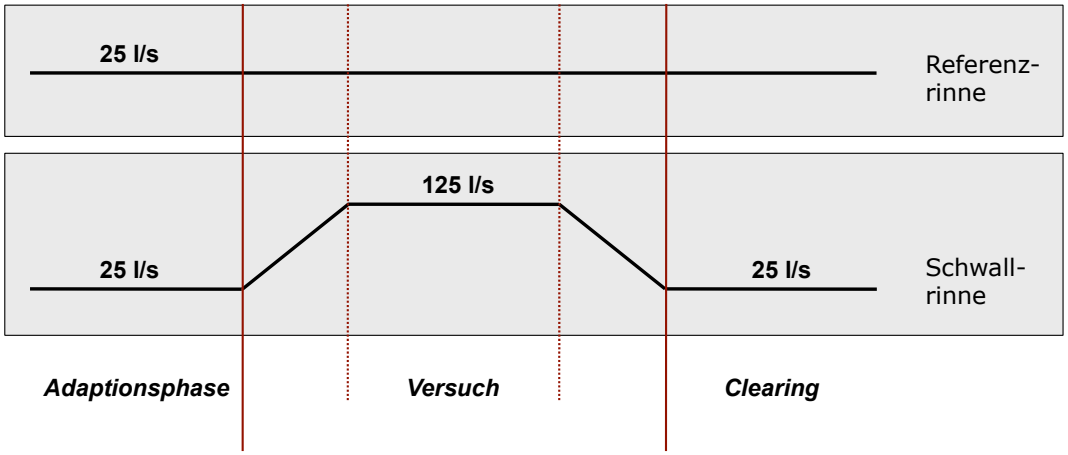

Abbildung 5.3: Versuchsablaufschema der Versuchsanordnungen 1, 3.1, 3.2 und 4

5.2 Genereller Aufbau des zweiten Versuchsdesigns

Versuchsanordnung 2 zielt darauf ab, das Stranden der Versuchsfische direkt zu beobachten. Es wurden nur in einer Rinne Tiere besetzt, ohne eine Referenzsituation in der anderen Rinne zu simulieren. Die Rinne wurde mit einem Schwallabfluss von 125 l/s dotiert, und die Fische während des Schwallabflusses in einem Rahmengitter besetzt. Die Abmessungen des Rahmengitters betrugen 50 x 50 cm. Es wurde in der Nähe des Ufers über einem für die Fische geeigneten Habitat platziert. Der Kasten hatte den Zweck, dass sich die Fische an die Fließgeschwindigkeit und die Umgebung gewöhnen, ohne sofort abgedriftet zu werden. Nach dieser Adaptionsphase wurde der Kasten entfernt und die Fische waren für die Dauer der Schwallphase einer konstanten Schwalldotation von weiterhin 125 l/s ausgesetzt. In der danach folgenden Abstiegsphase wurde die Dotation kontinuierlich auf 25 l/s reduziert. Die Fische mussten daher in der Versuchsanordnung 2 nur einen Habitatwechsel mitmachen, da sie hier der sich ändernden Wasseranschlagslinie nur einmal, und zwar bei rücklaufenden Wasser folgen mussten. Auch dieser Versuchsanordnung wurde ein Clearing nachgeschaltet, um die in der Rinne verbliebenen Fische zu entfernen und erneut besetzen zu können.

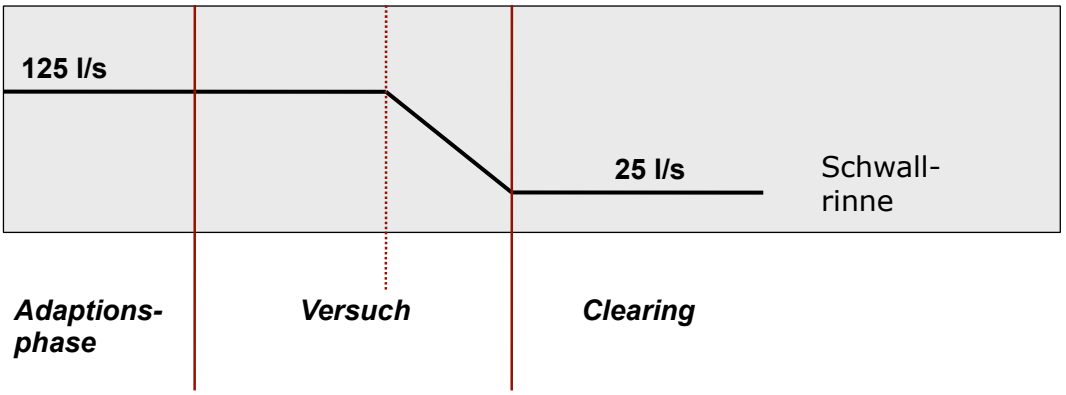

Abbildung 5.4: Versuchsablaufschema der Versuchsanordnung 2

Für die Versuchsanordnung 2 gelten dieselben hydrologischen Charakteristika des Schwalls, wie sie für die Versuchsanordnungen 1, 3.1, 3.2 und 4 bereits beschrieben wurden. Der Unterschied besteht ausschließlich darin, dass der Anstieg wegfällt, da die Fische bei Schwallabfluss besetzt wurden. Die Darstellung der Fließgeschwindigkeitsverteilung (Abbildung 5.2) ist ebenfalls für die Versuchsanordnung gültig, da die Morphologie der Rinnen gleich blieb und dieselben Dotationen eingestellt wurden.

Kapitel 6

Berechnungsmethode

Es gibt im Wesentlichen fünf Kennzahlen, die zur Beschreibung der Versuche herangezogen werden.

R = B – Dad
Die Zahl R (Rest) wird durch die Subtraktion des Besatzes (B) mit der Drift während der Adaptionsphase (Dad) errechnet. Diese Zahl gibt an, wie viele Fische für die Schwallanstiegsphase, den Schwall und die Schwallabstiegsphase noch zu Verfügung gestanden sind.

Dx = Da + Ds + Dab
Die Zahl Dx gibt an, wie viele Fische im Zeitraum zwischen Beginn der Schwallanstiegsphase und Ende der Schwallabstiegsphase gedriftet sind. Sie setzt sich aus einer Addition der Drift während der einzelnen Versuchsphasen zusammen: Drift Anstiegsphase (Da), Drift Schwallphase (Ds) und Drift Abstiegsphase (Dab).

Dx/R
Dieser Wert beschreibt die Drift während des gesamten Schwalls in Relation zur Anzahl an Fischen, die zum Beginnzeitpunkt des Schwallanstiegs noch für den Versuch verfügbar waren.

Sd = R – Dx
Die Variable Sd drückt aus, wie viele Fische nach Ablauf des gesamten Versuchs (inklusive Adaptionsphase) nicht gedriftet sind, und daher noch in der Rinne verblieben sind. Diese Fische können entweder noch im wasserführenden Teil schwimmen, oder während des Versuchs gestrandet sein.

C/R
Die Zahl C (Clearing) umfasst jene Fische, die nach Ablauf des Versuchs mit Hilfe einer geeigneten Methode aus der Rinne entfernt und dann gezählt wurden. Diese Äschen sind in der Zahl Sd als „im wasserführenden Teil schwimmende“ Fische enthalten. Die Zahl C wird in Bezug zur Anzahl der Fische gesetzt, die nach der

Adaptionsphase noch in der Rinne sind und somit für den Versuch zu Verfügung stehen.

Sst = Sd − C
Das Stranden (Sst) konnte nicht direkt erfasst werden, es muss daher aus den gezählten Variablen errechnet werden. Die Variable welche die Strandung ausdrückt, errechnet sich aus den Zahlen Sd und C. Subtrahiert man von der Fischanzahl, die nach Ablauf des Gesamtversuchs noch in der Rinne ist, jene Fische, die sich im wasserführenden Teil aufgehalten haben, so erhält man die Anzahl an gestrandeten Fischen.

Auf Basis dieser Kennzahlen wurden die statistischen Berechnungen mit der Software IBM SPSS Statistics Version 20 durchgeführt. Für eine Charakterisierung der Versuche wurden das arithmetische Mittel und die Standardabweichung, der mittlere Fehler des arithmetischen Mittels, sowie der Median und das erste und dritte Quartil berechnet. Die Teststatistiken wurden aus den Möglichkeiten der nicht-parametrischen Statistik gewählt. Ausschlaggebend dafür war, dass die Anzahl der Fälle niedrig ist. Ist das der Fall, sollten nicht-parametrische Testmethoden herangezogen werden, außer die zugrunde liegende Verteilung der Daten ist genau bekannt. Das trifft hier nicht zu. (vgl. Siegel, 1997) Zusätzlich ist die Streuung der Zahlen meist zu hoch, um einen Test aus der parametrischen Statistik verwenden zu können, da die parametrischen Testpendants Varianzenhomogenität voraussetzen (vgl. Dytham, 2011).
Fragestellungen, bei denen ein Unterschied getestet werden soll, wurden mit dem Mann-Whitney-U-Test für Vergleiche von zwei Stichproben bzw. dem Kruskal-Wallis-Test für Vergleiche von mehreren Stichproben untersucht. Vor diesen Tests wurde immer auch ein Median-Test gerechnet. Dieser Schnelltest wurde für eine erste Orientierung eingesetzt. Das kritische α - Level wurde mit 0,05 festgelegt.
Der Mediantest basiert auf der Annahme, dass die Erwartungswerte der Mediane beider Stichproben gleich seien. Wird diese Nullhypothese angenommen, so bedeutet dies, dass die Hälfte der Messungen unter und die Hälfte der Messungen über dem Erwartungswert des Medians liegen. Der Mediantest hat nur eine sehr geringe Effizienz und soll dann zum Einsatz kommen, wenn keine gesicherte Information über die Verteilungsform und das Messniveau der Daten zu Verfügung steht. (vgl. Bortz et al., 2008)
Der U-Test nach Mann-Whitney ist ein Rangtest. Beide Stichproben werden dabei zusammengefasst und den einzelnen Messwerten werden Rangplätze zugeordnet. Der kleinste Wert erhält dabei den Rang 1. Getestet wird die Nullhypothese, dass sich der durchschnittliche Rang der Messwerte in den beiden Stichproben nicht voneinander unterscheidet. Für die Anwendung des U-Tests nach Mann-Whitney gilt als Voraussetzung, dass beide Populationen die gleiche Verteilungsform besitzen. Wird diese Forderung nicht erfüllt, so darf trotzdem davon ausgegangen werden, dass der Test auf Unterschiede in der zentralen Tendenz reagiert. Weisen jedoch beide Populationen die gleiche Verteilungsform auf, so bietet der U-Test eine hohe Effizienz. (vgl. Bortz et al., 2008)
Der Mehrstichproben-Mediantest wird angewendet, wenn Daten aus mehreren Stichproben miteinander verglichen werden sollen. Es wurde aus den einzelnen Messwerten aller

Stichproben eine gemeinsame Rangreihe erstellt. Danach wird ermittelt, wie viele Messwerte jeder Stichprobe sich unter- bzw. oberhalb des gemeinsamen Medians befinden. Die Nullhypothese lautet dabei, dass die Häufigkeit der Messwerte über- bzw. unter dem Median in jeder der Stichproben die gleiche ist. Der Mehrstichproben-Mediantest weist eine sehr geringe relative Effizienz auf. (vgl. Bortz et al., 2008)
Beim H-Test nach Kruskal-Wallis handelt es sich *„um eine Verallgemeinerung des [...] Rangsummentests (U-Test) von 2 auf k Stichproben“*. (Bortz et al., 2008, 222)

Statistische Tests wurden für die Versuchsanordnungen 1, 2 und 3.1 berechnet. Bei Versuchsanordnung 3.2 und 4 wurde auf die Berechnung von Teststatistiken weitgehend verzichtet, da die Fallzahlen zu niedrig sind, um eine relevante Aussage aufgrund der Berechnungen treffen zu können (vgl. Schönwiese, 2006). Bei zu geringen Fallzahlen wurden die Daten auf Basis deskriptiver Statistiken interpretiert und ausgewertet.

Kapitel 7

Versuchsanordnung 1

7.1 Kurzcharakteristik

Die Kurzcharakteristik (Tabelle 7.1) umfasst die wesentlichen Eckdaten der Versuchsanordnung 1.

Anzahl der besetzten Äschen	500 pro Rinne (100 je Segment)
Schwallrinne / Referenzrinne	ja / ja
Fischalter	Altersgruppe 1: 1 bis 4 Tage nach Emergenz Altersgruppe 2: 5 bis 12 Tage nach Emergenz
Fischlänge	Altersgruppe 1: durchschnittlich 16,6 mm Altersgruppe 2: durchschnittlich 17,2 mm
Zeitlicher Ablauf:	
Adaptionsphase	1 h
Schwallanstieg	14 min
Schwall	30 min
Schwallabstieg	variabel: 1 min, 3 min, 14 min
Dotation:	
Sunk	25 l/s
Schwall	125 l/s

Tabelle 7.1: Kurzcharakteristik der Versuchsanordnung 1

7.2 Details

Die Versuchsreihe 1 wurde im Zeitraum vom 26.04.2012 bis 15.05.2012 durchgeführt. Die Wassertemperatur lag zwischen 8°C und 10°C. Pro Rinne wurden 500 Stück Äschen besetzt, wobei in jedem Segment, d.h. alle 4 Meter, 100 Äschen besetzt wurden. Die in den

Versuchen verwendeten Äschen wurden in die zwei Altersgruppen eingeteilt. Altersgruppe 1 umfasst die Fische im Alter von 1 bis 4 Tage nach der Emergenz. In Altersgruppe 2 sind Fische im Alter von 5 bis 12 Tage nach Emergenz enthalten. Die Dotation in der Referenzrinne wurde bei 25 l/s belassen, die Dotation in der Schwallrinne ausgehend von 25 l/s auf 125 l/s erhöht und danach wieder auf 25 l/s reduziert. Während der Versuchsanordnung 1 waren die Rinnen flussab durch Driftnetzsäcke mit einer Maschenweite von 1 mm abgeschlossen. Diese wurden nach Ablauf der jeweiligen Versuchsphase abgebunden. Nach Beenden des Versuchs wurden die enthaltenen Fische so ausgezählt, dass die Anzahl der Fische je Phase getrennt protokolliert wurde. Mit Fortschreiten der Versuche wurden statt der Driftnetzsäcke, Driftnetze mit einer Maschenweite von 1 mm verwendet. Das war möglich, da sich die Befürchtung nicht bestätigt hatte, dass Fische die auf dem Driftnetz zu liegen kommen, aufgrund des Wasserdrucks des überfallenden Wassers sofort durch das Netz verschwinden. Das Clearing nach den einzelnen Versuchen, erfolgte mittels dreier kurzer schneller Spülstößen von 150 l/s. Die Wahl fiel auf diese Clearingmethode, da die Äschen zu diesem Zeitpunkt noch zu klein für eine effiziente Elektrobefischung waren.

7.3 Versuchsanzahl - Überblick

In der Tabelle 7.2 ist zu sehen, dass insgesamt 21 Versuche innerhalb der Versuchsanordnung 1 ausgewertet wurden.

	Versuchsanzahl			
v – Abstieg (cm/min)	0.6	2.3	3.0	$\sum$ Versuche
1 bis 4 Tage nach Emergenz	4	4	4	12
5 bis 12 Tage nach Emergenz	3	3	3	9
$\sum$ Versuche	7	7	7	21

Tabelle 7.2: Überblick der Versuchsanzahl für die Versuchsanordnung 1

Mit Fischen der Altersklasse 1 (1 bis 4 Tage nach Emergenz) waren es insgesamt 12 Versuche, wobei je Abstiegsgeschwindigkeit 4 Wiederholungen durchgeführt wurden. In der Altersklasse 2 (5 bis 12 Tage nach Emergenz) waren es insgesamt 9 Versuche, mit je 3 Wiederholungen pro Abstiegsgeschwindigkeit.

7.4 Ergebnisse und Interpretationen

Die Ergebnisse werden nach den einzelnen Frageblöcken, die im Kapitel 2 angeführt sind, geordnet dargestellt. Zu Beginn werden die Ergebnisse der statistischen Auswertungen dargestellt und beschrieben. Am Ende jedes Blocks werden die Ergebnisse interpretiert.

7.4.1 Verbliebene - Ergebnis

Die verwendete Datengrundlage sind die 21 Clearingwerte relativ zur Anzahl der für den Versuch in der Rinne zu Verfügung stehenden Fische (C/R).

statistische Kennzahlen und Tests

Die statistischen Kennzahlen, berechnet aus den relativen Clearingwerten (C/R) getrennt nach Schwall- bzw. Referenzbedingung, sind in der Tabelle 7.3 aufgelistet.

	Schwallrinne	Referenzrinne
n	21	21
arithm. Mittelwert	0,16	0,68
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,026	0,044
Standardabweichung	0,117	0,202
Median	0,12	0,70
Quartil $_{25}$	0,82	0,55
Quartil $_{75}$	0,21	0,88

Tabelle 7.3: Clearingkennzahlen, Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

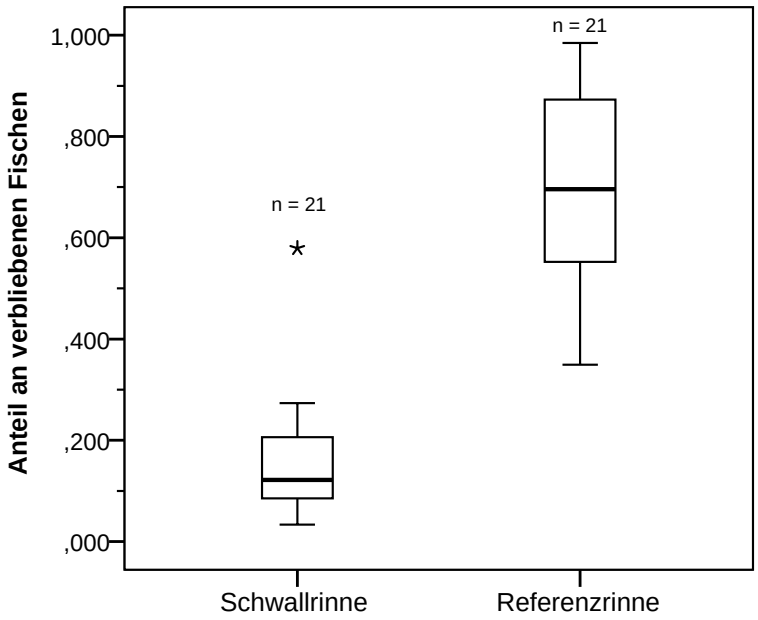

Abbildung 7.1: Anteil jener Äschen, die nach dem Versuch in den Rinnen verblieben sind, Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne

Bereits aus diesen Kennwerten (Tabelle 7.3) und der graphischen Umsetzung in vergleichenden Boxplots (Abbildung 7.1) lässt sich erkennen, dass es einen wesentlichen Unterschied zwischen Schwall- und Referenzbedingung gibt, betrachtet man die relative Zahl der in der Rinne verbliebenen Fische. Weiters ist zu sehen, dass die relativen Clearingwerte der Referenzrinne stärker streuen, als jene der Schwallrinne. Ein Mediantest und ein nicht-parametrischer Vergleich der beiden Stichproben mittels U-Test nach Mann-Whitney zeigen beide eine Irrtumswahrscheinlichkeit p = 0,000. Das heißt, es gibt einen höchst signifikanten Unterschied zwischen der Anzahl der verbliebenen Fische in der Referenz- und jener in der Schwallrinne.
Die oben dargestellten Ergebnisse trennen nicht zwischen den beiden Altersgruppen. Interessant ist natürlich auch, diesen Unterschied zu analysieren. Zuerst werden wieder die statistischen Eckdaten aufgelistet (Tabelle 7.4). Die Werte basieren auf den 21 Clearingwerten (C/R) der Schwallrinne.

	1 bis 4 Tage	5 bis 12 Tage
n	12	9
arithm. Mittelwert	0,16	0,17
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,042	0,024
Standardabweichung	0,146	0,071
Median	0,11	0,15
Quartil $_{25}$	0,07	0,11
Quartil $_{75}$	0,20	0,24

Tabelle 7.4: Clearingkennzahlen, Vergleich der beiden Altersklassen

Auf den ersten Blick ist zu erkennen, dass sich die beiden Altersklassen nicht wesentlich voneinander unterscheiden (siehe Tabelle 7.4 und Abbildung 7.2). Das bestätigen auch beide statistischen Tests. Der Mann-Whitney-U-Test zeigt keinen signifikanten Unterschied der relativen Clearingwerte (C/R) in der Schwallrinne zwischen den beiden Altersgruppen (p = 0,345). Das Ergebnis des Median-Tests ist ebenfalls nicht signifikant (p = 0,670).

7.4.2 Verbliebene - Interpretation

Das Analyseergebnis der relativen Clearingwerte (C/R) zeigt einen sehr deutlichen Unterschied für die Fische, je nachdem, ob sie in der Referenz- oder Schwallrinne besetzt wurden. Das bedeutet, Schwall hat eine Auswirkung auf das Verbleiben von Fischen in der Rinne, denn in der Schwallrinne sind nachweisbar weniger Fische verblieben als in der Referenzrinne. Der Vergleich der beiden Altersgruppen in der Schwallrinne ergibt, dass sowohl die 1 bis 4 Tage alten, als auch die 5 bis 12 Tage alten Äschen, gleich gut beziehungsweise gleich schlecht mit der Schwalldotation zurechtkommen.

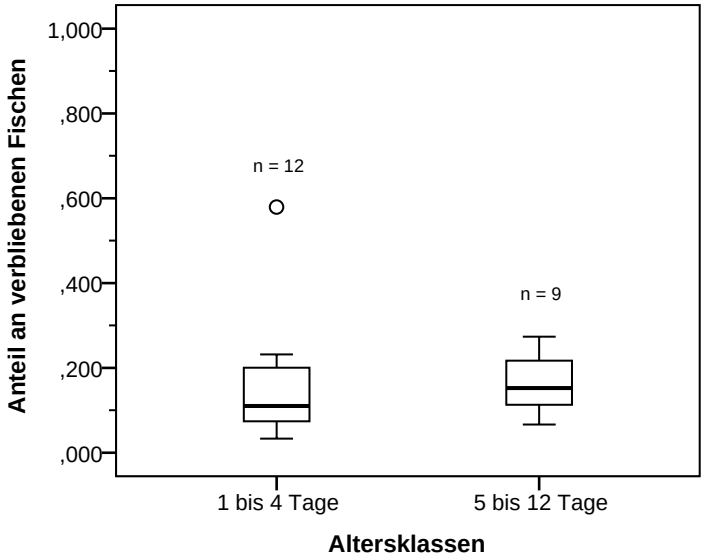

Abbildung 7.2: Anteil jener Äschen, die nach dem Versuch in der Schwallrinne verblieben sind, Vergleich zwischen Altersklasse 1 und Altersklasse 2

7.4.3 Drift - Ergebnis

Die Ergebnisse zum Themenblock Drift, umfassen einerseits die aktive Drift während der Adaptionsphase und während des Schwallphase in der Referenzrinne und andererseits die passive Drift während der Schwallanstiegs-, Schwall- und Schwallabstiegsphase in der Schwallrinne.

statistische Kennzahlen und Tests

Die aktive Drift während der Adaptionsphase (Dad/B) in der Schwall- und Referenzrinne lässt sich durch folgende Kennwerte (Tabelle 7.5) charakterisieren:

	Schwallrinne	Referenzrinne
n	21	21
arithm. Mittelwert	0,52	0,51
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,042	0,042
Standardabweichung	0,191	0,194
Median	0,60	0,51
Quartil $_{25}$	0,34	0,33
Quartil $_{75}$	0,69	0,67

Tabelle 7.5: Kennzahlen der Drift in der Adaptionsphase, Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

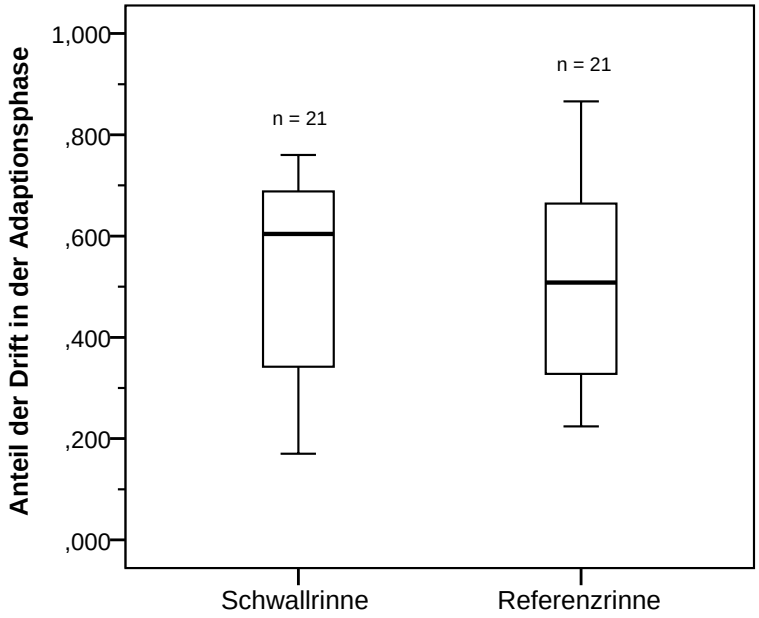

Abbildung 7.3: Anteil jener Äschen, die während der Adaptionsphase aus den Rinnen gedriftet sind, Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne

Die Boxplots (Abbildung 7.3) zeigen keinen Unterschied in der Drift während der Adaptionsphase. Weiters ist zu sehen, dass die Drift in dieser Phase in beiden Rinnen stark streut und im Mittel auf einem hohen Niveau liegt. Der Mann-Whitney-U-Test zeigt, dass es keinen signifikanten Unterschied (p = 0,725) zwischen Schwallbedingungen und Referenzbedingungen bezogen auf die Drift während der Adaptionsphase gibt. Dasselbe Ergebnis liefert der Median-Test (p = 1,000). Dieses Ergebnis ist aufgrund des Versuchsaufbaus zu erwarten, da sich in dieser Phase des Versuchsablaufs die Bedingungen in den beiden Rinnen noch nicht voneinander unterscheiden.
Die Graphik 7.4 bietet eine Übersicht über das Ausmaß der Drift während der Adaptionsphase und der einzelnen Schwallphasen als Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne. Es handelt sich um eine prozentuelle Darstellung der arithmetischen Mittelwerte über alle 21 Versuche. Es ist zu sehen, dass im Mittel in der Adaptionsphase bereits in etwa die Hälfte der besetzten Fische aus den Rinnen gedrift sind, und zwar aus beiden Rinnen gleichermaßen. Das bedeutet, dass für den eigentlichen Versuch im Mittel nur noch 50 Prozent der Äschen (250 Stück) zu Verfügung standen. Für die Versuchsphasen „Anstieg“, „Schwall“ beziehungsweise „Abstieg“ zeigt das Diagramm einen deutlichen Unterschied der Drift zwischen Schwallrinne und Referenzrinne.
Dieser Unterschied wird in der Tabelle 7.6 mit Hilfe statistischer Kennzahlen ausgedrückt und in Abbildung 7.5 als Boxplot dargestellt.

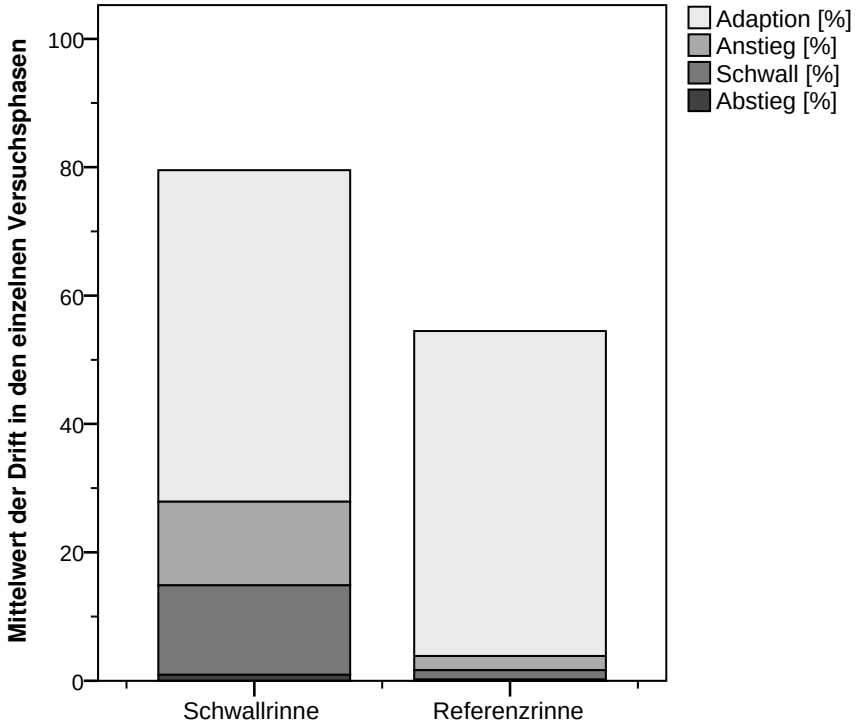

Abbildung 7.4: Darstellung der Drift in Prozent getrennt nach den einzelnen Versuchsphasen, arithmetische Mittelwerte über alle 21 Versuche

Die Kennzahlen, ermittelt für die Summe der Drift während Anstieg, Abstieg und Schwall (Dx/R), ergeben:

	Schwallrinne	Referenzrinne
n	21	21
arithm. Mittelwert	0,57	0,10
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,039	0,022
Standardabweichung	0,178	0,100
Median	0,59	0,06
Quartil $_{25}$	0,48	0,02
Quartil $_{75}$	0,67	0,14

Tabelle 7.6: Kennzahlen der Drift während Schwall, Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

An den Boxplots (Abbildung 7.5) ist zu sehen, dass sich auch die Drift während des Schwalls (Dx/R) deutlich zwischen den beiden Rinnen unterscheidet. Die Drift in der Schwallrinne ist höher als jene in der Referenzrinne. Beide dazu durchgeführten Tests

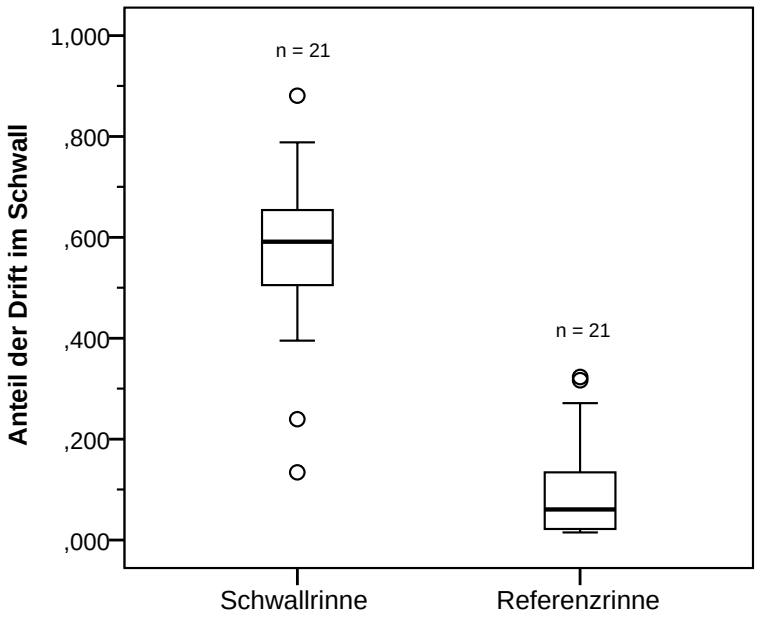

Abbildung 7.5: Anteil jener Äschen, die während des Schwalls aus den Rinnen gedriftet sind, Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne

bestätigen diesen Eindruck. Sowohl der Mann-Whitney-U-Test als auch der Median-Test erkennen einen höchst signifikanten Unterschied der Drift zwischen der Schwall- und der Referenzrinne (p = 0,000). Damit zeigt sich, dass der simulierte Schwallabfluss Auswirkungen auf das Ausmaß der Larvendrift hat.

In der folgenden Tabelle (Tabelle 7.7) wurden die Driftzahlen während Anstieg, Schwall und Abstieg in der Schwallrinne, bezogen auf die Abstiegsgeschwindigkeit, ausgewertet.

	0.6 cm/min	2.3 cm/min	3.0 cm/min
n	7	7	7
arithm. Mittelwert	0,53	0,60	0,57
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,095	0,047	0,060
Standardabweichung	0,250	0,125	0,159
Median	0,64	0,61	0,51
Quartil $_{25}$	0,24	0,51	0,45
Quartil $_{75}$	0,75	0,68	0,65

Tabelle 7.7: Kennzahlen der Drift während Schwall, Vergleich zwischen den Abstiegsgeschwindigkeiten

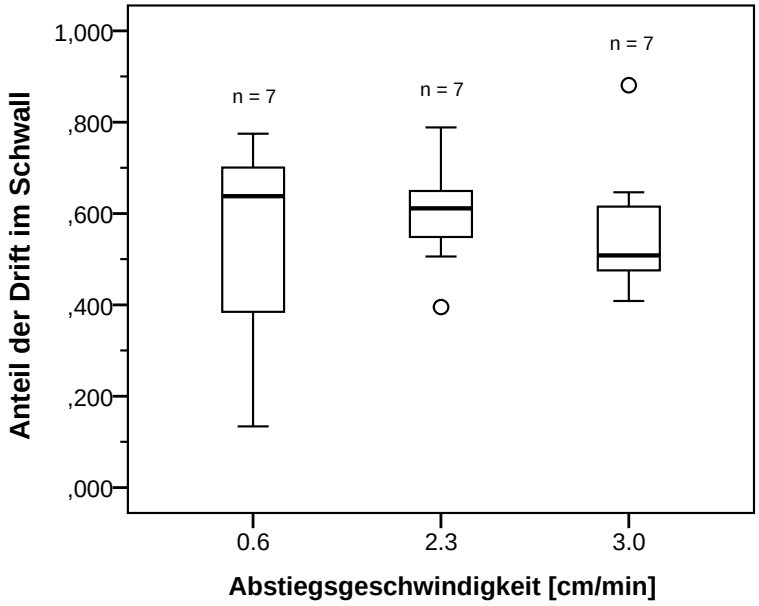

Abbildung 7.6: Anteil jener Äschen, die während des Schwalls bei unterschiedlichen Abstiegsgeschwindigkeiten aus den Rinnen gedriftet sind, Vergleich zwischen den Abstiegsgeschwindigkeiten 0,6 cm/min, 2,3 cm/min und 3,0 cm/min

Es soll herausgefunden werden, ob sich die Drift während Anstieg, Schwall und Abstieg insgesamt (Dx/R), bei den verschiedenen Abstiegsgeschwindigkeiten statistisch signifikant voneinander unterscheiden. Zu diesem Zweck wird ein Kruskal-Wallis-, sowie ein Median-Test durchgeführt. Das Ergebnis zeigt keinen signifikanten Unterschied der Driftzahlen bezogen auf die Abstiegsgeschwindigkeit (Kruskal-Wallis-Test: p = 0,825, Mediantest: p = 0,466).
Hinsichtlich der Drift lässt sich auch analysieren, ob es merkbare Unterschiede zwischen den beiden Altersgruppen gibt. Es werden wieder statistische Kennzahlen (Tabelle 7.8) und die graphische Darstellung in Form von Boxplots (Abbildung 7.7) gezeigt. Die Zahlen wurden aus der relativen Drift während Anstieg, Schwall und Abstieg (Dx/R) berechnet.

	1 bis 4 Tage Referenzrinne	1 bis 4 Tage Schwallrinne	5 bis 12 Tage Referenzrinne	5 bis 12 Tage Schwallrinne
n	12	12	9	9
arithm. Mittelwert	0,11	0,49	0,08	0,66
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,030	0,051	0,033	0,046
Standardabweichung	0,103	0,180	0,099	0,138
Median	0,08	0,51	0,03	0,64
Quartil $_{25}$	0,02	0,41	0,02	0,60
Quartil $_{75}$	0,18	0,63	0,11	0,78

Tabelle 7.8: Kennzahlen der Drift während Schwall, Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne, sowie zwischen den beiden Altersklassen

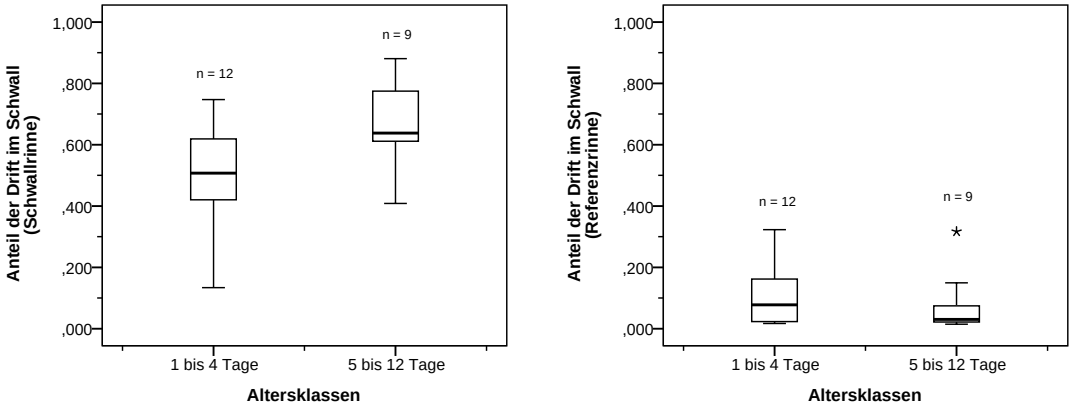

Abbildung 7.7: Anteil jener Äschen, die während des Schwalls aus den Rinnen gedriftet sind, Vergleich zwischen Altersklasse 1 und Altersklasse 2, Abbildung links zeigt die Schwallrinne; Abbildung rechts die Referenzrinne

Es wurde ein Mann-Whitney-U-Test und ein Median-Test durchgeführt um herauszufinden, ob sich die beiden Altersgruppen der Schwallrinne statistisch voneinander unterscheiden. Das Ergebnis zeigt, das dies der Fall ist (Mann-Whitney-U-Test: p = 0,034 / Median-Test: p = 0,030). Dieselben Tests wurden auch für die beiden Altersgruppen der Referenzrinne durchgeführt. Hier ist kein statistischer Unterschied zu bemerken (Mann-Whitney-U-Test: p = 0,422 / Median-Test: p = 1,000).
Schlussendlich wurde ein Mann-Whitney-U-Test und ein Median-Test gerechnet um zu überprüfen, ob sich die Schwallbedingungen von den Referenzbedingungen unterscheiden. Für die Berechnung wurde nach Altersgruppe getrennt. In der Altersgruppe 1 bis 4 Tage ist der Unterschied zwischen Schwall- und Referenzrinne höchst signifikant (Mann-

Whitney-U-Test: p = 0,000 / Median-Test: p = 0,003). Dasselbe Ergebnis ist für die Altersgruppe 5 bis 12 Tage zu verzeichnen (Mann-Whitney-U-Test: p = 0,000 / Median-Test: p = 0,000).

7.4.4 Drift - Interpretation

Es ist nicht verwunderlich, dass es keinen Unterschied zwischen der Drift in der Adaptionsphase (Dad/B) der Referenz- und der Schwallrinne gibt, da in dieser Phase die Bedingungen in beiden Rinnen noch gleich sind. Auffallend ist, dass die Anzahl der Fische, die in der Adaptionsphase aktiv aus den Rinnen gedriftet sind, unerwartet hoch war. Während der folgenden Schwallphasen (Anstieg, Schwall, Abstieg) zeigt das Ergebnis einen deutlichen Unterschied zwischen Schwall- und Referenzrinne. Den Äschen, die sich nach der Adaptionsphase noch in der Referenzrinne befinden, ist es leichter möglich ihre Abdrift zu verhindern, als jenen in der Schwallrinne. Aus der Analyse der drei verschiedenen Abstiegsgeschwindigkeiten lässt sich kein Unterschied in der Auswirkung auf die Drift der Fische ableiten. Hinsichtlich des Einflusses der beiden Altersklassen lässt sich aus der Versuchsanordnung kein schlüssiges Ergebnis ableiten. Die Altersklassen der Schwallrinne unterscheiden sich statistisch voneinander, jene der Referenzrinne jedoch nicht. Dabei ist hinzuzufügen, dass die Streuung der Driftwerte in der Schwallrinne bei beiden Altersklassen sehr hoch ist und die Aussagekraft dadurch geringer ist.

7.4.5 Strandung - Ergebnis

Im Themenblock Strandung wird mit berechneten Werten gearbeitet und nicht wie bei der Drift und den Verbliebenen mit durch Zählung erhobenen Werten. Die Berechnungsmethode wird im Kapitel 6 erläutert.

statistische Kennzahlen und Tests

Die statistischen Kennzahlen für alle 21 Strandungswerte (Sst/R) getrennt in Schwall- und Referenzrinne sind in der Tabelle 7.9 aufgelistet und in der Boxplotdarstellung (Abbildung 7.8) zu sehen.

	Schwallrinne	Referenzrinne
n	21	21
arithm. Mittelwert	0,27	0,22
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,035	0,032
Standardabweichung	0,161	0,148
Median	0,24	0,21
Quartil $_{25}$	0,13	0,08
Quartil $_{75}$	0,40	0,34

Tabelle 7.9: Strandungskennzahlen, Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

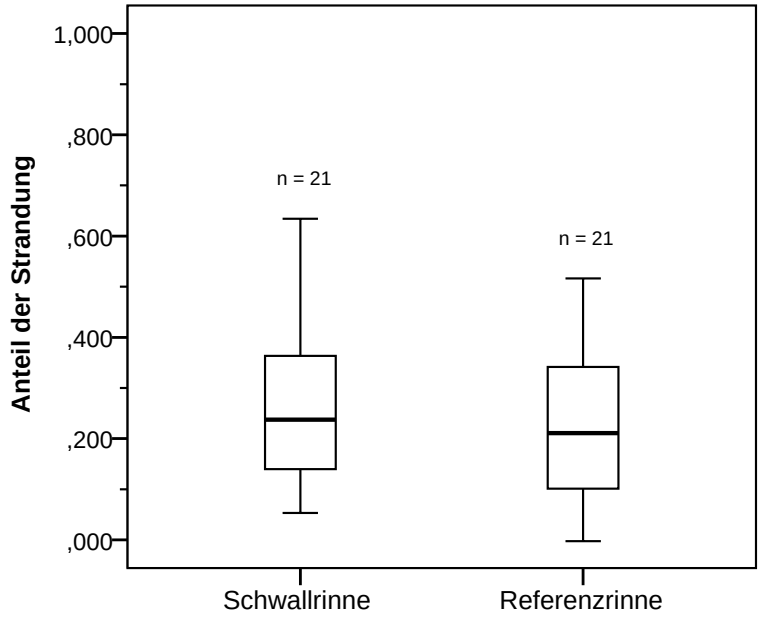

Abbildung 7.8: Anteil jener Äschen, die während des Versuchs gestrandet sind, Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne

Die statistischen Tests ergeben folgende Werte: Mann-Whitney-U-Test: p = 0,385 / Median-Test: p = 1,000. Das heißt, es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen der Referenz- und der Schwallrinne, bezogen auf die Strandung der Fische.
Je Abstiegsgeschwindigkeit wurden sieben Versuche durchgeführt. Unterteilt in diese unterschiedlichen Abstiegsgeschwindigkeiten, ergibt sich das folgende Bild:

	0.6 cm/min	2.3 cm/min	3.0 cm/min
n	7	7	7
arithm. Mittelwert	0,25	0,26	0,31
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,073	0,056	0,059
Standardabweichung	0,193	0,147	0,156
Median	0,18	0,27	0,34
Quartil $_{25}$	0,12	0,12	0,21
Quartil $_{75}$	0,36	0,34	0,46

Tabelle 7.10: Strandungskennzahlen, Vergleich zwischen den Abstiegsgeschwindigkeiten

Mittels Kruskal-Wallis-Test bzw. Median-Test soll nun herausgefunden werden, ob es einen statistisch belegbaren Unterschied zwischen den einzelnen Abstiegsgeschwindigkeiten in Bezug auf das Stranden der Fische gibt. Keiner der beiden Tests zeigt einen

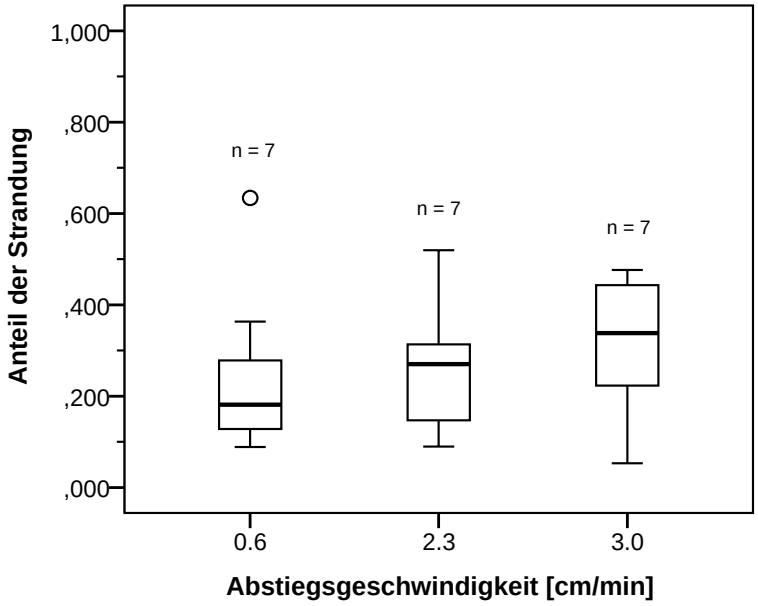

Abbildung 7.9: Anteil jener Äschen, die während des Versuchs gestrandet sind, Vergleich zwischen den Abstiegsgeschwindigkeiten 0,6 cm/min, 2,3 cm/min und 3,0 cm/min

Unterschied zwischen den einzelnen Abstiegsgeschwindigkeiten (Kruskal-Wallis-Test: p = 0,580 / Median-Test: p = 0,466).
Weiters soll die Statistik angewendet werden, um einen Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen zu identifizieren. Die Kennzahlen der Altersgruppen lauten:

	1 bis 4 Tage Referenzrinne	1 bis 4 Tage Schwallrinne	5 bis 12 Tage Referenzrinne	5 bis 12 Tage Schwallrinne
n	12	12	9	9
arithm. Mittelwert	0,27	0,35	0,16	0,17
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,040	0,047	0,048	0,032
Standardabweichung	0,137	0,163	0,143	0,095
Median	0,28	0,35	0,13	0,17
Quartil $_{25}$	0,20	0,19	0,04	0,09
Quartil $_{75}$	0,36	0,47	0,28	0,25

Tabelle 7.11: Strandungskennzahlen, Vergleich zwischen den beiden Altersklassen

Die Tests auf Unterschied zwischen den Altersklassen in der Schwallrinne ergeben einmal einen signifikanten Unterschied (Mann-Whitney-U-Test: p = 0,009), der Median-

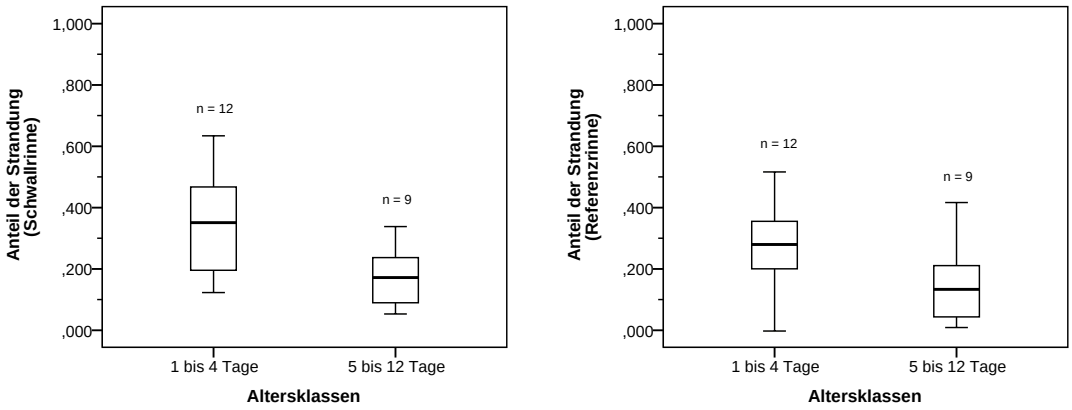

Abbildung 7.10: Anteil jener Äschen, die während des Versuchs gestrandet sind, Vergleich zwischen Altersklasse 1 und Altersklasse 2, Abbildung links zeigt die Schwallrinne; Abbildung rechts die Referenzrinne

Test zeigt allerdings keinen Unterschied der relativen Strandungswerte (Median-Test: p = 0,080). Da der Mann-Whitney-U-Test effizienter ist als der Median-Test, der nur als Schnelltest eingesetzt wurde, sollte eher das Ergebnis des Mann-Whitney-U-Tests für die Interpretation der Daten herangezogen werden. Weiters ist auch an der graphischen Darstellung (Abbildung 7.10) die Tendenz abzulesen, dass die Äschen der jüngeren Altersklasse in der Schwallrinne eher stranden als die älteren Fische. In Bezug auf die Strandungsraten der Referenzrinne zeigen beide Tests, dass es keinen Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen gibt (Mann-Whitney-U-Test: p = 0,111 / Median-Test: p = 0,080). Gleichzeitig ist weder innerhalb der Altersgruppe 1 (1 bis 4 Tage), noch innerhalb der Altersgruppe 2 (5 bis 12 Tage) ein Unterschied zwischen Referenz- und Schwallbedingung zu erkennen (Altersgruppe 1: Mann-Whitney-U-Test: p = 0,291 / Median-Test: p = 0,684; Altersgruppe 2: Mann-Whitney-U-Test: p = 0,546 / Median-Test: p = 1,000).

7.4.6 Strandung - Interpretation

Die Strandungszahlen konnten, wie bereits erwähnt, nur rechnerisch erfasst werden. Laut Berechnung liegt der Anteil der Strandung in der Schwallrinne bei einem arithmetischen Mittelwert von nahezu 30 Prozent. Gleichzeitig liegt der arithmetische Mittelwert der Strandung in der Referenzrinne bei 20 Prozent. Das Ergebnis verwundert, da es in der Referenzrinne aufgrund des Versuchsaufbaus keine Strandung geben sollte. Eine mögliche Erklärung liegt in der Clearingmethode, die verwendet wurde, um die Fische nach dem Versuch aus der Rinne zu entfernen. Bei den kleinsten Larven ist noch keine Elektrobefischung möglich, daher wurden die Fische mit einem Spülstoß aus der Rinne geschwemmt. Beim Rückgang dieser Abflusserhöhung, kann es auch in der Referenzrinne zum Stranden einzelner Individuen gekommen sein. Das erklärt allerdings nicht den hohen Wert von 20 Prozent Strandung. Im Laufe der Versuchsdurchführung hat sich herausgestellt,

dass es bei Äschen dieses Altersstadiums, unter den gegebenen morphologischen Rahmenbedingungen und mit den anfangs verwendeten Driftnetzsäcken, nicht möglich war, alle Individuen wieder aufzufinden. Zu beachten ist weiters der enorm hohe Streuungsbereich der Daten in beiden Rinnen, was die Aussagekraft der Ergebnisse hinsichtlich der Strandung stark einschränkt. Es sollte daher bei der Versuchsanordnung 1 nicht von „gestrandeten", sondern eher von „fehlenden" Fischen gesprochen werden. Die angesprochenen Schwierigkeiten gelten allerdings für beide Rinnen gleichermaßen, daher haben die getätigten Aussagen zu den in der Rinne verbliebenen Fischen und der Drift der Äschen nach wie vor Gültigkeit.

Kapitel 8

Versuchsanordnung 2

8.1 Kurzcharakteristik

Die Tabelle 8.1 bietet einen kurzen Überblick über wesentliche Merkmale der Versuchsanordnung 2.

Anzahl der besetzten Äschen	100, in Segment 4
Schwallrinne / Referenzrinne	ja / nein
Fischalter	Altersgruppe 1: 1 bis 4 Tage nach Emergenz Altersgruppe 2: 5 bis 12 Tage nach Emergenz
Fischlänge	Altersgruppe 1: durchschnittlich 16,6 mm Altersgruppe 2: durchschnittlich 17,2 mm
Zeitlicher Ablauf:	
Adaptionsphase	20 min in Rahmengitter bei Schwallabfluss
Schwallanstieg	—
Schwall	20 min
Schwallabstieg	variabel: 1 min, 7 min, 14 min, 35 min
Dotation:	
Sunk	25 l/s
Schwall	125 l/s

Tabelle 8.1: Kurzcharakteristik der Versuchsanordnung 2

8.2 Details

Die Versuchsreihe 2 fand zwischen 16.05.2012 und 15.06.2012 statt. Die Wassertemperatur lag zwischen 9°C und 10°C. Die Versuchsreihe 2 weicht als einzige im Aufbau von den anderen Versuchsreihen ab. Ziel dieser Versuchsanordnung war, das Stranden

von Fischen direkt zu beobachten und zu quantifizieren, um so die errechneten Strandungszahlen aus den anderen Versuchsreihen auf Plausibilität prüfen zu können. Für diese Versuchsanordnung wurde nur das Segment 4 einer Rinne genutzt, da ein größerer Abschnitt nur von mehr als der tatsächlich mitarbeitenden Anzahl an Personen hätte beobachtet werden können. Die drei bis vier beobachtenden Personen nahmen hinter einer Sichttafel Platz, um die Fische in der Rinne nicht in ihrem Verhalten zu beeinflussen. Die Versuchsfische wurden in Segment 4 eingesetzt, hatten allerdings die Möglichkeit auch die restliche unbeobachtete Rinne zu nutzen, da das Segment nicht eigens abgesperrt wurde. Strandungsereignisse wurden jedoch nur innerhalb des beobachteten Segments registriert. Der Besatz der Äschen erfolgte in einem 50 x 50 cm großen Rahmengitter, während einer Schwalldotation von 125 l/s. Das Rahmengitter wurde nahe der Uferlinie platziert, wo sich das Habitat befindet, in dem sich Äschen dieses Altersstadiums aufhalten. Nach einer 20 Minuten langen Adaptionsphase innerhalb des Gitters wurde die Absperrung entfernt. Die darauf folgende Schwallphase, für die die Dotation weiterhin auf 125 l/s konstant gehalten wurde, dauerte ebenfalls 20 Minuten. In dieser Phase standen die Fische, welche sich im Segment 4 aufhielten, unter Beobachtung und wurden am Ende der zwanzigminütigen Schwallphase gezählt. Die beobachtenden Personen behielten die Fische ihres Untersegments im Laufe der anschließenden Sunkphase im Auge. In dieser Phase wurde die Dotation von Schwallabfluss 125 l/s kontinuierlich auf einen Sunkabfluss von 25 l/s reduziert. Die Anzahl der gestrandeten Fische wurde notiert. Weiters wurde während des gesamten Versuchs die Drift erfasst.

8.3 Versuchsanzahl - Überblick

In Tabelle 8.2 ist zu sehen wie viele Versuche je Altersklasse bzw. je Abstiegsgeschwindigkeit durchgeführt wurden.

	Versuchsanzahl			
v – Abstieg (cm/min)	0.2	0.6	3.0	$\sum$ Versuche
1 bis 4 Tage nach Emergenz	5	4	5	14
5 bis 8 Tage nach Emergenz	6	3	3	12
$\sum$ Versuche	11	7	8	26

Tabelle 8.2: Überblick der Versuchsanzahl für die Versuchsanordnung 2

8.4 Berechnungen

Diese Versuchsanordnung weicht von den anderen Versuchsanordnungen ab, und wird daher auch rechnerisch anders behandelt. Es gibt im Wesentlichen zwei Kennzahlen welche die Versuchsreihe mathematisch beschreiben.

1. **Strandung / Sichtung**
   Diese Kennzahl wird berechnet, indem alle in den einzelnen Untersegmenten gesichteten Strandungen summiert werden. Weiters werden die Sichtungen in den einzelnen Untersegmenten summiert. Dabei beschreibt „Sichtung“ die Anzahl an Fischen, die sich zum Zeitpunkt des Beginns der Abstiegsphase im Untersegment aufhalten und beobachtet werden können. Die eigentliche Kennzahl berechnet sich schlussendlich aus der Division der beobachteten Strandung durch die Sichtung.

2. **Strandung / Sichtung in Prozent**
   Die Basis für diese Kennzahl ist der „Strandung / Sichtung“ - Wert. Aus diesem Wert wird die Prozentzahl folgendermaßen ermittelt:
   Strandung / Sichtung in Prozent = Strandung * 100 / Sichtung

8.5 Ergebnisse

Die folgenden statistischen Kennzahlen enthalten 26 Versuche.

	Strandung/Sichtung	Strandung/Sichtung [%]
n	26	26
arithm. Mittelwert	0,37	36,85
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,073	7,266
Standardabweichung	0,370	37,049
Median	0,29	29,22
Quartil $_{25}$	0,00	0,00
Quartil $_{75}$	0,68	67,60

Tabelle 8.3: Strandungskennzahlen der Versuchsanordnung 2

Gliedert man die statistischen Kennwerte für die „Strandung/Sichtung“ nach Abstieg zeigt sich folgendes Bild:

	0.2 cm/min	0.6 cm/min	3.0 cm/min
n	11	7	8
arithm. Mittelwert	0,10	0,25	0,83
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,062	0,077	0,056
Standardabweichung	0,206	0,203	0,158
Median	0,00	0,23	0,92
Quartil $_{25}$	0,00	0,06	0,68
Quartil $_{75}$	0,08	0,50	0,94

Tabelle 8.4: Strandungskennzahlen, Vergleich der Abstiegsgeschwindigkeiten

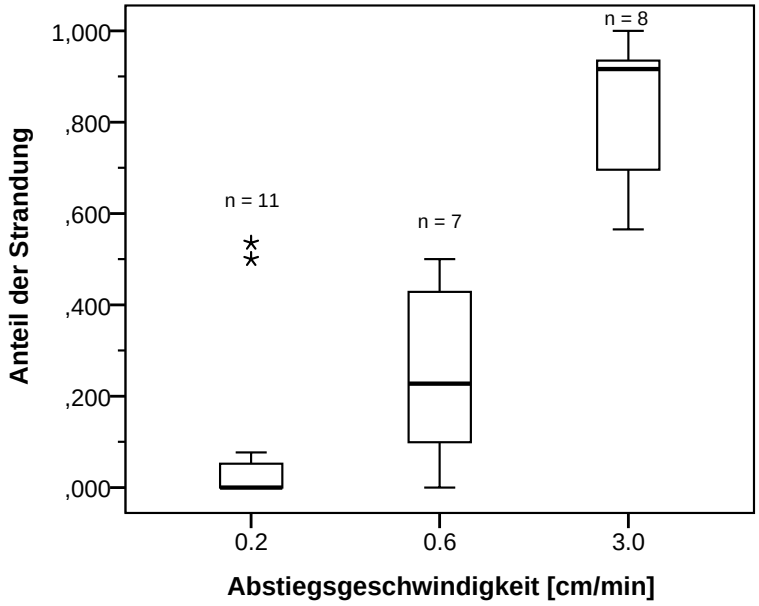

Abbildung 8.1: Anteil der im Segment gestrandeten Äschen an der Gesamtzahl der im Segment beobachteten Äschen, Vergleich zwischen den Abstiegsgeschwindigkeiten 0,2 cm/min, 0,6 cm/min und 3,0 cm/min

Der auf Basis der „Strandung/Sichtung"-Werte durchgeführte Kruskal-Wallis- und der Median-Test zeigen, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen der Reaktion der Fische bei unterschiedlichen Abstiegsgeschwindigkeiten gibt (Kruskal-Wallis-Test: p = 0,000/Median: p = 0,002). Das ist auch in der Boxplotdarstellung (Abbildung 8.1) gut zu erkennen.
In der folgenden Tabelle 8.5 ist eine Gliederung der Kennzahlen für die „Strandung/Sichtung" Werte nach Altersgruppe zu sehen.

	1 bis 4 Tage	5 bis 12 Tage
n	14	12
arithm. Mittelwert	0,33	0,42
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,106	0,100
Standardabweichung	0,397	0,348
Median	0,11	0,50
Quartil $_{25}$	0,00	0,01
Quartil $_{75}$	0,72	0,69

Tabelle 8.5: Strandungskennzahlen, Vergleich der beiden Altersklassen

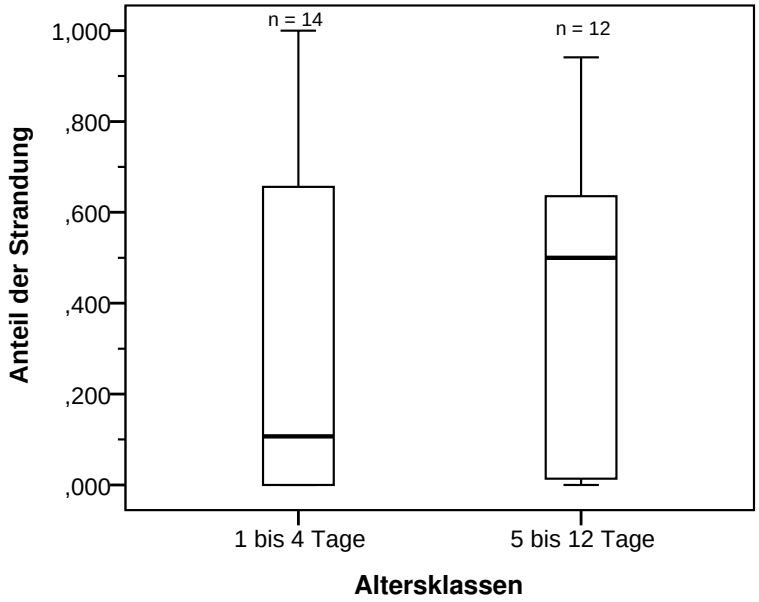

Abbildung 8.2: Anteil der im Segment gestrandeten Äschen an der Gesamtzahl der im Segment beobachteten Äschen, Vergleich zwischen Altersklasse 1 und Altersklasse 2

An den Zahlen und den zugehörigen Boxplots (Abbildung 8.2) ist zu sehen, dass die Werte enorm streuen und kein nennenswerter Unterschied zwischen den beiden Altersklassen zu erkennen ist. Es wurde auch hier mittels Mann-Whitney-U-Test und Median-Test geprüft, ob sich die „Strandung/Sichtung“ Zahlen der beiden Altersgruppen voneinander unterscheiden. Beide statistischen Test finden keinen signifikanten Einfluss der Altersgruppe auf die „Strandung/Sichtung“- Werte (Mann-Whitney-U-Test: $p = 0{,}667$ / Median-Test: $p = 0{,}238$).

8.6 Interpretation

Es ist festzuhalten, dass diese Versuchsanordnung, die ausschließlich auf den Nachweis der Strandung von Fischlarven durch Beobachtung abzielt, eindeutig zeigt, dass es zu Strandung von Äschen kommt. Die Ergebnisse der Versuchsanordnung 2 hinsichtlich der Strandung von Fischen bei den verschiedenen Abstiegsgeschwindigkeiten, deuten zudem auf eine gegenteilige Aussage als jene der Versuchsanordnung 1 hin. In Versuchsanordnung 1 war kein Unterschied zwischen den einzelnen Abstiegsgeschwindigkeiten zu bemerken, bei Versuchsanordnung 2 sehr wohl. Das Ergebnis der Altersklassenanalyse stimmt jedoch überein. In Versuchsanordnung 1 konnte lediglich in der Schwallrinne mit einer der beiden Testmethoden ein signifikanter Strandungsunterschied zwischen den Altersgruppen festgestellt werden, wobei auch dort eine Streuung der Werte zu bemerken war. Im Vergleich der beiden Versuchsansätze ist den Ergebnissen der Versuchsanordnung 2 mehr

zu trauen, als jenen der Versuchsanordnung 1. Grund dafür ist, dass die direkte Beobachtung des Geschehens in Versuchsanordnung 2 in diesem Fall die bessere Methode ist, da es sich als fast unmöglich herausgestellt hatte, bei Fischen dieser Körpergröße mit den zur Verfügung stehenden Methoden und Rahmenbedingungen die Anzahl der verbliebenen Fische lückenlos zu erfassen.

Kapitel 9

Versuchsanordnung 3.1

9.1 Kurzcharakteristik

Die Tabelle 9.1 zeigt einen kurzen Abriss des Ablaufs der Versuchsanordnung 3.1.

Anzahl der besetzten Äschen	100, in Segment 4
Schwallrinne / Referenzrinne	ja / ja
Fischalter	Altersgruppe 2: 5 bis 12 Tage nach Emergenz
Fischlänge	Altersgruppe 2: durchschnittlich 17,2 mm
Zeitlicher Ablauf:	
Adaptionsphase	1 h
Schwallanstieg	variabel: 1 min, 14 min, 35 min
Schwall	30 min
Schwallabstieg	variabel: 14 min, 35 min
Dotation:	
Sunk	25 l/s
Schwall	125 l/s

Tabelle 9.1: Kurzcharakteristik der Versuchsanordnung 3.1

9.2 Details

Vom 14.06.2012 bis 21.06.2012 wurde die Versuchsanordnung 3.1 durchgeführt. Die Wassertemperatur lag zwischen 9°C und 11°C. Diese Versuchsanordnung ist nach demselben Schema abgelaufen wie die Versuchsanordnung 1. Es wurde allerdings erstmals auch die Anstiegsgeschwindigkeit variiert. Der Besatz der 100 Versuchstiere erfolgte in Segment 4. Das Clearing wurde mittels Elektrobefischung und händischem Keschern durchgeführt. Während der Elektrobefischung wurde ein Abfluss von 50 – 60 l/s eingestellt. Bei einer

niedrigeren Dotation wäre es den Fischen leichter möglich gewesen ins Substrat zu flüchten, außerdem war es so wahrscheinlicher, dass die betäubten Fische bis in die Driftnetze gespült werden und nicht bereits vor Erreichen der Driftnetze wieder ihre volle Bewegungsfähigkeit erlangen. Für das Keschern per Hand wurde eine Dotation von 8 – 10 l/s eingestellt. Auf diese Weise war es einfacher die Fische zu entdecken, außerdem waren so ihre Fluchtmöglichkeiten wesentlich eingeschränkt.

9.3 Versuchsanzahl - Überblick

Die Tabelle 9.2 bietet einen Überblick über die in Versuchsanordnung 3.1 durchgeführten Versuche.

v – Anstieg (cm/min)	v – Abstieg (cm/min)	Anzahl der Versuch
0.2	0.2	2
0.2	0.6	2
0.6	0.2	5
$\sum$ Versuche		9

Tabelle 9.2: Überblick der Versuchsanzahl für die Versuchsanordnung 3.1

9.4 Ergebnisse und Interpretationen

Wie schon für Versuchsanordnung 1 sind auch für diese Versuchsanordnung die Ergebnisse in die drei Themenblöcke Verbliebene, Drift und Strandung gegliedert. In Tabelle 9.2 ist zu sehen, dass insgesamt 9 Versuche durchgeführt wurden. Der Versuch mit einer Anstiegsgeschwindigkeit von 0,2 cm/min und einer Abstiegsgeschwindigkeit von ebenfalls 0,2 cm/min wurden zweimal wiederholt. Ebenso der Versuch mit einer Anstiegsgeschwindigkeit von 0,2 cm/min und einer Abstiegsgeschwindigkeit von 0,6 cm/min. Jener Versuch mit einer Anstiegsgeschwindigkeit von 0,6 cm/min und einer Abstiegsgeschwindigkeit von 0,2 cm/min wurde 5 mal wiederholt. Es wurden alle durchgeführten Versuche in die Auswertung miteinbezogen.

9.4.1 Verbliebene - Ergebnis

In diesem Themenblock wird die Frage behandelt, in welcher der beiden Rinnen die Äschen in größerer Anzahl bleiben. Die Frage nach dem Unterschied zwischen den Altersklassen entfällt für diese Versuchsanordnung, da nur noch Fische der Altersklasse 2 zu Verfügung standen. Die Auswertung der Versuchsanordnung 3.1 umfasst neun Versuche.

statistische Kennzahlen und Tests

Im ersten Schritt werden die statistischen Kennzahlen der relativen Clearingwerte (C/R) für die Schwall- und Referenzrinne tabellarisch (siehe Tabelle 9.3) und in Form von

Boxplots (Abbildung 9.1) verglichen.

	Schwallrinne	Referenzrinne
n	9	9
arithm. Mittelwert	0,62	0,89
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,068	0,027
Standardabweichung	0,204	0,082
Median	0,67	0,91
Quartil $_{25}$	0,48	0,84
Quartil $_{75}$	0,75	0,96

Tabelle 9.3: Clearingkennzahlen, Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

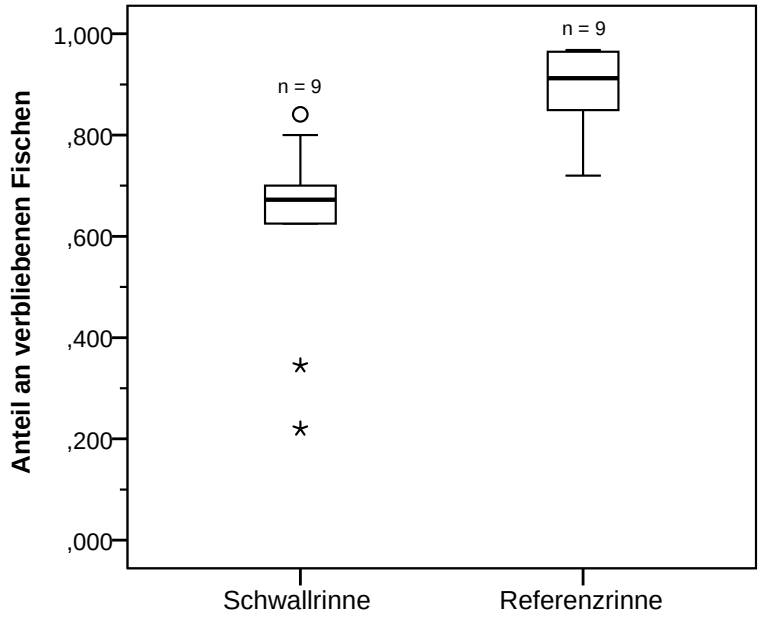

Abbildung 9.1: Anteil jener Äschen, die nach dem Versuch in den Rinnen verblieben sind, Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne

Bereits an den Kennzahlen und der graphischen Umsetzung in Abbildung 9.1 ist ein Unterschied in den Clearingwerten der Schwall- und der Referenzrinne zu erkennen. Ein Mann-Whitney-U-Test und ein Median-Test wurden gerechnet, um herauszufinden, ob die verschiedenen Bedingungen auch zu einem statistisch belegbaren Unterschied führen. Der Test zeigt, dass es einen signifikanten Unterschied der relativen Clearingwerte unter Referenz- und Schwallbedingungen gibt (Mann-Whitney-U-Test: p = 0,000/ Median-Test: p = 0,003).

9.4.2 Verbliebene - Interpretation

In dieser Versuchsanordnung zeigt sich ebenfalls, dass die Bedingungen für die besetzten Fische in der Schwallrinne im Vergleich zu jenen in der Referenzrinne negative Auswirkungen auf das Verbleiben der Fische haben. Der Prozentsatz der in der Rinne verbliebenen Fische ist in dieser Versuchsanordnung, verglichen mit Versuchsanordnung 1, wesentlich höher. In dieser Versuchsanordnung sind, wie auch in Versuchsanordnung 1 Fische der Altersklasse 2 zum Einsatz gekommen sind. Das Ergebnis ist möglicherweise ein Abbild der gestiegenen Routine der arbeitenden Personen. Durch die Kombination aus Routine und einer bereits erprobten und verfeinerten Methodik, wurden im Clearing mehr Fische wiedergefangen.

9.4.3 Drift - Ergebnis

Zu Beginn dieses Abschnitts wird die Drift während der Adaptionsphase (Dad/B) in der Referenz- und in der Schwallrinne verglichen. Danach wird die Drift während des Schwalls (Dx/R) dementsprechend analysiert. Zusätzlich wird hier auf die unterschiedlichen An- und Abstiegsgeschwindigkeiten eingegangen. Bei der Aufteilung der Daten in die jeweiligen An- beziehungsweise Abstiegsgeschwindigkeiten ist die Anzahl der für die Auswertung zu Verfügung stehenden Versuche so gering, dass auf die Verwendung von statistischen Tests zur Analyse verzichtet wird.

statistische Kennzahlen und Tests

Während der Adaptionsphase (Dad/B) sieht die Drift in Schwall- und Referenzrinne wie folgt aus:

	Schwallrinne	Referenzrinne
n	9	9
arithm. Mittelwert	0,30	0,20
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,056	0,050
Standardabweichung	0,167	0,150
Median	0,39	0,15
Quartil $_{25}$	0,11	0,08
Quartil $_{75}$	0,43	0,31

Tabelle 9.4: Kennzahlen der Drift in der Adaptionsphase, Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

Es ist zu sehen, dass sich auch bei dieser Versuchsanordnung die Drift in der Adaptionsphase zwischen Schwall- und Referenzrinne nicht wesentlich voneinander unterscheidet. Weiters ist zu erkennen, dass die Größenordnung der Drift in der Adaptionsphase in beiden Rinnen streut (siehe Abbildung 9.2). Der Mann-Whitney-U-Test, sowie der

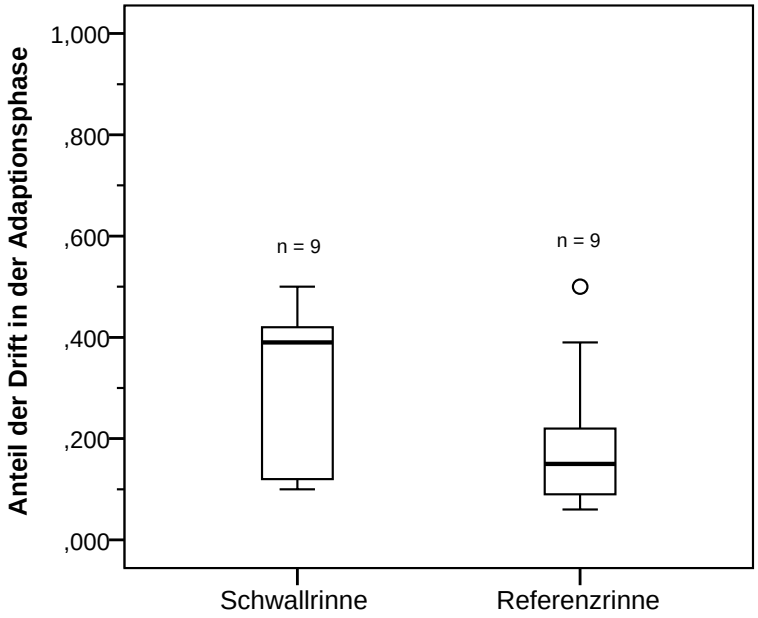

Abbildung 9.2: Anteil jener Äschen, die während der Adaptionsphase aus den Rinnen gedriftet sind, Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne

Median-Test sagen aus, dass es in Bezug auf die relative Drift in der Adaptionsphase keinen statistischen Unterschied zwischen Schwall- und Referenzbedingungen gibt (Mann-Whitney-U-Test: p = 0,258 / Median-Test: p = 1,000).
Am Balkendiagramm 9.3 ist zu erkennen, dass auch in der Versuchsanordnung 3.1 die Drift während der Adaptionsphase in beiden Rinnen hoch ist, verglichen mit der Drift während der darauf folgenden Versuchsphasen. Im Vergleich zur Versuchsanordnung 1 ist die Drift in der Adaptionsphase allerdings etwas verringert. Sind in Versuchsanordnung 1 noch im Mittel die Hälfte der Individuen aus den Rinnen gedriftet, waren es in der Versuchsanordnung 3.1 im Mittel nur noch etwa 30 beziehungsweise 20 Prozent.

Die Drift während Anstieg, Schwall und Abstieg insgesamt (Dx/R) ist in Tabelle 9.5 in Form statistischer Kennzahlen dargestellt.

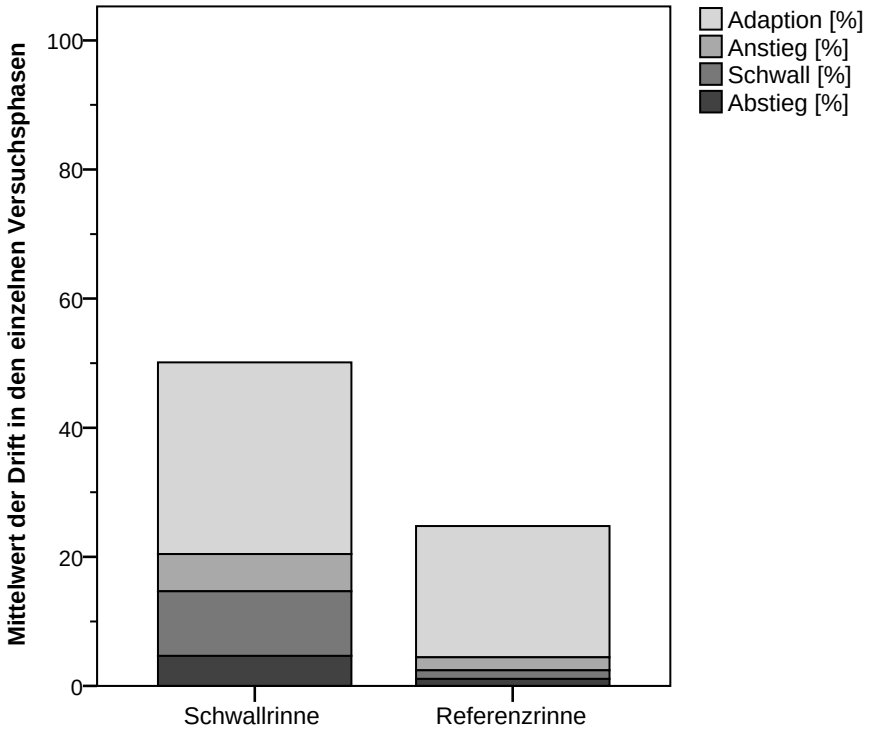

Abbildung 9.3: Darstellung der Drift in Prozent getrennt nach den einzelnen Versuchsphasen, arithmetische Mittelwerte über alle 9 Versuche

	Schwallrinne	Referenzrinne
n	9	9
arithm. Mittelwert	0,32	0,06
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,065	0,018
Standardabweichung	0,195	0,055
Median	0,26	0,02
Quartil $_{25}$	0,18	0,02
Quartil $_{75}$	0,45	0,11

Tabelle 9.5: Kennzahlen der Drift während Schwall, Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

In der Boxplot-Darstellung (Abbildung 9.4) lässt sich einerseits eine deutlich höhere Drift während der Versuchsphase in der Schwallrinne als zu gleicher Zeit in der Referenzrinne erkennen. Andererseits ist ein Rückgang der Streuung der Daten im Vergleich zu Versuchsanordnung 1 zu bemerken. Einer der dazugehörigen Tests ergibt einen signifikanten Unterschied, der andere Test erkennt keinen statistischen Unterschied zwischen Schwall-

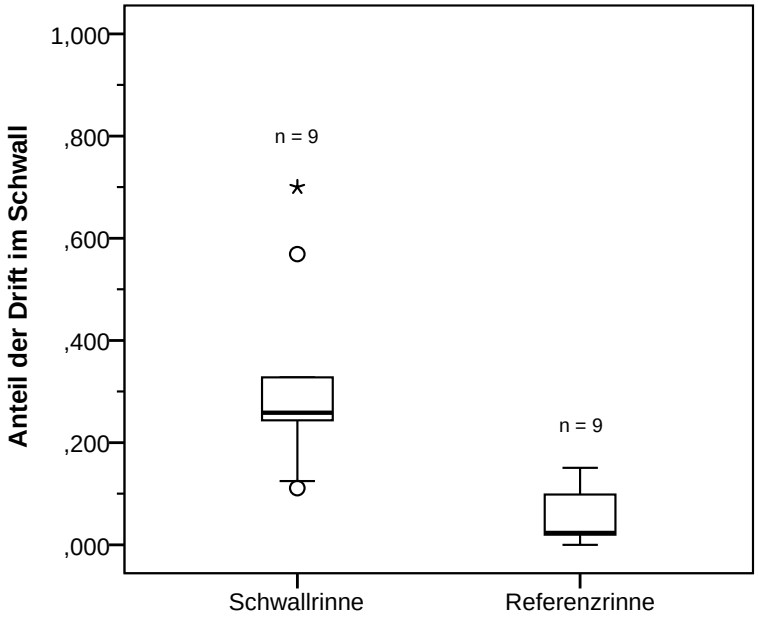

Abbildung 9.4: Anteil jener Äschen, die während des Schwalls aus den Rinnen gedriftet sind, Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne

und Referenzrinne (Mann-Whitney-U-Test: p = 0,000 / Median-Test: p = 0,057). Der Median-Test ist ein Schnelltest, der weniger effizient ist als der Mann-Whitney-U-Test. Daher ist das Ergebnis des Mann-Whitney-U-Tests als relevanter einzuschätzen. Außerdem ist in der graphischen Darstellung eine eindeutige Tendenz in die Richtung zu erkennen, dass die Drift während des Schwalls in der Referenzrinne geringer ist, als in der Schwallrinne.
Die Drift (Dx/R) kann auch nach Anstiegsgeschwindigkeit getrennt werden. Die Zahlen dazu zeigt die Tabelle 9.6.

	0.2 cm/min	0.6 cm/min
n	4	5
arithm. Mittelwert	0,25	0,38
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,044	0,110
Standardabweichung	0,088	0,246
Median	0,27	0,26
Quartil $_{25}$	0,15	0,18
Quartil $_{75}$	0,32	0,63

Tabelle 9.6: Kennzahlen der Drift während Schwall, Vergleich zwischen den Anstiegsgeschwindigkeiten

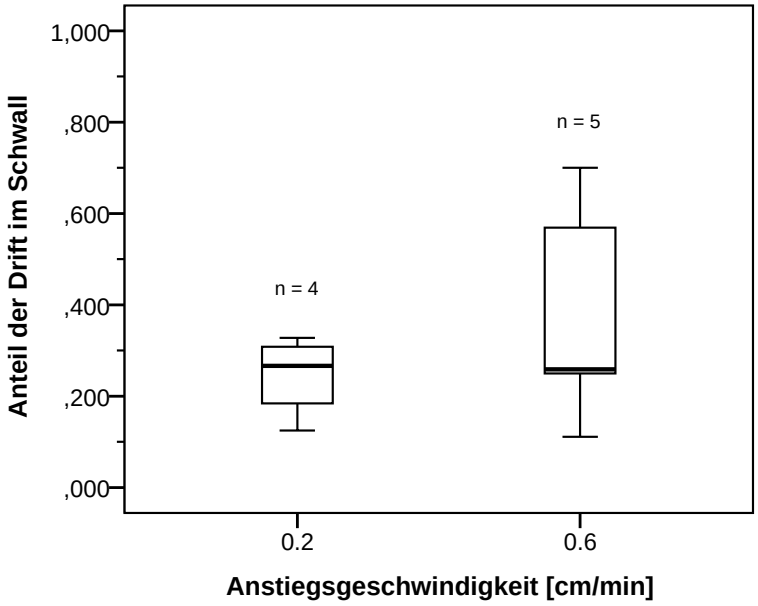

Abbildung 9.5: Anteil jener Äschen, die während des Schwalls bei unterschiedlichen Anstiegsgeschwindigkeiten aus den Rinnen gedriftet sind, Vergleich zwischen den Anstiegsgeschwindigkeiten 0,2 cm/min und 0,6 cm/min

Es ist kein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Anstiegsgeschwindigkeiten hinsichtlich der Drift während des Schwalls (Dx/R) zu erkennen. Die Streuung der Daten ist bei der rascheren Anstiegsgeschwindigkeit höher als bei der geringeren Anstiegsgeschwindigkeit.
In weiterer Folge soll die Drift des Anstiegs, Schwalls und Abstiegs (Dx/R) nach der Abstiegsgeschwindigkeit getrennt betrachtet werden (siehe Tabelle 9.7 und Abbildung 9.6).

	0.2 cm/min	0.6 cm/min
n	7	2
arithm. Mittelwert	0,36	0,18
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,077	0,059
Standardabweichung	0,204	0,084
Median	0,29	0,18
Quartil $_{25}$	0,25	0,13
Quartil $_{75}$	0,57	—

Tabelle 9.7: Kennzahlen der Drift während Schwall, Vergleich zwischen den Abstiegsgeschwindigkeiten

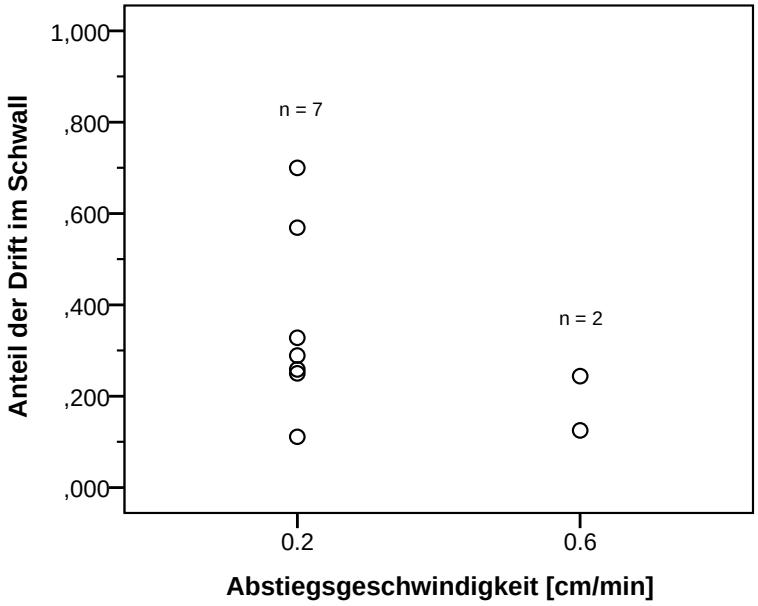

Abbildung 9.6: Anteil jener Äschen, die während des Schwalls bei unterschiedlichen Abstiegsgeschwindigkeiten aus den Rinnen gedriftet sind, Vergleich zwischen den Abstiegsgeschwindigkeiten 0,2 cm/min und 0,6 cm/min

Im Fall der Betrachtung nach der Abstiegsgeschwindigkeit zeigt sich das gegenteilige Ergebnis als bei der Anstiegsgeschwindigkeit. Dabei ist zu beachten, dass die raschere Abstiegsgeschwindigkeit nur durch zwei Zahlenwerte repräsentiert wird und damit die Aussagekraft deutlich eingeschränkt ist.

9.4.4 Drift - Interpretation

Die Drift in der Adaptionsphase ist in der Schwallrinne im gleichen Ausmaß vorhanden wie in der Referenzrinne. In dieser Phase gibt es noch keinen Unterschied zwischen den beiden Rinnen. Die Dotationsveränderung setzt erst mit der Anstiegsphase ein. Das Ergebnis muss aufgrund des Versuchsaufbaus so ausfallen. In Bezug auf die Drift während des Schwalls zeigt ein Test einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Rinnen (Mann-Whitney-U-Test), der andere jedoch nicht (Median-Test). Das bedeutet, dass es eine Auswirkung des Schwalls auf die Versuchsfische hinsichtlich der Drift gibt. Im Vergleich der unterschiedlichen Schwallanstiegs- und Schwallabstiegsgeschwindigkeit untereinander zeigt sich kein eindeutiger Einfluss auf die Drift.

9.4.5 Strandung - Ergebnis

Die Strandungszahlen dieser Versuchsanordnung sind, gleichlautend wie in Versuchsanordnung 1, berechnet und nicht durch Zählung ermittelt (Berechnungsmethode siehe

Kapitel 6).

statistische Kennzahlen und Tests

Für die Strandungszahlen (Sst/R) wurden ebenfalls die relevanten statistischen Kennzahlen berechnet. Die Tabelle 9.8 zeigt den Unterschied zwischen Schwall- und Referenzbedingungen.

	Schwallrinne	Referenzrinne
n	9	9
arithm. Mittelwert	0,06	0,05
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,014	0,032
Standardabweichung	0,042	0,097
Median	0,08	0,01
Quartil $_{25}$	0,02	0,00
Quartil $_{75}$	0,09	0,12

Tabelle 9.8: Strandungskennzahlen, Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

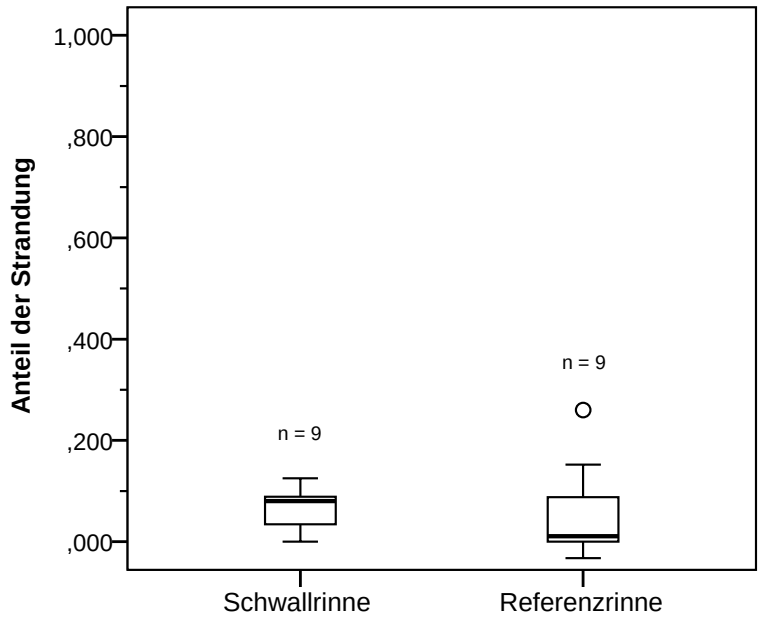

Abbildung 9.7: Anteil jener Äschen, die während des Versuchs gestrandet sind, Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne

Die Kennzahlen und die graphische Umsetzung (Abbildung 9.7) lässt auf keinen Unterschied zwischen der Referenz- und der Schwallrinne hinsichtlich der Strandungszahlen

schließen. Das wird durch die nichtparametrischen Tests bestätigt. Der Mann-Whitney-U-Test und auch der Median-Test zeigen keinen statistisch erfassbaren Unterschied der Strandungszahlen in der Schwall- und der Referenzrinne (Mann-Whitney-U-Test: p = 0,297 / Median-Test: p = 0,347).
Die relativen Strandungszahlen getrennt nach den verschiedenen Abstiegsgeschwindigkeiten sind in der Tabelle 9.9 zu sehen:

	0.2 cm/min	0.6 cm/min
n	7	2
arithm. Mittelwert	0,06	0,07
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,017	0,032
Standardabweichung	0,045	0,045
Median	0,08	0,07
Quartil $_{25}$	0,01	0,03
Quartil $_{75}$	0,09	—

Tabelle 9.9: Strandungskennzahlen, Vergleich zwischen den Abstiegsgeschwindigkeiten

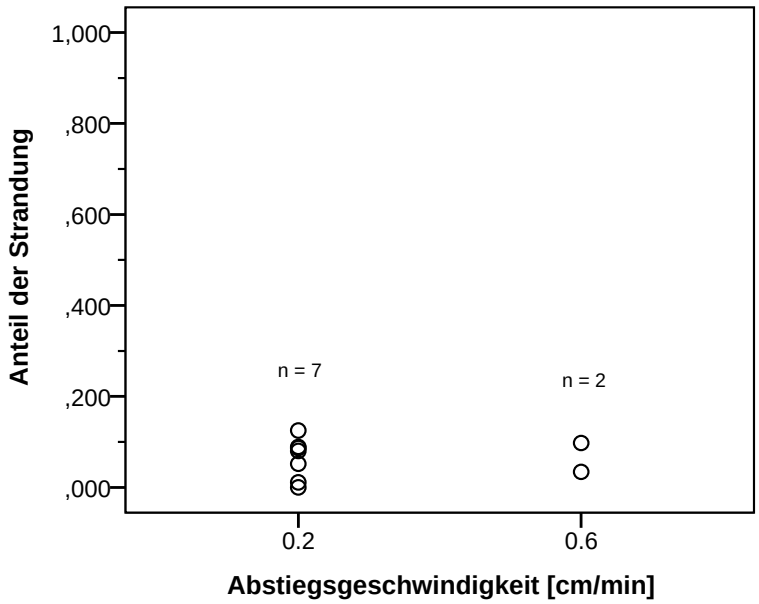

Abbildung 9.8: Anteil jener Äschen, die während des Versuchs gestrandet sind, Vergleich zwischen den Abstiegsgeschwindigkeiten 0,2 cm/min und 0,6 cm/min

Weder die statistischen Kennzahlen, noch die Graphik 9.8 lassen einen merkbaren Unterschied zwischen den beiden Abstiegsgeschwindigkeiten erkennen. Es ist auch hier darauf

hinzuweisen, dass der Datensatz der Abstiegsgeschwindigkeit von 0.6 cm/min nur zwei Werte umfasst.

9.4.6 Strandung - Interpretation

Wie schon in Versuchsreihe 1 lässt sich auch hier keinerlei Unterschied der Strandungszahlen zwischen Schwall- und Referenzrinne erkennen. Allerdings wurde auch hier Strandung in der Referenzrinne berechnet. Die Zahlen bewegen sich dabei in Referenz- und Schwallrinne im Mittel bei 6 und 7 Prozent. Im Vergleich mit den Strandungszahlen der Versuchsanordnung 1 ist eine deutliche Reduktion der Strandung und ein starker Rückgang der Streuung der Daten zu bemerken. Dieser Rückgang in der Streuung ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass die Auswertung der Versuchsanordnung 3.1 weniger Werte umfasst. Es ist anzunehmen, dass auch in dieser Versuchsanordnung nicht alle Fische wiedergefunden und registriert werden konnten. Trotzdem konnte mit Hilfe der Versuchsanordnung 2 Strandung von Äschen durch Beobachtung nachgewiesen werden. Daher ist davon auszugehen, dass eine Überlagerung der Strandungszahlen mit der Anzahl der nicht wieder aufgefundenen Fische stattgefunden hat. Das Strandungsergebnis bildet beide Phänomene ab.

Kapitel 10

Vergleich der Altersklasse 2 zwischen Versuchsanordnungen

Die Altersklasse 2 wurde sowohl in der Versuchsanordnung 1 als auch in der Versuchsanordnung 3.1 eingesetzt. Die Versuchsanordnung 3.1 wurde zeitlich nach der Versuchsanordnung 1 durchgeführt, daher handelt es sich bei den Versuchsäschen um Fische aus einer anderen Charge. In diesem Kapitel sollen die Äschen der Altersklasse 2 in ihrer Reaktion verglichen werden. Für den Vergleich werden aus der Versuchsanordnung 1 alle neun Versuche, die mit Fischen der Altersklasse 2 durchgeführt wurden, herangezogen und mit allen neun Versuchen der Versuchsanordnung 3.1 verglichen. Es wird nur die Referenzsituation für den Vergleich eingesetzt, da die unterschiedlichen An- und Abstiegsszenarien der Schwallrinne nicht direkt miteinander vergleichbar sind. Für das Schwallszenario kann allerdings die Drift in der Adaptionsphase verglichen werden, da die Adaptionsphase in beiden Versuchsanordnungen gleich lange und bei gleicher Dotation durchgeführt wurde.

Die relative Anzahl der verbliebenen Fische in der Referenzrinne unterscheidet sich nicht zwischen den Versuchsanordnungen 1 und 3.1. Das ergibt sowohl der Mann-Whitney-U-Test ($p = 0{,}190$), als auch der Median-Test ($p = 1{,}000$). Das zeigt, dass es keinen Unterschied in der Reaktion der Fische aus den zwei Chargen gibt.
Die Drift während der Adaptionsphase in der Referenzrinne unterscheidet sich laut Mann-Whitney-U-Test ($p = 0{,}001$) statistisch zwischen den beiden Versuchsanordnungen. Der Median-Test ($p = 0{,}057$) zeigt jedoch keinen Unterschied auf $\alpha = 0{,}05$ Niveau an. Dasselbe gilt für die Drift während der Adaptionsphase in der Schwallrinne (Mann-Whitney-U-Test: $p = 0{,}024$ / Median-Test: $p = 0{,}153$). Der Unterschied in der Drift während der Adaptionsphase kann möglicherweise auf eine Dichteabhängigkeit der Drift zurückzuführen sein. In Versuchsanordnung 1 wurden in der Referenzrinne 500 Individuen besetzt, während es in Versuchsanordnung 3.1 nur 100 Stück waren. Möglicherweise waren die Dichten in der ersten Versuchsanordnung so hoch, dass die Fische aus Dispersionsgründen gedriftet sind.
Für die Drift in der anschließenden Phase während der in der Schwallrinne die Schwalldotation durchfließt, sich die Dotation der Referenzrinne allerdings nicht ändert, ergibt der

Mann-Whitney-U-Test im Vergleich der Referenzszenarien p = 0,605 und der Median-Test p = 1,000. Daraus ist abzulesen, dass sich die Reaktion der Altersklasse 2 in den beiden Versuchsanordnungen statistisch nicht voneinander unterscheidet. Auch das spricht für die Interpretation der Dichteregulation in der Adaptionsphase der Versuchsanordnung 1: Sobald eine tragbare Dichte erreicht ist, verringern sich die Driftzahlen.
Die Ergebnisse dieses Kapitels zeigen, dass es keinen Unterschied zwischen den eingesetzten Fischen der beiden Chargen hinsichtlich ihrer Reaktion gibt.

Kapitel 11

Versuchsanordnung 3.2

11.1 Kurzcharakteristik

Die Tabelle 11.1 enthält eine Kurzbeschreibung der Versuchsanordnung 3.2.

Anzahl der besetzten Äschen	100, im Segment 4
Schwallrinne / Referenzrinne	ja / ja
Fischlänge	durchschnittlich 31 mm
Zeitlicher Ablauf:	
Adaptionsphase	1 h
Schwallanstieg	variabel: 1 min, 14 min
Schwall	30 min
Schwallabstieg	variabel: 1 min, 14 min
Dotation:	
Sunk	25 l/s
Schwall	125 l/s

Tabelle 11.1: Kurzcharakteristik der Versuchsanordnung 3.2

11.2 Details

Versuchsreihe 3.2 wurde vom 26.06.2012 bis zum 27.06.2012 durchgeführt. Die Wassertemperatur lag bei 10°C. Es wurden die Anstiegs- und Abstiegsgeschwindigkeiten variiert. Weiters wurden für diese Versuchsreihe größere Fische verwendet. Ihre durchschnittliche Länge betrug 31 mm. Das Clearing erfolgte durch Elektrobefischung und Keschern.

11.3 Versuchsanzahl – Überblick

In der Tabelle 11.2 ist zu sehen wie viele Versuche innerhalb der Versuchsanordnung 3.2 durchgeführt wurden.

v – Anstieg (cm/min)	v – Abstieg (cm/min)	Anzahl der Versuche
0.6	0.6	2
3.0	3.0	3
$\sum$ Versuche		5

Tabelle 11.2: Überblick der Versuchsanzahl für die Versuchsanordnung 3.2

11.4 Ergebnisse und Interpretationen

Die Auswertung beinhaltet alle 5 Versuche der Versuchsreihe 3.2. Es werden auch hier wieder die drei Themenblöcke Verbliebene, Drift und Strandung behandelt.

11.4.1 Verbliebene - Ergebnis

Unter Verbliebene sind jene Fische zu verstehen, die sich nach Beenden des Versuchs im wasserführenden Teil der Rinne aufhielten. Sie wurden mit einer geeigneten Clearingmethode aus der Rinne geholt und durch Zählung erfasst.

statistische Kennzahlen

Zuerst werden die statistischen Kennzahlen der relativen Clearingwerte (C/R) für Schwall- und Referenzbedingungen gegenübergestellt (siehe Tabelle 11.3).

	Schwallrinne	Referenzrinne
n	5	5
arithm. Mittelwert	0,85	0,96
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,015	0,013
Standardabweichung	0,034	0,030
Median	0,84	0,97
Quartil $_{25}$	0,84	0,93
Quartil $_{75}$	0,88	0,99

Tabelle 11.3: Clearingkennzahlen, Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

Die Zahlen zeigen einen deutlichen Unterschied der in der Rinne verbliebenen Fische, je nachdem, ob es sich um die Schwall- oder die Referenzrinne gehandelt hat. Das Ergebnis des Mann-Whitney-U-Tests lautet p = 0,008, jenes des Median-Tests p = 0,008. In der

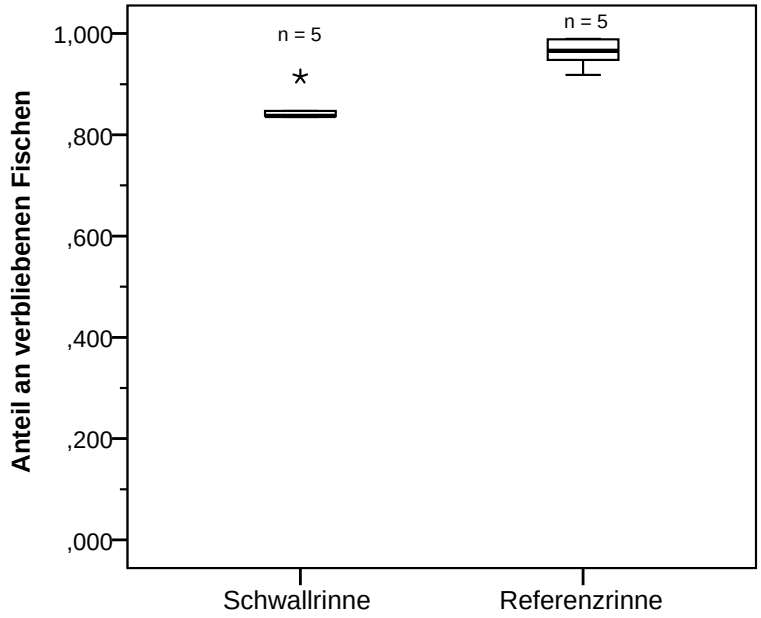

Abbildung 11.1: Anteil jener Äschen, die nach dem Versuch in den Rinnen verblieben sind, Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne

Schwallrinne verbleiben weniger Fische als in der Referenzrinne. Zu sehen ist weiters, dass die Streuung der Datenpunkte in beiden Rinnen gering ist (siehe Abbildung 11.1).

11.4.2 Verbliebene - Interpretation

Es lässt sich feststellen, dass ein Schwallereignis Auswirkungen auf den Verbleib der Fische in der Rinne hat. In jener Rinne mit Schwallszenario verbleiben weniger Fische als in der Referenzrinne. Es ist weiters festzustellen, dass in beiden Rinnen ein höherer Anteil an Fischen in den Rinnen verbleibt, als das noch in der Versuchsanordnung 1 der Fall war. Es ist anzunehmen, was bereits für das Clearingergebnis der Versuchsanordnung 3.1 konstatiert wurde, dass die bei dieser Versuchsanordnung besetzten Äschen aufgrund ihrer Körpergröße und Schwimmleistungsfähigkeit bereits besser mit den Schwallbedingungen zurechtkommen.

11.4.3 Drift - Ergebnis

Unter Drift sind all jene Äschen zu verstehen, die im Verlauf des Versuchs die Rinne flussab verließen, und in den Driftnetzen aufgenommen und gezählt wurden. Es ist dabei zwischen aktiver und passiver Drift zu unterscheiden. Die aktive Drift ist die Drift während der Adaptionsphase und in der Referenzrinne während des gesamten Versuchsablaufes. Die passive Drift wird hingegen durch den Schwall verursacht.

statistische Kennzahlen

Die statistischen Kennzahlen der Drift während der Adaptionsphase (Dad/B) sind in der Tabelle 11.4 zu sehen.

	Schwallrinne	Referenzrinne
n	5	5
arithm. Mittelwert	0,12	0,17
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,052	0,087
Standardabweichung	0,116	0,196
Median	0,06	0,11
Quartil $_{25}$	0,03	0,05
Quartil $_{75}$	0,24	0,32

Tabelle 11.4: Kennzahlen der Drift in der Adaptionsphase, Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

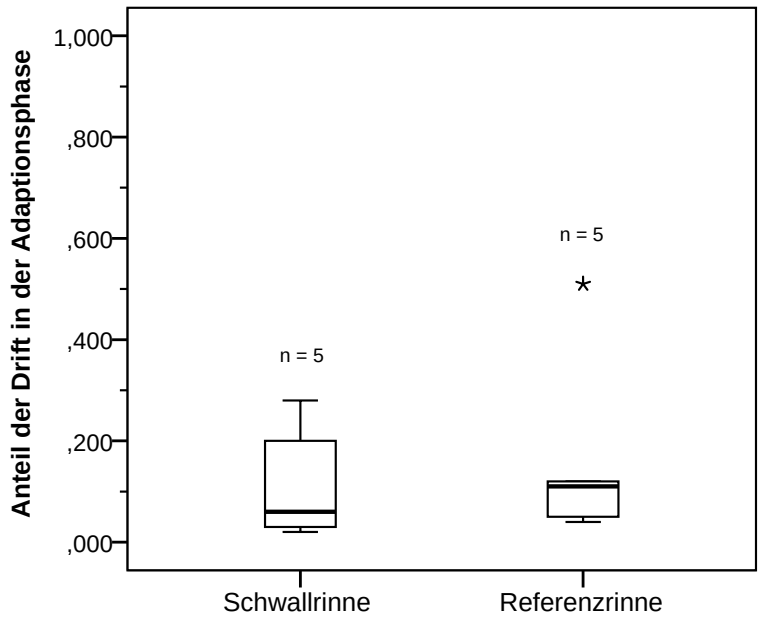

Abbildung 11.2: Anteil jener Äschen, die während der Adaptionsphase aus den Rinnen gedriftet sind, Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne

Am Boxplot (Abbildung 11.2) ist kein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Rinnen hinsichtlich der Drift während der Adaptionsphase zu erkennen. Der Mann-Whitney-U-Test ergibt p = 0,690 und der Median-Test: p = 1,000. Die Daten der Schwallrinne streuen lediglich stärker und in der Referenzrinne ist ein Ausreißer zu erkennen.

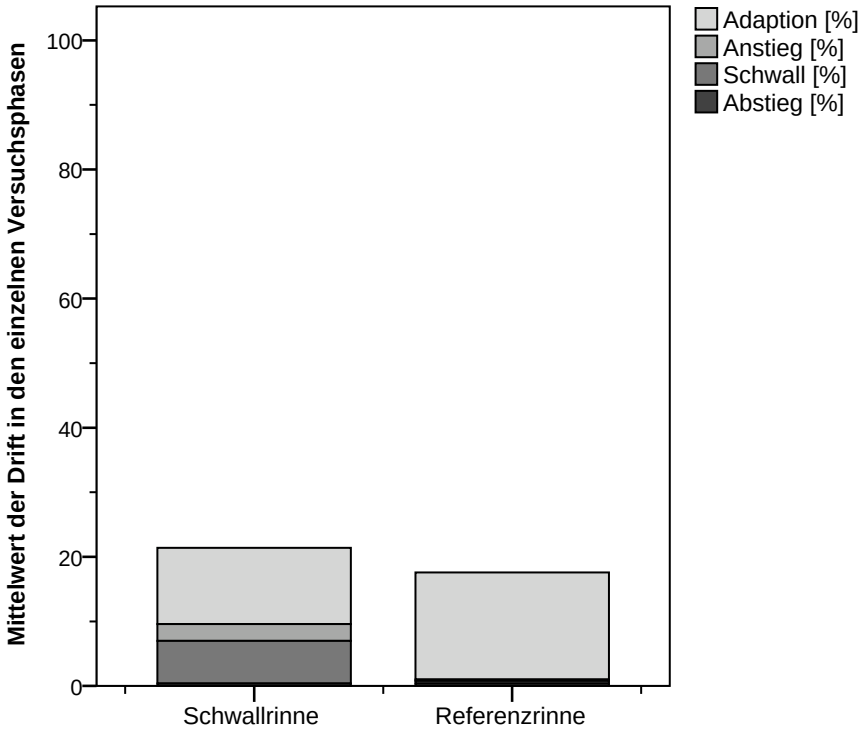

Abbildung 11.3: Darstellung der Drift in Prozent getrennt nach den einzelnen Versuchsphasen, arithmetische Mittelwerte über alle 5 Versuche

Das Stapeldiagramm (Abbildung 11.3) zeigt, dass die Drift insgesamt stark zurückgegangen ist, vergleicht man sie mit den Driftzahlen der Versuchsanordnung 1 und 3.1. Es driften nach wie vor in der Adaptionsphase verhältnismäßig viele Äschen aus den Rinnen, verglichen mit der Drift in den daran anschließenden Phasen.
Die Drift während Anstieg, Schwall und Abstieg (Dx/R) lässt sich durch die Kennzahlen der Tabelle 11.5 charakterisieren.

	Schwallrinne	Referenzrinne
n	5	5
arithm. Mittelwert	0,11	0,01
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,020	0,006
Standardabweichung	0,045	0,013
Median	0,11	0,01
Quartil $_{25}$	0,07	0,00
Quartil $_{75}$	0,15	0,03

Tabelle 11.5: Kennzahlen der Drift während Schwall, Vgl. Schwall- und Referenzrinne

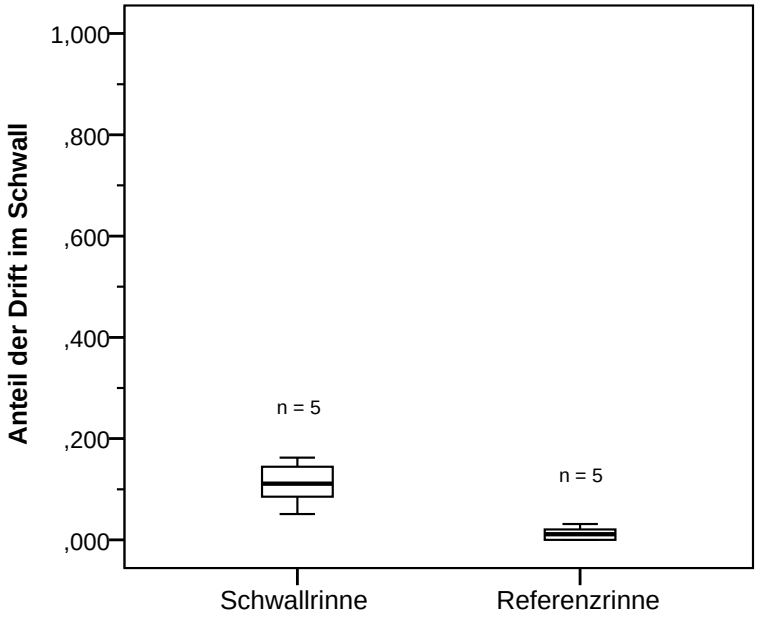

Abbildung 11.4: Anteil jener Äschen, die während des Schwalls aus den Rinnen gedriftet sind, Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne

Der Boxplot (Abbildung 11.4) zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen der Schwall- und der Referenzrinne. Sowohl der Mann-Whitney-U-Test als auch der Median-Test ergeben p = 0,008. Die Datenpunkte der Schwallrinne streuen etwas stärker als jene der Referenzrinne, jedoch insgesamt nicht nennenswert.
Trennt man die Drift (Dx/R) nach dem Kriterium An- bzw. Abstiegsgeschwindigkeit, so erhält man die Kennwerte der Tabelle 11.6.

	0.6 cm/min	3.0 cm/min
n	2	3
arithm. Mittelwert	0,15	0,08
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,009	0,017
Standardabweichung	0,013	0,030
Median	0,15	0,09

Tabelle 11.6: Kennzahlen der Drift während Schwall, Vergleich der An- bzw. Abstiegsgeschwindigkeiten

Die Darstellung der relativen Driftzahlen während des Schwalls (Abbildung 11.5) zeigt den Trend an, dass bei der höheren An- beziehungsweise Abstiegsgeschwindigkeit weniger Fische aus der Rinne driften als bei der niedrigeren. Die Größenordnung der Drift

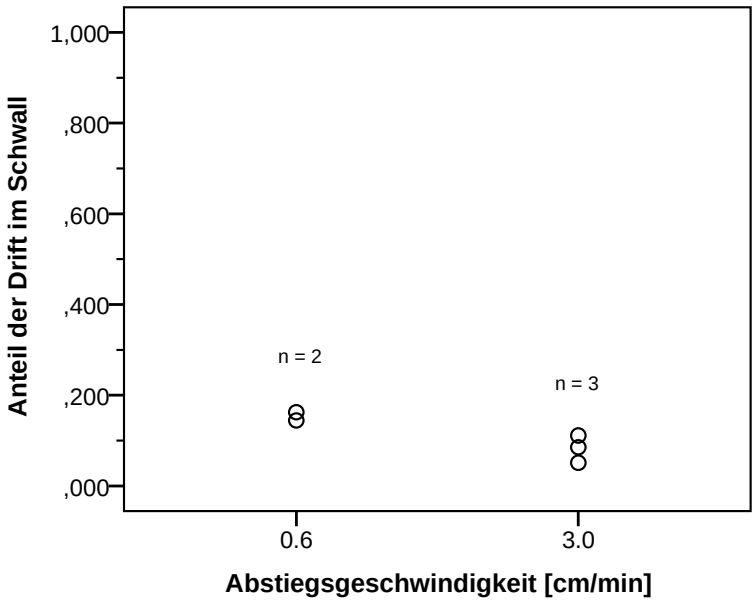

Abbildung 11.5: Anteil jener Äschen, die während des Schwalls bei unterschiedlichen An- bzw. Abstiegsgeschwindigkeiten aus den Rinnen gedriftet sind, Vergleich zwischen den An- bzw. Abstiegsgeschwindigkeiten 0,6 cm/min und 3,0 cm/min

während des Schwalls bewegt sich insgesamt auf einem, im Vergleich zu den vorherigen Versuchsanordnungen, niedrigen Niveau.

11.4.4 Drift - Interpretation

Die Adaptionsphase ist in beiden Rinnen gleich, es gibt daher auch keinen Unterschied der Drift in dieser Phase. In den drei Phasen mit Schwalldotation ist ein Unterschied zu erkennen, d.h. das Schwallszenario führt zu einer verstärkten Drift der besetzten Fische aus der Rinne. Dass keine Unterscheidung anhand der einzelnen An- und Abstiegsgeschwindigkeiten möglich ist, kann daran liegen, dass es keine gibt. Es kann allerdings auch sein, dass pro Szenario zu wenige Werte zur Verfügung stehen, um einen Unterschied erkennen zu können.

11.4.5 Strandung - Ergebnis

Den Strandungsergebnissen liegen die berechneten Werte aus allen 5 Versuchen zugrunde.

statistische Kennzahlen

In diesem Abschnitt werden die Kennwerte der Strandung (Sst/R) dargestellt. In der Tabelle 11.7 sind die wichtigsten Kennwerte der Schwall- und der Referenzrinne gegen-

übergestellt.

	Schwallrinne	Referenzrinne
n	5	5
arithm. Mittelwert	0,03	0,03
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,021	0,011
Standardabweichung	0,047	0,024
Median	0,02	0,02
Quartil $_{25}$	0,00	0,01
Quartil $_{75}$	0,08	0,05

Tabelle 11.7: Strandungskennzahlen, Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

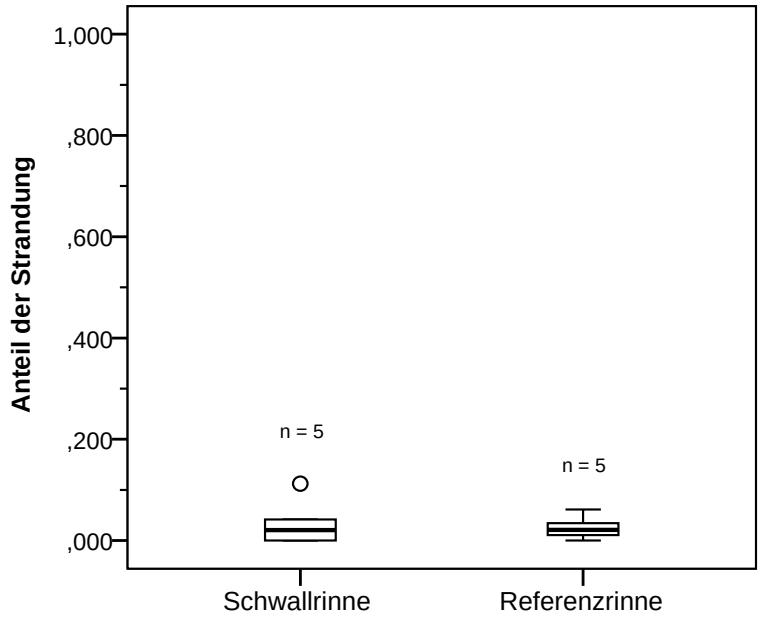

Abbildung 11.6: Anteil jener Äschen, die während des Versuchs gestrandet sind, Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne

Es ist weder in den Kennzahlen (Tabelle 11.7), noch aufgrund der graphischen Darstellung (Abbildung 11.6) ein Unterschied der Strandungszahlen zu erkennen. Auch die beiden statistischen Tests kommen zu demselben Resultat: Mann-Whitney-U-Test: p = 1,000/ Median-Test: p = 1,000.

In Tabelle 11.8 sind die statistischen Kennwerte nach verschiedenen Abstiegsgeschwindigkeiten getrennt eingetragen.

	0.6 cm/min	3.0 cm/min
n	2	3
arithm. Mittelwert	0,01	0,05
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,010	0,033
Standardabweichung	0,015	0,057
Median	0,01	0,04

Tabelle 11.8: Strandungskennzahlen, Vergleich der Abstiegsgeschwindigkeiten

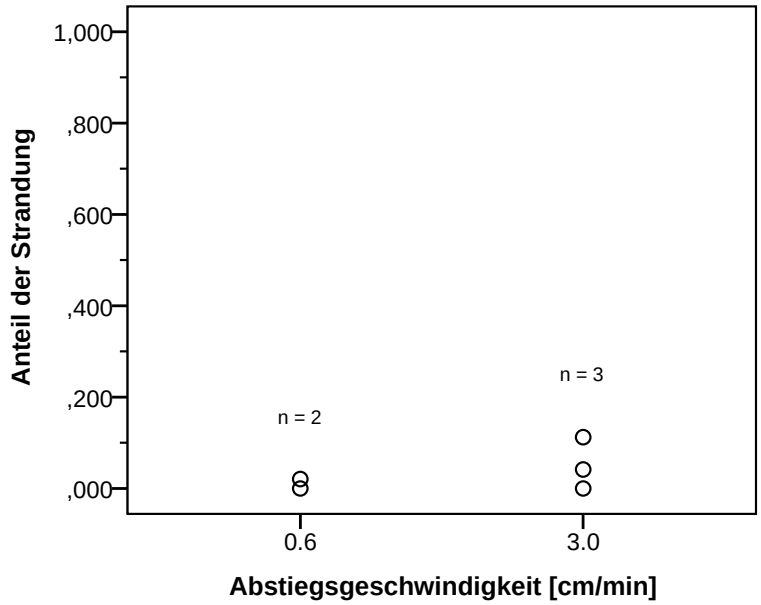

Abbildung 11.7: Anteil jener Äschen, die während des Versuchs gestrandet sind, Vergleich zwischen den Abstiegsgeschwindigkeiten 0,6 cm/min und 3,0 cm/min

Es ist anhand der Graphik (Abbildung 11.7) eine höhere Strandung bei höherer Abstiegsgeschwindigkeit zu erkennen. Dieses Ergebnis erscheint logisch, ist allerdings im Lichte des vorher gezeigten Vergleichs der Strandungsdaten zwischen Referenz- und Schwallrinne nicht als aussagekräftig zu werten.

11.4.6 Strandung - Interpretation

Die berechneten Strandungszahlen bewegen sich in der Schwall- und in der Referenzrinne in derselben Größenordnung, obwohl in der Referenzrinne aufgrund des Versuchsablaufs die Möglichkeit einer Strandung der Versuchsfische nicht besteht. Im Vergleich zur Versuchsanordnung 3.1 ist der Mittelwert der Strandung auf etwa 3 Prozent zurückgegangen.

Gleichzeitig steigt der Anteil der im wasserführenden Teil der Rinne verbliebenen Fische und der Anteil der gedrifteten Äschen sinkt. Das lässt darauf schließen, dass die Fische dieser Größe bereits besser mit der Schwall – Sunk – Situation umgehen können. Für die Interpretation der Strandungszahlen lässt sich daher ableiten, dass es nur noch ein geringes Auftreten der Strandung gibt. Der geringe Prozentsatz an Strandung in beiden Rinnen ist vermutlich hauptsächlich auf Fische zurückzuführen, die nicht mehr aufgefunden werden konnten. Eine Analyse der Strandung hinsichtlich der Abstiegsgeschwindigkeit, lässt die Tendenz erkennen, dass es bei höheren Abstiegsgeschwindigkeiten zu höheren Strandungsraten kommt. Aufgrund der vorher getroffenen Aussage zur Interpretation der Strandung in dieser Versuchsanordnung darf diese Tendenz nicht überbewertet werden. Generell ist zu bedenken, dass die Anzahl der durchgeführten Versuche innerhalb dieser Versuchsanordnung sehr klein ist. Angesichts dessen haben die Strandungszahlen dieser Versuchsanordnung nur geringe Aussagekraft.

Kapitel 12

Versuchsanordnung 4

12.1 Kurzcharakteristik

In Tabelle 12.1 ist der Ablauf der Versuchsanordnung 4 kurz zusammengefasst.

Anzahl der besetzten Äschen	250 pro Rinne, je 50 pro Segment
Schwallrinne / Referenzrinne	ja / ja
Fischlänge	durchschnittlich 31 mm
Zeitlicher Ablauf:	
Adaptionsphase	1 h
Schwallanstieg	variabel: 1 min, 14 min
Schwall	30 min
Schwallabstieg	variabel: 1 min, 14 min
Dotation:	
Sunk	25 l/s
Schwall	125 l/s

Tabelle 12.1: Kurzcharakteristik der Versuchsanordnung 4

12.2 Details

Auf die Versuchsreihe 3.2 ist von 28.06.2012 bis 04.07.2012 die Versuchsreihe 4 gefolgt. Die Wassertemperatur lag bei 10°C. In dieser Versuchsserie wurden 250 Versuchstiere pro Rinne (50 pro Segment) eingesetzt. An- und Abstiegsphase wurden variiert und als Clearingmaßnahme wurde elektrobefischt und zusätzlich per Hand gekeschert.

12.3 Versuchsanzahl – Überblick

Aus Tabelle 12.2 kann die Anzahl der durchgeführten Versuche abgelesen werden.

v – Anstieg (cm/min)	v – Abstieg (cm/min)	Anzahl der Versuch
0.6	0.6	3
3.0	3.0	3
$\sum$ Versuche		6

Tabelle 12.2: Überblick der Versuchsanzahl für die Versuchsanordnung 4

12.4 Ergebnisse und Interpretationen

Alle 6 Versuche sind in der Auswertung der Versuchsreihe 4 berücksichtigt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt nach demselben Schema wie für die Versuchsanordnungen 1, 3.1 und 3.2. Zuerst werden die Ergebnisse zum Themenblock Verbliebene präsentiert, danach jene zur Drift und zur Strandung.

12.4.1 Verbliebene - Ergebnis

Der Abschnitt beschreibt die Ergebnisse zu jenen Äschen, die am Ende des Versuchs nach wie vor in der Rinne geschwommen sind.

statistische Kennzahlen

Die Tabelle 12.3 beinhaltet die statistischen Kennzahlen der relativen Clearingwerte (C/R) für die Schwall- und Referenzrinne.

	Schwallrinne	Referenzrinne
n	6	6
arithm. Mittelwert	0,84	0,98
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,049	0,008
Standardabweichung	0,120	0,020
Median	0,85	0,97
Quartil $_{25}$	0,71	0,96
Quartil $_{75}$	0,95	1,00

Tabelle 12.3: Clearingkennzahlen, Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

Es zeigt sich, dass unter Schwallbedingungen weniger Fische in der Rinne verblieben sind als in der Referenzrinne. Der Mann-Whitney-U-Test ergibt p = 0,009 und der Median-Test p = 0,080. Dabei streuen die Zahlenwerte bei Schwallszenario weit stärker.

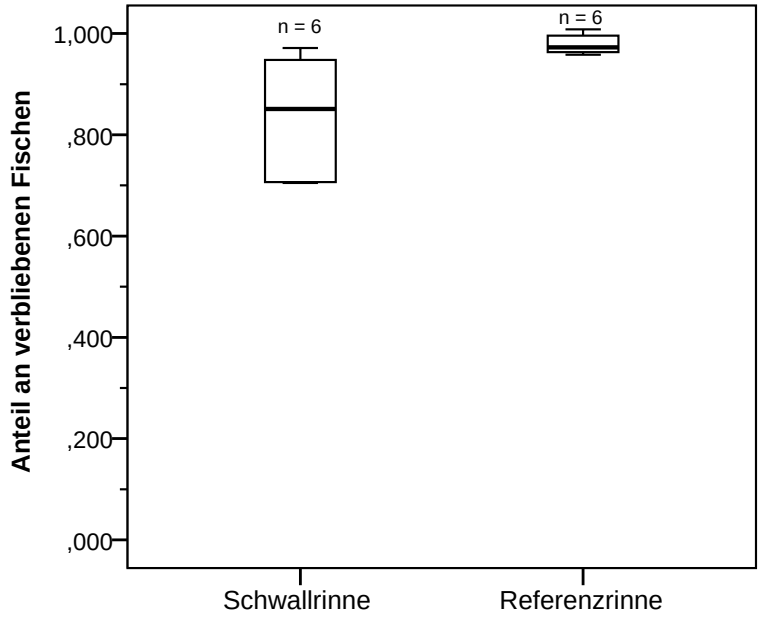

Abbildung 12.1: Anteil jener Äschen, die nach dem Versuch in den Rinnen verblieben sind, Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne

12.4.2 Verbliebene - Interpretation

Die relativen Clearingwerte der Versuchsreihe 4 zeigen dasselbe Ergebnis wie in allen anderen Versuchsanordnungen. Der Schwall bewirkt, dass weniger Fische in der Rinne bleiben. Auch in dieser Versuchsanordnung ist der Anteil an in der Rinne verbliebenen Fischen hoch verglichen mit den Versuchsanordnungen, in denen Fische geringerer Körpergröße eingesetzt wurden.

12.4.3 Drift - Ergebnis

In diesem Teil werden die Ergebnisse zur aktiven und passiven Drift der Fische aus den Rinnen dargestellt und erläutert.

statistische Kennzahlen

Im Folgenden (Tabelle 12.4) ist die Drift während der Adaptionsphase (Dad/B) durch statistische Kennzahlen charakterisiert.

	Schwallrinne	Referenzrinne
n	6	6
arithm. Mittelwert	0,08	0,04
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,030	0,014
Standardabweichung	0,073	0,033
Median	0,06	0,04
Quartil $_{25}$	0,01	0,02
Quartil $_{75}$	0,02	0,07

Tabelle 12.4: Kennzahlen der Drift in der Adaptionsphase, Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

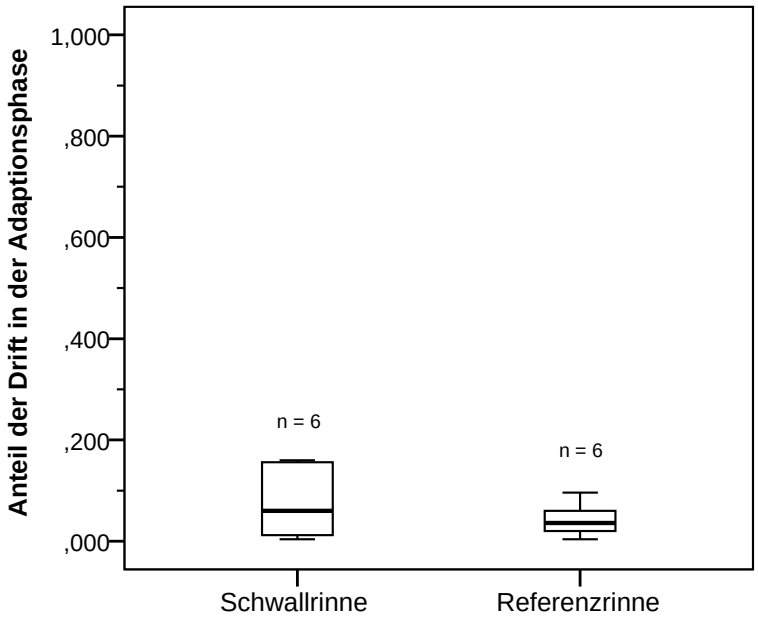

Abbildung 12.2: Anteil jener Äschen, die während der Adaptionsphase aus den Rinnen gedriftet sind, Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne

Die graphische Darstellung (Abbildung 12.2) und die statistischen Kennzahlen (Tabelle 12.4) lassen erkennen, dass es auch in der Versuchsanordnung 4 keinen Unterschied zwischen der Schwall- und der Referenzrinne hinsichtlich der Drift in der Adaptionsphase gibt. Die Ergebnisse der statistischen Tests lauten: Mann-Whitney-U-Test: p = 0,699 und Median-Test p = 1,000.
Das Balkendiagramm (Abbildung 12.3) stellt die Drift vom Besatz bis zum Ende des Versuchs dar. Auf den ersten Blick ist zu erkennen, dass die Drift, im Vergleich zu vorherigen Versuchsanordnungen, deutlich zurückgegangen ist. Lässt man den Anteil der Drift

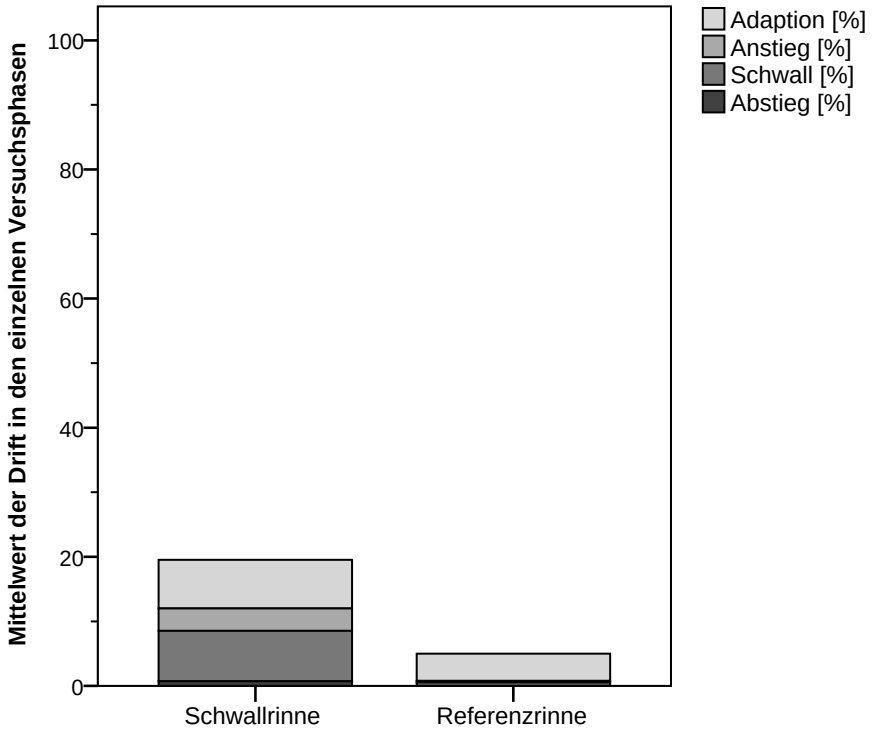

Abbildung 12.3: Darstellung der Drift in Prozent getrennt nach den einzelnen Versuchsphasen, arithmetische Mittelwerte über alle 6 Versuche

in der Adaptionsphase außer Acht, so ist bereits an der Größe der Balkenabschnitte zu erkennen, dass der Schwall Einfluss auf die Drift während des Versuchs hat.
Die zusammengefasste Drift während Anstieg, Schwall und Abstieg (Dx/R) ist im Folgenden getrennt nach Schwall- und Referenzrinne aufgelistet (Tabelle 12.5).

	Schwallrinne	Referenzrinne
n	6	6
arithm. Mittelwert	0,14	0,01
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,041	0,003
Standardabweichung	0,100	0,008
Median	0,11	0,00
Quartil $_{25}$	0,05	0,00
Quartil $_{75}$	0,24	0,01

Tabelle 12.5: Kennzahlen der Drift während Schwall, Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

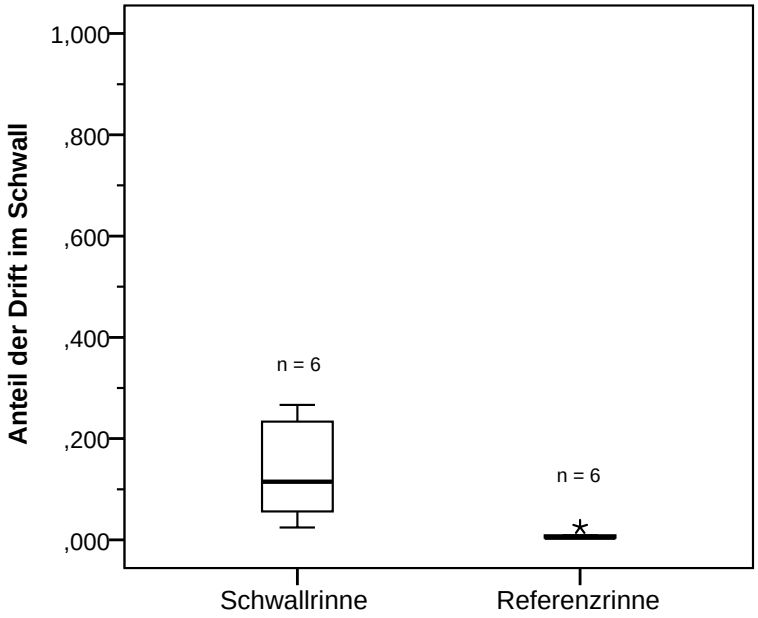

Abbildung 12.4: Anteil jener Äschen, die während des Schwalls aus den Rinnen gedriftet sind, Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne

Die Kennzahlen (Tabelle 12.5) und der Boxplot (Abbildung 12.4) bestätigen die Annahme, dass das Ausmaß der Drift in der Referenzrinne eindeutig unter jener in der Schwallrinne liegt. Das zeigen auch die statistischen Tests: Mann-Whitney-U-Test p = 0,004 und Median-Test p = 0,080.
Eine Unterteilung der Driftzahlen (Dx/R) nach der An- bzw. Abstiegsgeschwindigkeit ergibt folgendes Bild:

	0.6 cm/min	3.0 cm/min
n	3	3
arithm. Mittelwert	0,19	0,08
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,060	0,040
Standardabweichung	0,104	0,069
Median	0,23	0,06

Tabelle 12.6: Kennzahlen der Drift während Schwall, Vergleich der An- bzw. Abstiegsgeschwindigkeiten

Die statistische Auswertung (Tabelle 12.6) und die Graphik 12.5 deuten auf die Tendenz hin, dass eine niedrigere Abstiegsgeschwindigkeit zu erhöhter Drift führt.

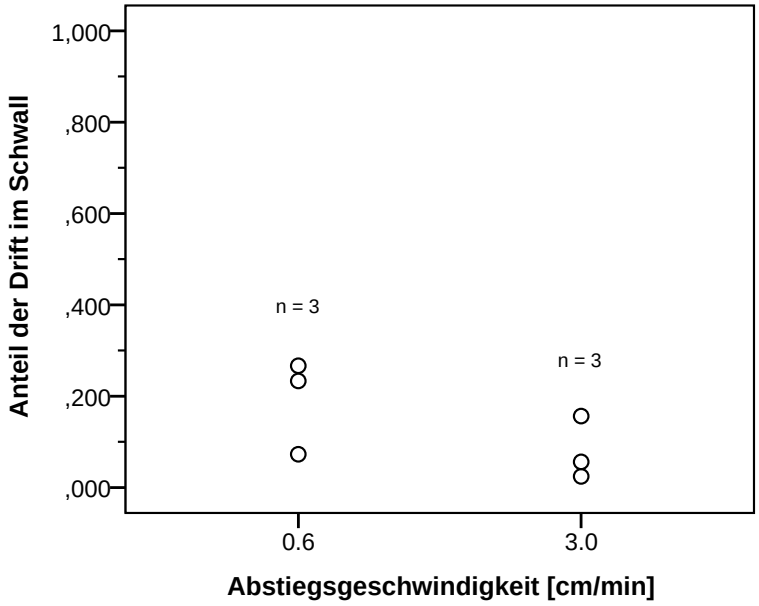

Abbildung 12.5: Anteil jener Äschen, die während des Schwalls bei unterschiedlichen An- bzw. Abstiegsgeschwindigkeiten aus den Rinnen gedriftet sind, Vergleich zwischen den An- bzw. Abstiegsgeschwindigkeiten 0,6 cm/min und 3,0 cm/min

12.4.4 Drift - Interpretation

Es zeigt sich ein deutlicher Unterschied der Drift zwischen Schwall- und Referenzbedingungen. Die Betrachtung der An- beziehungsweise Abstiegsgeschwindigkeit deutet auf einen Unterschied hin. Die Tendenz würde darauf hindeuten, dass niedrigere An- und Abstiegsgeschwindigkeiten zu höherer Drift führen. Allerdings ist hier aufgrund der geringen Anzahl an Versuchen nach der Auftrennung in die beiden Geschwindigkeiten (drei Versuche mit 0,6 cm/min und drei Versuche mit 3,0 cm/min), keine starke Aussage möglich.

12.4.5 Strandung - Ergebnis

Im Abschnitt Strandung wird auf die, für diese Versuchsanordnung berechneten, Strandungswerte eingegangen.

statistische Kennzahlen

Die Kennzahlberechnungen wurden auch für die Strandung (Sst/R) durchgeführt. Zu Beginn werden relevante Kennwerte der Schwall- und der Referenzrinne angeführt (Tabelle 12.7).

	Schwallrinne	Referenzrinne
n	6	6
arithm. Mittelwert	0,03	0,01
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,011	0,007
Standardabweichung	0,026	0,016
Median	0,02	0,02
Quartil $_{25}$	0,00	-0,00
Quartil $_{75}$	0,05	0,03

Tabelle 12.7: Strandungskennzahlen, Vergleich zwischen Schwall- und Referenzrinne

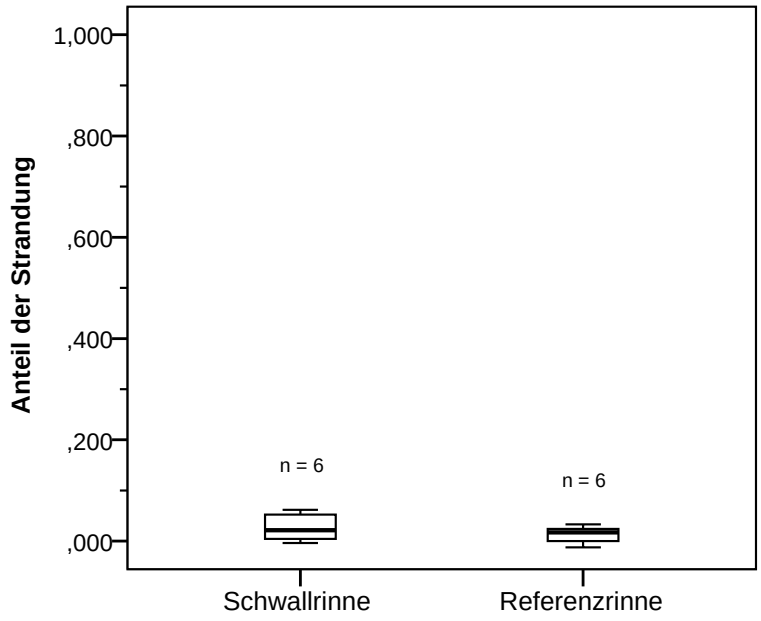

Abbildung 12.6: Anteil jener Äschen, die während des Versuchs gestrandet sind, Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne

Die Graphik 12.6 und die Kennzahlen (Tabelle 12.7) lassen keinen Unterschied der relativen Strandungszahlen zwischen Schwall- und Referenzrinne erkennen. Die Tests dazu ergeben p = 0,589 beim Mann-Whitney-U-Test und der Median-Test p = 1,000. Die Berechnung der Strandungszahlen ergibt auch in dieser Versuchsanordnung eine Strandung von Fischen in der Referenzrinne.
Daran anschließend werden die Zahlen für die verschiedenen Abstiegsgeschwindigkeiten getrennt ermittelt.

	0.6 cm/min	3.0 cm/min
n	3	3
arithm. Mittelwert	0,03	0,02
Standardfehler des arithm. Mittelwerts	0,014	0,018
Standardabweichung	0,024	0,030
Median	0,03	0,00

Tabelle 12.8: Strandungskennzahlen, Vergleich der Abstiegsgeschwindigkeiten

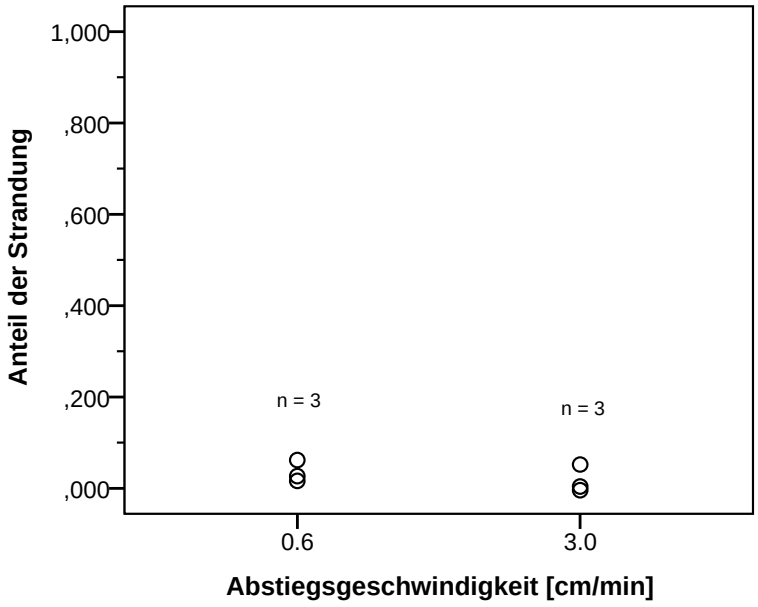

Abbildung 12.7: Anteil jener Äschen, die während des Versuchs gestrandet sind, Vergleich zwischen den Abstiegsgeschwindigkeiten 0,6 cm/min und 3,0 cm/min

Getrennt nach den beiden Abstiegsgeschwindigkeiten ist weder ein eindeutiger Unterschied noch eine Tendenz ablesbar. Die berechneten Strandungszahlen bewegen sich bei beiden Abstiegsgeschwindigkeiten auf dem gleichen Niveau. Hinzuzufügen ist, dass es sich in beiden Fällen lediglich um drei Werte handelt, die verglichen werden.

12.4.6 Strandung - Interpretation

Die Strandungsergebnisse der Versuchsanordnung 4 weichen nicht von jenen der vorangegangenen Versuchsanordnungen ab. Auch hier wurden, entgegen der Logik des Versuchsaufbaus, für die Referenzrinne Strandungswerte berechnet. Ihre Größenordnung ist ähnlich jener der Schwallrinne. In dieser Versuchsanordnung ist, wie bereits in der Versuchsanordnung 3.2, das arithmetische Mittel der Strandung mit 3 bzw. 1 Prozent sehr

gering. Das bedeutet, dass Strandung mit diesen Versuchsfischen und unter den gegebenen Rahmenbedingungen kaum noch stattfindet.

Kapitel 13

Diskussion

In der Diskussion werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und gleichzeitig mit Erkenntnissen aus Studien verknüpft, die sich mit den gleichen oder ähnlichen Fragestellungen befasst haben.

13.1 Verbliebene

In allen vier Versuchsanordnungen gibt es einen statistischen Unterschied zwischen der Referenz- und der Schwallrinne hinsichtlich der Anzahl der in der Rinne verbliebenen Äschen. Das zeigt ganz eindeutig, dass die Äschen mit dem Szenario „Schwall“ schlechter umgehen können, als mit der Referenzsituation. An diesem Teilergebnis ist ablesbar, dass die Fische in der Schwallrinne entweder in größeren Zahlen aus der Rinne driften, oder vermehrt stranden. Die Zahlen, die in die Auswertung zu den verbliebenen Äschen einfließen, stehen zusätzlich in direktem Zusammenhang mit der gewählten Clearingmethode. Es ist zu bemerken, dass die Zahl der verbliebenen Fische mit Fortschreiten der Versuche höher wird und die Streuung der Daten abnimmt. Das kann einerseits damit erklärt werden, dass die Fische, besonders in den Versuchsanordnungen 3.2 und 4 bereits eine bessere Schwimmleistung erreichen und sie dem Schwallszenario mehr entgegenzusetzen haben. Das stimmt mit den Ergebnissen überein, die Heggenes und Traaen (1988) in ihrer Studie zu den kritischen Fließgeschwindigkeiten für Salmoniden in der Phase nach Emergenz vorgelegt haben. Sie konnten zeigen, dass die kritischen Fließgeschwindigkeiten bereits etwa 2 Wochen nach Emergenz höher liegen als direkt nach der Emergenz. Andererseits war das Clearing in späteren Versuchen durch die Erfahrung der arbeitenden Personen und durch die zunehmende Körpergröße der Fische effizienter. Die Abnahme der Streuung kann möglicherweise zu einem Teil darauf zurückgeführt werden, dass die Versuche in den späteren Versuchsanordnungen weniger oft wiederholt wurden. Das kann allerdings nicht der alleinige Grund sein, da alle erhobenen Daten mit Fortlaufen der Versuche wesentlich stabiler wurden. Vergleiche zwischen den beiden definierten Altersklassen konnten innerhalb der Versuchsanordnung 1, sowie zwischen der Versuchsanordnung 1 und 3.1 gezogen werden. Innerhalb der Versuchsanordnung 1 war kein Unterschied zwischen der Altersklasse 1 und der Altersklasse 2 festzustellen. Im Vergleich der Altersklasse 2 zwi-

schen den Versuchsanordnungen 1 und 3.1 zeigt sich in der Referenzrinne ebenfalls kein statistischer Unterschied.

13.2 Drift

13.2.1 Drift in der Adaptionsphase

In der Adaptionsphase wurde in keiner der durchgeführten Versuchsanordnungen ein statistischer Unterschied zwischen dem Schwallszenario und der Referenzsituation in Bezug auf die Drift berechnet. Das entspricht den Erwartungen, da in dieser Phase noch kein hydrologischer Unterschied zwischen den morphologisch identen Rinnen besteht. Das Ausmaß der Drift in der Adaptionsphase nimmt im Laufe der Zeit massiv ab. Sind es in der ersten Versuchsanordnung im Mittel noch 50 Prozent, so geht die Drift in der Adaptionsphase kontinuierlich zurück und liegt in der letzten Versuchsanordnung nur noch bei etwa 5 Prozent. Diese starke aktive Drift in der Versuchsanordnung 1 kann aufgrund des natürlichen Verhaltens der Äschen zustande kommen. Bardonnet et al. (1991) zeigen in ihrer Studie, dass Äschen in den ersten Tagen nach Emergenz aus dem Schotterkörper aktiv in die Drift gehen, um in geeignete Larvenhabitate abzuwandern. Das erklärt auch, warum die aktive Drift mit zunehmenden Alter der Fische abnimmt. Ein anderer möglicher Grund für die hohe Drift ist die gewählte Besatzanzahl. In der ersten Versuchsanordnung wurden in jede Rinne 500 Äschen besetzt, in den Versuchsanordnungen 3.1 und 3.2 nur noch 100 Fische pro Rinne und in Versuchsanordnung 4 war die Zahl mit 250 Stück wieder leicht erhöht. Die große Anzahl an besetzten Fischen in der ersten Versuchsanordnung war notwendig, um ab Beginn der Schwalldotation noch eine ausreichende Anzahl an Fischen in der Rinne zu haben, um relevante Aussagen treffen zu können. Allerdings hat die hohe Stückzahl möglicherweise mit dazu beigetragen, dass einige Fische aktiv gedriftet sind, da die Fischdichte in den zu Verfügung stehenden Habitaten sonst zu hoch gewesen wäre. Auf diesen Faktor bei der Habitatwahl machen Sempeski und Gaudin (1995a) sowie Greenberg et al. (1996) aufmerksam.

13.2.2 Drift während des Schwalls

Die Drift während des Schwalls ist in allen Versuchsanordnungen in der Schwallrinne statistisch nachweisbar höher als in der Referenzrinne. Es zeigt sich somit, dass es zu einem schwallbedingten Abdriften von Fischen kommt. Diese durch die Versuche bestätigte Auswirkung des Schwalls wurde bereits von Eberstaller et al. (2001), Baumann und Klaus (2003), Limnex AG (2004) sowie Young et al. (2011) beschrieben. In einer Reihe von Versuchen in künstlichen Rinnen konnten Vehanen et al. (2000) bei Bachforellen (*Salmo trutta*) einen deutlichen Anstieg der Driftzahlen nach einer Abflusserhöhung feststellen. Dieselbe Aussage wird von Thompson et al. (2011) getroffen. Ihre Untersuchungen zeigen, dass die Larven von Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) und Bachforellen (*Salmo trutta*) bei einem um mehr als 38-fach erhöhten Schwallabfluss im Vergleich zum Basisabfluss, 26 % der Fischlarven und 9 % der juvenilen Fische abgedriftet werden. Auch Daufresne et al. (2005) weisen mit den Ergebnissen ihrer Studie auf eine hohe Sensibilität

von Bachforellen gegenüber Fließgeschwindigkeitsänderungen in den ersten Tagen nach Emergenz hin. Eine Fließgeschwindigkeitserhöhung von 12 cm/s auf 33 cm/s hat einen starken unmittelbaren Anstieg der Drift bei gerade erst emergierten Bachforelle zur Folge.
In Bezug auf die verschiedenen getesteten An- beziehungsweise Abstiegsgeschwindigkeiten konnte kein statistisch nachweisbarer Unterschied festgestellt werden. Es soll dabei darauf hingewiesen werden, dass für jede An- und Abstiegsgeschwindigkeit nur eine geringe Anzahl an Versuchswiederholungen durchgeführt wurden.

13.3 Strandung

Die Ergebnisse zur Strandung basieren auf berechneten Zahlen, da die Strandung nicht direkt erfasst werden konnte. In ihrer Studie mit Lachsen (*Salmo salar*) und Bachforellen (*Salmo trutta*) berichten Saltveit et al. (2001) dass es fast unmöglich ist, alle gestrandeten Fische, besonders jene, die jünger als ein Jahr sind, wieder zu finden. Vor demselben Problem standen Irvine et al. (2009). Das deckt sich mit unseren Erfahrungen. Sowohl Saltveit et al. (2001) als auch Irvine et al. (2009) wählten in ihren Freilandstudien eine Kombination aus der Suche nach gestrandeten Fischen und Schätzung über die Anzahl der nicht gestrandeten Fische im Netzsack. Saltveit et al. (2001) nennen eine errechnete Strandung von 60 % der weniger als ein Jahr alten Lachse (*Salmo salar*) wobei 39 % davon nicht mehr gefunden wurden. Halleraker et al. (2003) konnten auch in Indoorfließrinnenversuchen die Strandung nicht direkt erfassen, sondern es wurde von der Anzahl der Fische in der Tiefenrinne auf die Anzahl der gestrandeten Fische geschätzt. In keiner der in Lunz am See durchgeführten Versuchsanordnungen war ein statistischer Unterschied zwischen der Schwall- und der Referenzrinne hinsichtlich der Strandung nachweisbar. Auffallend ist, dass es laut Berechnung auch in der Referenzrinne zum Stranden von Fischen gekommen ist. In der Versuchsanordnung 1 ist es aufgrund der eingesetzten Clearingmethode durchaus möglich, dass es zur Strandung von Fischen gekommen ist, da die Äschen mittels Spülstoß aus den Rinnen entfernt wurden. In den darauffolgenden Versuchsanordnungen wurde bereits auf andere Clearingmethoden zurückgegriffen. Für die Versuchsanordnung 1 wurde außerdem ein hoher Prozentsatz an gestrandeten Fischen errechnet. Es ist davon auszugehen, dass ein Teil der, laut Berechnung in Versuchsanordnung 1 gestrandeten Äschen, tatsächlich gestrandet ist. Diese Einschätzung wird durch die Ergebnisse der Versuchsanordnung 2 untermauert. Mit Hilfe der Versuchsanordnung 2 konnte Strandung durch direkte Beobachtung nachgewiesen werden. Es zeigte sich kein Unterschied zwischen den beiden Altersklassen, allerdings konnte mehr Strandung bei höheren Abstiegsgeschwindigkeiten beobachtet werden. In ihrer Freilandstudie an Lachsen (*Salmo salar*) konnten Saltveit et al. (2001) auch bei der von ihnen gewählten geringen Abstiegsrate von 0,3 cm/min keine Reduktion der Strandung (bei Nacht) erreichen. Eine Strandungsreduktion (bei Tag) wurde erst durch eine Verringerung der Abstiegsgeschwindigkeit auf 0,23 – 0,31 cm/min erzielt. Obwohl für die beschriebenen Versuche in den HyTEC - Versuchsrinnen Äschen und keine Lachse verwendet wurden, deckt sich die Abstiegsgeschwindigkeit (0,2 cm/min) bei der die Strandung auf annähernd Null zu-

rückgeht. Eine weitere Untersuchung zum Thema wurde von Halleraker et al. (2003) in Indoorfließrinnen mit Bachforellen (*Salmo trutta*) durchgeführt. In dieser Arbeit konnte ebenfalls einen Zusammenhang zwischen Abstiegsgeschwindigkeit und Strandung nachweisen werden. Es wurde gezeigt, dass bei kleinen Bachforellen (< 60 mm) eine Reduktion der Abstiegsgeschwindigkeit von 60 cm/h auf 20 cm/h zu einer um mehr als die Hälfte reduzierter Strandungsrate führt. Bei < 10 cm/h erfolgt eine weitere Reduktion, wobei Strandung jedoch nie zur Gänze eliminiert wurde. Bei großen Bachforellen (> 70 mm) war (bei Tag) keine Strandung mehr bei 20 cm/h zu verzeichnen. Die Aussagekraft der Strandungsergebnisse der ersten Versuchsanordnung ist durch die bereits angesprochenen Probleme stark eingeschränkt, nicht zuletzt aufgrund der starken Streuung der Werte. Betrachtet man die Strandungsergebnisse aller vier Versuchsanordnungen, so ist zu erkennen, dass die Strandungszahlen immer mehr zurückgehen und in der Versuchsanordnung 4 bei im Mittel vergleichsweise geringen 3 Prozent liegen. Weiters geht die Streuung der Daten zurück. Das kann damit zu tun haben, dass die Ergebnisse späterer Versuchsanordnungen auf einer geringeren Anzahl an Fällen basiert. Es passt allerdings gut in das Bild, welches die Ergebnisse zur Drift und zu den verbliebenen Fischen liefern. In den späteren Versuchsanordnungen driften weniger Fische sowohl aktiv als auch passiv aus den Rinnen und die Zahl der verbliebenen Äschen steigt. Daher ist davon auszugehen, dass die Clearingmethode immer effizienter geworden ist und daher mit zunehmender Körpergröße der Äschen weniger fehlende Fische in die Strandungsbilanz eingehen. Schlussendlich zeigt sich auch, dass die Äschen mit fortschreitender Entwicklung ein geringeres Strandungsrisiko haben. Der Grund dafür liegt möglicherweise in einer geänderten Habitatwahl. Äschen der Größe 20 mm bis 35 – 40 mm bevorzugen laut Sempeski und Gaudin (1995b) und Gaudin und Sempeski (2001) bei Tag bereits tiefere Bereiche. Das könnte der Grund dafür sein, dass das Strandungsrisiko sinkt. Auch Bradford (1997) weist darauf hin, dass ein durch äußere Bedingungen (Wassertemperatur, Jahreszeit, Fischdichte) geändertes Verhalten der Fische bzw. geänderter Aufenthaltsort Einfluss auf das Strandungsrisiko haben kann.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die getesteten Schwall-Sunk-Ereignisse zu einer Erhöhung der Abdrift von Äschenlarven und juvenilen Äschen führt. Es konnte keine An- und Abstiegsgeschwindigkeit gefunden werden, bei der es zu keiner schwallbedingten Abdrift kommt. Hinsichtlich der Strandung wurde gezeigt, dass langsamere Abstiegsgeschwindigkeiten zu einer Reduktion der Strandung führen. Bei einer Abstiegsgeschwindigkeit von 0,2 cm/min konnte die Strandung auf nahezu Null reduziert werden. Dieses Ergebnis lässt vermuten, dass im Bereich dieser Abstiegsgeschwindigkeit, bei einer Querneigung der Kiesbank von 5 % bis 6 % ein Schwellenbereich liegt. Sobald dieser Abstiegsgeschwindigkeitsbereich überschritten wird, ist mit hohen Strandungsraten von Äschenlarven zu rechnen.

Kapitel 14

Ausblick

Es wäre interessant, wenn die in dieser Arbeit dargestellten Versuche in anschließenden Masterarbeiten wiederholt werden könnten, um die Ergebnisse in Folgeversuchen zu verifizieren. Einerseits könnten damit die Ergebnisse überprüft und abgesichert werden, andererseits könnten für die Abstiegsgeschwindigkeiten gezielt Zwischenwerte getestet werden. Viele der Studien und Arbeiten, die sich mit Auswirkungen von Schwall-Sunk-Ereignissen auf Fische befassen, haben den Fokus auf anderen Fischarten. Häufig handelt es sich ebenfalls um Salmonide, allerdings meist um Bachforellen (*Salmo trutta*), Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) oder Lachse (*Salmo salar*). In den durchgeführten Versuchen die Gegenstand dieser Arbeit sind wurden ausschließlich Äschen eingesetzt. Es wäre interessant zu prüfen, ob es einen Unterschied in der Reaktion anderer heimischer Fischarten auf Schwall-Sunk-Ereignisse gibt. Außerdem gibt es zahlreiche weitere Fragestellungen, welche in Experimenten in der HyTEC-Anlage untersucht werden können. Beispielsweise fanden Saltveit et al. (2001), Halleraker et al. (2003) und Bradford (1997) Unterschiede zwischen Tag- und Nacht hinsichtlich des Strandungsrisikos für vier Salmonidenarten. Daufresne et al. (2005) konnten für gerade emergierte Bachforellen eine größere Sensibilität gegenüber Fließgeschwindigkeitsänderungen und daraus resultierende höhere Driftraten während der Nacht feststellen. Ein weiterer Einflussfaktor der immer wieder genannt wird ist die Wassertemperatur. Saltveit et al. (2001) haben für Bachforelle und Lachs bei geringen Temperaturen im Winter höhere Strandungsraten registriert, als bei höheren Temperaturen im Sommer und Herbst. Zu demselben Ergebnis kommt Bradford (1997) für Königslachse (*Oncorhynchus tshwytscha*) in Fließrinnenversuchen. In Untersuchungen mit juvenilen Bachforellen sehen Vehanen et al. (2000) unter anderem einen Zusammenhang zwischen niedriger Wassertemperatur und erhöhter Abdrift. Ein ebenfalls diskutiertes Thema ist der Einfluss von Strukturen wie beispielsweise von Mulden auf die Strandung von Fischen. Hunter (1992) spricht in diesem Zusammenhang von „trapping“, wenn Fische nach Rückgang der Wasseranschlagslinie in, von der fließenden Welle isolierten Mulden, zurückbleiben. Allerdings ist es auch möglich, dass permanent angebundene Strukturen wie beispielsweise Buchten Rückzugsmöglichkeiten und Schutz während des Schwallabflusses bieten. Dieser Themenkomplex ist insofern von Bedeutung, da Untersuchungen in diese Richtung Hinweise auf mögliche morphologische Verbesse-

rungsmaßnahmen von schwallbeeinflussten Strecken liefern könnten. Es ist zu sehen, dass es noch einigen Forschungsbedarf auf diesem Gebiet gibt, denn je mehr Wissen zu Verfügung steht, desto präziser sind die Aussagen die getroffen werden können. Es können kritische Bereiche für bestimmte Lebensabschnitte und Fischarten eingegrenzt werden und in letzter Konsequenz ist es möglich, Regelungen für einen ökologisch verträglicheren Kraftwerksbetrieb zu treffen.

Literaturverzeichnis

[1] Baars, M. et al. (2001): Die neue Brehm-Bücherei; Bd. 640: Die Äsche. 1. Aufl., Hohenwarsleben: Westarp Wissenschaften.

[2] Bachhiesl, U.; Stigler, H. (2009): Zweckmäßigkeit unterschiedlicher Förderinstrumentarien für erneuerbare Energien. 6. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, 2009. URL: http://eeg.tuwien.ac.at/eeg.tuwien.ac.at_pages/events/iewt/iewt2009/papers/2D_5_BACHHIESL_U_P.pdf (letzter Zugriff: 27.09.2013).

[3] Bardonnet, A.; Gaudin, P.; Persat, H. (1991): Microhabitats and diel downstream migration of young grayling (*Thymallus thymallus* L.). Freshwater Biology 26: 365-376.

[4] Baumann, P.; Klaus, I. (2003): Mitteilungen zur Fischerei; Bd. 75: Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes: Ergebnisse einer Literaturstudie. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).

[5] BMLFUW (2005): EU Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG Österreichischer Bericht über die IST-Bestandsaufnahme. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

[6] BMLFUW (2009): Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 – NGP 2009. URL: wisa.lebensministerium.at/filemanager/download/58822/ (letzter Zugriff: 23.09.2013).

[7] BMWFJ; BMLFUW (2010): EnergieStrategie Österreich. URL: http://www.energiestrategie.at/images/stories/pdf/longversion/energiestrategie_oesterreich.pdf (letzter Zugriff: 23.09.2013).

[8] Bortz, J.; Lienert, G.; Boehnke, K. (2008): Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik. 3. Aufl., Heidelberg: Springer Medizin Verlag.

[9] Bradford, M. (1997): An experimental study of stranding of juvenile salmonids on gravel bars and in sidechannels during rapid flow decreases. Regulated Rivers: Research & Management 13: 395-401.

[10] Bühl, A. (2012): SPSS 20: Einführung in die moderne Datenanalyse. 13. Aufl., München: Pearson.

[11] Daufresne, M.; Capra, H.; Gaudin, P. (2005): Downstream displacement of post-emergent brown trout: effects of development stage and water velocity. Journal of Fish Biology 67: 599-614.

[12] Dytham, C. (2011): Choosing and using statistics: A biologist's guide. 3. Aufl., Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell.

[13] Eberstaller, J.; Pinka, P. (2001): Trübung und Schwall Alpenrhein – Einfluss auf Substrat, Benthos, Fische: Teilbericht Fischökologie. URL: http://www.ezb-fluss.at/downloads/AlpenrheinBerichtGesamt.pdf (letzter Zugriff: 27.09.2013).

[14] Gaudin, P.; Sempeski, P. (2001): The role of river bank habitat in the early life of fish: the example of grayling, Thymallus thymallus. Ecohydrology & Hydrobiology 1: 203-208.

[15] Giesecke, J.; Mosonyi, E. (2009): Wasserkraftanlagen: Planung, Bau und Betrieb. 5. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

[16] Greenberg, L.; Svendsen, P.; Harby, A. (1996): Availability of microhabitats and their use by brown trout (*Salmo trutta*) and grayling (*Thymallus thymallus*) in the river Vojmån, Sweden. Regulated Rivers: Research & Management 12: 287-303.

[17] Halleraker, J. 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 19: 589-603.

[18] Heggenes, J.; Traaen, T. (1988): Downstream migration and critical water velocities in stream channels for fry of four salmonid species. Journal of Fish Biology 32: 717-727.

[19] Hunter, M. (1992): Hydropower flow fluctuations and Salmonids: A review of the biological effects, mechanical causes, and options for mitigation. In: Washington Department of Fish & Wildlife (Hrsg.): Technical Report No.119. Washington. URL: http://wdfw.wa.gov/publications/01085/wdfw01085.pdf (letzter Zugriff: 27.09.2013).

[20] IHG (2010): Förderungsantrag zum Projekt Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern: Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten. Universität für Bodenkultur: Wien.

[21] Irvine, R. et al. (2009): The effects of flow reduction rates on fish stranding in British Columbia, Canada. River Research and Applications 25: 405-415.

[22] Jungwirth, M. et al. (2003): Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. Wien: Facultas Universitätsverlag.

[23] Kaltschmitt, M.; Streicher, W. (Hrsg.) (2009): Regenerative Energien in Österreich: Grundlagen, Systemtechnik, Umweltaspekte, Kostenanalysen, Potentiale, Nutzung. Wiesbaden: Vieweg+Teubner GWV Fachverlage GmbH.

[24] Kottelat, M.; Freyhof, J. (2007): Handbook of European freshwater fishes. Switzerland: Publications Kottelat.

[25] Limnex AG (2004): Auswirkungen des Schwallbetriebes auf das Ökosystem der Fließgewässer: Grundlagen zur Beurteilung. Zürich. URL: http://assets.wwf.ch/downloads/wwf_schwallbericht.pdf (letzter Zugriff: 27.09.2013).

[26] Meile, T.; Fette, M.; Baumann, P. (2005): Synthesebericht Schwall/Sunk: Publikation des Rhone-Thur Projektes. URL: www.rivermanagement.ch/schwall-sunk/docs/synthese.pdf (letzter Zugriff: 27.09.2013).

[27] Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer – QZV Ökologie OG (idF. v. 29.03.2010). BGBl. Nr. 99/2010.

[28] Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik – EU Wasserrahmenrichtlinie (idF. v. 25.06.2009). Richtlinie 2000/60/EG.

[29] Richtlinie des Rates vom 18. Juli 1978 über die Qualität vom Süßwasser, das schutz- oder verbesserungsbedürftig ist, um das Leben von Fischen zu erhalten – EU Fischgewässerrichtlinie (idF. v. 05.06.2003). Richtlinie 78/659/EWG.

[30] Saltveit, S. 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 17: 609-622.

[31] Schmutz, S. et al. (2013): Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern: Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten. Wien: BMFLUW.

[32] Schmutz, S. et al. (2010): Ökologischer Zustand der Fließgewässer Österreichs: Perspektiven bei unterschiedlichen Nutzungsszenarien der Wasserkraft. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 62: 162-167.

[33] Schönwiese, C. (2006): Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschafter. 4. Aufl., Berlin Stuttgart: Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung.

[34] Sempeski, P.; Gaudin, P. (1995a): Habitat selection by grayling – II. Preliminary results on larval and juvenile daytime habitats. Journal of Fish Biology 47: 345-349.

[35] Sempeski, P.; Gaudin, P. (1995b): Size-related changes in diel distribution of young grayling (*Thymallus thymallus*). Canadian Journal of Fish and Aquatic Sciences 52: 1842-1848.

[36] Siegel, S. (1997): Nichtparametrische statistische Methoden. 4. Aufl., Eschborn bei Frankfurt am Main: Verlag Dietmar Klotz GmbH.

[37] Thompson, L. et al. (2011): Longitudinal movement of fish in response to a single-day flow pulse. Environmental Biology of Fishes 90: 253-261.

[38] Umweltbundesamt (2013a): EU-Wasserrahmenrichtlinie.
URL: http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/wasser/eu-wrrl/ (letzter Zugriff: 25.05.2013).

[39] Umweltbundesamt (2013b): Wasserrahmenrichtlinie.
URL: http://www.umweltbundesamt.at/wrrl/ (letzter Zugriff: 25.05.2013).

[40] Vehanen, T. et al. (2000): Effect of fluctating flow and temperature on cover type selection and behaviour by juvenile brown trout in artificial flumes. Journal of Fish Biology 56: 923-937.

[41] Young, P.; Cech, J.; Thompson, L. (2011): Hydropower-related pulsed-flow impacts on stream fishes: a brief review, conceptual model, knowledge gaps, and research needs. Reviews in Fish Biology and Fisheries 21: 713-731.

Abbildungsverzeichnis

3.1 HyTEC-Versuchsanlage - Orthophoto (Zeiringer, B., 2013) 22
3.2 HyTEC-Versuchsanlage - Grundriss (Zeiringer, B., 2013) 23

4.1 Äsche der Altersklasse 1 (Rosenberger, K., 2012) 28
4.2 Äsche der Altersklasse 2 (Zeiringer, B., 2012) 28

5.1 Schwallganglinie (Zeiringer, B., 2013) 30
5.2 Fließgeschwindigkeitsverteilung (Zeiringer, B., 2012) 31
5.3 Versuchsablauf der Versuchsanordnungen 1, 3.1, 3.2 und 4 (eigene Darstellung, 2013) 32
5.4 Versuchsablauf der Versuchsanordnung 2 (eigene Darstellung, 2013) 33

7.1 Anteil der verbliebenen Äschen, Vergleich Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 39
7.2 Anteil der verbliebenen Äschen, Vergleich Altersklasse 1 und 2 (eigene Darstellung, 2013) 41
7.3 Driftanteil während der Adaptionsphase, Vergleich Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 42
7.4 Drift getrennt nach den einzelnen Versuchsphasen (eigene Darstellung, 2013) 43
7.5 Driftanteil während des Schwalls, Vergleich Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 44
7.6 Driftanteil während des Schwalls, Vergleich der Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 45
7.7 Driftanteil während Schwall, Vergleich Schwall- und Referenzrinne, sowie der Altersklassen (eigene Darstellung, 2013) 46
7.8 Strandungsanteil, Vergleich Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 48
7.9 Strandungsanteil, Vergleich der Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 49
7.10 Strandungsanteil, Vergleich Schwall- und Referenzrinne, sowie der Altersklassen (eigene Darstellung, 2013) 50

8.1 Strandungsanteil, Vergleich der Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 55

8.2 Strandungsanteil, Vergleich der Altersklassen (eigene Darstellung, 2013) . 56

9.1 Anteil verbliebener Äschen, Vergleich Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 60
9.2 Driftanteil während der Adaptionsphase, Vergleich Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 62
9.3 Drift während der einzelnen Versuchsphasen (eigene Darstellung, 2013) . . 63
9.4 Driftanteil während Schwall, Vergleich Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 64
9.5 Driftanteil während Schwall, Vergleich der Anstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 65
9.6 Driftanteil während Schwall, Vergleich der Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 66
9.7 Strandungsanteil, Vergleich Schwall-und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 67
9.8 Strandungsanteil, Vergleich der Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 68

11.1 Anteil verbliebener Äschen, Vergleich Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 74
11.2 Driftanteil während der Adaptionsphase, Vergleich Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 75
11.3 Drift der einzelnen Versuchsphasen (eigene Darstellung, 2013) 76
11.4 Driftanteil während Schwall, Vergleich Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 77
11.5 Driftanteil während Schwall, Vergleich der An- bzw. Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 78
11.6 Strandungsanteil, Vergleich Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 79
11.7 Strandungsanteil, Vergleich der Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 80

12.1 Anteil verbliebener Äschen, Vergleich Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 84
12.2 Driftanteil während der Adaptionsphase, Vergleich Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 85
12.3 Drift während der einzelnen Versuchsphasen (eigene Darstellung, 2013) . . 86
12.4 Driftanteil während Schwall, Vergleich Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 87
12.5 Driftanteil während Schwall, Vergleich der An- bzw. Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 88
12.6 Strandungsanteil, Vergleich Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 89

12.7 Strandungsanteil, Vergleich der Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 90

Tabellenverzeichnis

5.1 Hydrologische Charakteristika des Abflussgeschehens in der Schwallrinne (aus: Schmutz et al., 2013) 30

7.1 Kurzcharakteristik der Versuchsanordnung 1 (eigene Darstellung, 2013) . . 37
7.2 Versuchsanzahl - Überblick der Versuchsanordnung 1 (eigene Darstellung, 2013) 38
7.3 Clearingkennzahlen, Versuchsanordnung 1, Vgl. Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 39
7.4 Clearingkennzahlen, Versuchsanordnung 1, Vgl. Altersklassen (eigene Darstellung, 2013) 40
7.5 Driftkennzahlen Adaptionsphase, Versuchsanordnung 1, Vgl. Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 41
7.6 Driftkennzahlen während Schwall, Versuchsanordnung 1, Vgl. Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 43
7.7 Driftkennzahlen während Schwall, Versuchsanordnung 1, Vgl. Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 44
7.8 Driftkennzahlen während Schwall, Versuchsanordnung 1, Vgl. Schwall- und Referenzrinne sowie Altersklassen (eigene Darstellung, 2013) 46
7.9 Strandungskennzahlen, Versuchsanordnung 1, Vgl. Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 47
7.10 Strandungskennzahlen, Versuchsanordnung 1, Vgl. Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 48
7.11 Strandungskennzahlen, Versuchsanordnung 1, Vgl. Altersklassen (eigene Darstellung, 2013) 49

8.1 Kurzcharakteristik der Versuchsanordnung 2 (eigene Darstellung, 2013) . . 52
8.2 Versuchsanzahl - Überblick der Versuchsanordnung 2 (eigene Darstellung, 2013) 53
8.3 Strandungskennzahlen, Versuchsanordnung 2 (eigene Darstellung, 2013) . 54
8.4 Strandungskennzahlen, Versuchsanordnung 2, Vgl. Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 54
8.5 Strandungskennzahlen, Versuchsanordnung 2, Vgl. Altersklassen (eigene Darstellung, 2013) 55

9.1 Kurzcharakteristik der Versuchsanordnung 3.1 (eigene Darstellung, 2013) . 58
9.2 Versuchsanzahl - Überblick, Versuchsanordnung 3.1 (eigene Darstellung, 2013) 59
9.3 Clearingkennzahlen, Versuchsanordnung 3.1, Vgl. Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 60
9.4 Driftkennzahlen Adaptionsphase, Versuchsanordnung 3.1, Vgl. Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 61
9.5 Driftkennzahlen während Schwall, Versuchsanordnung 3.1, Vgl. Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 63
9.6 Driftkennzahlen, Versuchsanordnung 3.1, Vgl. Anstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 64
9.7 Driftkennzahlen während Schwall, Versuchsanordnung 3.1, Vgl. Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 65
9.8 Strandungskennzahlen, Versuchsanordnung 3.1, Vgl. Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 67
9.9 Strandungskennzahlen, Versuchsanordnung 3.1, Vgl. Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 68

11.1 Kurzcharakteristik der Versuchsanordnung 3.2 (eigene Darstellung, 2013) . 72
11.2 Versuchsanzahl - Überblick der Versuchsanordnung 3.2 (eigene Darstellung, 2013) 73
11.3 Clearingkennzahlen, Versuchsanordnung 3.2, Vgl. Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 73
11.4 Driftkennzahlen Adaptionsphase, Versuchsanordnung 3.2, Vgl. Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 75
11.5 Driftkennzahlen während Schwall, Versuchsanordnung 3.2, Vgl. Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 76
11.6 Driftkennzahlen während Schwall, Versuchsanordnung 3.2, Vgl. An- bzw. Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 77
11.7 Strandungskennzahlen, Versuchsanordnung 3.2, Vgl. Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 79
11.8 Strandungskennzahlen, Versuchsanordnung 3.2, Vgl. Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 80

12.1 Kurzcharakteristik der Versuchsanordnung 4 (eigene Darstellung, 2013) . . 82
12.2 Versuchsanzahl - Überblick der Versuchsanordnung 4 (eigene Darstellung, 2013) 83
12.3 Clearingkennzahlen, Versuchsanordnung 4, Vgl. Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 83
12.4 Driftkennzahlen Adaptionsphase, Versuchsanordnung 4, Vgl. Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 85
12.5 Driftkennzahlen während Schwall, Versuchsanordnung 4, Vgl. Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 86

12.6 Driftkennzahlen während Schwall, Versuchsanordnung 4, Vgl. An- bzw. Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 87
12.7 Strandungskennzahlen, Versuchsanordnung 4, Vgl. Schwall- und Referenzrinne (eigene Darstellung, 2013) 89
12.8 Strandungskennzahlen, Versuchsanordnung 4, Vgl. Abstiegsgeschwindigkeiten (eigene Darstellung, 2013) 90

A.1 Rohdaten der Versuchsanordnung 1 (eigene Darstellung, 2013) iv

B.1 Rohdaten der Versuchsanordnung 2 (eigene Darstellung, 2013) vii

C.1 Rohdaten der Versuchsanordnung 3.1 (eigene Darstellung, 2013) ix

D.1 Rohdaten der Versuchsanordnung 3.2 (eigene Darstellung, 2013) xi

E.1 Rohdaten der Versuchsanordnung 4 (eigene Darstellung, 2013) xiii

Teil II

Anhang

Anhang A

Rohdaten-Versuchsanordnung 1

Erklärung der Abkürzungen, die im Tabellenkopf der folgenden Tabelle verwendet wurden:

V_ID	Versuchsanordnung_Versuchsnummer
Zeit	Besatzzeitpunkt
Anstieg v	Anstiegsgeschwindigkeit in cm/min bzw. Referenzszenario (R)
Abstieg v	Abstiegsgeschwindigkeit in cm/min bzw. Referenzszenario (R)
Rinne	rechte Rinne (1) oder linke Rinne (2)
S (1) oder R (2)	Schwallrinne (1) oder Referenzrinne (2)
B	Besatzanzahl
Dad	Drift in der Adaptionsphase
Dan	Drift in der Anstiegsphase
Ds	Drift in der Schwallphase
Dab	Drift in der Abstiegsphase
D_SUM	Summe der Drift (Dad + Dan + Ds + Dab)
C	Clearingzahl
R	Rest (siehe Kapitel 6)
Dx	Dx (Dan + Ds + Dab)
Sd	Sd (siehe Kapitel 6)
Sst	berechnete Strandung (siehe Kapitel 6)

V_ID	Datum	Zeit	Anstieg v	Abstieg v	Rinne	S (1) oder R (2)	Alter (in Tagen)	Altersklasse	B	Dad	Dan	Ds	Dab	D_SUM	C	R	Dx	Sd	Dad/B	Dx/R	C/R	Sst	Sst/R
1_3	27.04.2012	10:25	R	R	1	2	2	1	500	254	23	9	1	287	86	246	33	213	0,508	0,134	0,350	127,00	0,516
1_3	27.04.2012	10:25	0,6	0,6	2	1	2	1	500	306	10	7	9	332	45	194	26	168	0,612	0,134	0,232	123,00	0,634
1_4	27.04.2012	15:40	R	R	1	2	2	1	500	185	11	6	2	204	174	315	19	296	0,370	0,060	0,552	122,00	0,387
1_4	27.04.2012	15:40	0,6	0,6	2	1	2	1	500	241	24	32	6	303	150	259	62	197	0,482	0,239	0,579	47,00	0,181
1_5	30.04.2012	17:00	R	R	2	2	5	2	500	181	6	0	1	188	203	319	7	312	0,362	0,022	0,636	109,00	0,342
1_5	30.04.2012	17:00	0,6	0,6	1	1	5	2	500	185	98	104	4	391	48	315	206	109	0,370	0,654	0,152	61,00	0,194
1_6	01.05.2012	11:20	R	R	1	2	1	1	500	300	24	14	0	338	106	200	38	162	0,600	0,190	0,530	56,00	0,280
1_6	01.05.2012	11:20	0,6	3,0	2	1	1	1	500	380	37	18	6	441	4	120	61	59	0,760	0,508	0,033	55,00	0,458
1_7	02.05.2012	10:56	R	R	2	2	2	1	500	271	54	19	1	345	80	229	74	155	0,542	0,323	0,349	75,00	0,328
1_7	02.05.2012	10:56	0,6	3,0	1	1	2	1	500	306	47	41	10	404	13	194	98	96	0,612	0,505	0,067	83,00	0,428
1_8	02.05.2012	16:20	R	R	1	2	2	1	500	371	24	9	2	406	47	129	35	94	0,742	0,271	0,364	47,00	0,364
1_8	02.05.2012	16:20	0,6	3,0	2	1	2	1	500	372	35	16	6	429	10	128	57	71	0,744	0,445	0,078	61,00	0,477
1_9	04.05.2012	09:08	R	R	2	2	1	1	500	149	5	1	0	155	247	351	6	345	0,298	0,017	0,704	98,00	0,279
1_9	04.05.2012	09:08	0,6	2,3	1	1	1	1	500	170	51	114	2	337	68	330	167	163	0,340	0,506	0,206	95,00	0,288
1_10	04.05.2012	13:15	R	R	1	2	1	1	500	250	12	16	0	278	174	250	28	222	0,500	0,112	0,696	48,00	0,192
1_10	04.05.2012	13:15	0,6	2,3	2	1	1	1	500	264	96	65	0	425	46	236	161	75	0,528	0,682	0,195	29,00	0,123
1_11	04.05.2012	17:05	R	R	2	2	1	1	500	321	13	3	1	338	100	179	17	162	0,642	0,095	0,559	62,00	0,346
1_11	04.05.2012	17:05	0,6	2,3	1	1	1	1	500	314	38	72	0	424	13	186	110	76	0,628	0,591	0,070	63,00	0,339
1_12	08.05.2012	17:05	R	R	2	2	5	2	500	332	3	1	0	336	94	168	4	164	0,664	0,024	0,560	70,00	0,417
1_12	08.05.2012	17:05	0,6	3,0	1	1	5	2	500	358	28	30	0	416	36	142	58	84	0,716	0,408	0,254	48,00	0,338
1_13	09.05.2012	09:15	R	R	1	2	6	2	500	380	12	24	2	418	66	120	38	82	0,760	0,317	0,550	16,00	0,133
1_13	09.05.2012	09:15	0,6	2,3	2	1	6	2	500	344	92	28	3	467	19	156	123	33	0,688	0,788	0,122	14,00	0,090
1_14	09.05.2012	13:43	R	R	2	2	6	2	500	433	3	2	0	438	52	67	5	62	0,866	0,075	0,776	10,00	0,149

V_ID	Datum	Zeit	Anstieg v	Abstieg v	Rinne	S (1) oder R (2)	Alter (in Tagen)	Altersklasse	B	Dad	Dan	Ds	Dab	D_SUM	C	R	Dx	Sd	Dad/B	Dx/R	C/R	Sst	Sst/R
1_14	09.05.2012	13:43	0,6	2,3	1	1	6	2	500	341	30	68	0	439	18	159	98	61	0,682	0,616	0,113	43,00	0,270
1_15	10.05.2012	10:45	R	R	2	2	1	1	500	171	12	4	3	190	235	329	19	310	0,342	0,058	0,714	75,00	0,228
1_15	10.05.2012	10:45	0,6	0,6	1	1	1	1	500	85	187	113	10	395	47	415	310	105	0,170	0,747	0,113	58,00	0,140
1_16	10.05.2012	14:50	R	R	1	2	1	1	500	112	3	5	2	122	297	388	10	378	0,224	0,026	0,765	81,00	0,209
1_16	10.05.2012	14:50	0,6	0,6	2	1	1	1	500	200	56	90	13	359	32	300	159	141	0,400	0,530	0,107	109,00	0,363
1_17	11.05.2012	10:00	R	R	2	2	2	1	500	164	4	3	0	171	295	336	7	329	0,328	0,021	0,878	34,00	0,101
1_17	11.05.2012	10:00	0,6	3,0	1	1	2	1	500	118	171	67	9	365	55	382	247	135	0,236	0,647	0,144	80,00	0,209
1_18	11.05.2012	15:05	R	R	1	2	2	1	500	112	4	3	0	119	382	388	7	381	0,224	0,018	0,985	-1,00	-0,003
1_18	11.05.2012	15:05	0,6	2,3	2	1	2	1	500	171	46	80	4	301	28	329	130	199	0,342	0,395	0,085	171,00	0,520
1_19	14.05.2012	14:10	R	R	1	2	5	2	500	162	3	21	0	186	295	338	24	314	0,324	0,071	0,873	19,00	0,056
1_19	14.05.2012	14:10	0,6	0,6	2	1	5	2	500	167	105	151	2	425	36	333	258	75	0,334	0,775	0,108	39,00	0,117
1_20	14.05.2012	17:40	R	R	2	2	5	2	500	163	3	0	2	168	329	337	5	332	0,326	0,015	0,976	3,00	0,009
1_20	14.05.2012	17:40	0,6	0,6	1	1	5	2	500	105	90	155	7	357	108	395	252	143	0,210	0,638	0,273	35,00	0,089
1_21	15.05.2012	09:50	R	R	1	2	6	2	500	335	2	3	0	340	154	165	5	160	0,670	0,030	0,933	6,00	0,036
1_21	15.05.2012	09:50	0,6	3,0	2	1	6	2	500	349	53	78	2	482	10	151	133	18	0,698	0,881	0,066	8,00	0,053
1_22	15.05.2012	13:40	R	R	2	2	6	2	500	353	13	9	0	375	94	147	22	125	0,706	0,150	0,639	31,00	0,211
1_22	15.05.2012	13:40	0,6	3,0	1	1	6	2	500	344	41	48	2	435	28	156	91	65	0,688	0,583	0,179	37,00	0,237
1_23	15.05.2012	16:51	R	R	2	2	6	2	500	316	1	2	0	319	173	184	3	181	0,632	0,016	0,940	8,00	0,043
1_23	15.05.2012	16:51	0,6	2,3	1	1	6	2	500	302	33	85	3	423	43	198	121	77	0,604	0,611	0,217	34,00	0,172

Tabelle A.1: Rohdaten der Versuchsanordnung 1

Anhang B

Rohdaten-Versuchsanordnung 2

Erklärung der Abkürzungen, die im Tabellenkopf der folgenden Tabelle verwendet wurden:

V_ID	Versuchsanordnung_Versuchsnummer
Zeit	Besatzzeitpunkt
Abstieg v	Abstiegsgeschwindigkeit in cm/min
Rinne	rechte Rinne (1) oder linke Rinne (2)
B	Besatzanzahl
Str/Si	Summe der gestrandeten Fische / Summe der gesichteten Fische
vor Release	vor Wegnahme des Rahmengitters gedriftete Fische
Segm1_Str	Anzahl gestrandeter Fische im Segment 1
Segm1_Si	Anzahl gesichteter Fische im Segment 1
Segm2_Str	Anzahl gestrandeter Fische im Segment 2
Segm2_Si	Anzahl gesichteter Fische im Segment 2
Segm3_Str	Anzahl gestrandeter Fische im Segment 3
Segm3_Si	Anzahl gesichteter Fische im Segment 3
Segm4_Str	Anzahl gestrandeter Fische im Segment 4
Segm4_Si	Anzahl gesichteter Fische im Segment 4
D halb s	Drift nach Ablauf der halben Schwalldauer
D ganz s	Drift nach Ablauf der Schwalldauer
Dab	Drift in der Abstiegsphase
SUM_Versuch	Summe der Drift (Dad + Dan + Ds + Dab)

k.A.	Daten wurden nicht erhoben

V_ID	Datum	Zeit	Abstieg v	Rinne	Alter (in Tagen)	Altersklasse	B	Str/Si	vor Release	Segm1_Str	Segm1_Si	Segm2_Str	Segm2_Si	Segm3_Str	Segm3_Si	Segm4_Str	Segm4_Si	D halb s	D ganz s	Dab	SUM_Versuch
2_1	16.05.2012	13:06	3,0	1	1	1	100	0,6563	k.A.	13	16	3	8	1	3	4	5	51	k.A.	k.A.	72
2_4	17.05.2012	13:04	3,0	1	2	1	100	1,0000	7	1	1	3	3	1	1	0	0	68	7	3	90
2_5	17.05.2012	15:07	3,0	1	2	1	100	0,5652	k.A.	6	8	6	14	1	1	0	0	36	19	4	93
2_6	17.05.2012	17:27	0,6	1	2	1	100	0,0625	k.A.	0	13	0	7	0	8	2	4	39	12	8	82
2_7	18.05.2012	10:23	0,6	2	3	1	100	0,0000	k.A.	0	3	0	1	0	1	0	3	66	7	6	91
2_8	18.05.2012	12:12	0,6	1	3	1	100	0,1364	k.A.	3	14	0	1	0	5	0	2	44	17	17	91
2_9	18.05.2012	13:55	3,0	1	3	1	100	0,9286	k.A.	8	8	1	1	4	4	0	1	57	16	0	91
2_10	18.05.2012	15:43	0,6	1	3	1	100	0,2273	k.A.	5	14	0	1	0	3	0	4	42	11	7	82
2_11	18.05.2012	17:45	3,0	1	3	1	100	0,9231	k.A.	23	24	0	1	0	0	1	1	54	7	3	98
2_12	22.05.2012	12:52	3,0	1	7	2	100	0,9412	1	42	45	5	5	1	1	0	0	16	8	0	76
2_13	22.05.2012	14:20	0,6	1	7	2	100	0,3571	k.A.	12	33	0	3	3	6	0	0	31	7	2	78
2_14	22.05.2012	16:04	0,2	1	7	2	100	0,5357	k.A.	13	23	0	2	2	3	0	0	56	3	5	82
2_15	22.05.2012	18:49	0,2	1	7	2	100	0,5000	22	5	11	0	0	1	1	0	0	k.A.	52	5	92
2_16	23.05.2012	10:15	0,2	1	8	2	100	0,0270	2	1	30	0	1	0	6	0	0	42	8	19	89
2_17	23.05.2012	12:17	3,0	1	8	2	100	0,9091	k.A.	27	28	0	1	3	4	0	0	27	4	4	73
2_18	23.05.2012	15:03	3,0	1	8	2	100	0,7353	k.A.	19	26	5	5	1	3	0	0	36	10	0	76
2_19	23.05.2012	16:50	0,6	1	8	2	100	0,5000	2	13	26	0	1	5	8	0	1	33	5	6	92
2_20	23.05.2012	18:34	0,6	1	8	2	100	0,5000	0	8	13	0	1	0	0	0	2	45	8	4	70
2_21	11.06.2012	12:13	0,2	1	2	1	100	0,0000	1	0	0	0	0	0	0	0	0	62	22	2	87
2_22	11.06.2012	14:23	0,2	1	2	1	100	0,0000	1	0	25	0	2	0	0	0	0	16	10	32	77
2_23	11.06.2012	17:41	0,2	1	2	1	100	0,0000	11	0	23	0	6	k.A.	k.A.	0	1	16	8	21	83
2_24	12.06.2012	10:30	0,2	1	3	1	100	0,0000	2	0	7	0	1	0	0	0	0	81	5	5	93
2_25	12.06.2012	12:24	0,2	1	3	1	100	0,0769	0	1	11	0	2	0	0	0	0	65	13	13	94

V_ID	Datum	Zeit	Abstieg v	Rinne	Alter (in Tagen)	Altersklasse	B	Str/Si	vor Release	Segm1_Str	Segm1_Si	Segm2_Str	Segm2_Si	Segm3_Str	Segm3_Si	Segm4_Str	Segm4_Si	D halb s	D ganz s	Dab	SUM_Versuch
2_29	15.06.2012	07:33	0,2	1	6	2	100	0,0000	0	0	6	0	0	0	1	0	0	78	4	5	100
2_30	15.06.2012	09:17	0,2	1	6	2	100	0,0000	2	0	4	0	3	0	0	0	0	73	5	10	98
2_31	15.06.2012	11:16	0,2	1	6	2	100	0,0000	0	0	8	0	3	0	2	0	0	78	5	8	96

Tabelle B.1: Rohdaten der Versuchsanordnung 2

Anhang C

Rohdaten-Versuchsanordnung 3.1

Erklärung der Abkürzungen, die im Tabellenkopf der folgenden Tabelle verwendet wurden:

V_ID	Versuchsanordnung_Versuchsnummer
Zeit	Besatzzeitpunkt
Anstieg v	Anstiegsgeschwindigkeit in cm/min bzw. Referenzszenario (R)
Abstieg v	Abstiegsgeschwindigkeit in cm/min bzw. Referenzszenario (R)
Rinne	rechte Rinne (1) oder linke Rinne (2)
S (1) oder R (2)	Schwallrinne (1) oder Referenzrinne (2)
B	Besatzanzahl
Dad	Drift in der Adaptionsphase
Dan	Drift in der Anstiegsphase
Ds	Drift in der Schwallphase
Dab	Drift in der Abstiegsphase
D_SUM	Summe der Drift (Dad + Dan + Ds + Dab)
C	Clearingzahl
R	Rest (siehe Kapitel 6)
Dx	Dx (Dan + Ds + Dab)
Sd	Sd (siehe Kapitel 6)
Sst	berechnete Strandung (siehe Kapitel 6)

V_ID	Datum	Zeit	Anstieg v	Abstieg v	Rinne	S (1) oder R (2)	Alter	Altersklasse	B	Dad	Dan	Ds	Dab	D_SUM	C	R	Dx	Sd	Dad/B	Dx/R	C/R	Sst	Sst/R
3.1_1	14.06.2012	15:33	0,6	0,2	1	1	5	2	100	50	3	27	5	85	11	50	35	15	0,500	0,700	0,220	4,00	0,080
3.1_1	14.06.2012	15:33	R	R	2	2	5	2	100	50	0	0	1	51	36	50	1	49	0,500	0,020	0,720	13,00	0,260
3.1_2	18.06.2012	12:28	0,6	0,2	2	1	9	2	100	42	7	18	8	75	20	58	33	25	0,420	0,569	0,345	5,00	0,086
3.1_2	18.06.2012	12:28	R	R	1	2	9	2	100	39	2	3	1	45	57	61	6	55	0,390	0,098	0,934	-2,00	-0,033
3.1_3	18.06.2012	16:55	0,2	0,2	1	1	9	2	100	39	8	6	6	59	41	61	20	41	0,390	0,328	0,672	0,00	0,000
3.1_3	18.06.2012	16:55	R	R	2	2	9	2	100	22	6	3	1	32	68	78	10	68	0,220	0,128	0,872	0,00	0,000
3.1_4	19.06.2012	09:35	0,2	0,2	2	1	10	2	100	10	12	7	7	36	63	90	26	64	0,100	0,289	0,700	1,00	0,011
3.1_4	19.06.2012	09:35	R	R	1	2	10	2	100	7	4	4	6	21	79	93	14	79	0,070	0,151	0,849	0,00	0,000
3.1_5	19.06.2012	13:57	0,6	0,2	1	1	10	2	100	44	2	5	7	58	35	56	14	42	0,440	0,250	0,625	7,00	0,125
3.1_5	19.06.2012	13:57	R	R	2	2	10	2	100	9	0	0	0	9	83	91	0	91	0,090	0,000	0,912	8,00	0,088
3.1_6	19.06.2012	17:40	0,2	0,6	1	1	10	2	100	18	6	11	3	38	54	82	20	62	0,180	0,244	0,659	8,00	0,098
3.1_6	19.06.2012	17:40	R	R	2	2	10	2	100	14	1	0	1	16	83	86	2	84	0,140	0,023	0,965	1,00	0,012
3.1_7	20.06.2012	11:50	0,6	0,2	1	1	11	2	100	42	4	5	6	57	40	58	15	43	0,420	0,259	0,690	3,00	0,052
3.1_7	20.06.2012	11:50	R	R	2	2	11	2	100	6	1	1	0	8	91	94	2	92	0,060	0,021	0,968	1,00	0,011
3.1_8	20.06.2012	16:06	0,6	0,2	2	1	11	2	100	10	0	10	0	20	72	90	10	80	0,100	0,111	0,800	8,00	0,089
3.1_8	20.06.2012	16:06	R	R	1	2	11	2	100	21	1	0	0	22	66	79	1	78	0,210	0,013	0,835	12,00	0,152
3.1_10	21.06.2012	14:00	0,2	0,6	2	1	12	2	100	12	10	1	0	23	74	88	11	77	0,120	0,125	0,841	3,00	0,034
3.1_10	21.06.2012	14:00	R	R	1	2	12	2	100	15	3	1	0	19	82	85	4	81	0,150	0,047	0,965	-1,00	-0,012

Tabelle C.1: Rohdaten der Versuchsanordnung 3.1

Anhang D

Rohdaten-Versuchsanordnung 3.2

Erklärung der Abkürzungen, die im Tabellenkopf der folgenden Tabelle verwendet wurden:

V_ID	Versuchsanordnung_Versuchsnummer
Zeit	Besatzzeitpunkt
Anstieg v	Anstiegsgeschwindigkeit in cm/min bzw. Referenzszenario (R)
Abstieg v	Abstiegsgeschwindigkeit in cm/min bzw. Referenzszenario (R)
Rinne	rechte Rinne (1) oder linke Rinne (2)
S (1) oder R (2)	Schwallrinne (1) oder Referenzrinne (2)
B	Besatzanzahl
Dad	Drift in der Adaptionsphase
Dan	Drift in der Anstiegsphase
Ds	Drift in der Schwallphase
Dab	Drift in der Abstiegsphase
D_SUM	Summe der Drift (Dad + Dan + Ds + Dab)
C	Clearingzahl
R	Rest (siehe Kapitel 6)
Dx	Dx (Dan + Ds + Dab)
Sd	Sd (siehe Kapitel 6)
Sst	berechnete Strandung (siehe Kapitel 6)

V_ID	Datum	Zeit	Anstieg v	Abstieg v	Rinne	S (1) oder R (2)	B	Dad	Dan	Ds	Dab	D_SUM	C	R	Dx	Sd	Dad/B	Dx/R	C/R	Sst	Sst/R
3.2_1	26.06.2012	12:19	R	R	1	2	100	51	0	0	1	52	45	49	1	48	0,510	0,020	0,918	3,00	0,061
3.2_1	26.06.2012	12:19	0,6	0,6	2	1	100	20	4	9	0	33	67	80	13	67	0,200	0,163	0,838	0,00	0,000
3.2_2	26.06.2012	15:49	0,6	0,6	1	1	100	3	5	7	2	17	81	97	14	83	0,030	0,144	0,835	2,00	0,021
3.2_2	26.06.2012	15:49	R	R	2	2	100	11	1	0	0	12	88	89	1	88	0,110	0,011	0,989	0,00	0,000
3.2_3	27.06.2012	10:30	3,0	3,0	1	1	100	6	4	4	0	14	86	94	8	86	0,060	0,085	0,915	0,00	0,000
3.2_3	27.06.2012	10:30	R	R	2	2	100	5	0	0	0	5	94	95	0	95	0,050	0,000	0,989	1,00	0,011
3.2_4	27.06.2012	15:32	R	R	1	2	100	12	0	0	0	12	85	88	0	88	0,120	0,000	0,966	3,00	0,034
3.2_4	27.06.2012	15:32	3,0	3,0	2	1	100	28	0	8	0	36	61	72	8	64	0,280	0,111	0,847	3,00	0,042
3.2_5	27.06.2012	18:49	3,0	3,0	1	1	100	2	0	5	0	7	82	98	5	93	0,020	0,051	0,837	11,00	0,112
3.2_5	27.06.2012	18:49	R	R	2	2	100	4	0	2	1	7	91	96	3	93	0,040	0,031	0,948	2,00	0,021

Tabelle D.1: Rohdaten der Versuchsanordnung 3.2

Anhang E

Rohdaten-Versuchsanordnung 4

Erklärung der Abkürzungen, die im Tabellenkopf der folgenden Tabelle verwendet wurden:

V_ID	Versuchsanordnung_Versuchsnummer
Zeit	Besatzzeitpunkt
Anstieg v	Anstiegsgeschwindigkeit in cm/min bzw. Referenzszenario (R)
Abstieg v	Abstiegsgeschwindigkeit in cm/min bzw. Referenzszenario (R)
Rinne	rechte Rinne (1) oder linke Rinne (2)
S (1) oder R (2)	Schwallrinne (1) oder Referenzrinne (2)
B	Besatzanzahl
Dad	Drift in der Adaptionsphase
Dan	Drift in der Anstiegsphase
Ds	Drift in der Schwallphase
Dab	Drift in der Abstiegsphase
D_SUM	Summe der Drift (Dad + Dan + Ds + Dab)
C	Clearingzahl
R	Rest (siehe Kapitel 6)
Dx	Dx (Dan + Ds + Dab)
Sd	Sd (siehe Kapitel 6)
Sst	berechnete Strandung (siehe Kapitel 6)

V_ID	Datum	Zeit	Anstieg v	Abstieg v	Rinne	S (1) oder R (2)	B	Dad	Dan	Ds	Dab	D_SUM	C	R	Dx	Sd	Dad/B	Dx/R	C/R	Sst	Sst/R
4_1	28.06.2012	11:11	3,0	3,0	1	1	250	39	17	13	3	72	167	211	33	178	0,156	0,156	0,791	11,00	0,052
4_1	28.06.2012	11:11	R	R	2	2	250	24	0	2	0	26	220	226	2	224	0,096	0,009	0,973	4,00	0,018
4_2	28.06.2012	15:45	0,6	0,6	1	1	250	25	20	38	2	85	159	225	60	165	0,100	0,267	0,707	6,00	0,027
4_2	28.06.2012	15:45	R	R	2	2	250	15	1	0	0	16	234	235	1	234	0,060	0,004	0,996	0,00	0,000
4_3	29.06.2012	12:03	0,6	0,6	1	1	250	40	8	37	4	89	148	210	49	161	0,160	0,233	0,705	13,00	0,062
4_3	29.06.2012	12:03	R	R	2	2	250	12	3	3	0	18	228	238	6	232	0,048	0,025	0,958	4,00	0,017
4_4	03.07.2012	12:08	3,0	3,0	2	1	250	5	1	4	1	11	238	245	6	239	0,020	0,024	0,971	1,00	0,004
4_4	03.07.2012	12:08	R	R	1	2	250	5	0	1	0	6	247	245	1	244	0,020	0,004	1,008	-3,00	-0,012
4_5	03.07.2012	16:27	3,0	3,0	1	1	250	1	1	13	0	15	236	249	14	235	0,004	0,056	0,948	-1,00	-0,004
4_5	03.07.2012	16:27	R	R	2	2	250	1	0	1	0	2	242	249	1	248	0,004	0,004	0,972	6,00	0,024
4_6	04.07.2012	11:35	0,6	0,6	2	1	250	3	5	12	1	21	225	247	18	229	0,012	0,073	0,911	4,00	0,016
4_6	04.07.2012	11:35	R	R	1	2	250	6	0	1	0	7	235	244	1	243	0,024	0,004	0,963	8,00	0,033

Tabelle E.1: Rohdaten der Versuchsanordnung 4