Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplomingenieur

Vorversuche zu Drift und Strandung von Äschen (*Thymallus thymallus* L.) in Schwallexperimentierrinnen

verfasst von

Stefan Auer

eingereicht an der

Universität für Bodenkultur

Department Wasser - Atmosphäre - Umwelt

Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement

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

Mitbetreuer: Dipl. - Ing. Bernhard Zeiringer

Wien, September 2013

Eidesstattliche Erklärung

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

Unterschrift des Verfassers

Danksagung

Mein Dank gilt (in order of appearance): **Bernhard Zeiringer**, **Stefan Fuchshuber** sowie **Nora Fohler** für Hilfestellungen jedweder Art.

Besonders bedanke ich mich bei allen **Äschen**, die bei der Datenerhebung mitgewirkt haben.

Abstract

The main objectives of the experimental plant "**HyTEC**" (**Hy**dromorphology and **T**emperature **E**xperimental **C**hannel) in Lunz, Lower Austria, are to assess the effects of hydro-peaking caused by hydropower plants for early stages of European Grayling (*Thymallus thymallus* L.). In particular, the phenomenon of stranding on riverbanks, drift behavior and other hydrological parameters that may lead to any degradation of juvenile grayling populations are examined.

"HyTEC" consist of two identical experimental channels of 40 m length each. The water needed therefore is diverted from Lake Lunz at two different sites. Supported by pressure pipelines to the experimental channels, different hydromorphological conditions may be simulated.

This master thesis discusses the first three test compositions which were designed to get to know the technical, hydraulic and hydrological possibilities of the facility on the one hand, and getting experience with the behavior of graylings facing hydro-peaks on the other hand. Hence many results are very uncertain because of imprecise datasets; the goal however was to gain experience in handling the facility and fish for further, more precise investigations.

The first of the three experimental series showed that it is possible to provoke a change of fish behavior in terms of drifting and stranding trough an artificial hydropeak. In the second experimental series we focused on fish behavior with several hydro-peaks in a row, whereby the hydropeak intensity (maximum speed of ascending and descending water levels) always increased. We realized that the rate of drifting grayling does not increase with the intensity of the hydropeaking magnitude and ramping rate. The observations of stranded grayling indicate that the faster the water level declines the larger the number of stranded individuals is. The third experimental series focused on several hydropeaking events with the same flow rate, but with different speed of ascending and descending water levels we noticed that the maximum of drift occurred during the first hydropeak, which has the slowest, but longest phase of rising water level. For all events during all executions the ratio of stranded fish was very low.

All three experimental series showed that it is possible to get a change in the response of grayling´s behavior by modifying the hydro-peak's design. Also important knowledge for further experiments was acquired.

Zusammenfassung

Die Versuchsanlage „**HyTEC**“ (**Hy**dromorphology and **T**emperature **E**xperimental **C**hannel) in Lunz/See hat zur Aufgabe, Auswirkungen des Schwellbetriebes von Wasserkraftwerken auf Juvenilstadien der Europäischen Äsche (*Thymallus thymallus* L.) zu untersuchen. Im Speziellen geht es um die Phänomene der Strandung und des Driftverhaltens sowie den einem Schwall zugrundeliegenden, hydrologischen Parametern, die zu einer Dezimierung der Jungäschenpopulationen führen können.

Die Anlage besteht aus zwei identen Rinnenmit jeweils 40 m Länge, in denen hydromorphologische Zustände modelliert werden können. Das dafür benötigte Wasser wird an 2 unterschiedlichen Punkten dem Lunzer See entnommen, unterirdische Druckrohrleitungen ermöglichen es, dass das in die Rinnen dotierte Wasser bezüglich Durchfluss und Temperatur geregelt abgegeben werden kann. So können reale, an heimischen Fließgewässern stattfindende Schwallsituationen nachgebildet werden.

Die Erhebung des Anteils an abdriftenden Fischen wurde mittels Netzrahmen ermöglicht, durch die am Ende der Rinne das durchgeflossene Wasser durchfällt und ausdriftende Fische auffängt, die somit entnommen werden können. Die Detektion von gestrandeten Äschen im Bereich von Schotterbänken in Folge des Wasserrückganges fand mittels Absuchen Selbiger statt bzw. kann bei ausreichender Datenqualität aus der Anzahl an fehlenden Fischen berechnet werden. Die erste Versuchsreihe diente dazu, die Handhabung der Anlage und mögliche Reaktionen der Fische auf Schwallereignisse kennenzulernen. Versuchsreihe 2 baute auf die erste Versuchsreihe auf und hatte zur Aufgabe, erste Erkenntnisse über das Verhalten der Jungfische bei mehreren aufeinanderfolgenden, immer größer werdenden Schwallmaxima sowie An- und Abstiegsgeschwindigkeiten zu gewinnen. Dabei konnte man feststellen, dass mit aufeinanderfolgenden, stärker werdenden Schwallmaxima die passive Drift nicht mit ansteigt, jedoch konnte erhöhte Strandung bei erhöhten Schwallabflüssen nachgewiesen werden. Mit der Versuchsreihe 3 wurde der Frage nachgegangen, wie sich Jungäschen bei mehreren hintereinander stattfindenden, gleichbleibenden Schwallmaxima mit größer werdenden An- und Abstiegsgeschwindigkeiten verhalten. Der erste Schwall bedingte die höchsten Driftraten, die beobachtete Strandung war stets sehr gering.

Die 3 Versuchsanordnungen haben gezeigt, dass durch Anpassung der Versuchsdesigns das Hauptaugenmerk auf einen bestimmten Parameter gelegt werden kann und sich das beobachtete Verhalten der Jungfische änderte: es konnten Driftreaktionen und Strandung bei Jungäschen infolge eines Schwallereignisses hervorgerufen werden. Darüber hinaus konnten wichtige Erkenntnisse

gewonnen werden, die für zukünftige Versuchsdurchführungen sehr hilfreich sein sollten, da es diesbezüglich noch große Wissenslücken gibt.

Inhaltsverzeichnis

Abstract III

Zusammenfassung IV

1. Einleitung 1

2. Problemstellung und Ziele 2

3. Die Versuchsanlage 5

3.1.1. Wasserentnahme 7

3.1.2. Transportwasserleitung 7

3.1.3. Forschungsstation mit Schieberkammer 8

3.1.4. Experimentierrinnen 9

4. Die Versuchsreihen 17

4.1.1. Begriffserklärungen 17

4.2. Schwallversuchsreihe 1 20

4.2.1. Die Versuche 20

4.2.2. Ergebnisse der 1. Schwallversuchsreihe 30

4.2.3. Diskussion und Interpretation der Ergebnisse der Schwallversuchsreihe 1 34

4.3. Schwallversuchsreihe 2 35

4.3.2. Die Versuche 36

4.3.2. Ergebnisse der Schwallversuchsreihe 2 51

4.3.3. Diskussion und Interpretation der Ergebnisse der 2. Schwallversuchsreihe 58

4.4. Schwallversuchsreihe 3 61

4.4.1. Die Versuche 64

4.4.2. Ergebnisse der 3. Schwallversuchsreihe 74

4.4.3. Diskussion und Interpretation der Ergebnisse der 3. Schwallversuchsreihe 89

4.5 Bestimmung der Fitness 92

5. Zusammenfassende Erkenntnisse und Diskussion 98

Abbildungsverzeichnis 100

Literaturverzeichnis 102

1. Einleitung

Das Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement der Universität für Bodenkultur wurde seitens des BMLFUW (über das Umweltförderungsgesetz) mit der Durchführung des Projektes „Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten“ beauftragt. Kooperationspartner ist das Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Wasserbau und hydrometrische Prüfung. Weitere Projektpartner sind sechs Kraftwerksunternehmen, die sich zwecks Finanzierung dieses Projektes zu einem Konsortium zusammengeschlossen haben und einen Teil der Gesamtprojektkosten übernehmen.

Um eine optimale Abstimmung mit anderen Schwallprojekten hinsichtlich hydraulischer Parameter zu gewährleisten, werden die Experten Prof. Habersack vom Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau –an der Universität für Bodenkultur und Prof. Schöberl vom Institut für Geographie der Universität Innsbruck (Indikatormodell) in das Projekt eingebunden (Zeiringer, 2011).

2. Problemstellung und Ziele

Abflussschwankungen in Fließgewässern können natürliche, aber auch künstliche Ursachen haben. Der künstliche, sogenannte „Schwallbetrieb“ von Wasserkraftwerken bewirkt einen kurzzeitigen, unter Umständen intensiven Anstieg (Schwallphase), und einen darauf folgenden Rückgang des Abflusses (Sunkphase), welcher auch unter das Niveau des natürlichen Niedrigwassers sinken kann (Meile, et al., 2005). Diese Schwall-Sunk-Situation kann unter Umständen mehrmals täglich auftreten und erhebliche unterschiedliche Auswirkungen auf Fauna, Flora und Funktionsfähigkeit des betroffenen Fließgewässers haben. Dies kann Änderungen der Diversität und der Abundanzen nach sich ziehen: Laut (Baumann, 2003) bewirkt der Schwallbetrieb in der Mehrzahl (65-90 %) der darin untersuchten Gewässer eine Verminderung und eine Veränderung der Zusammensetzung des Makrozoobenthos- und Fischbestandes sowie eine Zunahme der bei Abflussanstieg abdriftenden und bei Abflussrückgang strandenden Organismen. Abgesehen von der hydrologischen Beeinflussung kann Schwallbetrieb auch den Chemismus oder die Temperatur des Wasserkörpers beeinträchtigen; im Gegensatz zu vielen anderen Einwirkungen auch über eine längere Distanz hinweg. Da Fließgewässer meist direkt oder indirekt mit dem Grundwasserkörper und angrenzenden Lebensräumen verbunden sind, sind auch diese von einer allfälligen Abflussstörung betroffen. In Österreich vom Schwallbetrieb hauptsächlich betroffen sind mittlere und größere Flüsse der unteren Forellen- und Äschenregion sowie Flüsse im Übergang zur Barbenregion wie etwa Mur, Drau, Möll, Enns, Salzach, Inn und Alpenrhein.

Laut „Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan“ (NGP 2009) sind 785 Flusskilometer in Österreich von Schwallbetrieb betroffen, dies entspricht in etwa 10% der gesamten Fließgewässer bzw. etwa 30% der größeren Fließgewässer (Einzugsgebiet >1000 km^2) in Österreich. Wasserkörper mit Schwalleinfluss weisen laut NGP einen unbefriedigenden fischökologischen Zustand auf (Zeiringer, 2011).

Schwallstrecken, die den „guten Zustand“ nur unter Änderung der Betriebsweise erlangen würden, werden als „erheblich veränderte Wasserkörper“ (Abk.: „HMWB“) ausgewiesen. Hierbei gilt es, das „gute ökologische Potential“ als Ziel zu erreichen. Aus Gründen von Wissenslücken über die Effektivität und Effizienz von Maßnahmen zur Minimierung von Schwallauswirkungen ist ein Erreichen des o.g. Güteziels für schwallbelastete Gewässer bis 2015 nicht wahrscheinlich (ÖWAV, 2008).

Die ökologischen Folgewirkungen des Schwallbetriebes sind bisher nur unzureichend erforscht; diesbezügliche Forschungsarbeiten sind aber unerlässlich, damit mögliche Verbesserungskonzepte

effektiv eingesetzt werden können. Es wurde festgestellt (Limnex-AG, 2004), dass die Auswirkungen eines derartigen Betriebes unter anderem die Beeinträchtigung der natürlichen Fortpflanzung bei Fischen und eine Verminderung des Fischbestandes, eine abnehmende Arten- und Individuenzahl bei wirbellosen Bewohnern der Flusssohle (v.a. Insektenlarven) zur Folge haben kann. Auf Beeinträchtigungen, die die Kolmation des Substrats oder Auswirkungen auf Nahrung und Nahrungsaufnahme aufgrund der Wassertrübung zur Folge haben, wurde in Untersuchungen am Alpenrhein (Eberstaller, et.al., 2001). Schon Bradford (1997) hat in Experimentierrinnen die erhöhte Strandungsgefahr von Salmoniden auf Schotterbänken in regulierten Flussabschnitten infolge des schnellen Abflussrückganges beschrieben.

Abgesehen von der bisherigen Aufarbeitung der vorhandenen Daten und dem Sammeln weiterer ist es wichtig, Zusammenhänge und Reaktionen von Fischen auf die Auswirkungen des Schwallbetriebes zu erkennen und zu erfassen. Da dies an natürlichen Fließgewässern nicht oder nur in unbefriedigendem Ausmaß möglich ist, soll dies mittels künstlich angelegter Experimentierrinnen erfolgen. Dabei können Fischart und Lebensstadium, Wassertemperatur, Größe und Dauer der Schwallamplitude sowie Dauer der An- und Abstiegszeit des Schwalls variiert werden und so mit Dauer des Projektes eine Mehrzahl an unterschiedlichen Fragestellungen überprüft werden. Als weiteres Ziel sollen die daraus gewonnen Erkenntnisse in geeignete Konzepte für Ausgleichsmaßnahmen eingearbeitet werden, um die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie zu ermöglichen.

Aufgaben und Möglichkeiten der HyTEC - Versuchsanlage

Die Arbeit in den „**HyTEC**“-Experimentierrinnen („**Hy**dromorphology and **T**emperature **E**xperimental **C**hannel“) soll helfen, konkrete Erkenntnisse in Sachen Erforschung von Auswirkung von Schwall- und Sunkphänomenen auf Jungfische zu gewinnen, welche in freien Fließgewässern in diesem Maße nicht möglich sind. Dabei sollen gezielte Fragestellungen in einem isolierten und kontrollierbaren Bereich, unabhängig von zumeist in der Natur vorkommenden überlagernden Eingriffen und Schwankungen, bearbeitet und beantwortet werden. Hauptaugenmerk gilt vorrangig der Äsche (*Thymallus thymallus* L.) und der Bachforelle *(Salmo trutta f.fario* L.), vom Larvenstadium bis zur Vollendung des ersten Lebensjahres. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich ausschließlich mit der Äsche.

Konkret sollen Fragen zur Drift und Strandung von Larven infolge unterschiedlicher Schwallamplituden sowie Schwallanstiegs- und -abstiegsgeschwindigkeiten untersucht werden. Entscheidend für die Konzeption von Fließrinnenversuchen ist die Möglichkeit, unterschiedlichste

Schwallszenarien mit regelbaren Wassertemperaturverhältnissen und divergierenden Abflussanstiegs- bzw. Abflussabstiegsgeschwindigkeiten simulieren zu können. Ein weiterer Aspekt, der für die Durchführung von Fließrinnenversuchen spricht, ist die Möglichkeit, Langzeituntersuchungen unter kontrollierten Bedingungen durchzuführen. Dadurch wird es möglich, Wachstum, Kondition und Sterblichkeit von Larven und Jungfischen über ausgedehnte Zeiträume unter kontrollierten Bedingungen zu verfolgen und quantitative Daten dazu zu generieren. Ein Schwerpunkt soll auch auf die Prüfung unterschiedlicher Strukturtypen hinsichtlich der Eignung als Habitat und ihrer Akzeptanz unter Schwalleinfluss gesetzt werden. Daraus erwarten wir uns Hinweise, wie effektive, morphologische Maßnahmen in Schwallstrecken gestaltet werden können.

In der vorliegenden Arbeit soll folgende im Projekt postulierte Hypothese überprüft werden:

Juvenile Äschen werden während Schwall abgedriftet und stranden nach einem Schwall. So wird die Jungfischpopulation bereits früh reduziert.

3. Die Versuchsanlage

Die Versuchsrinnen befinden sich in der niederösterreichischen Gemeinde Lunz am See nahe des gleichnamigen Sees, im Bezirk Scheibbs.

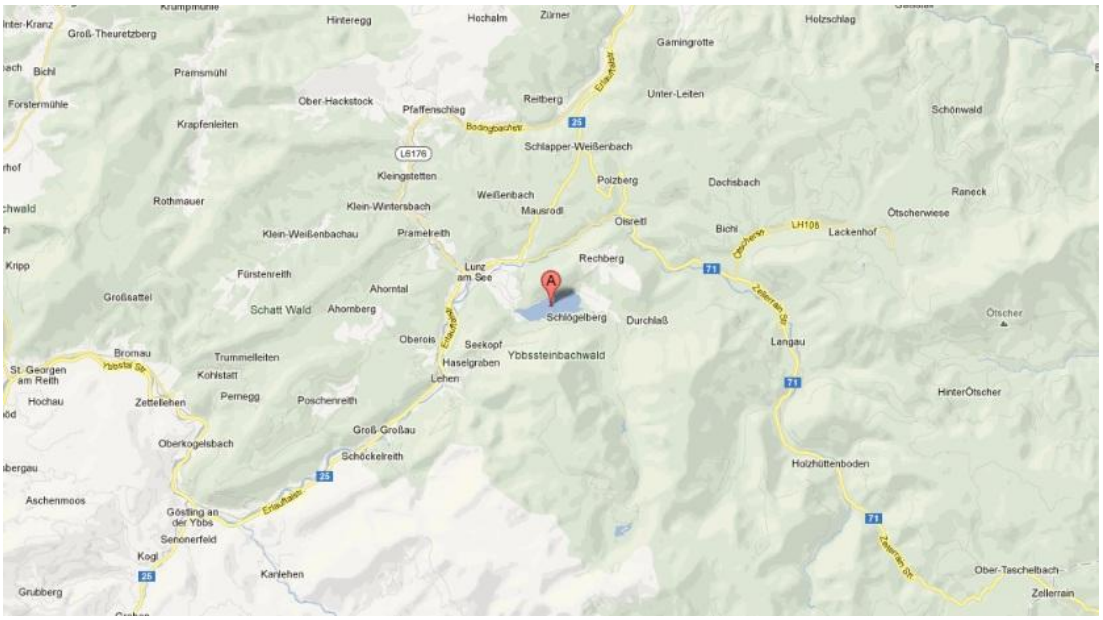


Abbildung 1: Schematische Lage des Lunzer Sees, maßstabslos

Die Versuchsanlage befindet sich in rund 400 Metern Entfernung des Lunzer Seeausrinnes in nordwestlicher Richtung, in unmittelbarer Nähe zum Lunzer Seebach (siehe Abbildung 2).

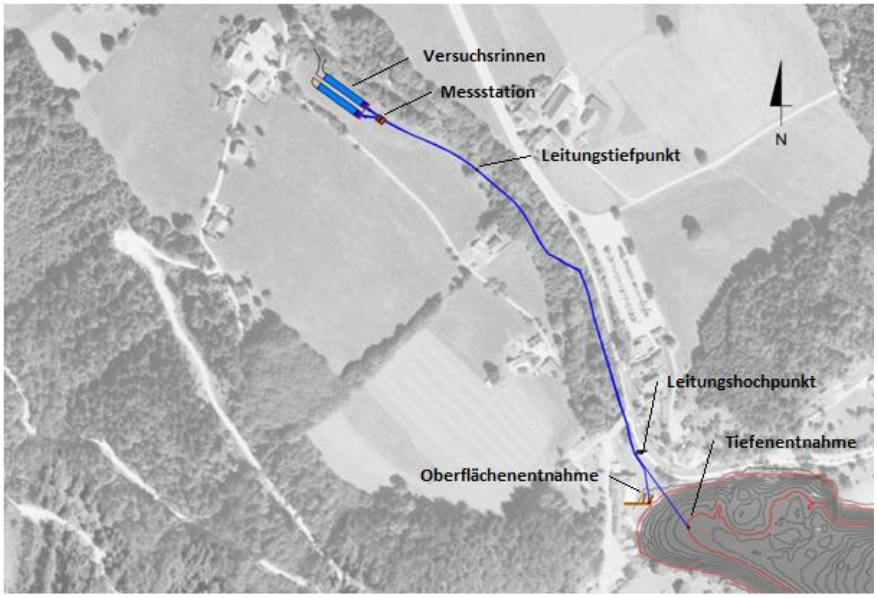


Abbildung 2: Die genaue Lage der Versuchsanlage und der Entnahmeleitungen, am Westufer des Lunzer Sees

Folgende Abbildungen sollen einen kleinen Überblick über die Anlage geben:



Abbildung 3: Blick vom unteren Ende der Versuchsrinnen, 01.09.2011



Abbildung 4: Blick in über die Anlage in Fließrichtung, 01.08.2012



Abbildung 5: Blick vom unteren Ende während der Herstellungsphase; 06.10.2010

Durch die Topographie ergibt sich eine Wasserspiegeldifferenz von mindestens 7 Metern zwischen dem Seespiegel (608,05 m.ü.A) des Lunzer Sees und dem Wasserspiegel (600,90 m.ü.A) am Beginn der Experimentierrinnen.

Die gesamte Anlage kann im Wesentlichen in 4 Teilelemente gegliedert werden:

- Wasserentnahme
- Transportwasserleitung
- Forschungsstation mit Schieberkammer
- Experimentierrinnen

3.1.1. Wasserentnahme

Die Wasserentnahme erfolgt mittels zweier Druckrohrleitungen (DN400) aus dem Lunzer See; bestehend aus einer oberflächennahen „Warmwasserleitung“ (Strang 2) und einer auf ca. 10m Tiefe liegenden „Kaltwasserleitung“ (Strang 1). Durch diese Leitungsanordnung können Wassertemperaturen in den Versuchsrinnen erzeugt werden, die sich zwischen den Werten der Kaltwasser- und Warmwasserleitung befinden. Die Rohrleitungen wurden am Seegrund bzw. am vorhandenen Holzsteg der sich dort befindlichen Bootsvermietung verankert.

Die Rohreinlässe sind hinsichtlich Ansaugrisikos von Schwimmern, Tauchern etc. durch eine Gitterkäfigkonstruktion geschützt. Die Käfigoberkante der Warmwasserleitung wurde mind. 0,5m unter dem minimalen Seewasserspiegel fixiert, um einen problemlosen Bootsbetrieb zu gewährleisten. Bei einer maximalen Entnahme von 300 l/s pro Rohrstrang wird in dem Rohr (DN400) (siehe Unterkapitel „3.1.2. Transportwasserleitung“) eine maximale Fließgeschwindigkeit von rund 2,3 m/s erreicht. Um die Ansauggeschwindigkeit vor dem Käfig auf 0,10 m/s zu reduzieren, ist eine lichte Gesamtoberfläche des Käfigs von 3 m² erforderlich. Es wird ein würfelförmiger Gitterkäfig mit einer Seitenlänge von 1,0 m und einer Maschenweite von 3 cm gewählt. Die durchflusswirksame Oberfläche beträgt somit 6,0 m².

3.1.2. Transportwasserleitung

Die Transportwasserleitung besteht aus zwei voneinander unabhängigen, parallel verlaufenden Rohrsträngen DN400, mit einem max. Durchfluss von je 300 l/s (siehe Abbildung 2). Die Rohrleitungen versorgen die Fließrinnen ständig mit einer Mindestdotation, um die Rinne als aquatischen und wechselfeuchten Lebensraum anzubieten und bei der Durchführung eines Schwallversuches mit einer entsprechenden Wassermenge zu versorgen.

Bei der Wahl der Leitungstrasse wurde darauf geachtet, dass der Laubbaumbestand am Bachufer möglichst erhalten bleibt und möglichst kein Nachteil für das Landschaftsbild entsteht. Die Rohre wurden in einer Künette entsprechend gebettet und mit Aushubmaterial überdeckt. Die bestehenden Einbauten anderer Leitungsträger wurden entsprechend berücksichtigt. Bei der Festlegung der Trassenführung wurde auf eine hydraulisch möglichst günstige Ausführung geachtet, das Gefälle vom See zur Anlage beträgt etwa 1,3 %. An Leitungshoch- und –tiefpunkten wurden Be- und Entlüftungsarmaturen eingebaut und eine entsprechende Entleerungsleitung hergestellt, die in einem Auslaufbauwerk in den Seebach mündet.

Die Druckverhältnisse sind durch den Seewasserspiegel Lunzer See und die Wasserspiegel in der Versuchsanlage (Fließrinnen) vorgegeben und belaufen sich deshalb auf etwa 0,7 bar.
Die Transportwasserleitung besteht aus folgenden zwei Strängen:

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

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

Strang 1 entnimmt das Wasser aus einer Tiefe von 9,6 m (Rohrmitte; 598,47 m.ü.A.) des Lunzer Sees. Die Tiefenleitung besteht aus einem Stahlrohr DN 400 mit einer Länge von rund 71 m bis zu den Verschlussorganen kurz vor dem Leitungshochpunkt. Die Oberflächenleitung besteht ebenfalls aus einem Stahlrohr DN 400 mit einer Länge von rund 35,5 m bis zu den Verschlussorganen. Am Hochpunkt ist eine Be- und Entlüftung situiert.

3.1.3. Forschungsstation mit Schieberkammer

Die Forschungsstation befindet sich rund 450 m nordwestlich des Seeausrinnes, in unmittelbarer Nähe des Seebaches. Sie besteht im Grunde aus einem Gebäude, welches in seinem Aussehen einer „landschaftstypischen Heulagerhütte“ entspricht, mit einer Grundfläche von etwa 5 m × 4 m mit dahinterliegendem Verschlag von etwa derselben Fläche, in dem 3 Rundbecken mit Wasserversorgung aus der darunterliegenden Rohrleitung für die Hälterung der Fische sowie Kleinmaterial untergebracht sind.

Kurz bevor die Leitungen unterirdisch in die sich unter der Hütte befindliche Schieberkammer geführt werden, teilen sie sich in jeweils 2 Stränge, jeweils eine Oberflächen- und eine Tiefenleitung für beide Experimentierrinnen. Somit ist gewährleistet, dass die 4 Parallelleitungen direkt durch die Schieberkammer geführt werden können. Die ursprünglich geplante, manuelle Bedienung der Schieber wurde im Laufe der Ausführungsphase durch elektronisch steuerbare Stellmotoren mit Plattenschiebern ersetzt. Nur so können die geplanten Schwallszenarien auch richtig und miteinander vergleichbar wiederholt werden.

Desweiteren befinden sich in der Schieberkammer die Wassertemperaturfühler, die rund 1 m vor den Schiebern installiert wurden, sowie die Wasserentnahme für die Rundbecken.
Die Durchflussmessung erfolgt mittels Ultraschallmessgeräten (1-Pfad Messung, Typ- RISONIC 2000 Sensoren Typ A der Firma Rittmeyer), diese befinden sich in einem DIN2500-Schacht zwischen der Schieberkammer und den anschließenden Tosbecken. In der Kontroll- und Steuerungseinheit werden

die Messungen im Modul RISONIC (Komponenten: RISONIC Controller und RISONIC Ultraschall-Laufzeit) verarbeitet und die Durchflusswerte angezeigt bzw. gespeichert. Die Aufzeichnung der Durchflusswerte des Zulaufes erfolgt in 5 min-Intervallen. Die Durchflusssteuerung erfolgt mittels Eingabe über ein Touch-Display.



Abbildung 6: Plattenschieber samt Motoren (1), Wasserentnahme für Rundbecken (2), Temperaturfühler(3)



Abbildung 7: Tosbecken mit darin befindlicher Prallwand zur besseren Durchmischung des Wassers

3.1.4. Experimentierrinnen



Abbildung 7: Blick über die Versuchsrinnen in Fließrichtung; man beachte den erhöhten Abfluss im Zuge einer Versuchsdurchführung in der rechten Rinne

Die Versuchsrinnen sind geometrisch ident, deren Aufbau ist spiegelverkehrt, haben eine Länge von 40 m, eine effektiv benetzbare Breite von 6 m und besitzen, gleich dem Tosbecken, eine Bentonitmatte als horizontale Abdichtung sowie waagrecht liegende Lärchenpfosten als senkrechtes Stützwerk sowie als Abdichtung. Sie weisen eine Tiefe von 1,4 m und ein Grundgefälle von 0,5 % auf, welches durch eingebrachten Flussschotter aber modelliert werden kann. Weiter besteht die Möglichkeit, nachträglich Querbauwerke vorzusehen, womit die Rinne nachträglich in 4 hintereinanderliegende Segmente unterteilt werden kann. Das Ende der Rinnen bilden wiederum waagrechte Lärchenpfosten als höhenverstellbare, dichte Stützwand, an diese sind Holz-/Stahlrahmenkonstruktionen geschraubt, die der jeweiligen Fischgröße entsprechende Netzsysteme aufnehmen können, durch die das Wasser hindurch fällt. Aus diesen Netzen können ausgedriftete Fische unbeschadet entnommen werden.



Abbildung 8: Blick auf die Netzkonstruktion am Rinnenende: Hier werden abgedriftete Äschen detektiert

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, mittels entfernbarer, vertikaler Lochbleche ein Ausdriften von Fischen während der Adaptionszeit (siehe Unterkapitel „4.1.1. Begriffserklärungen“) zu verhindern. Der dahinterliegende Bereich hat zur Aufgabe, das Wasser wieder zu sammeln und dem Seebach wieder rückzuführen. Da die Rinnen voneinander durch einen etwa 3,5 m breiten Weg getrennt sind,

muss das Wasser aus der linken Versuchsrinne unter Diesem mittels Stahlverrohrung (DN 800) hindurchgeführt werden, bevor es sich mit dem Wasser der rechten Rinne vermischt und dem Seebach rückgeführt wird.

Um in den Experimentierrinnen während eines Versuchs bzw. einer Versuchsreihe gleichmäßige Bedingungen zu erhalten, ist es nötig, das Wasser in einem Tosbecken zu mischen, zu beruhigen und gleichmäßig in die Rinnen abzugeben. Diese Tosbecken haben eine rechteckige Grundfläche von 6 m × 4 m und eine Tiefe von rund 1,5 m. Sie sind aus 200/100 Lärchenholz mit Fremdfeder gefertigt, zusätzlich wurden sie im unteren Bereich mit Brunnenschaum abgedichtet. Die horizontale Abdichtung erfolgte mit geotextilen Bentonitmatten, die mit entsprechender Überlappung und ausreichendem Hochzug wasserundurchlässig verbaut wurden. Darüber wurde eine Magerbetonschicht aufgebracht, in welche die Prallwandaufnahme aus Stahl eingelassen wurde. Außerdem versah man den Boden mit einer Flussschotterschlichtung, die durch den Beton vor Umlagerung und Ausspülung geschützt ist. In Abbildung 9: Blick über die linke Versuchsrinne mit davorliegendem Tosbecken sieht man vorne auf der rechten Seite des Tosbeckens, dass ein 3 m langer Lärchenpfosten nicht eingesetzt ist: in diesem Bereich wird das Wasser gleichmäßig in die dahinterliegende Versuchsrinne dotiert.



Abbildung 9: Blick über die linke Versuchsrinne mit davorliegendem Tosbecken

Um einen ersten Eindruck zu bekommen, wie sich der Wasserstand in den Rinnen bei konstanter Dotationsänderung verhält, wurde mittels Drucksonden die Höhe der Wassersäule ermittelt. Die

Wasserstandsänderung (in cm/min) wird im Folgenden als Schwallanstiegsgeschwindigkeit und Schwallabstiegsgeschwindigkeit benannt.

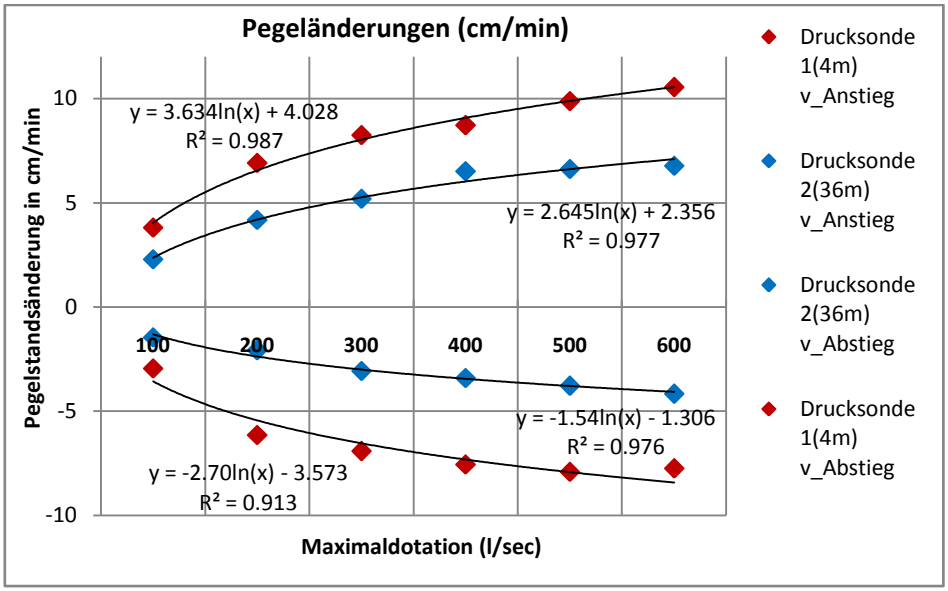


Abbildung 10: Darstellung der Pegelstandsänderungen (cm/min) in den Rinnen; „v_Anstieg“: Anstiegsgeschwindigkeit der Schwallwelle im Gerinne, „v_Abstieg“: Abstiegsgeschwindigkeit d Schwallwelle im Gerinne

Die Pegeländerungsgeschwindigkeit in Abbildung 10 bei einer Dotation von 500 l/s konnten aufgrund eines technischen Problems nicht ausgewertet werden, wurden jedoch rechnerisch ermittelt.

Die Retentionszeit der Schwallwelle in den Rinnen zwischen Stationierung 4 m und 36 m (Abstand vom Tosbecken) in Längsrichtung beträgt zu Beginn des Schwallanstiegs knapp über 30 Sekunden, zu Beginn des Schwallabstiegs beträgt sie knapp unter 20 Sekunden und ist unabhängig vom Dotationsunterschied zwischen Sunk- und Schwallabfluss. Mit Fortschritt des Schwallan- bzw. abstiegs nimmt auch die Retentionszeit leicht zu.

Versuchs-reihe	Schwall[1]	Stationierung	v_max_Anstieg_vertikal (cm/min)	v_max_Abstieg_vertikal (cm/min)	v_max_Anstieg_lateral (cm/min)	v_max_Abstieg_lateral (cm/min)	Dauer-Anstieg	Dauer-Abstieg
V1	500-1	4	9.88	-7.92	130.36	-104.48	2.50	2.67
	500-1	36	6.61	-3.79	87.27	-49.98	2.00	3.67
V2	100-1	4	3.80	-2.95	50.20	-38.92	1.67	2.17
	100-1	36	2.29	-1.47	30.16	-19.33	1.83	2.83
	200-1	4	6.91	-6.15	91.14	-81.10	1.67	2.00
	200-1	36	4.17	-2.09	55.07	-27.53	1.83	3.67
	300-1	4	8.25	-6.92	108.81	-91.34	2.00	2.33
	300-1	36	5.19	-3.08	68.49	-40.63	2.00	3.17
	400-1	4	9.65	-7.56	114.97	-99.77	2.17	3.17
	400-1	36	6.51	-3.38	85.93	-45.07	1.83	3.50
	500-1	4	9.88	-7.92	130.36	-104.48	2.50	2.67
	500-1	36	6.61	-3.79	87.27	-49.98	2.00	3.67
	600-1	4	10.54	-9.06	139.13	-102.27	2.33	3.17
	600-1	36	6.77	-4.18	89.36	-55.10	2.33	3.67
V3	400-15	4	0.64	-0.50	7.66	-6.65	-	-
	400-15	36	0.43	-0.23	5.73	-3.00	-	-
	400-10	4	0.97	-0.76	11.50	-9.98	-	-
	400-10	36	0.65	-0.34	8.59	-4.51	-	-
	400-5	4	1.93	-1.51	22.99	-19.95	-	-
	400-5	36	1.30	-0.68	17.19	-9.01	-	-
	400-2.5	4	3.86	-3.02	45.99	-39.91	-	-
	400-2.5	36	2.60	-1.35	34.37	-18.03	-	-
	400-1	4	9.65	-7.56	114.97	-99.77	2.17	3.17
	400-1	36	6.51	-3.38	85.93	-45.07	1.83	3.50

Abbildung 11: Anstiegs- und Abstiegsgeschwindigkeiten der verschiedenen Versuche in den unterschiedlichen Versuchsreihen

Die Rinnen bieten auch die Möglichkeit, Temperaturfühler aufzunehmen, außerdem ist am Beginn der Rinnen jeweils ein Futterautomat für eventuelle Langzeitversuche installiert, sollte das Makrozoobenthos sowie Zooplankton keine ausreichende Nahrung bieten können.

Entlang der Rinnen führt auf beiden Seiten jeweils ein Schotterweg. Diese können auch von schweren Baufahrzeugen befahren werden, um eventuelle Arbeiten in und an den Rinnen vornehmen zu können. Der Weg entlang der linken Rinne wird meist auch als Zufahrtsweg verwendet.

[1] : Erklärung: Die Zahl hinter der Schwalldotation beschreibt die Dauer (in Minuten) des Schwallanstiegs-/abstiegs

Versickerungsversuch

Um zu untersuchen, ob eine gewollte Wassermenge nicht nur durch die Leitungsrohre sondern auch in die Versuchsrinne gelangt, wurde in den Tosbecken ein Versickerungsversuch gemacht. Dazu wurde das Tosbecken randvoll gefüllt, die Leitungen anschließend vollständig abgedreht und danach gemessen, in welcher Zeit der Wasserspiegel wie schnell sinkt. So konnte genau bestimmt werden, ob die Dichtheit der Dammbalken sowie der horizontalen Bentonitmatte gegeben ist. Nach dem ersten Versickerungsversuch wurden die Dammbalken zusätzlich im Bereich der unteren 60 cm mit Brunnenschaum abgedichtet.

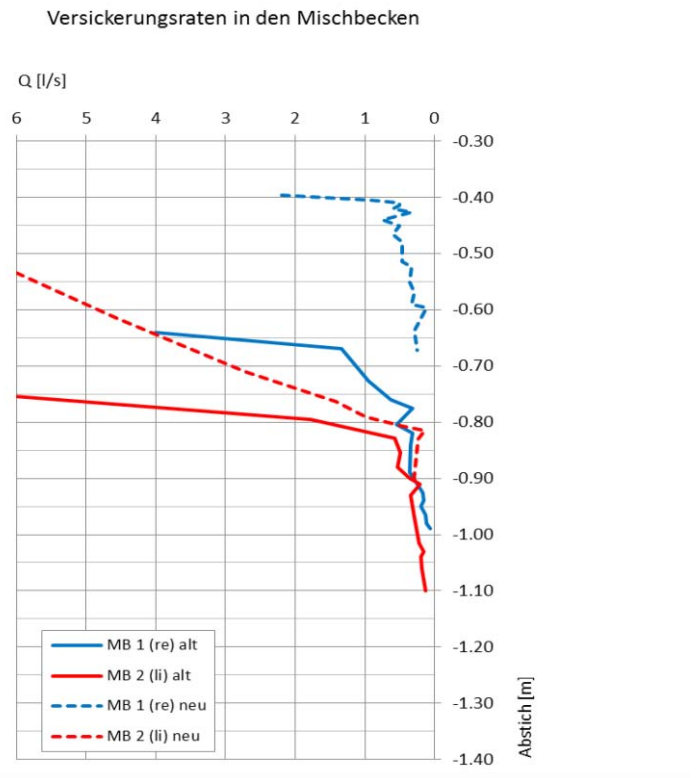


Abbildung 12: Versickerungsversuch in den Tosbecken vor und nach zusätzlicher, vertikaler Abdichtung

Man sieht, dass die nachträgliche Abdichtung der Dammbalken ihre Aufgabe erfüllt und sich die nun vorliegende verminderte Versickerung des Wassers in einem akzeptablen Bereich befindet.

Dotationsmessung in den Versuchsrinnen

Um vor Beginn der Schwallversuchsreihen die Genauigkeit der Ultraschallmessung zu untersuchen, wurden mittels der Vielpunktmethode Fließgeschwindigkeiten bei unterschiedlichen Dotationen

(17 l/s bis 600 l/s) mit Hilfe eines Induktivstromgerätes („Flo-Mate 2000“ von Marsh McBirney) in einem definierten Querprofil (Stationierung bei 32 m abwärts des Tosbeckens) innerhalb der Rinne gemessen und mit den Ultraschallmessungen verglichen.

Die Messungen erfolgten in einem Zeitraum von knapp 2 Wochen, da in der Zwischenzeit die Sohlgeometrie geändert wurde.

Datum	Rinne 1, Ultraschallmessung RISONIC			Dotations-messung im Profil	Abweichung	Status	Sohl-geometrie
	Rohr 1 [l/s]	Rohr 2 [l/s]	Gesamt [l/s]				
28.10.2011	12	5	17	16	-9%	o.k.	1
13.10.2011	20	17	37	36	-2%	o.k.	1
28.10.2011	100	0	100	101	1%	o.k.	1
28.10.2011	200	0	200	201	0%	o.k.	1
28.10.2011	300	0	300	278	-8%	k.o*)	1
28.10.2011	300	100	400	380	-5%	k.o*)	1
28.10.2011	300	200	500	451	-11%	k.o*)	1
28.10.2011	300	300	600	526	-14%	k.o*)	1
09.11.2011	80	20	100	99	-1%	o.k.	2
09.11.2011	300	0	300	310	3%	o.k.	2
09.11.2011	175	225	400	409	2%	o.k.	2
09.11.2011	250	250	500	509	2%	o.k.	2
09.11.2011	300	300	600	604	1%	o.k.	2

Abbildung 13: Übersicht über die gemessenen und berechneten Dotationen und deren Vergleich;

*) „k.o“= Diese Messungen waren aufgrund zu geringerer Auflösung in den unteren Messtiefen zu ungenau und wurden späteren Datums mit einer größeren Punktverdichtung, bereits bei neuer Sohlgeometrie ,erneut durchgeführt.

Die Messungen der höheren Dotationen (300 l/s - 600 l/s) vom 28.10.2011 wurden bei zu geringer Messpunktdichte erhoben, weshalb eine erneute Messung bei bereits veränderter Geometrie durchgeführt wurde. Man sieht, dass die Ultraschallmessungen sowie die nachträglichen Fließgeschwindigkeitsmessungen sehr ähnliche Ergebnisse liefern. Aus diesem Grunde wurde von einer weiteren Eichung der Messgeräte abgesehen.

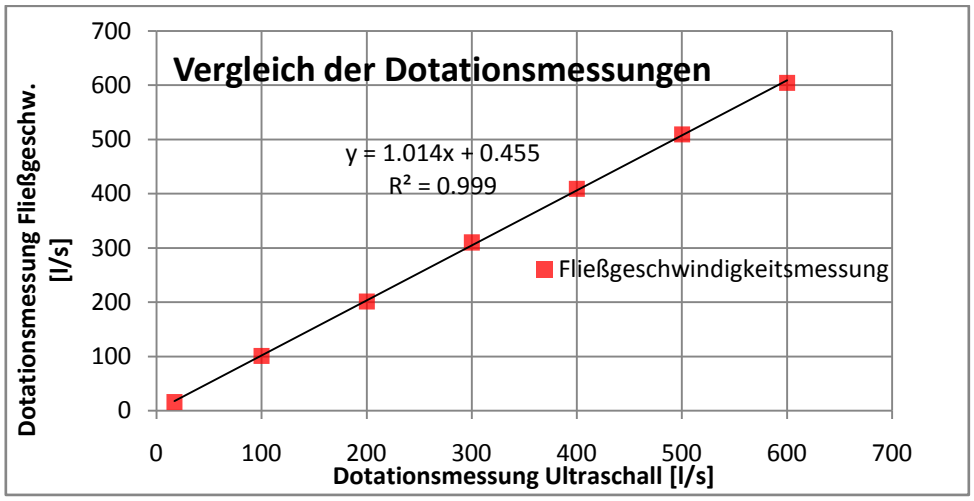


Abbildung 14: Vergleich der beiden Durchflussmessungen und deren Abweichung

4. Die Versuchsreihen

4.1.1. Begriffserklärungen

Da die durchgeführten Versuche durch eine Vielzahl an Parametern bestimmt sind, ist es sinnvoll, häufig wiederkehrende oder neu geschaffene Begriffe eindeutig zu definieren, damit in Folge bei der Beschreibung der Versuche sowie deren Ergebnisse und Interpretation keine Unklarheiten entstehen können. Folgende Begriffe (alphabetisch geordnet) bedürfen einer eigenen Erklärung:

Adaptionszeit, -phase: Jene Zeit/Phase, die dem Versuch (bestehend aus Abflussanstieg, Schwallabfluss und Abflussabstieg) vorgeschaltet wird, um den Fischen eine Gewöhnung und Verteilung innerhalb der Rinne zu ermöglichen

Aktive Drift: Absichtliches Ausdriften aus der Rinne bei Sunkdotation während einer Versuchsdurchführung;

An-, Abstiegsgeschwindigkeit: Messung der Wasserpegelsänderung in der Rinne vor bzw. nach Erreichen des Schwallmaximums; gemessen in cm/min.

Clearing: Wiederfangen jener Fische, die nach einer Versuchsdurchführung im Wasserkörper der Rinne verblieben sind

Drift (-zeitpunkt): Detektion und Entnahme von Fischen aus den Driftnetzen am Ende der Rinne während einer Versuchsdurchführung

Impuls, Initial-: Theoretische Änderung der hydrologischen Bedingungen in der Versuchsrinne, die eine Verhaltensänderung eines Individuums zur Folge hat

Lochblechabsperrung: Vorrichtung am Rinnenende zur Unterbindung der Drift in die Driftnetze

Maximalabfluss: Jener Höchstdurchfluss, der während eines Schwallereignisses erreicht wird.

Passive Drift: Verlassen der Rinne eines Fisches, während einer Anstiegs-, Abstiegs- oder Schwallphase

Referenzrinne: Ist ein spiegelverkehrtes Abbild der Schwallrinne, welche aber während einer Versuchsdurchführung immer mit der Sunkdotation dotiert wird.
Relative Driftrate, absolute Driftzahl:

Retention: Zeitliche Verzögerung der hydrologischen Bedingungen bei Wasserstandsänderung innerhalb der Rinne im Längsverlauf

Sunkdotation: Jene Dotation, die in der Schwallrinne vor und nach einem Schwallereignnis bzw. in der Referenzrinne über die gesamte Dauer einer Versuchsdurchführung stattfindet

Schwallereignis: Wasserstandsänderung in der Schwallrinne während einer Versuchsdurchführung, definiert durch Anstiegs-, Abstiegs- und Schwalldauer

Schwallintensität: Durchflussmenge in der Schwallrinne während einer Versuchsdurchführung

Schwallrinne: Der Abfluss in der Schwallrinne wird im Gegensatz zur Referenzrinne mit einem vordefinierten Schwall beaufschlagt

Strandung, -sraten: Aufgrund des Schwallabstieges auf dem Schotterkörper liegengebliebene Individuen; Wird die Anzahl in ein Verhältnis zu jenen Fischen gesetzt, die sich bei Schwallabstiegsbeginn noch in der Rinne befinden, so spricht man von der Strandungsrate

Versuchsdesign: Je nach Fragestellung variiert die Anzahl der besetzten Fische, die Schwallwelle und der Ablauf des Versuches. Alle Aspekte zusammengefasst entsprechen dem jeweiligen „Versuchsdesign“.

Versuchsablauf

Um im Folgenden mit den Begrifflichkeiten vertraut zu sein: eine Schwallversuchsreihe besteht aus mehreren Schwallversuchen, diese wiederum bestehen aus einer Aneinanderreihung unterschiedlicher Schwallereignisse mit unterschiedlichen Schwallintensitäten. Die Nummer des Schwallversuches setzt sich aus der Nummer der Schwallversuchsreihe und der Häufigkeit der Durchführungen zusammen.

Die Bezeichnung der Einzelschwallereignisse besteht aus der Nummer der Schwallversuchsreihe und einer fortlaufenden Nummerierung.

Der Versuchsvorgang setzte sich im Prinzip aus 3 Phasen zusammen:

Adaptionsphase: In dieser Phase sollten sich die in die Rinne besetzten Äschen vom Stress des Umsetzens aus den Rundbecken in die Rinnen erholen und an das neue Habitat gewöhnen.

In Versuchsreihe 1 hat sich gezeigt, dass die Lösung mit einem Absperrnetz am Rinnenanfang und dem Lochblechrahmen am Rinnenende als verbesserungswürdig herausstellte (siehe „4.2.3. Diskussion und Interpretation der Ergebnisse der Schwallversuchsreihe“). Aus diesem Grund wurde nun in der Mitte der Rinne ebenfalls ein Absperrnetz eingegraben. Dieses Netz befand sich deshalb in der Mitte, da dadurch eine flussabwärtsgerichtete Flucht durch die Störung beim Entfernen des Netzes gewährleistet werden konnte, dass dabei Individuen nicht sofort am Ende der Rinne angekommen sind und ausdriften, sondern noch ein Bereich innerhalb den Rinnen vorhanden war, in dem sich die Jungäschen einstellen konnten.

Damit in dieser Phase keine Drift stattfinden kann, wurden die Fische in der oberen Hälfte der Rinne besetzt und durch die Absperrnetze am oberen Ende und in der Mitte der jeweiligen Rinne am Abdriften gehindert. Den Übergang zwischen den beiden ersten Phasen bildet das Entfernen der unteren Netze, womit es den Fischen ermöglicht wird, weiter rinnenabwärts zu schwimmen und gegebenenfalls auch aktiv abzudriften. Durch Beobachtungen wurde herausgefunden, dass ein aktives Abdriften in die Netze, sofern es passiert, auch gewollt ist, da Fische des Öfteren nur wenige Zentimeter vor dem Ende der Rinne flussauf gestanden sind, und keine Probleme hatten, gegen die Strömung zu schwimmen. Wurden sie gescheucht, hatten die Jungäschen kein Problem, rinnenaufwärts wegzuschwimmen. Das Rinnenende kommt ohne hydraulisch wirksamen Querbauwerk aus. Dies hat den Vorteil, dass die Fließgeschwindigkeit nicht erhöht ist. Der Nachteil dieser Lösung liegt darin, dass das Substrat nicht gehindert wird, aus der Rinne transportiert zu werden, und somit in den Driftnetzen zu liegen kommt. Dadurch ergibt sich eine erhöhte Beanspruchung der Driftnetze aufgrund des Abriebes, desweiteren stellt das Substratmaterial eine Verletzungsquelle für die ausgedrifteten Fische dar. Daher müssen die Driftnetze bei Schwalldotation immer und durchgehend überwacht werden, um die darin befindlichen Fische so schnell und behutsam wie nur möglich zu entnehmen.

Versuchsphase: In dieser Versuchsphase kann es vor sowie nach einem Schwallereignis zu „aktiver Drift“, und während des Schwallereignisses zu sogenannter „passiver Drift“ kommen. Außerdem kann während des Wasserrückganges Strandung von Äschen passieren. Nach jedem Schwall wurde im Bereich der Schwallanschlagslinie der Schotter nach gestrandeten Individuen abgesucht. Bei schwächerer Dotierung wurde dies anfangs immer, später nur mehr sporadisch gemacht. Man wollte zum einen die verbleibenden Fische in der Rinne nicht stören, zum anderen wurde die Erfahrung gemacht, dass es bei bestimmten Versuchsanordnungen zu keiner Strandung kommt, da die Rückgangsgeschwindigkeit der Schwallwelle keinen kritischen Wert überschritt, bei dem das Rückschwimmen in benetzte Bereiche nicht mehr für alle Fische möglich ist.

Clearingphase: Nach einem Schwallversuch musste es gelingen, alle noch in der Rinne verbleibenden Individuen zu fangen. Dies passierte mittels Elektrobefischung (Scheuchen und Fangen, mind. 2x/Rinne/Versuch) bei teilweise erhöhten Abflüssen für erhöhte Driftraten.

4.2. Schwallversuchsreihe 1

Die erste Versuchsreihe diente dazu, das Driftverhalten der Fische in der mit Schwall beaufschlagten Rinne im Gegensatz zur Referenzrinne ohne Schwalldotation erstmals grundlegend zu beobachten und eventuell Schlüsse für folgende Versuchsreihen zu ziehen.

Um dies zu ermöglichen, wurde am Ende der Rinnen hinter den Holzrahmen, der die Lochbleche aufnehmen kann, eine Netzkonstruktion vorgesehen, mithilfe der man die gedrifteten Jungäschen auffangen, erfassen und anschließend möglichst unversehrt entnehmen konnte. Im oberen Bereich, etwa 1,5 m unterhalb der Schwelle zum Tosbecken, wurde ein Netz als Hindernis gegen rinnenaufwärts gerichtete Wanderung für die Äschen in der Rinne eingebaut, da sich im Vorfeld zeigte, dass manche Fische im Lückenraumsystem ebendort versuchen, weit ins Substrat einzudringen. Dies ist in diesem Bereich leichter möglich, da mitunter größeres Substrat zum Schutz vor Ausspülung durch das überfallende Wasser eingebracht wurde.

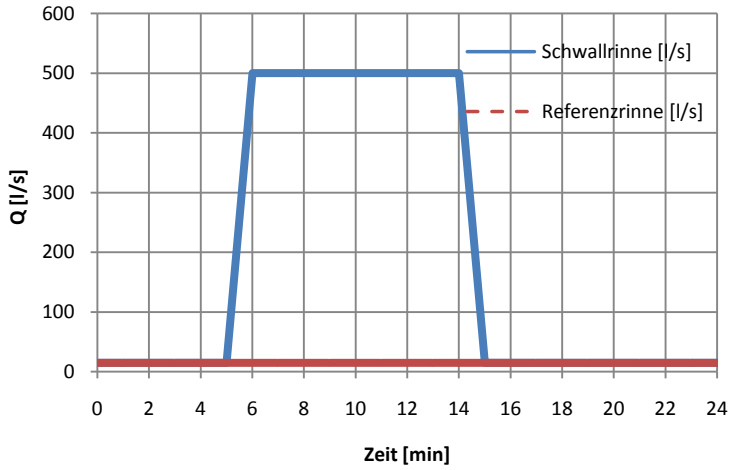


Abbildung 15: Schwalldesigns der 1. Schwallversuchsreihe

4.2.1. Die Versuche

Versuch	Rinne	Durchführungs-datum	besetzte Fische	entnommene Fische, Gesamt	fehlende Fische	fehlende Fische [%]
1.1	Schwall	2.-7.12.11	150	91	59	39.33%
1.1	Referenz	2.-7.12.11	150	85	65	43.33%
1.2	Schwall	14.-19.12.11	150	116	34	22.67%
1.2	Referenz	14.-19.12.11	150	47	103	68.67%
1.3	Schwall	22.-23.12.11	150	123	27	18.00%
1.3	Referenz	22.-23.12.11	150	112	38	25.33%

Tabelle 1: Übersicht über die durchgeführten Versuche der Schwallversuchsreihe 1

Versuch 1.1

Es wurden 150 Jungäschen in jeder Rinne besetzt, die Sunkdotation betrug 15 l/s. Durch Erkenntnisse aus vorangegangenen Vorversuchen konnte unter den vorherrschenden Bedingungen bei dieser Dotation für dieses Stadium der Fische ein Abdriften aufgrund zu hoher Fließgeschwindigkeiten ausgeschlossen werden. Die Referenzrinne diente dazu, die aktive Drift, innerhalb der gleichen Zeit zu ermitteln, um diese Zahlen in Relation zu den passiv verdrifteten Fischen zu setzen. Der Versuch dauerte 5 Tage, insgesamt wurden 7 Einzelschwallereignisse dotiert.

Berücksichtigend muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass zwischen den ersten beiden Schwallereignissen 3 Tage lagen, an denen die Lochbleche wieder eingesetzt wurden, um die aktive Drift zu unterbinden. Dies erfolgte deshalb, da noch keine Erfahrungen mit Höhe und Intensität der zu erwartenden, aktiven Drift gemacht wurden und die Auffangnetze für die Dauer der 3 Tage nicht unbeobachtet bleiben durften.

Der erste Schwall unterschied sich von den darauffolgenden 6 Schwallereignissen durch eine langsamere Anstiegsgeschwindigkeit, einem zeitlich kürzeren Schwall und einem leicht erhöhten Maximalabfluss. Außerdem wurden die Lochbleche in der Referenzrinne erst nach dem ersten Schwall entfernt. Die Zeitintervalle zwischen den Einzelschwallereignissen waren ebenfalls unterschiedlich.

		Schwall 1	Schwall 2-7
Dotation vor Schwall	[l/s]	15	25
Anstiegszeit	[min]	10	1
Schwalldauer	[min]	5	8
Schwalldotation	[l/s]	550	500
Abstiegszeit	[min]	1	1
Dotation nach Schwall	[l/s]	15	25

Tabelle 2: Graphische Darstellung des Schwalldesigns (2-7)

Rinne	1	2	Gesamt
aktive Drift	16	37	**53**
Drift	54	0	**54**
Strandung	7	0	**7**
Clearing	14	48	**62**

Gesamt	**91**	**85**	**176**

Tabelle 3: Ergebnisse von Versuch 1.1

In Tabelle 3 sieht man, in welchen Phasen des Versuchs wie viele Jungäschen drifteten.

Bei weiterer Aufsplittung der Ergebnisse erhält man folgende Aufstellung:

	Schwallrinne			**Referenzrinne**	
1.1	Anzahl Drift	Strandung	relative Driftraten	relative Driftraten	Anzahl Drift
1.Schwall	19	3	12.7%	-	-
aktive Drift	1	-	0.8%	2.0%	3
2.Schwall	12	3	9.4%	0.0%	-
aktive Drift	13	-	11.6%	19.7%	29
3.Schwall	19	1	19.2%	0.0%	-
aktive Drift	1	-	1.3%	2.5%	3
4.Schwall	-	-	0.0%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	1.7%	2
5.Schwall	-	-	0.0%	0.0%	-
aktive Drift	1	-	1.3%	0.0%	-
6.Schwall	4	-	5.2%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
7.Schwall	--	-	0.0%	0.0%	-
E-Befischung	14	-	19.2%	42.5%	48
Gesamt	**84**	**7**			**85**

Tabelle 4: Detailergebnisse der einzelnen Schwallereignisse

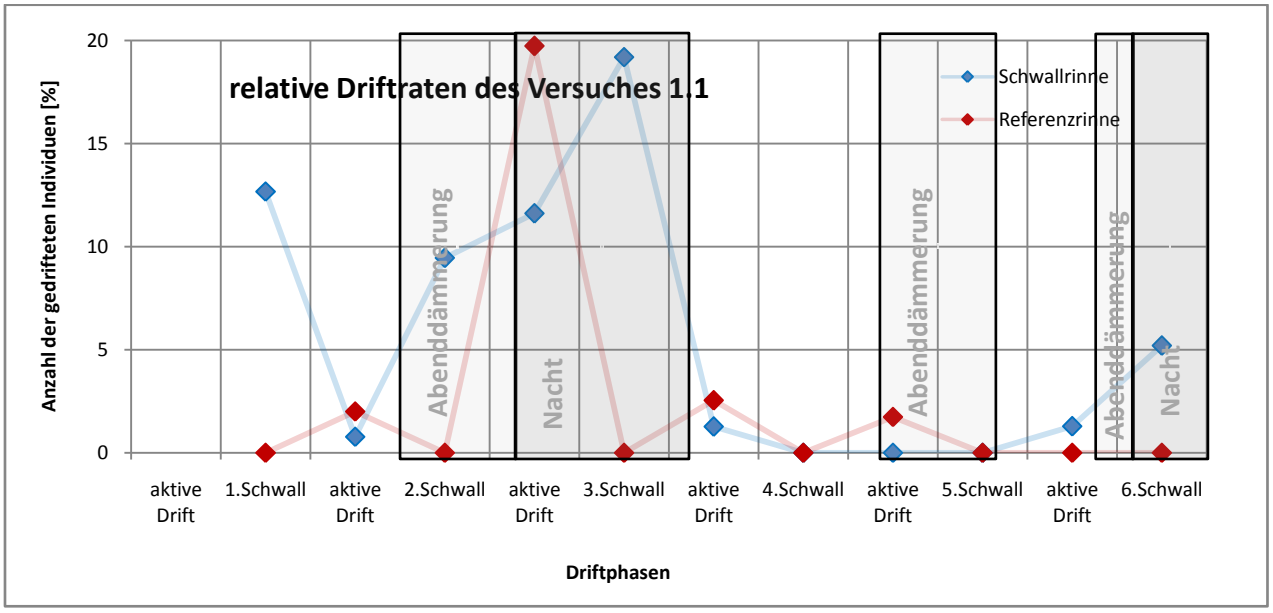


Abbildung 16: Driftraten des Versuches 1.1 in beiden Rinnen im Vergleich „rot“: Schwallrinne, „blau“: Referenzrinne (die Abstände auf der x-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar); die Andeutung von Abenddämmerung und Nacht ist eine schematische Darstellung)

Hinweis zu graphischen Darstellungen: Es ist zu beachten, dass die semitransparente, linienförmige Darstellung in (Abbildung 16) lediglich der besseren visuellen Wiedergabe dient, da die Auswertung der Driftraten keinem linearen Verlauf folgt.

Angegebene Prozentwerte in Abbildungen 18-61 beziehen sich auf jene Restmenge an Äschen, die sich zu Beginn der jeweiligen Phase in der Rinne befinden.

In Tabelle 4 kann man erkennen, dass die Raten an abgedrifteten Fischen über die Dauer des Versuches abnehmen, außer bei den beiden Schwallereignissen, die im Dunkeln (Schwall 3 und 6) stattfinden. Man erkennt in der Dämmerung oft eine zum Teil stark erhöhte Wander- und damit Driftbereitschaft. Strandung passierte nur nach den ersten 3 Schwallereignissen, und nur in geringer Zahl. Zwischen Schwall 1 und 2 war außerdem eine Pause von etwa 73 Stunden, in der die Fischanzahl vermutlich durch deren zu tiefes Eindringen in das Substrat bzw. durch Prädation und natürliche Sterberate dezimiert wurde. Dies zeigt sich auch in der Tatsache, dass von 300 besetzten Tieren nur mehr 176 wiedergefunden wurden. Aus diesem Grunde ist die Darstellung sowie der Vergleich der relativen Driftraten wie in Abbildung 17 nur bedingt sinnvoll, da die Werte nicht von oben erwähnten Dezimierungsmöglichkeiten ausgehen. Insofern ist mit Fortdauer des Versuchs von einer größer werdenden Unterschätzung und somit Abweichung der ermittelten Werte auszugehen.

Auf der x-Achse wird jeder Phase derselbe Wert zugeordnet, dies entspricht nicht der wirklichen Dauer.

Während des ersten Schwalles gibt es für die Referenzrinne keine aktive Drift, da die Lochblechgitter nicht entfernt wurden. Dies heißt nicht, dass keine Drift stattgefunden hätte.

Der 2.Schwall zeigte eine geringere Driftrate als der erste Schwall, in der darauffolgenden Sunkphase stieg die aktive Drift stark an, gefolgt von einer noch höheren, passiven Driftphase während des 3.Schwalles. In der Referenzrinne konnte während dieser beiden Schwallphasen keine Drift festgestellt werden, allerdings in der Sunkphase dazwischen kam es zu sehr starker, aktiver Drift.

Will man die Sunkphasen miteinander vergleichen, so sei hier darauf hingewiesen, dass diese unterschiedliche Zeitphasen von 4 bis 14 Stunden besaßen, die darin stattgefundenen Driftraten stehen in keiner direkten Relation zur Dauer. Dies ist eventuell auch darin begründet, dass die Bedingungen in der Rinne denen in freier Natur entsprechen und deshalb die Jungäschen zu keiner Abwanderungsdrift veranlassen, um Habitate mit passenderen Umweltbedingungen zu finden.

Versuch 1.2

Im Versuch 1.2 wurden 6 Einzelschwälle mit folgenden Schwalldesigns simuliert:

		Schwall	
		1	2-6
Dotation vor Schwall	[l/s]	25	25
Anstiegszeit	[min]	1	1
Schwalldauer	[min]	8	8
Schwalldotation	[l/s]	270	500
Abstiegszeit	[min]	1	1
Dotation nach Schwall	[l/s]	25	25

Tabelle 5: Schwalldesigns des Schwallversuchs 1.2

Das Versuchsdesign ist ident mit jenem des vorherigen Versuchs 1.1, lediglich die Sunkdotation wurde von 15 auf 25 l/s erhöht. Dies sollte bewirken, dass sich das Habitat „Versuchsrinne“ hinsichtlich Wassertiefe noch besser eignet. Die dadurch leicht erhöhte Fließgeschwindigkeit hat keinen erkennbaren Einfluss auf die Abdriftraten.

Der erste Schwall weicht von den weiteren 5 Schwällen durch eine verringerte Maximalschwalldotation von nur 270 l/s ab.

Für eine bessere Vergleichbarkeit wurden zuerst die Lochbleche und anschließend die Netze in beiden Rinnen gleichzeitig entfernt. Lediglich in der rechten Rinne schwamm 1 Individuum ins Driftnetz.

Rinne	1	2	Gesamt
aktive Drift	14	32	**46**
Drift	44	-	**44**
Strandung	46	-	**46**
Clearing	12	14	**26**
Gesamt	**116**	**46**	**162**

Tabelle 6: Ergebnisse des Versuches 1.2

	Schwallrinne			Referenzrinne	
1.2	Anzahl Drift	Strandung	relative Driftraten	relative Driftraten	Anzahl Drift
aktive Drift	1	-	0.7%	1.3%	2
1.Schwall	10	1	6.7%	0.0%	-
aktive Drift	1	-	0.7%	0.0%	-
2.Schwall	6	-	4.4%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	1.3%	4
3.Schwall	1	7	0.8%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	4.9%	7
4.Schwall	22	22	17.9%	1.0%	3
aktive Drift	11	-	13.9%	10.4%	14
5.Schwall	-	10	0.0%	0.8%	1
aktive Drift	1	-	1.7%	0.4%	1
6.Schwall	5	6	8.8%	0.0%	-
E-Befischung	12	-	26.1%	11.9%	14
Gesamt	**70**	**46**			**44**

Tabelle 7: Detailergebnisse der einzelnen Schwallereignisse

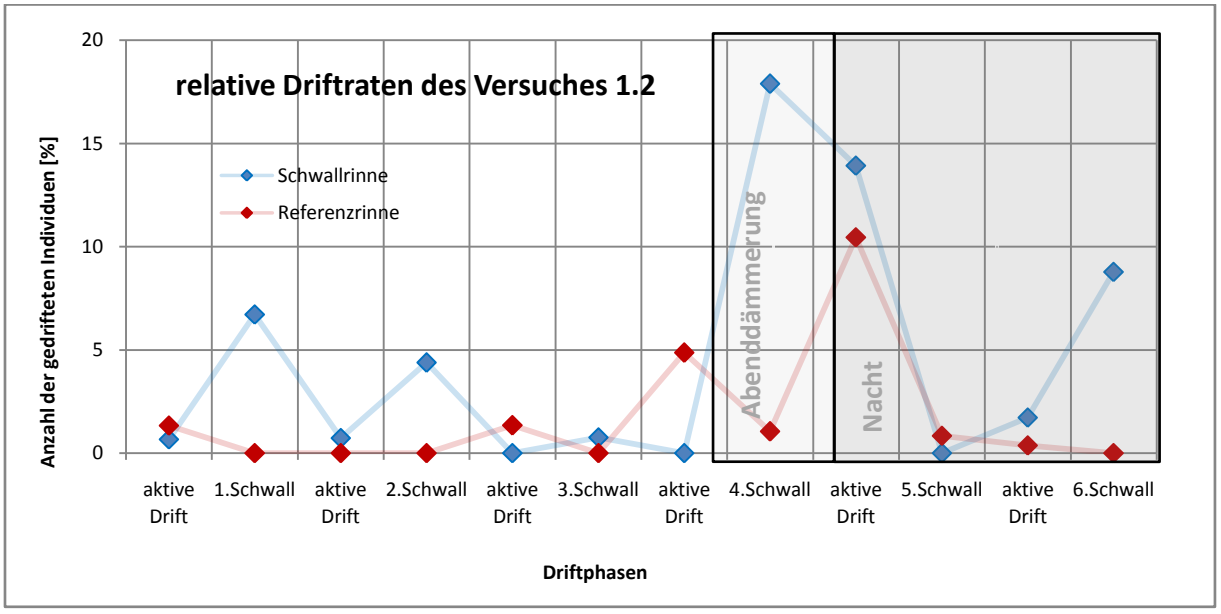


Abbildung 17: Driftraten des Versuches 1.2 der beiden Rinnen im Vergleich; die Andeutung von Abenddämmerung und Nacht ist eine schematische Darstellung)

Im Gegensatz zu Schwallversuch 1.1 sind die Abstände zwischen den Versuchen konstanter und kleiner, alle Einzelschwallereignisse wurden innerhalb eines Tages durchgeführt. Die Drift während der Dämmerung bzw. der Nacht verhält sich, wie schon beim vorherigen Versuch, nicht wie am Tage (siehe Tabelle 4 sowie Tabelle 7), auch die Strandungsrate ist stark erhöht. Die erhöhte Aktivität in

der Dämmerung mit 22 Drifts (abgedriftete Individuen) wurde auch bei Verhaltensbeobachtungen erkannt. Im Gegensatz dazu steht der 2. Schwall, während dessen keine Drifts stattfanden.

Da die Leerung der Rinnen mittels Elektrobefischung erst 5 Tage nach dem eigentlichen Schwallversuch stattfand, war die Fangquote sehr niedrig. Die restlichen Fische wurden vermutlich wieder von Prädatoren gefressen oder haben sich unwiederbringlich ins Substrat vergraben. Da die Elektrobefischungen in beiden Rinnen mit demselben Aufwand, aber zumindest mit 2 Wiederholungen gemacht wurden, kann ein Zurückbleiben von Fischen in den Rinnen ausgeschlossen werden. Die Dotation wurde teilweise während der Befischung erhöht, damit die Chance, geströmte Fische auszuschwemmen, erhöht wird.

Versuch 1.3

		Schwall	
		1	2-6
Dotation vor Schwall	[l/s]	25	25
Anstiegszeit	[min]	1	1
Schwalldauer	[min]	18	8
Schwalldotation	[l/s]	500	500
Abstiegszeit	[min]	1	1
Dotation nach Schwall	[l/s]	25	25

Tabelle 8: Schwalldesigns des Schwallversuchs 1.3

Rinne	1	2	Gesamt
aktive Drift	9	85	**94**
Drift	110	-	**110**
Strandung	4	-	**4**
Clearing	-	27	**27**
Gesamt	**123**	**112**	**235**

Tabelle 9: Ergebnisse von Schwallversuch 3

	Schwallrinne			Referenzrinne	
1.3	Anzahl Drift	Strandung	relative Driftraten	relative Driftraten	Anzahl Drift
aktive Drift	2	-	1.3%	3.3%	5
1.Schwall	97	1	65.5%	0.0%	-
aktive Drift	1	-	2.0%	1.4%	2
2.Schwall	7	2	14.3%	0.0%	-
aktive Drift	2	-	5.0%	15.4%	22
3.Schwall	4	1	10.5%	14.0%	17
aktive Drift	3	-	9.1%	8.7%	9
4.Schwall	1	-	3.3%	4.2%	4
aktive Drift	1	-	3.4%	23.1%	21
5.Schwall	1	-	3.6%	2.9%	2
aktive Drift	-	-	0.0%	4.4%	3
6.Schwall	-	-	0.0%	0.0%	-
E-Befischung	-	-	0.0%	41.5%	27
Gesamt	**119**	**4**			**112**

Tabelle 10: Drift und Driftraten während der einzelnen Schwallereignisse

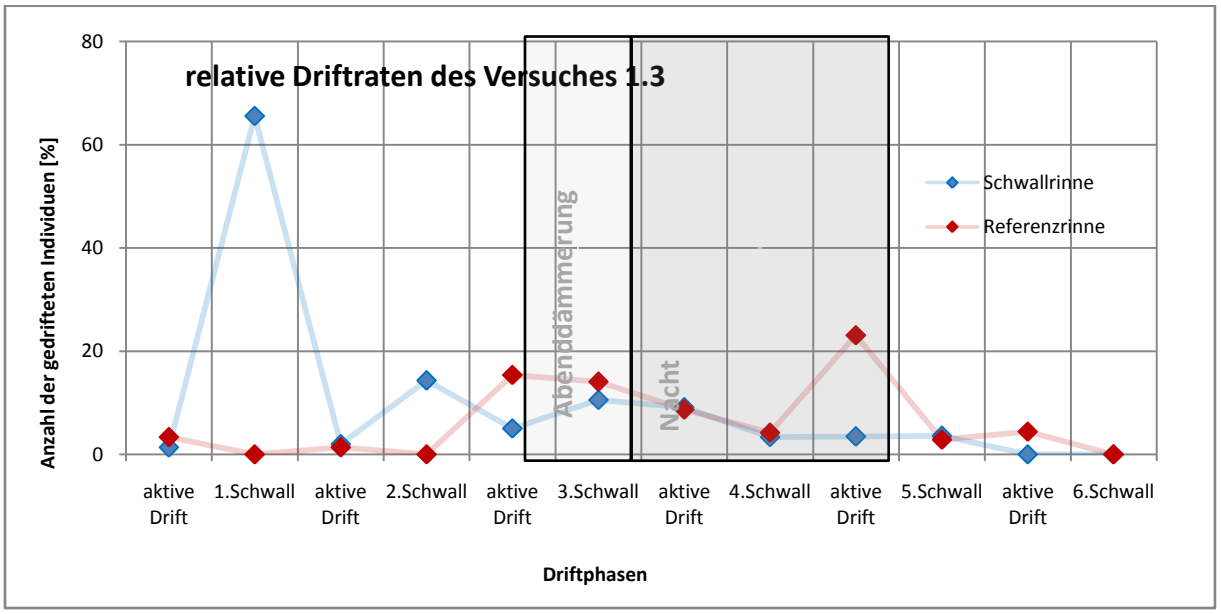


Abbildung 18: Driftraten des Versuches 1.3 in beiden Rinnen im Vergleich; die Andeutung von Abenddämmerung und Nacht ist eine schematische Darstellung)

Der erste Schwall dieses Versuchs hatte zum Ergebnis, dass in der Schwallrinne bereits über 65 % der zuvor besetzten Fische wieder abdrifteten. Wie man in Tabelle 8 sehen kann, dauerte der erste Schwall 10 Minuten länger wie die restlichen Schwallereignisse, was aber keine Erklärung für die extrem hohe Driftrate ist. Betrachtet man die restlichen Einzelschwallereignisse, so sieht man einen

steten Rückgang der passiven Driftraten. Die aktiven Driftraten steigen von Beginn weg bis nach dem 3. Schwall auf über 9 % an, danach geht diese bis auf 0 % zurück.

In der Referenzrinne fand nur aktive Drift statt, die bis zum dem 2.Schwall sehr gering war (zwischen 0 % und 3,3 %), danach stieg sie auf ein zwischenzeitliches Maximum von 15,2 % (22 Individuen) an. Nach dem 4.Schwall drifteten zwar nur 21 Jungäschen, aufgrund der geringeren Restmenge an Fischen in der Referenzrinne ist aber die relative Driftrate mit 23,1 % höher und stellt das Maximum dar. Diese Phase war mit über 12,5 Stunden auch die längste Zeitspanne und beinhaltete die ganze Nacht sowie die Dämmerung in der Früh. Es muss aber eher von einer externen Störung ausgegangen werden, da die Driftrate der Schwallrinne mit 3,4 % viel geringer war und sich damit nicht von der passiven Driftrate des anschließenden Schwalles unterschied.

4.2.2. Ergebnisse der 1. Schwallversuchsreihe

Versuch 1.1 unterscheidet sich in der Durchführung und vom Schwalldesign doch erheblich von den beiden nachfolgenden. Auch der Sunkabfluss ist mit 15 l/s um 10 l/s niedriger, außerdem sind die Zeitintervalle zwischen den Schwallereignissen zum Teil sehr lange, insofern ist eine sinnvolle Vergleichbarkeit nicht möglich.

Aktive Drift

Vergleicht man die aktiven Driftraten der Referenzrinne aller 3 Versuche, so erhält man folgende Abbildung:

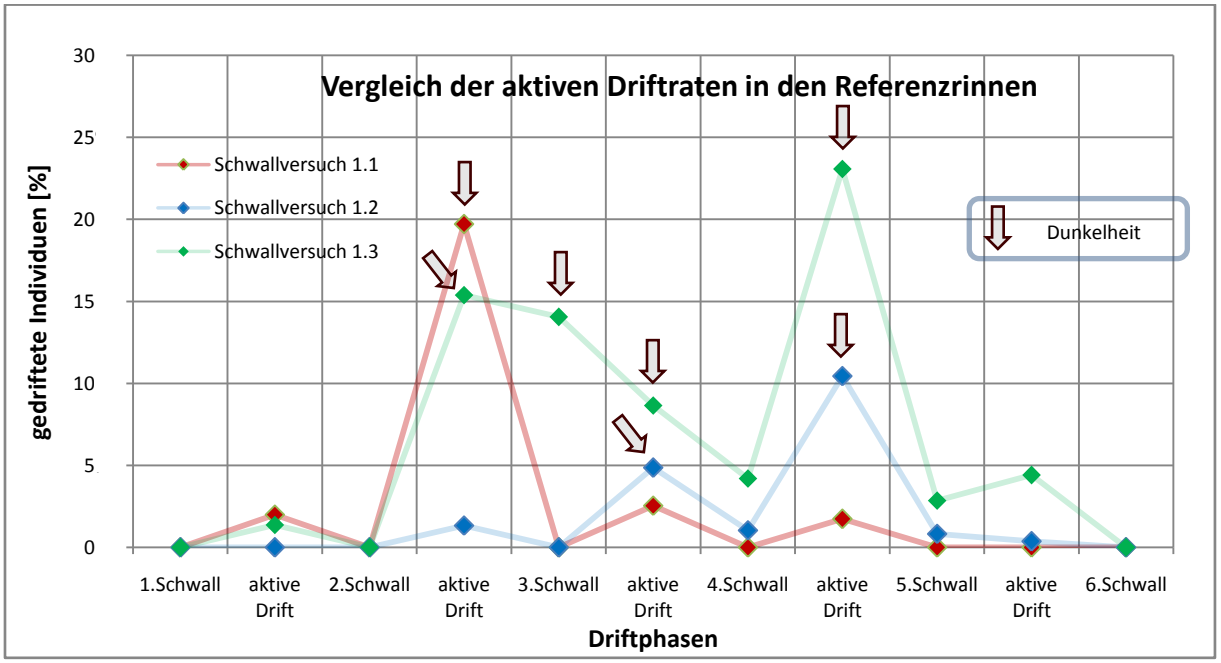


Abbildung 19: Vergleich der aktiven Driftraten der Referenzrinne während Versuch 1.2 und 1.3

Die Driftraten in Abbildung 19 sind nur bedingt miteinander vergleichbar, da die Versuche zu unterschiedlichen Tageszeiten mit unterschiedlicher Dauer durchgeführt wurden.

Man erkennt jedoch, dass die erhöhten Driftraten allesamt während der Morgen- oder Abenddämmerung bzw. in der Dunkelheit eintraten. Dies heißt nicht automatisch, dass alle Phasen während der Dunkelheit immer erhöhte Driftraten aufwiesen (siehe 6.Schwall von Versuch 1.2).

Im Gegensatz zu den beiden anderen Versuchen tritt in Versuch 1.1 die aktive Drift in Sunkphasen stärker auf als während Schwallphasen. Dies liegt höchstwahrscheinlich an den längeren Sunkphasen während dieses Versuches.

Passive Drift

Für den Vergleich der Driftraten in Abbildung 20: Vergleich der Driftraten der Schwallrinne wurde jeweils der 1.Schwall aufgrund dessen Änderung innerhalb der beiden Versuche nicht berücksichtigt, auch die darauffolgende Phase mit aktiver Drift wurde nicht für diese Auswertung herangezogen.

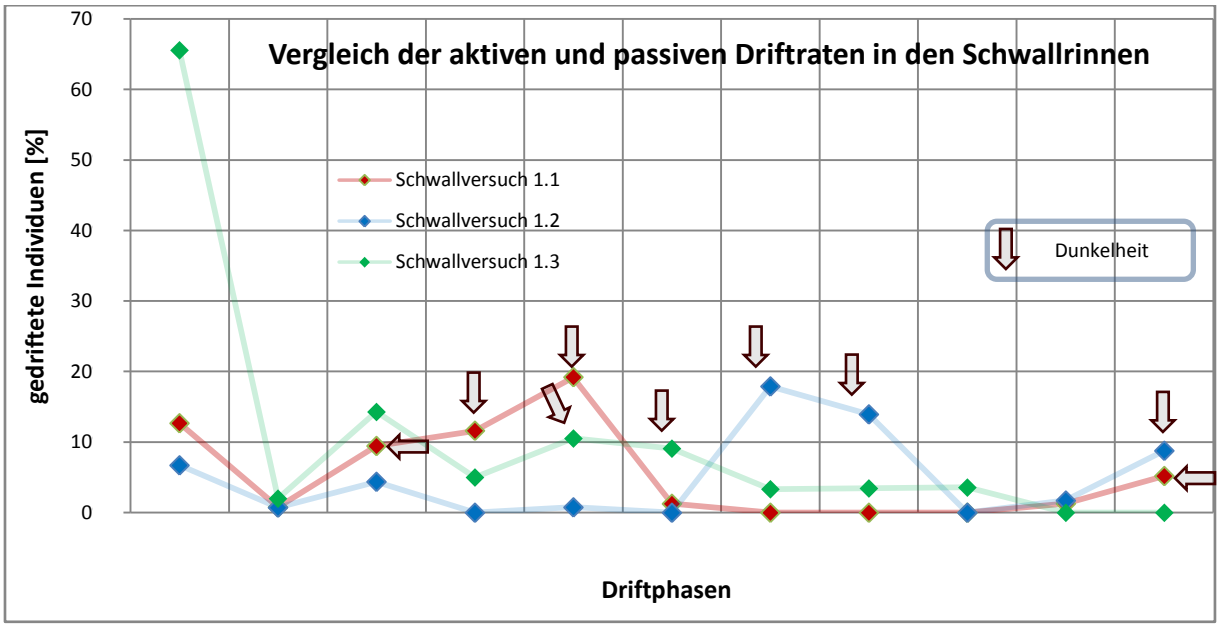


Abbildung 20: Vergleich der Driftraten der Schwallrinne

Der Vergleich der passiven Driftraten in der Schwallrinne brachte keinen Aufschluss bezüglich gemeinsamer Tendenzen. Dies liegt auch daran, dass die einzelnen Zeitphasen unterschiedlich lange dauerten bzw. zu unterschiedlichen Zeiten stattfanden.

Der Versuch 1.1 zeigte hinsichtlich der passiven Drift eine ansteigende Tendenz während der ersten 3 Schwallevents. Dabei fiel zum ersten Mal auf, dass es während der Dämmerung bzw. der Nachtstunden zu erhöhter Drift kommen konnte. Während der weiteren Schwallereignisse konnte fast keine Drift mehr beobachtet werden, lediglich der letzte 6. Schwall, der während der Nacht stattfand, zeigt einen leichten Anstieg.

Das Driftmaximum von Versuch 1.2 fand während des 4.Schwalles und der aktiven Drift danach statt, dies liegt vermutlich auch an der zu dieser Zeit stattgefundenen Dämmerung.

Auffällig ist das Driftmaximum von über 65 % des Versuches 1.3 während des 1.Schwallevents. Danach gab es erhöhte Werte während, sowie nach dem 3.Schwallereignis, welches in der Dämmerung stattfand. Weshalb es dort zu einer derart massiven Driftreaktion kam, ist unbekannt. Der darauffolgende 4. Schwall fand bereits in völliger Dunkelheit statt, zeigte aber keine erkennbar höheren Driftraten.

Strandung

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Anzahl der gestrandeten Individuen.

Strandungen	Schwallversuch		
	1.1	1.2	1.3
Schwall 1	3	1	1
Schwall 2	3	0	2
Schwall 3	1	7	1
Schwall 4	0	22	0
Schwall 5	0	10	0
Schwall 6	0	6	0

Tabelle 11: Strandungszahlen der Versuche der 2. Schwallversuchsreihe

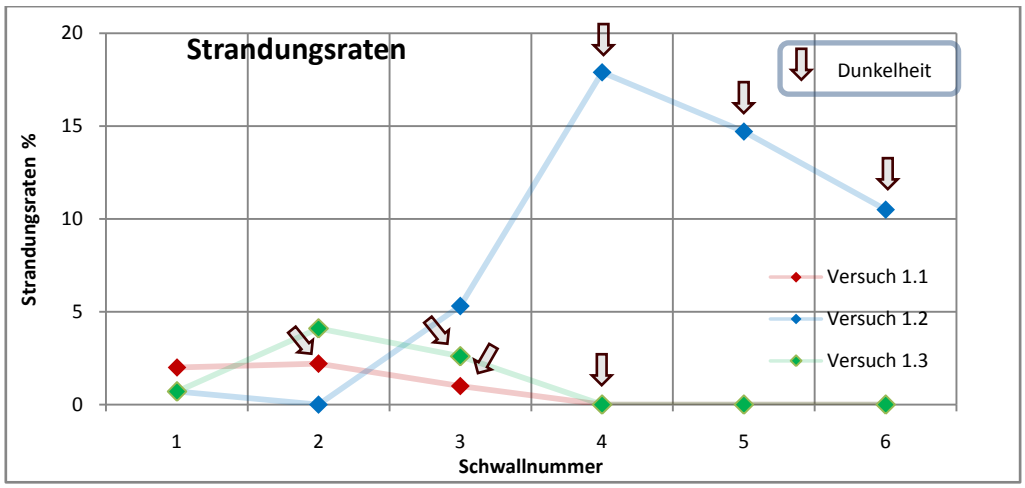


Abbildung 21: Strandungsraten der 1. Schwallversuchsreihe; Werte beziehen sich auf jene Fischmenge, die sich vor dem jeweiligen Schwall in der Schwallrinne befand

Es fällt auf, dass die Strandungen während des 4. bis 6. Schwalles des Versuches 1.2 sehr hoch waren. Diese Schwallevents fanden während der Dämmerung bzw. in der Nacht statt. Es konnte keine Korrelation zwischen Schwallhäufigkeit und Strandungsrate erkannt werden.

Clearing

Das Clearing fand in beiden Rinnen mit demselben Aufwand statt und diente dazu, die sich nach Ende des Versuches in der Rinne befindlichen Jungäschen zu entfernen.

	Schwallversuch		
	1.1	1.2	1.3
Schwallrinne	19 %	26 %	0 %
Referenzrinne	42 %	12 %	49 %

Tabelle 12: Erfolge der Elektrobefischung; bezogen auf die Restmenge der Fische aus der Besatzmenge minus der im Zuge des Versuches gedrifteten bzw. gestrandeten und entnommenen Fische

Da das Clearing bei Versuch 1.2 nicht unmittelbar nach dem Versuch stattfand (erst knapp 5 Tage nach dem letzten Schwall), konnten durch das abschließende Clearing relativ wenige der restlichen Jungfische gefangen werden. Im Gegensatz zu Versuch 1.1, während dem die einzelnen Schwallereignisse weit auseinander liegen, werden die Werte der Driftraten nicht unterschätzt, da die Schwallereignisse alle an demselben Tag wie der Besatz stattfanden.

Man sieht, dass das Clearing nie mehr als 49 % erreicht. Dies liegt vermutlich daran, dass das Clearing eben oft sehr spät nach Versuchsende durchgeführt wird bzw. der Versuch an sich sehr lange dauerte und dadurch die Fische aus bislang unbekannten Gründen nicht mehr verfügbar waren. Da die Elektrobefischungsmethode an sich als angemessen und effektiv betrachtet werden kann, muss davon ausgegangen werden, dass sich zum Zeitpunkt nach der Elektrobefischung die abgängigen Jungäschen zum größten Teil nicht mehr in Rinnen befanden. Dies wurde durch nachträgliche Rinnenbeobachtungen bestätigt.

4.2.3. Diskussion und Interpretation der Ergebnisse der Schwallversuchsreihe 1

Die Ergebnisse der Schwallversuchsreihe 1 brachten nur bedingt eindeutige Ergebnisse, welche einen direkten Vergleich untereinander zulassen. Jedoch sind die neu gewonnen Erkenntnisse unerlässlich, um die Jungfische und deren Verhalten bei verschiedenen Bedingungen bzw. die Rinne genauer kennenzulernen.

- Mit diesen Versuchsrinnen ist es möglich, Schwallszenarien zu erzeugen, auf welche zumindest manche der Jungäschen eine Reaktion in Form von Drift und Strandung zeigen.
- Es bedarf einer gewissen Adaptionszeit zwischen dem Zeitpunkt des Besatzes und der Entfernung der Lochbleche bzw. dem Start des Versuches.
- Die Lochblechkonstruktion als Absperrung gegen Drift besaß einige Schwachpunkte, die verbessert wurden.
- Netzabsperrungen für weniger Beeinflussung am unteren Ende der Rinne während der Adaptionsphase erwiesen sich als praktikabel.
- Je länger ein Versuch dauerte, umso geringer war die Anzahl der wiederentnommenen Jungäschen. Daher sollten folgende Versuche so kurz wie möglich gehalten werden.
- Jungäschen können in den Lückenraum der Sohle flüchten, ob und wie sie diesen wieder verlassen, ist unklar.
- Während Dämmerungs- und Nachtphasen kam es zu erhöhten, aktiven sowie passiven Driftraten; die Unterteilung in Dämmerung und Nacht ist aber schwierig und wird im weiteren Verlauf nun mehr einheitlich als „Nachtphase“ definiert und angegeben.
- Es wurden die möglichen und sinnvollen Zeitintervalle erkannt, in denen bestimmte Tätigkeiten an der Rinne zur Ausführung der Versuche durchgeführt werden können.
- Es besteht die Möglichkeit, dass es zu unbekannten Störungen von außerhalb der Rinne kommen kann (z.B.: Vögel).
- Die Elektrobefischung erwies sich als gute Methode, die restlichen Jungfische nach einer Versuchsdurchführung wieder zu entnehmen.

4.3. Schwallversuchsreihe 2

Die ersten Versuche haben gezeigt, dass die in den Rinnen erreichbaren Schwallamplituden sowie die Schwallanstiegs- und Schwallabstiegsgeschwindigkeiten ausreichen, um bei den besetzten Jungäschen eine Driftreaktion herbeizuführen und Strandung nachzuweisen. Nun sollte ermittelt werden, wie sich die Fische verhalten, wenn die Schwalldauer mit 8 min und die An- und Abstiegszeit mit jeweils 1 min gleich bleiben, die Schwallamplitude aber variabel ist. Um einen diesbezüglichen, eventuellen Gradienten finden zu können, wurde mit einem Anstieg von 25 l/s Sunkabfluss auf 100 l/s Schwallabfluss begonnen, gefolgt von einem Anstieg von 25 l/s auf 200 l/s usw., bis im letzten Anstieg ein maximaler Schwallabfluss von 600 l/s erreicht wurde. Dabei verhält sich der Sunkabfluss zum Schwallabfluss folgend:

Sunkdotation [l/s]	Schwalldotation [l/s]	Sunk/Schwall-Verhältnis
25	100	1:4
25	200	1:8
25	300	1:12
25	400	1:16
25	500	1:20
25	600	1:24

Tabelle 13: Schwall/Sunk-Verhältnisse der einzelnen Schwallevents der 2. Schwallversuchsserie

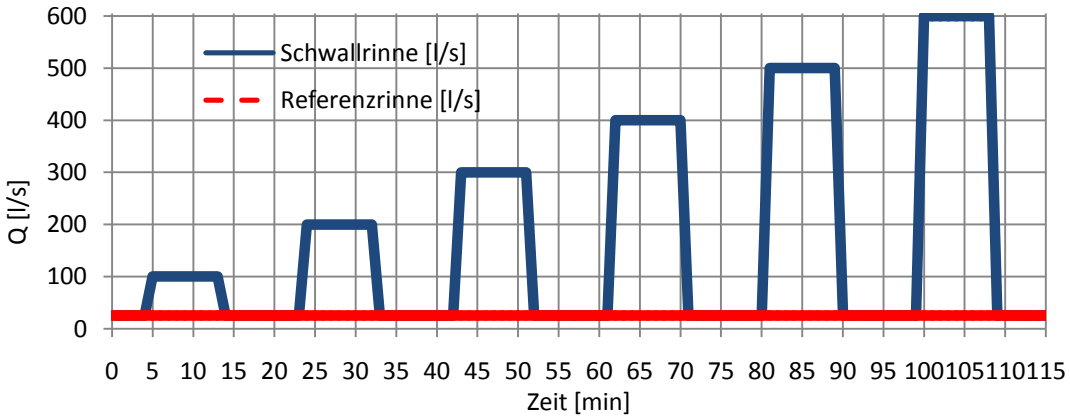


Abbildung 22: Schematische Darstellung der hintereinander geschalteten Schwallamplituden

So soll erstmals erkannt werden, ob man durch eine Abflussänderung auf 100 l/s, 200 l/s usw. eine bestimmte An- und abstiegsgeschwindigkeit der Schwallwelle erkennen kann, die eine Erhöhung der Abdrift oder der Strandung bei den Jungfischen auslöst.

		Schwall					
		1	2	3	4	5	6
Dotation vor Schwall	[l/s]	25	25	25	25	25	25
Anstiegszeit	[min]	1	1	1	1	1	1
Schwalldauer	[min]	8	8	8	8	8	8
Schwalldotation	[l/s]	100	200	300	400	500	600
Abstiegszeit	[min]	1	1	1	1	1	1
Dotation nach Schwall	[l/s]	25	25	25	25	25	25

Tabelle 14: Schematischer Aufbau der Einzelschwallereignisse

4.3.2. Die Versuche

Versuch	Rinne	Durchführungs-datum	besetzte Fische	entnommene Fische, Gesamt	fehlende Fische	fehlende Fische [%]
2.1	Schwall	29.-30.12.11	150	125	25	16.67%
2.1	Referenz	29.-30.12.11	150	55	95	63.33%
2.2	Schwall	5.1.12	150	23	127	84.67%
2.2	Referenz	5.1.12	150	17	133	88.67%
2.3	Schwall	12.1.12	150	105	45	30.00%
2.3	Referenz	12.1.12	150	113	37	24.67%
2.4	Schwall	18.1.12	150	143	7	4.67%
2.4	Referenz	18.1.12	150	30	120	80.00%
2.5	Schwall	19.-26.1.12	150	125	25	16.67%
2.5	Referenz	19.-26.1.12	150	139	11	7.33%
2.6	Schwall	7.2.12	150	143	7	4.67%
2.6	Referenz	7.2.12	150	136	14	9.33%
2.7	Schwall	8.2.12	150	142	8	5.33%
2.7	Referenz	8.2.12	150	149	1	0.67%
2.8	Schwall	8.2.12	150	138	12	8.00%
2.8	Referenz	8.2.12	150	121	29	19.33%

Abbildung 23: Übersicht über die durchgeführten Versuche der Schwallversuchsreihe 2

Schwallversuch 2.1

Rinne	1	2	Gesamt
aktive Drift	35	47	**68**
Drift	85	-	**99**
Strandung	3	-	**3**
Clearing	2	8	**10**
Gesamt	**125**	**55**	**180**

Tabelle 15: Ergebnisse von Schwallversuch 2.1

Bei weiterer Aufsplittung der Ergebnisse erhält man folgende Aufstellung:

	Schwallrinne			**Referenzrinne**	
2.1	Anzahl Drift	Strandung	relative Driftraten	relative Driftraten	Anzahl Drift
aktive Drift	-	-	0.0%	1.3%	2
1 (100 l/s)	1	-	0.7%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	0.7%	1
2 (200 l/s)	3	-	2.0%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
3 (300 l/s)	17	-	11.6%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
4 (400 l/s)	26	3	20.2%	0.0%	-
aktive Drift	1	-	1.0%	0.0%	-
5 (500 l/s)	19	-	19.2%	0.0%	-
aktive Drift	30	-	37.5%	16.3%	24
6 (600 l/s)	5	-	10.0%	0.0%	-
aktive Drift	3	-	6.7%	16.3%	20
E-Befischung	17	-	40.5%	7.8%	8
Gesamt	**122**	**3**			**55**

Tabelle 16: Drift während der einzelnen Schwallereignisse; Schwall 6 und 7 waren Nachtevents

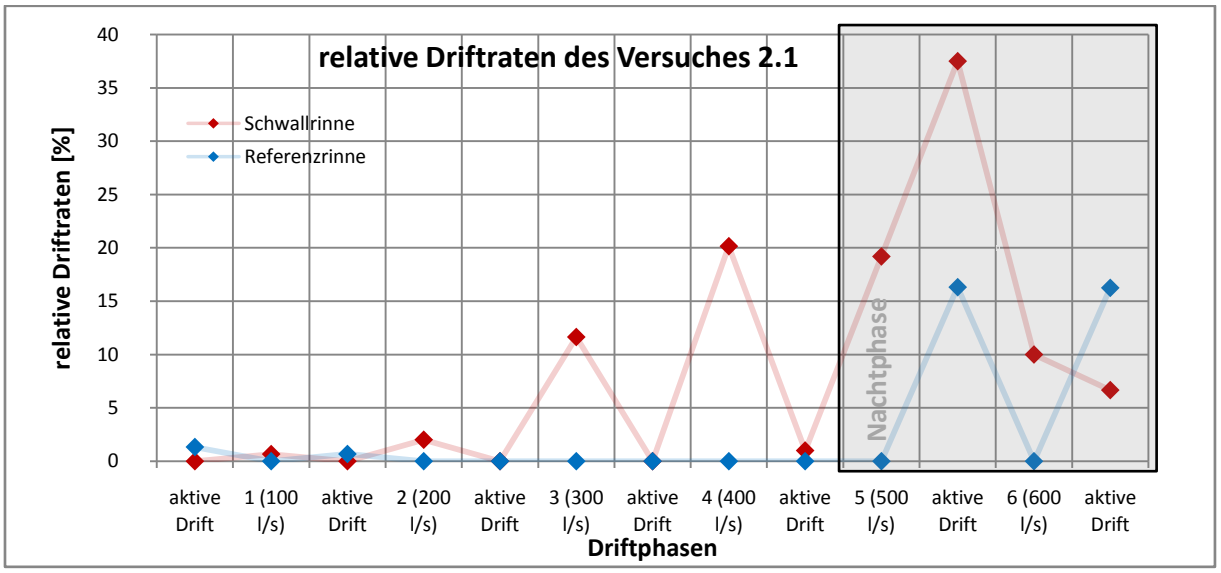


Abbildung 24: Driftraten des Versuches 2.1 der beiden Rinnen im Vergleich (die Abstände auf der x-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar)

Für diesen Versuch wurden die Äschen bereits 6 Tage vor Beginn des ersten Schwallereignisses besetzt.

Sieht man sich in Abbildung 24 die passiven Driftraten der Schwallrinne an, so erkennt man während der ersten 4 Schwallereignisse einen tendenziellen Anstieg, die Werte der Schwallereignisse 5 und 6 nehmen danach wieder leicht ab. Die Abstände zwischen den einzelnen Schwallereignissen betrugen zwischen 30 und 170 min.

Zwischen Schwall 5 und 6 (etwa 140 Minuten) fand außerdem eine stark erhöhte, aktive Drift in beiden Rinnen statt; dies kann höchstwahrscheinlich mit der zunehmenden Dämmerung erklärt werden.

Die restlichen aktiven Driftraten der beiden Rinnen zeigen ansonsten keine anormalen Werte.

Strandung (etwa 3 %) wurde nur am Ende des 4. Schwalles beobachtet, siehe „Strandung“ Seite 55.

Schwallversuch 2.2

An dieser Stelle wird vorweggenommen, dass der Schwallversuch 2.2 nicht in den vergleichenden Auswertungen der Versuchsreihe 2 berücksichtigt wurde. Dennoch werden die erhobenen Daten hier dargestellt, um zu zeigen, was für massive Auswirkungen Einfluss von Außen haben können.

Rinne	1	2	Gesamt
aktive Drift	-	-	**0**
Drift	7	-	**8**
Strandung	-	-	**0**
Vogel	7	0	**7**
Clearing	9	17	**25**
Gesamt	**23**	**17**	**40**

Tabelle 17: Ergebnisse von Schwallversuch 2.2

Wie man sieht, sind sämtliche Drift- und Strandungsraten stark verringert, auch der Clearingerfolg lag weit unter dem der anderen Versuche.

Bei weiterer Aufsplittung der Ergebnisse erhält man folgende Aufstellung:

	Schwallrinne			**Referenzrinne**	
2.2	Anzahl Drift	Strandung	relative Driftraten	relative Driftraten	Anzahl Drift
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
1 (100 l/s)	-	-	0.0%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
2 (200 l/s)	1	-	0.7%	0.0%	-
a.D., Krähe	1*	-	0.7%	0.0%	-
3 (300 l/s)	4	-	2.7%	0.0%	-
a.D., Krähe	4*	-	2.8%	0.0%	-
4 (400 l/s)	-	-	0.0%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
5 (500 l/s)	2	-	1.4%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
6 (600 l/s)	1*	-	0.7%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
Clearing	9	-	7.3%	10.0%	17
Vogel	1	-	0.8%	0.7%	-
Gesamt	**23**	**0**			**17**

Tabelle 18: Drift während der einzelnen Schwallereignisse; „a.D.“: aktive Drift; *= Diese Fische wurden nicht durch aktives Driftverhalten aus den Netzen entnommen, sondern wurden tot mit eindeutigen Bissspuren gefunden

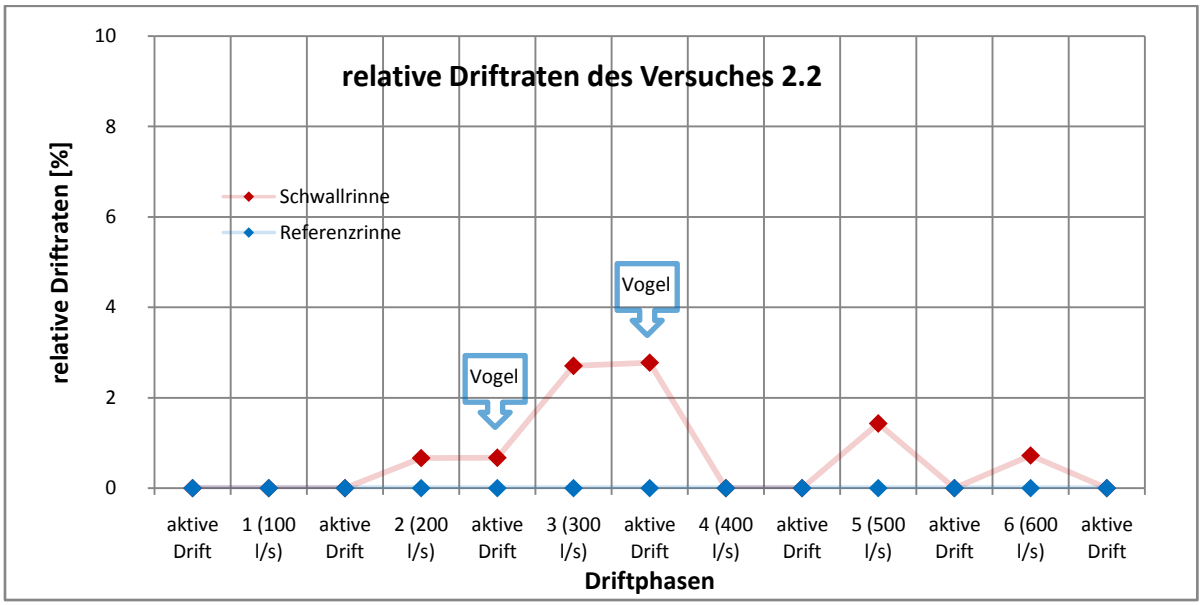


Abbildung 25: Driftraten des Versuches 2.2 in beiden Rinnen im Vergleich (die Abstände auf der x-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar)

Während dieses Versuches fand Drift nur während der Schwallereignisse statt, eine aktive Drift in beiden Rinnen war nicht vorhanden. Jedoch wurden einige tote Jungäschen gefunden, die eindeutige Fraßspuren aufwiesen. Die Tatsache, dass nur etwa 13 % der besetzten Individuen wieder entnommen werden konnten, deutet auf eine massive Dezimierung der Besatzmenge (pro Rinne jeweils 150 Jungäschen) hin. Phasen, in denen eine Störung durch Vögel in der Rinne beobachtet wurde, sind in Abbildung 25 separat gekennzeichnet.

Es konnte keine Strandung von Jungäschen beobachtet werden.

Dieser Versuch wurde, wie schon erwähnt, nicht ausgewertet, wurde aber dennoch beschrieben, um zu zeigen, welchen starken Einflüssen die Versuchsdurchführungen ausgesetzt sein können.

Schwallversuch 2.3

Die Vorkommnisse während des vorangegangenen Schwallversuchs 2.2 führten dazu, dass Anstrengungen unternommen wurden, die Rinne für potentielle Prädatoren unzugänglich zu machen. Es wurden engmaschige Vogelnetze über die Rinnen gespannt, Vogelscheuchen aufgestellt, sowie eine Wildtierkamera platziert, um die Tiere zu identifizieren.

Rinne	1	2	Gesamt
aktive Drift	6	3	**9**
Drift	51	-	**51**
Strandung	1	-	**1**
Clearing	47	110	**157**
Gesamt	**105**	**113**	**218**

Tabelle 19: Ergebnisse von Schwallversuch 2.3

Man erkennt, dass sich durch den Aufwand, externe Störungen zu minimieren, gelohnt hat, und die Anzahl der wieder entnommenen Fische größer wurde.

Bei weiterer Aufsplittung der Ergebnisse erhält man folgende Aufstellung:

	Schwallrinne			**Referenzrinne**	
2.3	Anzahl Drift	Strandung	relative Driftraten	relative Driftraten	Anzahl Drift
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
1 (100 l/s)	24	-	16.0%	0.0%	-
aktive Drift	3	-	2.4%	0.0%	-
2 (200 l/s)	20	-	16.3%	0.0%	-
aktive Drift	1	-	1.0%	0.0%	-
3 (300 l/s)	1	-	1.0%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
4 (400 l/s)	-	1	0.0%	0.7%	1
aktive Drift	1	-	1.0%	0.0%	-
5 (500 l/s)	3	-	3.0%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
6 (600 l/s)	3	-	3.1%	0.7%	1
aktive Drift	1	-	1.1%	0.7%	1
Clearing	47	-	51.1%	74.8%	110
Gesamt	**104**	**1**			**113**

Tabelle 20: Drift während der einzelnen Schwallereignisse

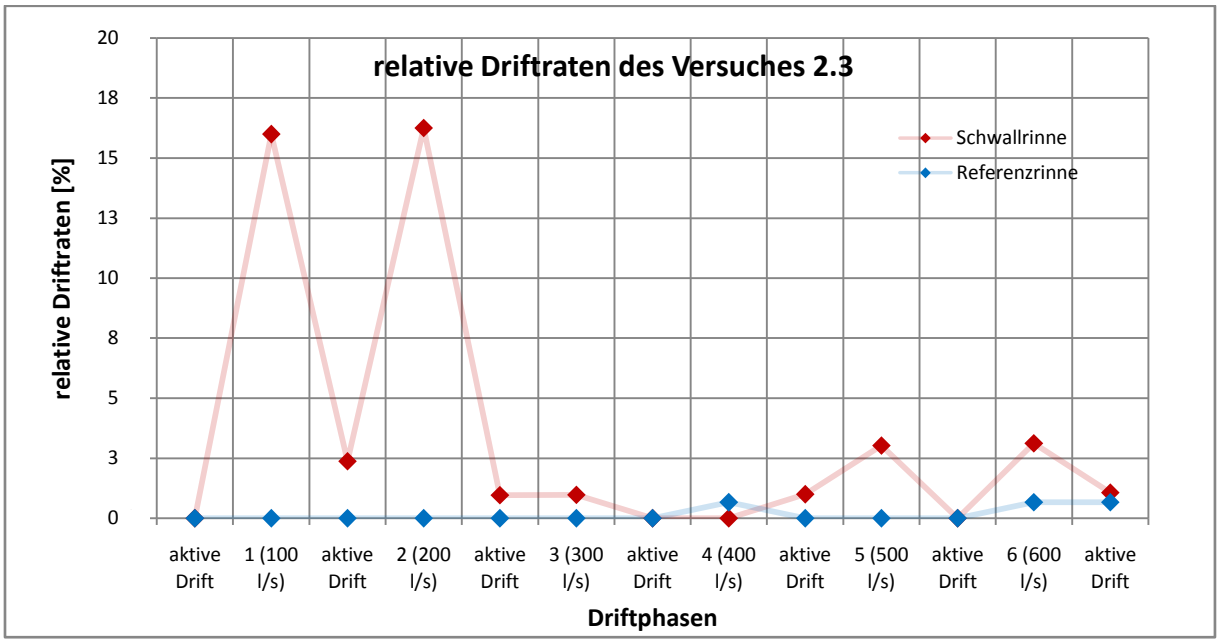


Abbildung 26: Driftraten des Versuches 2.3 der beiden Rinnen im Vergleich (die Abstände auf der X-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar)

Man sieht, dass sich die passiven Driftraten nicht verhalten wie in den vorangegangenen beiden Versuchen. Aufgrund der geringen aktiven Driftraten kann aber nicht von einer externen Störung ausgegangen werden. Bei den ersten beiden Schwallereignissen waren die Driftraten fast ident, während der Schwallwellen danach brachen die Driftraten stark ein (siehe Abbildung 26).

In der Referenzrinne wurde nichts Außergewöhnliches beobachtet, die Driftraten waren über die gesamte Versuchsdauer sehr gering bzw. nicht vorhanden.

Strandung wurde nur anhand 1 Individuums am Ende des 4. Schwallereignisses beobachtet, siehe dazu „Strandung“ Seite 55.

Schwallversuch 2.4

Rinne	1	2	Gesamt
aktive Drift	26	24	**50**
Drift	54	-	**54**
Strandung	31	-	**31**
Clearing	32	6	**38**
Gesamt	**143**	**30**	**173**

Tabelle 21: Ergebnisse von Schwallversuch 2.4

Auch bei diesem Versuch war der Anteil der wiedergefundenen und entnommenen Fische aus der Referenzrinne sehr gering. Die Ursache dafür ist unbekannt.

Bei weiterer Aufsplittung der Ergebnisse erhält man folgende Aufstellung:

	Schwallrinne			Referenzrinne	
2.4	Anzahl Drift	Strandung	relative Driftraten	relative Driftraten	Anzahl Drift
aktive Drift	1	-	0.7%	0.7%	1
1 (100 l/s)	4	-	2.7%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	0.7%	1
2 (200 l/s)	17	2	11.7%	0.0%	-
aktive Drift	1	-	0.8%	4.1%	6
3 (300 l/s)	13	5	10.4%	0.0%	-
aktive Drift	2	-	1.9%	1.4%	2
4 (400 l/s)	7	2	6.7%	0.0%	-
aktive Drift	4	-	4.2%	1.4%	2
5 (500 l/s)	6	4	6.5%	2.2%	3
aktive Drift	3	-	3.7%	0.7%	1
6 (600 l/s)	7	18	8.9%	3.0%	4
aktive Drift	15	-	27.8%	3.1%	4
Clearing	32	0	82.1%	4.8%	6
Gesamt	**112**	**31**			**30**

Tabelle 22: Drift während der einzelnen Schwallereignisse

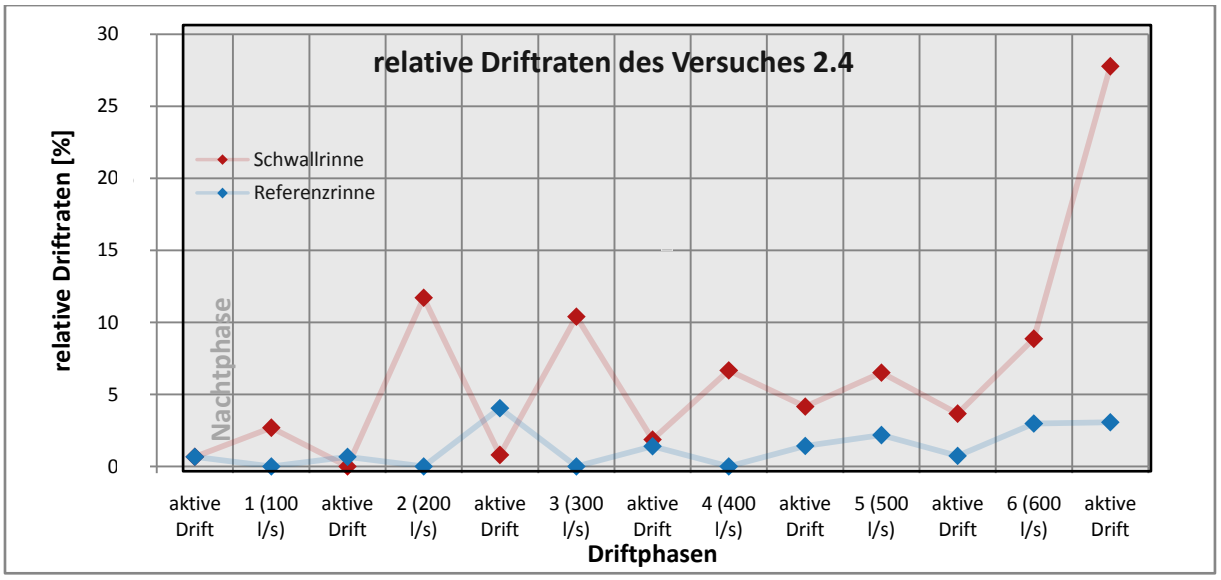


Abbildung 27: Driftraten des Versuches 2.4 in beiden Rinnen im Vergleich (die Abstände auf der x-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar)

Die Schwallereignisse dieses Versuches wurden allesamt nach Sonnenuntergang durchgeführt.

Der erste Schwall hatte noch keine großen Auswirkungen auf die Driftraten, bei den nächsten beiden Ereignissen wurden Werte über 10 % erreicht, danach wurden die Driftraten wieder etwas schwächer, um beim letzten Schwall wieder auf knapp unter 10 % anzusteigen.

Die aktive Drift der Schwallrichte nahm mit Dauer des Versuches immer weiter zu und erreichte sein absolutes Maximum in der Sunkphase nach dem 6. Schwallereignis.

In der Referenzrinne waren die Driftraten über die Gesamtdauer des Versuches konstant gering, wobei zu Ende hin eine ganz leicht steigende Tendenz zu beobachten war, das Maximum mit einem Wert unter 5 % trat während des Sunks nach der 2. Schwallphase auf.

Interessant ist die Tatsache, dass die Strandungsraten stark erhöht sind. So konnten, abgesehen vom ersten Schwallevent, bei jedem weiteren Schwall gestrandete Individuen gefunden werden (siehe „Strandung“ Seite 55). Vor allem der letzte und stärkste Schwall (Maximaldotation von 600 l/s, somit auch die schnellsten An- und Abstiegsgeschwindigkeiten) führte zu massiven Ausfällen. Gemeinsam mit der stark erhöhten, aktiven Drift stellte dieses letzte Schwallereignis in diesem Versuch eine Phase mit sehr starken Jungfischreaktionen dar.

Schwallversuch 2.5

Rinne	1	2	Gesamt
aktive Drift	12	20	**32**
Drift	51	-	**51**
Strandung	18	-	**18**
Clearing	44	119	**163**
Gesamt	**125**	**139**	**264**

Tabelle 23: Ergebnisse von Schwallversuch 2.5

Bei weiterer Aufsplittung der Ergebnisse erhält man folgende Aufstellung:

	Schwallrinne			Referenzrinne	
2.5	Anzahl Drift	Strandung	relative Driftraten	relative Driftraten	Anzahl Drift
aktive Drift	4	-	2.7%	2.0%	3
1 (100 l/s)	7	-	4.8%	3.4%	5
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
2 (200 l/s)	20	1	14.4%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	2.8%	4
3 (300 l/s)	10	4	8.5%	1.4%	2
aktive Drift	3	-	2.9%	0.0%	-
4 (400 l/s)	8	-	7.9%	0.0%	-
aktive Drift	5	-	5.4%	0.7%	1
5 (500 l/s)	4	2	4.5%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	1.5%	2
6 (600 l/s)	2	11	2.4%	1.5%	2
aktive Drift	-	-	0.0%	0.8%	1
Clearing	44	-	63.8%	91.5%	119
Gesamt	**107**	**18**			**139**

Tabelle 24: Drift während der einzelnen Schwallereignisse

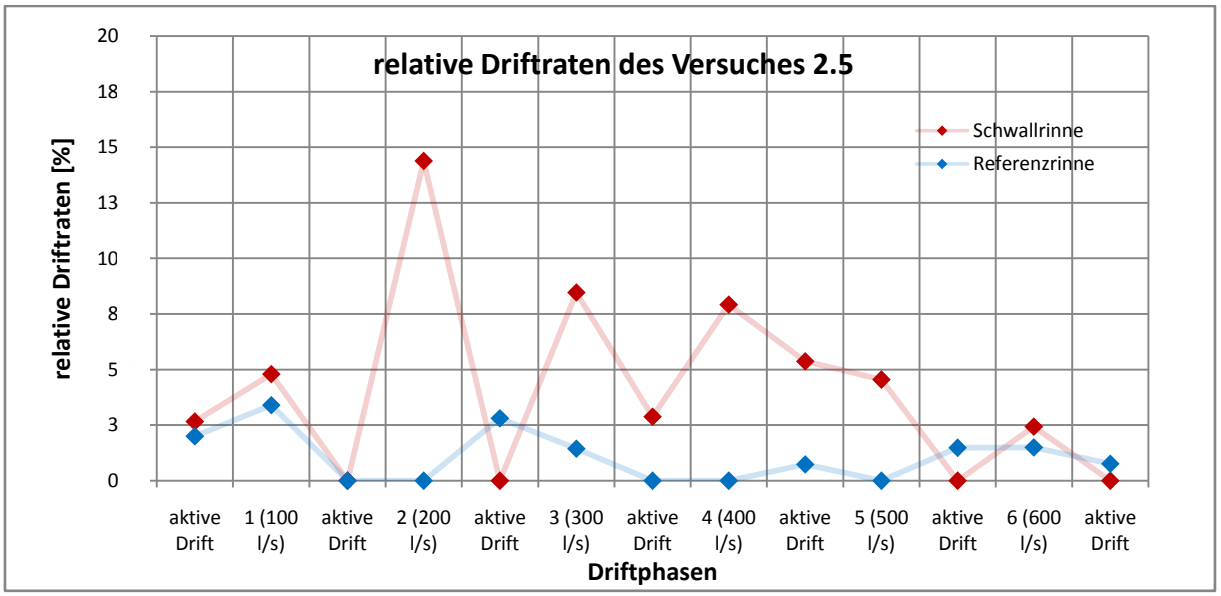


Abbildung 28: Driftraten des Versuches 2.5 in beiden Rinnen im Vergleich (die Abstände auf der x-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar)

Die Auswertung der passiven Driftraten dieses Versuches ergeben, dass die Drift vom 1. Schwallereignis zum zweiten hin auf deren Maximum ansteigt, um danach kontinuierlich bis zum

letzten Schwallevent hin abzufallen. Während der Sunkphasen drifteten zu keinem Zeitpunkt außergewöhnlich viele Jungäschen ab, lediglich vor dem 5. Schwall wurden erhöhte Werte gemessen. In der Referenzrinne verhielten sich die Fische unauffällig, es konnten keine sonderlich untypischen Driftmuster erkannt werden.

Strandung konnte, abgesehen vom 1. und 4. Schwallereignis, ebenfalls beobachtet werden. Die größten Ausfälle gab es im Zuge des letzten Events, siehe „Strandung“ Seite 55.

Schwallversuch 2.6

Rinne	1	2	Gesamt
aktive Drift	12	17	**29**
Drift	35	2	**37**
Strandung	1	0	**1**
Clearing	95	115	**210**
Vogel	0	2	**2**
Gesamt	**143**	**136**	**279**

Tabelle 25: Ergebnisse von Schwallversuch 2.6

Bei weiterer Aufsplittung der Ergebnisse erhält man folgende Aufstellung:

	Schwallrinne			**Referenzrinne**	
2.6	Anzahl Drift	Strandung	relative Driftraten	relative Driftraten	Anzahl Drift
aktive Drift	-	-	0.0%	7.3%	11
1 (100 l/s)	8	-	5.3%	0.7%	1
aktive Drift	-	-	0.0%	1.4%	2
2 (200 l/s)	4	1	2.8%	0.7%	1
aktive Drift	3	-	2.2%	0.0%	-
3 (300 l/s)	3	-	2.2%	0.0%	-
aktive Drift	8	-	6.1%	0.0%	-
4 (400 l/s)	10	-	8.1%	0.0%	-
aktive Drift	1	-	0.9%	0.0%	-
5 (500 l/s)	9	-	8.0%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	1.5%	2
6 (600 l/s)	1	-	1.0%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	1.5%	2
Clearing	95	-	93.1%	87.8%	115
Vogel	-	-	0.0%	12.5%	2
Gesamt	**142**	**1**			**136**

Tabelle 26: Drift während der einzelnen Schwallereignisse

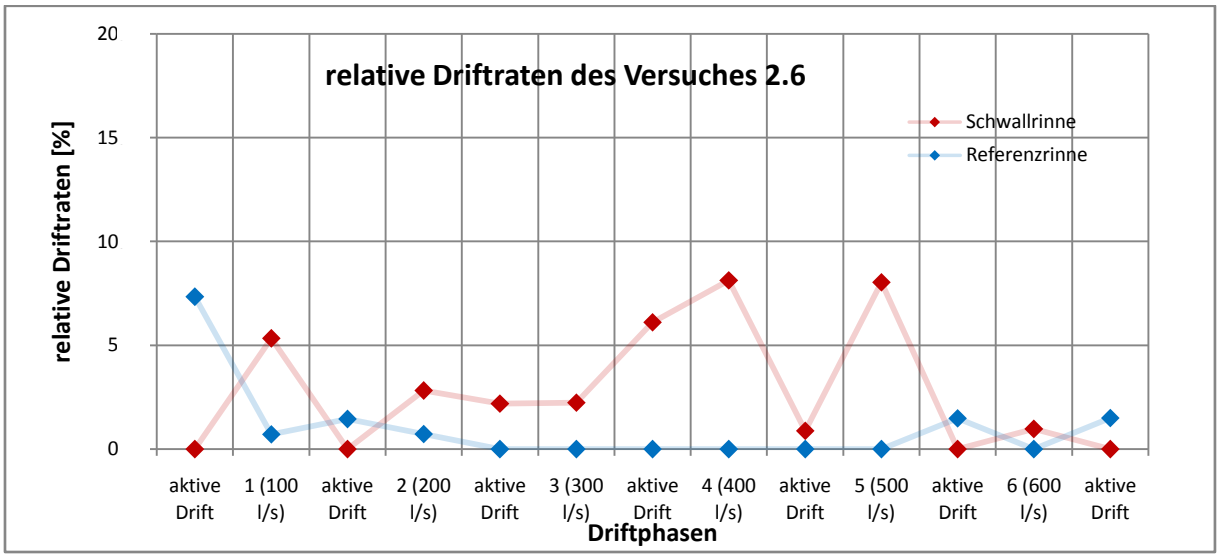


Abbildung 29: Driftraten des Versuches 2.6 in beiden Rinnen im Vergleich (die Abstände auf der x-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar)

Während des Versuches 2.6 verhielten sich die Jungäschen während der Schwallphasen so, dass deren Driftmaximum mit etwa 8 % bei einer Schwalldotation von 400 l/s sowie 500 l/s auftrat, ansonsten wurden nur innerhalb des ersten Schwallevents mehr als 5 % abgedriftet . Die aktive Drift war vor sowie nach dem 3. Schwall etwas erhöht.

In der Referenzrinne zeigte sich in der ersten Phase erhöhte aktive Drift, danach sank die Driftrate ab und blieb über die gesamte Dauer des Versuches gering, allerdings konnten 2 Jungäschen mit Verletzungen gefunden werden, die auf einen Schnabelabdruck hinwiesen.

Strandung konnte nur im Zuge des 2. Schwallereignisses nachgewiesen werden (siehe „Strandung“ Seite 55).

Schwallversuch 2.7

Rinne	1	2	Gesamt
aktive Drift	9	14	**23**
Drift	59	0	**59**
Strandung	17	0	**17**
Clearing	57	135	**192**
Gesamt	**142**	**149**	**291**

Tabelle 27: Ergebnisse von Schwallversuch 2.7

Bei weiterer Aufsplittung der Ergebnisse erhält man folgende Aufstellung:

	Schwallrinne			Referenzrinne	
2.7	Anzahl Drift	Strandung	relative Driftraten	relative Driftraten	Anzahl Drift
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
1 (100 l/s)	7	-	4.7%	1.3%	2
aktive Drift	-	-	0.0%	0.7%	1
2 (200 l/s)	11	-	7.7%	0.7%	1
aktive Drift	1	-	0.8%	0.0%	-
3 (300 l/s)	15	-	11.5%	1.4%	2
aktive Drift	-	-	0.0%	0.7%	1
4 (400 l/s)	8	5	6.9%	0.0%	-
aktive Drift	2	-	1.9%	0.0%	-
5 (500 l/s)	10	-	9.9%	0.7%	1
aktive Drift	2	-	2.2%	0.7%	1
6 (600 l/s)	8	12	9.0%	1.4%	2
aktive Drift	4	-	5.8%	2.2%	3
Clearing	57	-	87.7%	99.3%	135
Gesamt	**125**	**17**			**149**

Tabelle 28:Drift während der einzelnen Schwallereignisse

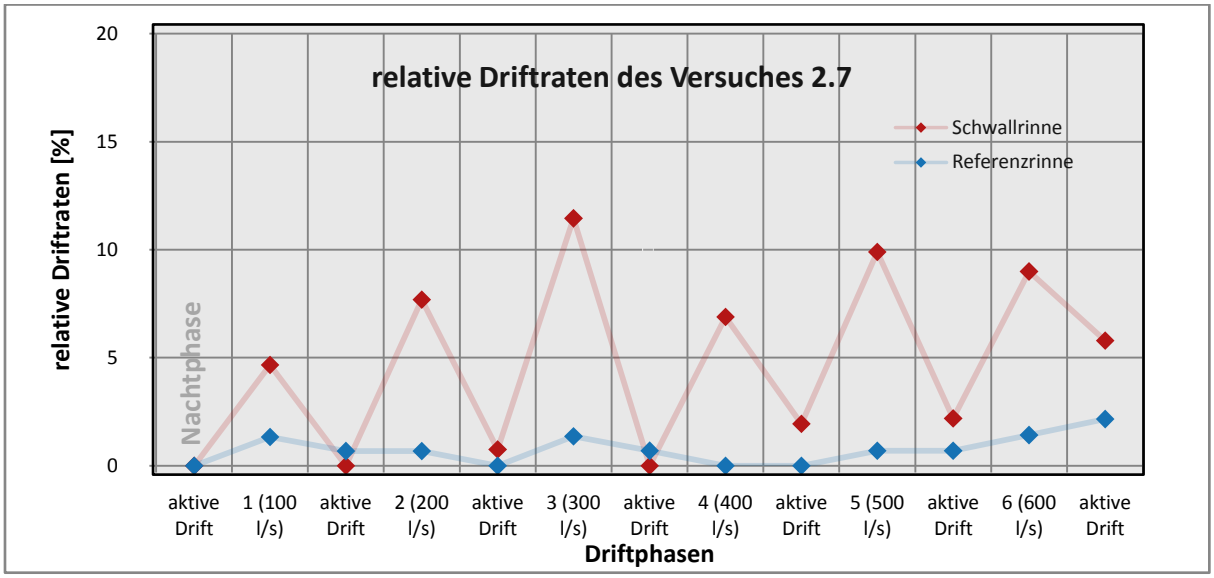


Abbildung 30: Driftraten des Versuches 2.7 in beiden Rinnen im Vergleich (die Abstände auf der x-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar)

Während des Versuches 2.7, der zur Gänze in Dunkelheit stattfand, kam es in der Schwallrinne zu kontinuierlich ansteigenden, passiven Driftraten während der ersten 3 Schwallereignisse, mit einem maximalen Wert von etwa 12 %. Auf die 3 folgenden Schwallereignisse reagierten die Äschen mit

Driftraten von 7-10 %. Die aktiven Driftraten während der Sunkphasen waren gering, zeigten gegen Ende des Versuches eine ansteigende Tendenz.

In der Referenzrinne blieb die aktive Driftrate über den gesamten Versuch hinweg unauffällig gering.

Strandung konnte ebenfalls nachgewiesen werden, und zwar am Ende des 4. und 6. Schwallevents (siehe „Strandung“ Seite 55).

Schwallversuch 2.8

Rinne	1	2	Gesamt
aktive Drift	8	13	**21**
Drift	122	10	**132**
Strandung	-	-	**0**
Clearing	8	98	**106**
Gesamt	**138**	**121**	**259**

Tabelle 29: Ergebnisse von Schwallversuch 2.8

Bei weiterer Aufsplittung der Ergebnisse erhält man folgende Aufstellung:

	Schwallrinne			**Referenzrinne**	
2.8	Anzahl Drift	Strandung	relative Driftraten	relative Driftraten	Anzahl Drift
aktive Drift	1	-	0.7%	0.0%	-
1 (100 l/s)	42	-	28.2%	0.0%	-
aktive Drift	2	-	1.9%	0.0%	-
2 (200 l/s)	23	-	21.9%	1.3%	2
aktive Drift	4	-	4.9%	0.0%	-
3 (300 l/s)	31	-	39.7%	1.4%	2
aktive Drift	1	-	2.1%	2.1%	3
4 (400 l/s)	24	-	52.2%	2.8%	4
aktive Drift	-	-	0.0%	7.2%	10
5 (500 l/s)	-	-	0.0%	1.6%	2
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
6 (600 l/s)	2	-	9.1%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
Clearing	8	-	40.0%	77.2%	98
Gesamt	**138**	**0**			**121**

Tabelle 30:Drift während der einzelnen Schwallereignisse

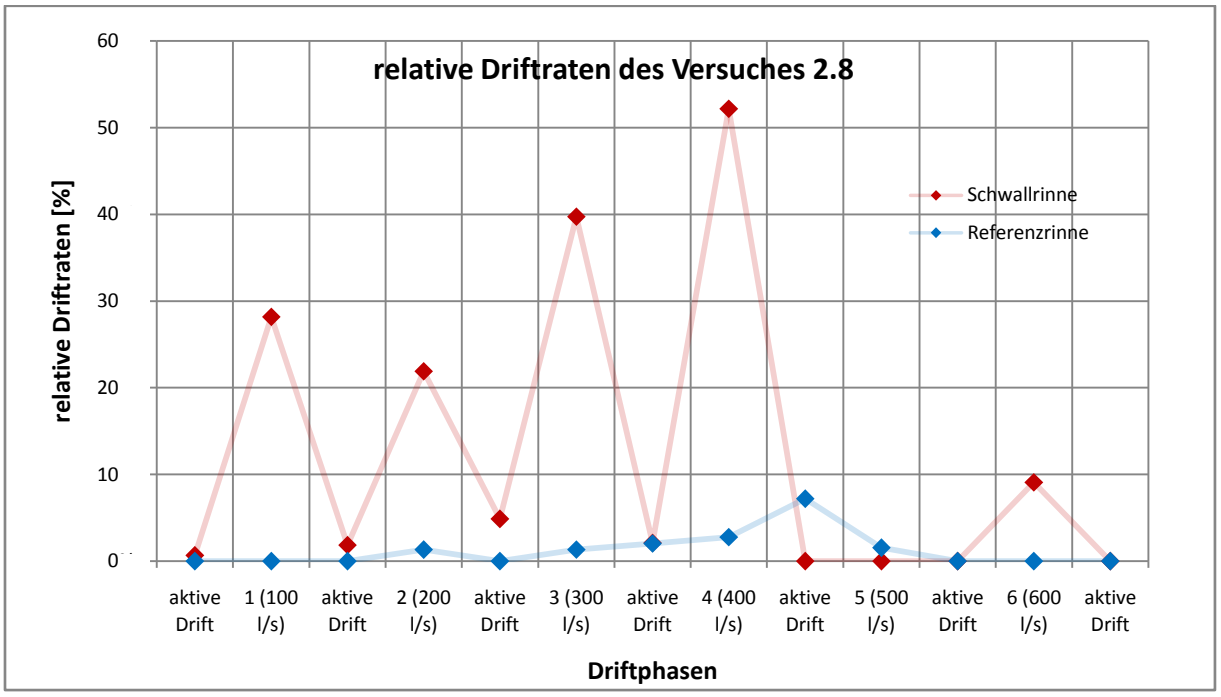


Abbildung 31: Driftraten des Versuches 2.8 in beiden Rinnen im Vergleich (die Abstände auf der x-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar)

Im Vergleich zu den bisherigen Versuchen konnten im Laufe des Versuchs 2.8 stark erhöhte Driftraten beobachtet werden. Dies ging so weit, dass sich nach dem 4. Schwall nur mehr 22 Äschen in der Schwallrinne befanden. Danach brachen die Driftzahlen komplett ein, lediglich im Zuge des letzten Schwalles kam es wieder zu abdriftenden Fischen, jedoch muss bei diesem Wert von knapp 10 % berücksichtigt werden, dass es sich nur um 2 driftende Äschen handelte.

Während der Sunkphasen konnten jedoch keine stark erhöhten Driftraten nachgewiesen werden.

Die Auswertung der Driftraten in der Referenzrinne ergab, dass es zu keinen besonderen Abweichungen kam, lediglich nach dem 4. Schwallereignis gingen rund 7 % der Fische in aktive Drift.

Weshalb sich das Ergebnis derart deutlich abzeichnete, ist unbekannt, aufgrund der relativ geringen Driftraten während der Sunkphasen ist aber nicht von einer gravierenden, externen Störung auszugehen.

Es konnte zu keiner Zeit des Versuchs Strandung nachgewiesen werden.

4.3.2. Ergebnisse der Schwallversuchsreihe 2

Während der 2. Schwallversuchsreihe wurde die zuvor erwähnte Versuchsanordnung insgesamt 8 Mal durchgeführt, um gewisse Trends, die Fragestellung beantwortend, zu erkennen.

Aktive Drift

Die aktive Drift stellt die flussabwärts gerichtete, gewollte Bewegung der Jungäschen dar. Diese Wanderung wird insofern als „gewollt“ bewertet, da es aufgrund der gleichbleibenden hydraulischen Verhältnisse in der Rinne bei Sunkabfluss von 25 l/s einer vitalen Jungäsche möglich ist, gegen die vorherrschenden Strömungsverhältnisse auf Dauer anzuschwimmen.

Während eines Schwallversuches wurden alle Fische in der Schwallrinne, die nicht während des Stattfindens eines Schwallereignisses samt An- und Abstiegszeit abdrifteten, den Sunkphasen mit dazugehöriger aktiver Drift zugezählt, um zu ermitteln, wie viele der besetzen Fische ohne Änderung des Abflussgeschehens in Drift gehen würden. Desweiteren war es unerlässlich für die Drift- und Strandungsratenberechnung.

Stellt man die tatsächlich beobachteten, aktiven Driftraten in Relation zur Dauer vor bzw. während der Schwallphasen, so erhält man folgendes Bild:

aktiv driftende Individuen/h	Schwallversuch						
Schwallintensität	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7
100 l/s	0	0	0	0.7	57.1	0	0
200 l/s	0	0	15	0	0	0	0
300 l/s	0	0	2.3	4.4	0	20	5.9
400 l/s	0	0	0	10	16.7	53.3	0
500 l/s	1.5	0	4.5	33.3	25	5.6	9.1
600 l/s	11	0	0	13.6	0	0	8

Tabelle 31: aktive Driftraten der einzelnen Versuche in der Schwallrinne; die Werte beziehen sich auf die Sunkphase unmittelbar vor dem jeweiligen Schwall

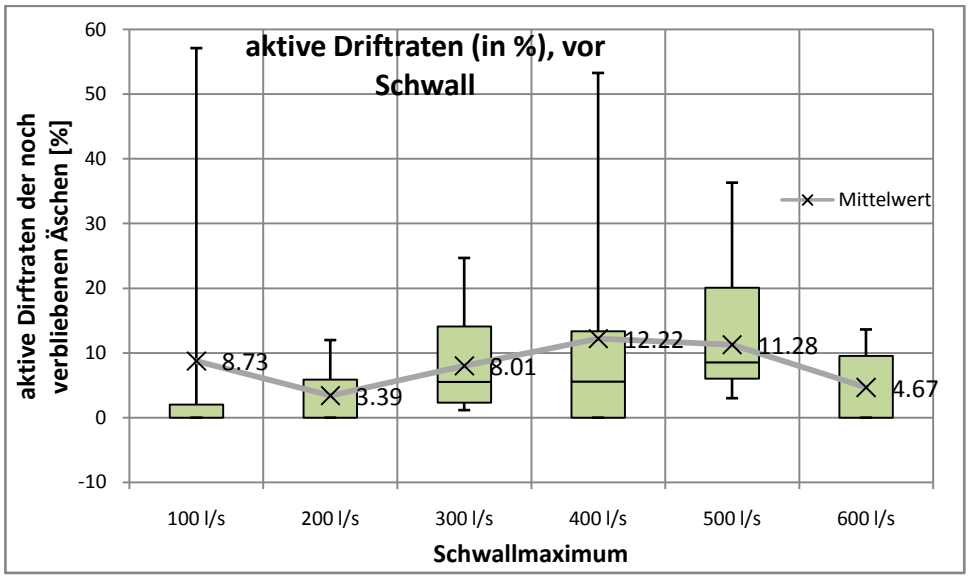


Abbildung 32: aktive Driftraten (Individuen/h), zum jeweils bevorliegenden Schwallereignis zugeordnet

In Tabelle 31 sowie Abbildung 32 sieht man, dass die Driftratenmaxima teilweise erheblich schwanken. Dies liegt daran, dass Sunkphasen zwischen den Schwällen bzw. vor dem 1.Schwall von unterschiedlicher Dauer waren, und erhöhte Driftwerte während einer sehr kurzen Sunkphase dadurch verstärkt werden: Der Wert des Ausreißers in der ersten Kategorie („Drift vor Schwall 1 mit 100 l/s Maximalabfluss) mit etwa 57 % fand im Zuge des Versuchs 2.5 statt. Schaut man sich die aktive Drift vor dem besagten Schwall an, so sieht man, dass lediglich 8 Individuen abdrifteten, dies jedoch in einer Zeitdauer von nur 4 Minuten. Rechnet man diesen Wert nun auf eine Dauer von 1 Stunde auf, so erhält man ebendiesen Wert. Da die Drift zu Beginn auch bei anderen Versuchen erhöht war, sollte diesem Wert nicht allzu große Bedeutung zugewiesen werden.

In nur zwei Versuchen (2.3 sowie 2.8) gab es aktive Drift nach dem ersten Schwallereignis (100 l/s). Nach dem 4. Schwall (400 l/s) zeigten die meisten Versuche (alle außer Versuch 2.8) aktiv driftende Jungfische.

Wie man sieht, können keine allgemein gültigen Aussagen über die aktive Drift in der Schwallrinne getätigt werden. Dies liegt darin begründet, dass manchen Einflussfaktoren wie Tageszeit oder Störungen von Außen erst im Zuge der Durchführung der Versuchsreihe eine derart große Bedeutung zugerechnet wurde bzw. erst im Nachhinein erkannt wurden.

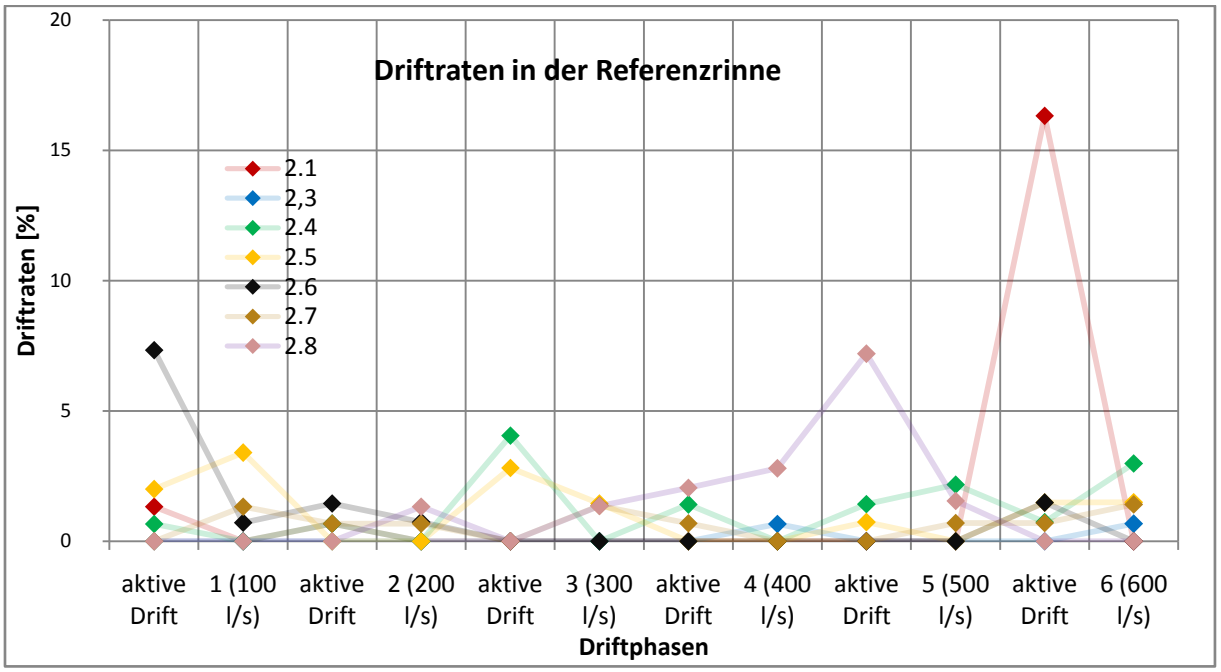


Abbildung 33: aktive Driftraten der Referenzrinne;

Die aktive Drift in der Referenzrinne ist geprägt von konstant geringen Driftraten. Lediglich 2 Ausreißer fallen auf, diese könnten durch eine externe Störung erhöht sein. Wie im folgenden Unterkapitel „Passive Drift“ erklärt, findet in der Referenzrinne zu jedem Zeitpunkt des Versuches aktive Drift statt, da sich der Abfluss nur in der Schwallrinne ändert.

Passive Drift

Passive Drift findet nur infolge einer Abflussänderung während eines Schwallereignisses statt, aus diesem Grunde passierte dies nur in der Schwallrinne. In der Referenzrinne fand zu jedem Zeitpunkt eines Schwallversuches immer aktive Drift statt. Im Zuge der Schwallversuchsreihe 2 wurde keine Differenzierung bezüglich des Driftzeitpunktes getätigt.

Betrachtet man zunächst die Driftraten während der Schwallevents in der Schwallrinne so ergibt sich folgendes Bild:

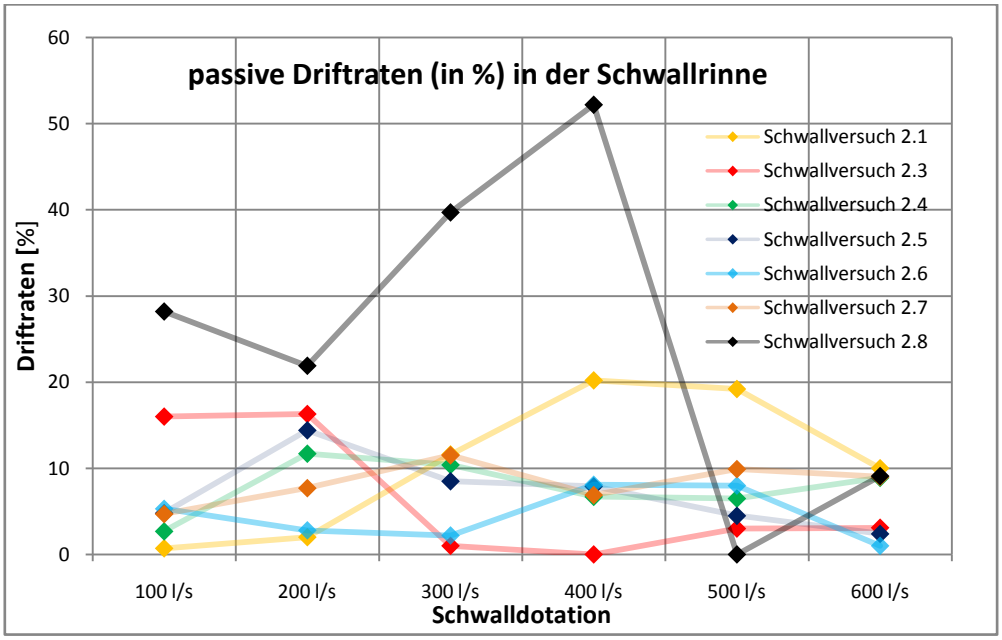


Abbildung 34: passive Driftraten aller Versuche während der Schwallereignisse in der Schwallrinne

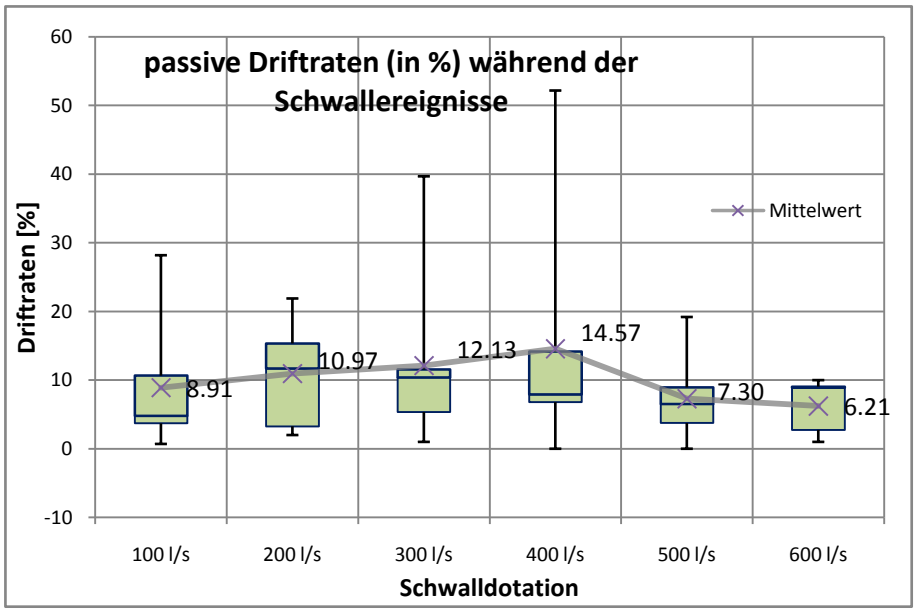


Abbildung 35: Box-Plot-Darstellung der Driftraten (in %) während der Schwallereignisse; Die durchgehende Linie gibt das arithmetische Mittel der Driftraten an

Betrachtet man die grafischen Darstellungen der passiven Driftraten, so kann man keine eindeutige

Korrelation der Driftrate mit der Maximaldotation des jeweiligen Schwalles erkennen. Generell kann man auf einer leichten Steigerung der Abdrift im Bereich der ersten 4 Einzelschwallereignisse schließen, wobei man nicht außer Acht lassen darf, dass im Bereich dieser ersten 4 Einzelschwälle der Versuch 2.8 im Vergleich sehr hohe Driftraten aufweist. Für die letzten beiden Schwallereignisse gilt diese Beobachtung nicht, hier nimmt die Anzahl an abdriftenden Individuen tendenziell wieder ab.

Dies ist in Abbildung 35 verdeutlicht, wobei immer darauf geachtet werden muss, ob der jeweilige Schwall eines Versuches bei Tageslicht oder in der Nacht stattgefunden hat. So ist die aktive Driftrate zwischen dem 5. und 6. Einzelschwall höher als die Drift während dieser Schwallereignisse. Die Driftraten zu Beginn des Versuches sind aber sehr gering. Auch Schwallversuch 2.7 wurde nach Einbruch der Abenddämmerung durchgeführt und die Abdriftraten entsprechen in etwa dem allgemeinen Trend, weshalb in Schwallversuch 2.1 eventuell von einer zusätzlichen externen Beeinflussung (z.B. durch Vögel) ausgegangen werden kann.

Strandung

Die Strandungsraten sind vermutlich nur Näherungswerte, da es nicht sicher war, alle gestrandeten Fische auch wiederzufinden. Dies liegt unter anderem daran, dass es vorkommen konnte, dass ein gestrandetes Individuum nicht sofort gefunden wurde und darauf von in der Nähe wartenden Vögeln gefressen wurde.

In Tabelle 32 sieht man für jeden Versuch und jeden Schwall die Anzahl der gestrandeten Individuen.

Strandungsraten		Schwallversuch						
		2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7
Schwalldotation	100 l/s	0	0	0	0	0	0	0
	200 l/s	0	0	0	2	1	1	0
	300 l/s	0	0	0	5	4	0	0
	400 l/s	3	0	1	2	0	0	5
	500 l/s	0	0	0	4	2	0	0
	600 l/s	0	0	0	18	11	0	12

Tabelle 32:Strandungszahlen der Versuche der 2. Schwallversuchsreihe

Setzt man nun die Anzahl der gestrandeten Fische in Relation zu der in der Rinne verbleibenden Menge an Jungäschen, so erhält man folgende grafische Darstellung:

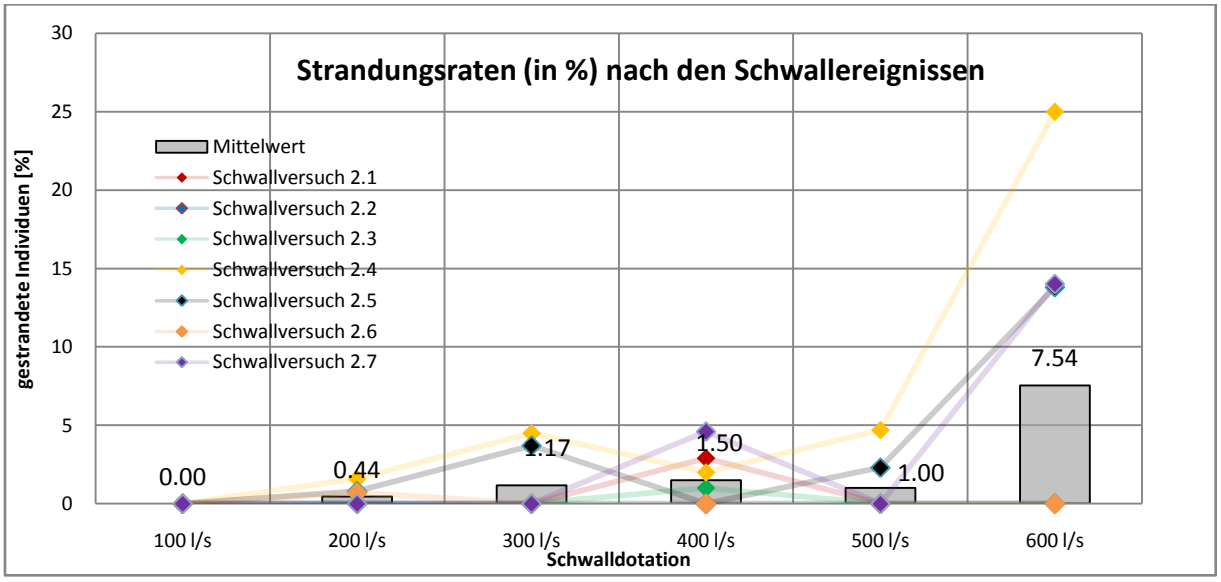


Abbildung 36: Strandungsraten der einzelnen Versuche, nach Schwallintensität aufgeschlüsselt

Wie in Abbildung 36 ersichtlich, steigt die Strandungsrate bis zu einer Schwallintensität von 400 l/s sehr leicht an bzw. sinkt bei einer Intensität von 500 l/s leicht. Beim größten Schwall (600 l/s) steigt die Strandung zum Teil stark an, aber nur bei 3 von 7 Versuchen.

Clearing

Das Clearing diente dazu, alle jene Jungfische aus den beiden Rinnen wieder zu entnehmen, die während des Versuchsablaufes nicht durch aktive oder passive Drift in den Driftnetzen angelangt bzw. nach einem Schwallereignis gestrandet sind, damit die Rinnen für die Vorbereitung und den Besatz für den nächsten Versuch bereit waren. Desweiteren sollte damit die Ungenauigkeit der Strandungsraten bzw. Driftraten konkretisiert werden; dies geschah mittels standardisierter Herangehensweise bei der Elektrobefischung. In Tabelle 33 sieht man jenen Anteil der besetzten Jungäschen, die im Zuge der Elektrobefischungen wiedergefangen wurden sowie deren Anteil an der Restmenge der Jungäschen, die sich vor dem Clearing, und somit nach Versuchsende, in der Rinne befanden:

Schwallversuchs-nummer	Schwall-rinne	gefangene Individuen in Schwallrinne	in % der verbleibenden Individuen	Referenz-rinne	gefangene Individuen in Referenzrinne	in % der verbleibenden Individuen
2.1	125	2	7.4%	55	8	7.8%
2.3	105	47	51.1%	113	110	74.8%
2.4	143	32	82.1%	30	6	4.8%
2.5	81	44	63.8%	20	119	91.5%
2.6	143	0	0.0%	136	2	12.5%
2.7	142	57	87.7%	149	135	99.3%
2.8	138	8	40.0%	121	98	77.2%

Tabelle 33: Wiedergefangene Jungäschen sowie der Anteil der bei der Elektrobefischung gefangenen Fische

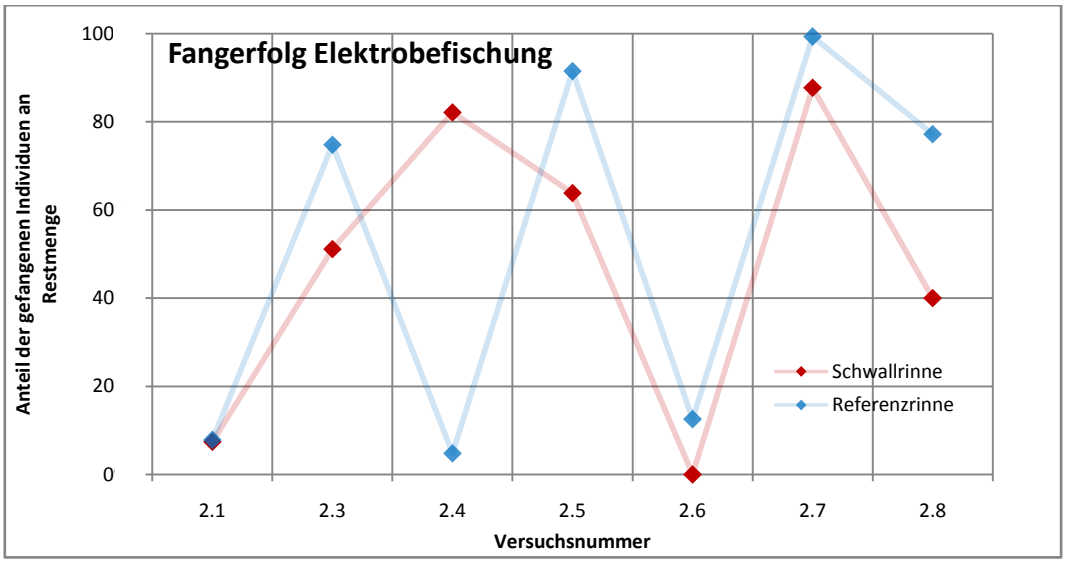


Abbildung 37: Vergleich der Fangerfolge der Elektrobefischungen im Zuge des Clearings als abschließende Phase eines Schwallversuches

Die standardisierte Elektrobefischung fand jedesmal bei 25 l/s statt und umfasste jeweils 3 Durchgänge, die mit gleichem Befischungsaufwand durchgeführt wurden. Jungäschen, die während oder nach der Elektrobefischung drifteten oder sonstwie gefangen wurden, wurden dem Fangerfolg der Elektrobefischung dazugezählt.

Die Ergebnisse der Befischungen variierten bezüglich ihres Fangerfolges teilweise sehr: sieht man sich Versuch 2.1 an, so wurden in beiden Rinnen jeweils weniger als 10 % jener Fischmenge gefangen, die sich zu diesem Zeitpunkt noch in den Rinnen hätten sein sollen. Im Gegensatz dazu konnten im Zuge der Elektrobefischung des Versuches 2.7 87,7 % (Referenzrinne) bzw. 99,3 % (Schwallrinne)der nach dem Versuch in der Rinne verbliebenen Fische wiedergefangen werden. Um eine Vorstellung zu bekommen, ob diese Divergenzen methodischer Natur der standardisierten Elektrobefischung sind,

oder ob es während des Versuches zu einer Ausdünnung der ursprünglichen Besatzmenge von jeweils 150 Fischen / Rinne kam, wurde der Fangerfolg folgend überprüft: am 18.Dezember 2011 wurden in der rechten Rinne 100 Jungäschen besetzt. Mittels der von uns standardisierten Elektrobefischungsmethode versuchten wir, diese wieder zu fangen. Dabei wurden 92 der besetzen Fische wieder gefangen, was einem Fangerfolg von 92 % entspricht.

4.3.3. Diskussion und Interpretation der Ergebnisse der 2. Schwallversuchsreihe

Es galt herauszufinden, ob Jungäschen Reaktionen auf ein Schwallereignis zeigen, und ob es für das untersuchte Altersstadium der Fische einen bestimmten Schwellenwert gibt, über dem es zu einer erkennbaren Erhöhung der Drift- und Strandungsraten kommt bzw. unter dem es keine Auswirkungen des Schwalles auf das genannte Verhalten der Fische gibt. Zu diesem Zwecke setzte sich das Schwalldesign aus einer Kaskade von 6 aneinandergereihten Schwallereignissen mit ansteigender Amplitude (100 l/s bis 600 l/s) zusammen. Versuchsreihe 1 hat gezeigt, dass das Zusammenspiel von vorhandener Gerinnegeometrie und technisch möglicher Schwallanstiegsgeschwindigkeit Driftreaktionen bei Jungäschen hervorruft.

Es hat sich herausgestellt, dass die passive Drift, ausgelöst durch erhöhten Abfluss, nicht direkt mit der Schwallintensität korreliert (siehe Abbildung 34 sowie Abbildung 35).

Daraus kann man schließen, dass die besetzten Jungäschen den hydraulischen Gegebenheiten in der Rinne während eines Schwalles von bis zu 600 l/s genug Kraft entgegensetzen könnten um nicht abgedriftet zu werden, wenn sie dies auch wollten bzw. ist ein Auffinden von geeigneten Habitaten in der Zeit des Schwallanstieges möglich. Dies passiert entweder durch eine erhöhte Schwimmaktivität in den schneller fließenden Bereichen der Rinne, durch Einstellen hinter Elementen (Steine mit größerem Durchmesser), die einen Strömungsschatten oder durch laterales Versetzen innerhalb der Gerinne. Durch die ausgeführte Gerinnegeometrie ist es den Fischen durch seitliche Wanderung in Zeiten einer Abflussänderung möglich, in ihrer Nähe die Faktoren Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe, Substratgröße aber auch Sohlneigung konstant zu halten. An diesem Punkt sollte man sich nochmals das gewählte Schwalldesign in Erinnerung rufen, welches in der Anzahl und der Dauer der Einzelschwallereignisse sehr begrenzt ist, weshalb die beobachteten Reaktionen bei länger andauernden Versuchen bzw. in der Realität andere sein können.

Eine Begründung für das Fehlen der Korrelation zwischen Schwallmaximum (welches ja gleichzeitig eine Erhöhung der An- und Abstiegsgeschwindigkeit bedeutet) und dem Anteil an abgedrifteten

Äschen könnt sein, dass es bei den Fischen mit Fortdauer eines Schwallversuches eventuell zu einem Gewöhnungseffekt oder „Lerneffekt hinsichtlich der „Driftwilligkeit“ aufgrund einer Abflussänderung kommt. Eine andere Erklärung könnte sein, dass die besetzten Fische unterschiedliche, physiologische „Schwellenwerte“ besitzen, wobei ein „höherer Schwellenwert“ eine flussabwärtsgerichtete Wanderung später auslöst und Individuen mit „geringem Schwellenwert“ eben schon bei Schwallereignissen mit geringerer Maximaldotation und somit geringeren An- und Abstiegsgeschwindigkeiten flussab wandern.

Anders verhält es sich mit den Strandungsraten, siehe Abbildung 36: Man erkennt, dass die Strandungsraten mit der Intensität des Einzelschwalles nur äußerst geringfügig zunehmen, bei den jeweiligen Schwallwellen mit einer Maximaldotation von 500 l/s ist ein leichter Rückgang erkennbar. Bemerkenswert ist aber die deutlich erhöhte Strandung in Folge des größten Schwalles mit 600 l/s.

An dieser Stelle sei nochmal darauf hingewiesen, dass die Versuche in der Zahl an Äschen im Laufe eines jeden Versuches teils erheblich von einander abweichen. Auch der Wiederfangerfolg im Zuge der Clearings ist von Durchführung zu Durchführung unterschiedlich. Je geringer der Clearingerfolg, umso größer die Wahrscheinlichkeit, dass die erhobenen Daten im Laufe eines Versuchs unterschätzt werden. Aus diesem Grunde sind die gewonnenen Zahlen nur als erste Erkenntnis zu werten.

Es konnte beobachtet werden, dass es im Falle eines Schwallereignisses in Bereichen der lateralen Wanderung teilweise zu erhöhter longitudinaler Wanderung kommt. Das heißt, die Jungäschen sind bei für sie „ungewöhnlichen“ bzw. sich ändernden Abflussverhältnissen eventuell eher bereit, ihren aktuellen Standort zu wechseln und einen präferierten Standort aufzusuchen, mit allen Vor- und Nachteilen, die Jungfischen durch eine derartige Wanderung entstehen können. Findet diese Wanderung flussabwärts statt, so ist irgendwann, je nach vorherigem Standort des Fisches, jener Punkt erreicht, an dem ein Ausdriften aus der Rinne in das Auffangnetz - von uns „passive Drift“ genannt - stattfindet. Da die passive Drift aber hauptsächlich in Bereichen mit erhöhter Fließgeschwindigkeit und in größerer Tiefe und nicht in Bereichen mit lateraler Neigung vorkam, kann es sein, dass o.g. Beobachtungen weniger für Bereiche der lateralen Wanderung, sondern für Bereiche der Tiefenrinne, in denen sich die Fische in Zeiten des Sunkabflusses aufhalten, zutrifft. Dabei handelt es sich jedoch um Vermutungen, die erst überprüft werden müssten, was im Zuge dieser Arbeit aber nicht durchgeführt werden konnte.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Jungäschen auf die Abflussänderungen reagierten, sprich es kam zu einer erhöhten Drift während der einzelnen Schwallereignisse. Auch konnten erhöhte Mortalität, und

damit ein Ausdünnungseffekt der Äschen, durch Strandung im Zuge von Schwallereignissen nachgewiesen werden. Betrachtet man die Daten im Detail, so sieht man, dass das Abflussmaximum des Schwalles nur bedingt die erhobenen Drift- und Strandungsraten erklärt, und man in der nächsten Schwallversuchsreihe einen zusätzlichen Aspekt der Schwalleigenschaften variabel gestalten wird- die An- und Abstiegsdauer der Schwallwelle. Die Schwall- und Sunkdotation sollen konstant bleiben.

Je höher der Maximalabfluss wird, umso größer wird die Retention der Schwallwelle in der Schwallrinne. Dies kann dazu führen, dass es nach einem Schwallevent ein kurzes Zeitfenster gibt, für das unklar ist, ob es sich bei eventuell driftenden Fischen um aktive oder passive Drift handelt. Auf diese Retention wurde im Zuge der Schwallversuchsreihe 2 aufgrund zu ungenauer Kenntnis darüber nur teilweise Rücksicht genommen. Wegen der relativ geringen aktiven Driftraten dürfte es auch zu keiner großen Verfälschung der Ergebnisse führen, jedoch sollte eine vertiefte Kenntnis darüber in folgenden Versuchsreihen in die Auswertung weiter mit eingehen.

Desweiteren ist unbekannt, bei welcher Längsstationierung in der Rinne ein gedrifteter Jungfisch begonnen hat zu driften.

Zusammenfassende Erkenntnisse für die Schwallversuchsreihe 2:

- Es kam zu Reaktionen der Jungäschen auf unterschiedliche Schwallmaxima, es konnte aber kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Maximalabfluss und passiven Driftraten gefunden werden.
- Die Strandungsraten korrelieren nicht mit der Erhöhung des Maximalabflusses bzw. der An- und Abstiegsgeschwindigkeit. Beim größten Schwall mit einem Maximalabfluss von 600 l/s konnte vermehrt Strandung beobachtet werden.
- Bei schnellen Schwallanstiegs- und -abstiegszeiten kommt es zu einer bemerkbaren Retention der Schwallwelle in der Versuchsrinne. Diese muss bei Fischen, die unmittelbar nach Ende einer Schwallphase driften, berücksichtigt werden-es könnte sich noch um eine schwallinduzierte Drift handeln.
- Die tendenziell erhöhten Drift- und Strandungsraten während Dämmerungs- und Nachtphasen konnten abermals bestätigt werden.
- Innerhalb der Rinnen kommt es zu einer Retention der Schwallwelle; sie wird zeitlich verzögert und vermutlich auch leicht gestreckt.
- Bei kompakter Versuchsdurchführung kann die Qualität der Daten bezüglich der Wiederfangquote verbessert werden.

4.4. Schwallversuchsreihe 3

In der vorangegangenen Schwallversuchsreihe wurde die Auswirkung unterschiedlicher Schwallintensitäten bei gleichbleibender An- und Abstiegsdauer der Schwallwelle beobachtet. Dies bedeutet, dass die Geschwindigkeit der Abflussänderung ebenfalls von Schwall zu Schwall verändert wurde. Das Schwalldesign bei dieser Versuchsreihe zielt darauf ab, die Reaktion der Fische auf unterschiedliche Geschwindigkeiten und Zeiten von Schwallanstieg und Schwallabstieg zu beobachten.

Die Ergebnisse der 2. Schwallversuchsreihe zeigten, dass eine Schwallamplitude von 400 l/s eine Reaktion bei den Jungfischen hinsichtlich deren Drift- und Strandungsverhalten hervorruft. Aus diesem Grunde wurden die nächsten Versuche bei einem konstanten Maximalabfluss von 400 l/s durchgeführt; dies entspricht nicht der maximalen Beschickungsleistung der Anlage und bietet somit allfällige Reserven, sollte wider bisherigen Erfahrungen keine Reaktion hervorgerufen werden. Desweiteren wird damit das natürliche Abflussregime des Seebaches weniger beeinflusst.

Abbildung 38: Graphische Darstellung der einzelnen Schwalldesigns zeigt schematisch, wie die folgenden Schwallversuche ausgesehen haben. Dabei bleibt die Maximaldotation der Einzelschwallereignisse konstant, lediglich die Anstiegs- und Abstiegszeit, und damit die Geschwindigkeit der Abflussänderung, ändert sich.

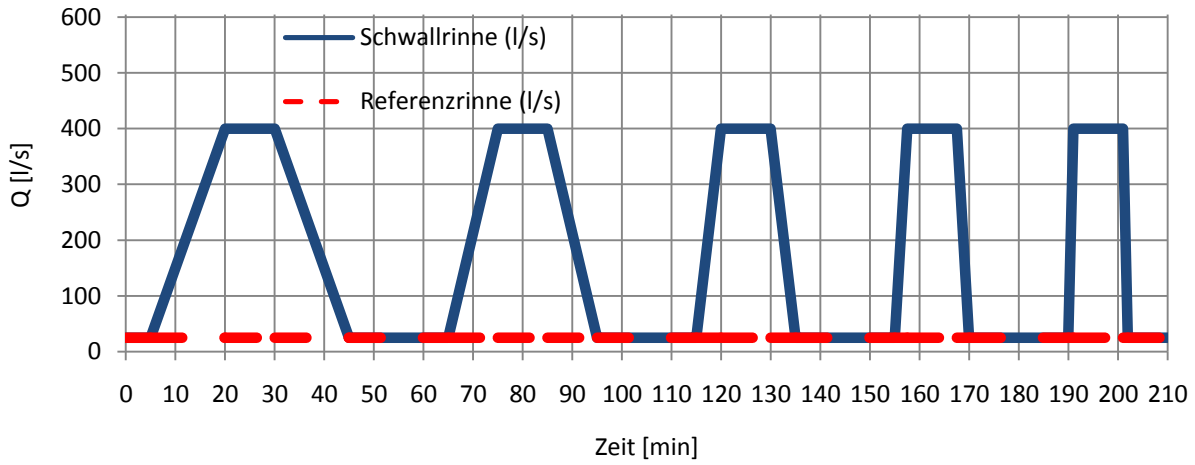


Abbildung 38: Graphische Darstellung der einzelnen Schwalldesigns

Tabelle 34 zeigt die Parameter des Versuchsdesigns in Zahlen:

		Schwallnummer				
		1	2	3	4	5
Dotation vor Schwall	[l/s]	25	25	25	25	25
Anstiegszeit	[min]	15	10	5	2.5	1
Schwalldauer	[min]	10	10	10	10	10
Schwalldotation	[l/s]	400	400	400	400	400
Abstiegszeit	[min]	15	10	5	2.5	1
Dotation nach Schwall	[l/s]	25	25	25	25	25

Tabelle 34:Schwalldesigns der 3. Versuchsreihe

So soll herausgefunden werden, ob es eine bestimmte, kritische Anstiegsgeschwindigkeit des Schwallereignisses gibt, bei der sich die Drift- und Strandungsraten merkbar ändern, bzw. soll beobachtet werden, ob es überhaupt zu unterschiedlichen Reaktionen der Äschen kommt. Dazu bleibt die Schwallintensität bei jedem Event mit 400 l/s konstant. Diese Dotation wurde desweiteren deshalb gewählt, da so die gesamte Rinnenbreite benetzt ist und die vorherigen Versuche gezeigt haben, dass die Fische mit Strandung und passiver Drift reagieren.

Desweiteren wurden die Driftzeitpunkte während eines Schwallevents in Zeiträumen zu je 4 Minuten separat erfasst. So sollte es möglich sein, Drifttendenzen hinsichtlich des stattfindenden Zeitpunktes zu ermitteln. Die Zeitintervalle wurden deshalb so gewählt, da damit gesichert ist, dass innerhalb der Zeitspanne von 4 Minuten die Driftnetze beider Rinnen gesichtet und allenfalls geräumt werden konnten.

Nach jedem Schwallevent wurde die Wasserwechselzone zwischen Sunk- und Schwallanschlagslinie abgesucht, um eventuell gestrandete Individuen zu erfassen. Diese Suche wurde behutsam, langsam und leise durchgeführt, um die verbleibenden Fische in der Rinne auf keine Art und Weise zu stören und so deren Verhalten zu beeinflussen. Nach dem letzten Schwall und der Suche nach gestrandeten Fischen wurden die Rinnen mittels standardisierter Elektrobefischung geleert und somit für einen erneuten Versuch vorbereitet.

Die Bezeichnung der Schwallereignisse besteht, analog zu den bisherigen Schwallversuchsreihen, aus der Nummer der Schwallversuchsreihe und einer fortlaufenden Nummerierung.

4.4.1. Die Versuche

Es wurde nun Wert darauf gelegt, dass jeder Versuch an nur einem Tag durchgeführt wurde, damit man die Einflüsse von außen möglichst gering halten konnte. Wie man Tabelle 35 entnehmen kann, wuchs der Anteil der wiedergefangenen Fische im Gegensatz zur Versuchsreihe 2 (vgl. Tabelle 33).

Versuch	Rinne	Durchführungs-datum	besetzte Fische	entnommene Fische, Gesamt	fehlende Fische	fehlende Fische [%]
3.1	Schwall	26.1.12	150	141	9	6 %
3.1	Referenz	26.1.12	150	145	5	3 %
3.2	Schwall	27.1.12	150	77	73	49 %
3.2	Referenz	27.1.12	150	32	118	79 %
3.3	Schwall	14.2.12	150	147	3	2 %
3.3	Referenz	14.2.12	150	141	9	6 %
3.4	Schwall	15.2.12	150	131	19	13 %
3.4	Referenz	15.2.12	150	133	17	11 %

Tabelle 35: Übersicht über die durchgeführten Versuche der Schwallversuchsreihe 3

Schwallversuch 3.1

Rinne	1	2	Gesamt
aktive Drift 1	22	29	**51**
Drift 1	43	-	**43**
Strandung 1	3	-	**3**
aktive Drift 2	12	17	**29**
Drift 2	15		**15**
Strandung 2	-	-	**0**
E-Fischen	46	99	**145**
Gesamt	**141**	**145**	**286**

Tabelle 36: Ergebnisse von Schwallversuch 3.1

Bei weiterer Aufsplittung der Ergebnisse erhält man folgende Aufstellung:

	Schwallrinne			Referenzrinne	
3.1	Anzahl Drift	Strandung	relative Driftraten	relative Driftraten	Anzahl Drift
aktive Drift	6	-	4.0%	6.7%	10
1 (400 l/s), 15´	18	-	12.5%	0.7%	1
aktive Drift	3	-	2.4%	1.4%	2
2 (400 l/s), 10´	14	-	11.4%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
3 (400 l/s), 5´	3	1	2.8%	0.0%	-
aktive Drift	9	-	8.6%	1.5%	2
4 (400 l/s), 2,5´	4	1	4.2%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
5 (400 l/s), 1´	4	1	4.4%	0.0%	-
aktive Drift	4	-	4.7%	10.4%	14
Clearing	73	-	89.0%	95.9%	116
Gesamt	**138**	**3**			**145**

Tabelle 37: Drift während der einzelnen Schwallereignisse; Die Zeitangabe bezieht sich jeweils auf die An- bzw. Abstiegszeit

Driftraten in Schwallrinne	Anstieg 15´	Anstieg 10´	Anstieg 5´	Anstieg 2,5´	Anstieg 1´
0´-4´	0	0	0	1	2
4´-8´	4	2	1	0	2
8´-12´	5	6	0	0	0
12´-16´	3	2	2	1	0
16´-20´	1	0	0	2	-
20´-24´	2	1	0	-	-
24´-28´	0	0	-	-	-
28´-32´	0	2	-	-	-
32´-36´	2	1	-	-	-
36´-40´	1	-	-	-	-
40´-44´	0	-	-	-	-
Gesamt	**18**	**14**	**3**	**4**	**4**

Tabelle 38: Driftraten der einzelnen Schwallereignisse von Schwallversuch 3.1, nach Zeitintervallen eingeteilt; die dunkleren Felder zeigen den groben Zeitraum des Schwallpeaks, die helleren Felder zeigen die Anstiegs- bzw. Abstiegszeit

Betrachtet man Tabelle 38, so driftete nach dem 2. Schwallereignis eine Äsche unmittelbar nach Ende des Schwallabstieges. Durch die Retention in der Rinne wurde diese Drift aber noch der Abstiegsphase zugerechnet.

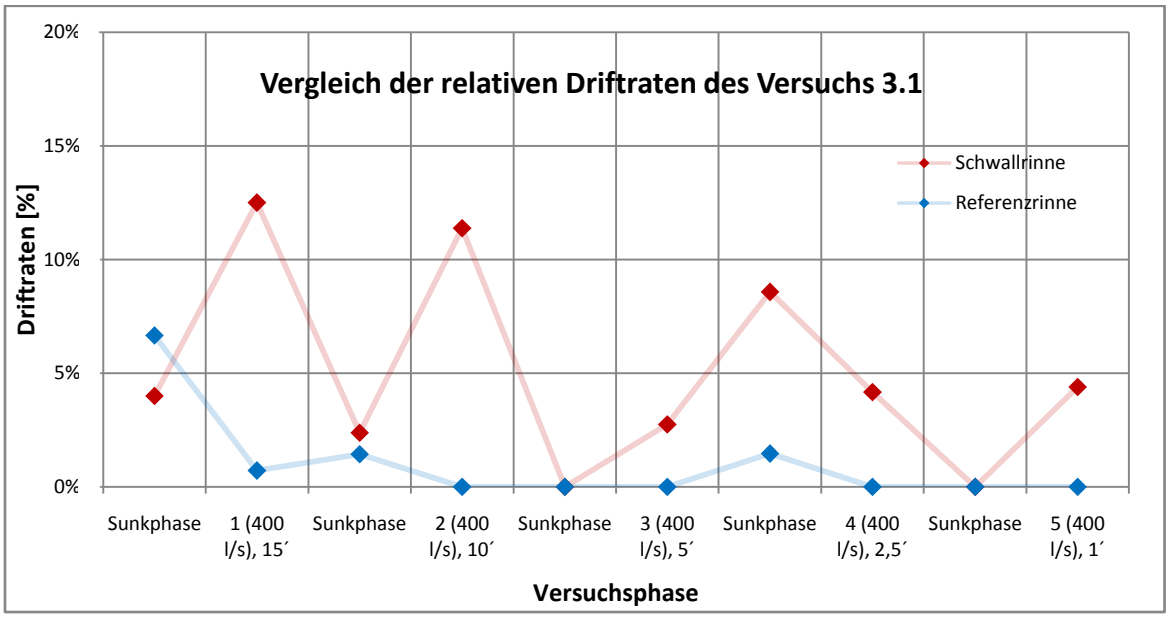


Abbildung 39: Vergleich der relativen Driftraten der beiden Rinnen von Schwallversuch 3.1

In der Schwallrinne sind die Driftraten während der ersten beiden Schwallphasen am größten, danach waren die Driftraten deutlich geringer. Eine Phase mit erhöhter Drift fand während der Sunkphase nach dem 3. Schwall statt.

In der Referenzrinne kam es zu Beginn des Versuchs zu erhöhter aktiver Drift, woran das lag, ist unbekannt. Auch am Versuchsende kam es zu erhöhter, aktiver Drift, dies kann vermutlich auf die zu diesem Zeitpunkt stattfindende Dämmerung zurückzuführen sein (hier nicht mehr dargestellt).

Schwallversuch 3.2

Rinne	1	2	Gesamt
aktive Drift	4	32	**36**
Drift	72	-	**72**
Strandung	1	-	**1**
E-Fischen	-	-	**0**
Gesamt	**77**	**32**	**109**

Tabelle 39: Ergebnisse von Schwallversuch 3.2

Die Daten des Clearings sind aus technischen Gründen nicht auswertbar.

Bei weiterer Aufsplittung der Ergebnisse erhält man folgende Aufstellung:

	Schwallrinne			Referenzrinne	
3.2	Anzahl Drift	Strandung	relative Driftraten	relative Driftraten	Anzahl Drift
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
1 (400 l/s), 15´	47	-	31.3%	9.3%	14
aktive Drift	1	-	1.0%	0.7%	1
2 (400 l/s), 10´	11	-	10.8%	3.0%	4
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
3 (400 l/s), 5´	6	-	6.6%	8.4%	11
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
4 (400 l/s), 2,5´	5	1	5.9%	1.7%	2
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
5 (400 l/s), 1´	5	-	6.3%	0.0%	-
aktive Drift	1	-	1.4%	0.0%	-
Clearing	-	-	0.0%	0.0%	-
Gesamt	**76**	**1**			**32**

Tabelle 40: Drift während der einzelnen Schwallereignisse; Die Zeitangabe bezieht sich jeweils auf die An- bzw. Abstiegszeit

Driftraten in Schwallrinne	Anstieg 15´	Anstieg 10´	Anstieg 5´	Anstieg 2,5´	Anstieg 1´
0´-4´	12	0	0	3	2
4´-8´	6	1	5	0	1
8´-12´	10	2	1	0	2
12´-16´	9	5	0	0	0
16´-20´	3	1	0	2	-
20´-24´	3	0	0	-	-
24´-28´	0	2	-	-	-
28´-32´	2	0	-	-	-
32´-36´	2	-	-	-	-
36´-40´	0	-	-	-	-
40´-44´	0	-	-	-	-
Gesamt	**47**	**11**	**6**	**5**	**5**

Tabelle 41: Abdriftraten der einzelnen Schwallereignisse, nach Zeitintervallen eingeteilt; die dunklen Felder zeigen den groben Zeitraum des Schwallpeaks, die helleren Felder zeigen die Anstiegs- und Abstiegszeit

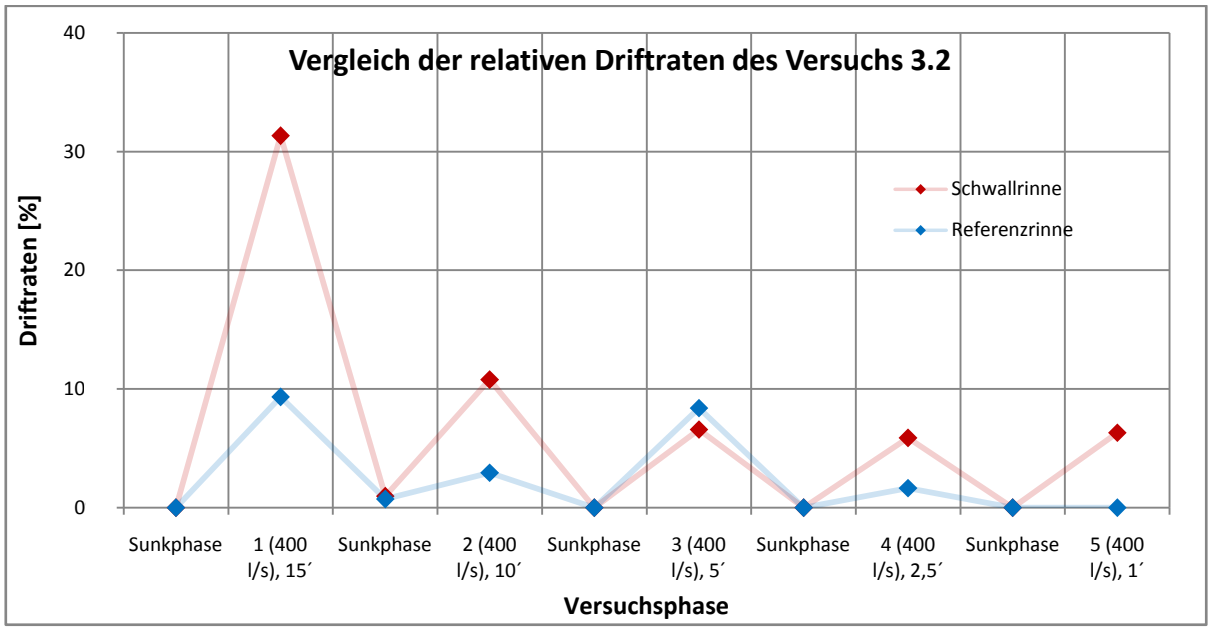


Abbildung 40: Vergleich der relativen Driftraten der beiden Rinnen von Schwallversuch 3.2

Während des Schwallversuchs 3.2 gab es das Driftratenmaximum von über 31 % während des 1. Schwallereignisses, bei den weiteren Schwallereignissen waren die Driftraten mit maximal 10,8 % deutlich kleiner, die weiteren 3 Driftraten waren noch ein Stück geringer. Die aktive Drift war in der Schwallrinne zu jeder Phase des Versuches sehr gering. In der Referenzrinne gab es, abgesehen vom letzten Schwallereignis, eine Korrelation mit der passiven Driftrate der Schwallrinne. Für den Zeitraum des 3. Schwallereignisses war die aktive Driftrate in der Referenzrinne sogar leicht höher als die passive Driftrate der Schwallrinne. Weshalb dies so war, ist allerdings unklar.

Strandung fand so gut wie keine statt, lediglich während des 4. Schwallereignisses (2,5´ An- und Abstiegszeit) wurde 1 gestrandetes Individuum gefunden.

Die Daten für das Clearing konnten aufgrund unklarer Datenlage nicht ausgewertet werden.

Schwallversuch 3.3

Rinne	1	2	Gesamt
aktive Drift	14	2	**16**
Drift	42	3	**45**
Strandung	1	-	**1**
E-Fischen	90	136	**226**
Gesamt	**147**	**141**	**288**

Tabelle 42: Ergebnisse von Schwallversuch 3.3

Bei weiterer Aufsplittung der Ergebnisse erhält man folgende Aufstellung:

	Schwallrinne			**Referenzrinne**	
3.3	Anzahl Drift	Strandung	relative Driftraten	relative Driftraten	Anzahl Drift
aktive Drift	3	-	2.0%	0.0%	-
1 (400 l/s), 15´	27	1	18.4%	2.0%	3
aktive Drift	1	-	0.8%	0.7%	1
2 (400 l/s), 10´	8	-	6.8%	0.0%	-
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
3 (400 l/s), 5´	3	-	2.7%	0.0%	-
aktive Drift	1	-	0.9%	0.7%	1
4 (400 l/s), 2,5´	4	-	3.8%	0.0%	-
aktive Drift	4	-	3.9%	0.0%	-
5 (400 l/s), 1´	-	-	0.0%	0.0%	-
aktive Drift	5	-	5.1%	0.0%	-
E-Befischung	90	-	96.8%	93.8%	136
Gesamt	**146**	**1**			**141**

Tabelle 43: Drift während der einzelnen Schwallereignisse; Die Zeitangabe bezieht sich jeweils auf die An- bzw. Abstiegszeit

Driftraten in Schwallrinne	Anstieg 15´	Anstieg 10´	Anstieg 5´	Anstieg 2,5´	Anstieg 1´
0´-4´	1	0	3	4	0
4´-8´	3	2	0	0	0
8´-12´	9	4	0	0	0
12´-16´	8	1	0	0	0
16´-20´	1	0	0	0	-
20´-24´	3	0	0	-	-
24´-28´	1	0	-	-	-
28´-32´	1	1	-	-	-
32´-36´	0	-	-	-	-
36´-40´	0	-	-	-	-
40´-44´	0	-	-	-	-
Gesamt	**27**	**8**	**3**	**4**	**0**

Tabelle 44: Abdriftraten der einzelnen Schwallereignisse, nach Zeitintervallen eingeteilt; die dunklen Felder zeigen den groben Zeitraum des Schwallpeaks, die helleren Felder zeigen die Anstiegs- und Abstiegszeit

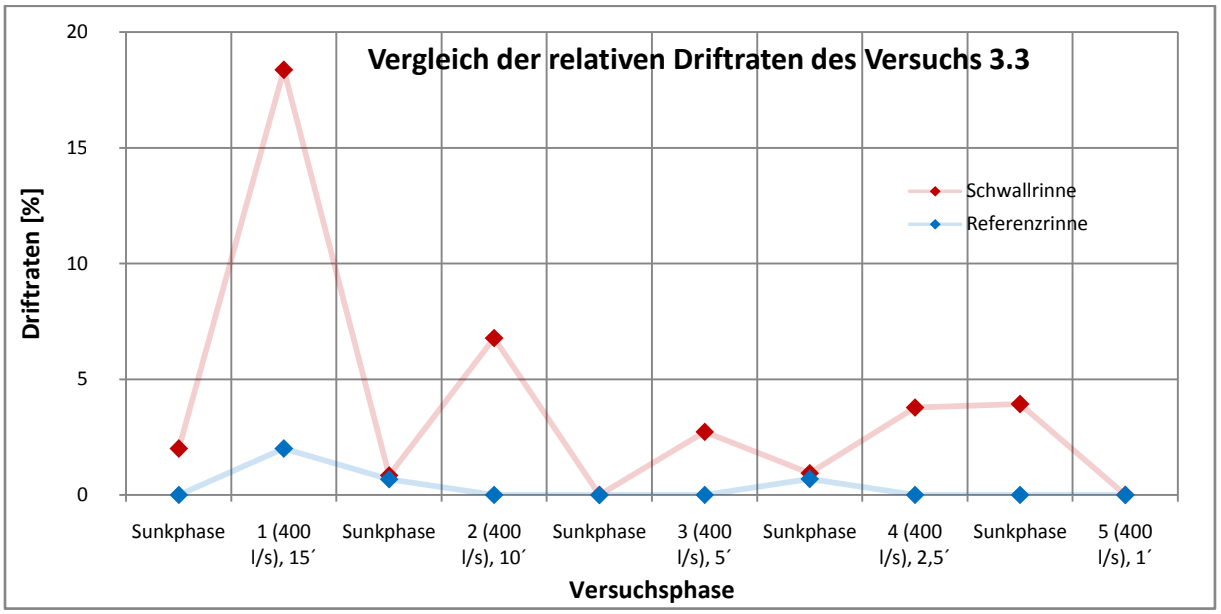


Abbildung 41: Vergleich der relativen Driftraten der beiden Rinnen von Schwallversuch 3.3

Die passiven Driftraten, die im Zuge der Durchführung des Versuches 3.3 ermittelt wurden, verhalten sich nicht auffällig unterschiedlich. Während des 1. Schwalles mit der längsten An- und Abstiegsdauer fand wieder das Driftmaximum statt, allerdings nicht so deutlich wie im vorangegangenen Versuch. Nach dem 4. Schwall blieb die aktive Drift ähnlich hoch der vorherigen passiven Drift. Es konnte kein Abdriften während des 5. Schwallereignisses beobachtet werden. Die aktiven Driftraten der Referenzrinne waren über den gesamten Versuchsverlauf konstant niedrig und unauffällig.

Schwallversuch 3.4

Rinne	1	2	Gesamt
aktive Drift	18	15	**33**
Drift	69	92	**161**
Strandung	1	-	**1**
E-Fischen	41	26	
Vogel	2	-	**2**
Gesamt	**131**	**133**	**197**

Tabelle 45: Ergebnisse von Schwallversuch 3.4

Bei weiterer Aufsplittung der Ergebnisse erhält man folgende Aufstellung:

	Schwallrinne			**Referenzrinne**	
3.4	Anzahl Drift	Strandung	relative Driftraten	relative Driftraten	Anzahl Drift
aktive Drift	12	-	8.0%	7.3%	11
1 (400 l/s), 15´	49	-	35.5%	63.3%	88
aktive Drift	3	-	3.4%	7.8%	4
2 (400 l/s), 10´	8	-	9.3%	2.1%	1
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
3 (400 l/s), 5´	6	-	7.7%	0.0%	-
aktive Drift	2	-	2.8%	0.0%	-
4 (400 l/s), 2,5´	4	1	5.7%	0.0%	-
aktive Drift	1	-	1.5%	0.0%	-
Vogel	1	-	1.6%	0.0%	-
5 (400 l/s), 1´	2	-	3.2%	6.5%	3
aktive Drift	-	-	0.0%	0.0%	-
Vogel	1	-	1.6%	0.0%	-
E-Befischung	41	-	68.3%	60.5%	26
Gesamt	**130**	**1**			**133**

Tabelle 46: Drift während der einzelnen Schwallereignisse; Die Zeitangabe bezieht sich jeweils auf die An- bzw. Abstiegszeit

Driftraten in Schwallrinne	Anstieg 15´	Anstieg 10´	Anstieg 5´	Anstieg 2,5´	Anstieg 1´
0´-4´	5	2	3	2	2
4´-8´	3	1	2	1	0
8´-12´	14	0	0	0	0
12´-16´	12	4	0	0	0
16´-20´	8	0	0	1	-
20´-24´	0	0	1	-	-
24´-28´	0	1	-	-	-
28´-32´	1	0	-	-	-
32´-36´	1	-	-	-	-
36´-40´	0	-	-	-	-
40´-44´	5	-	-	-	-
Gesamt	**49**	**8**	**6**	**4**	**2**

Tabelle 47: Abdriftraten der einzelnen Schwallereignisse, nach Zeitintervallen eingeteilt; die dunklen Felder zeigen den groben Zeitraum des Schwallpeaks, die helleren Felder zeigen die Anstiegs- und Abstiegszeit

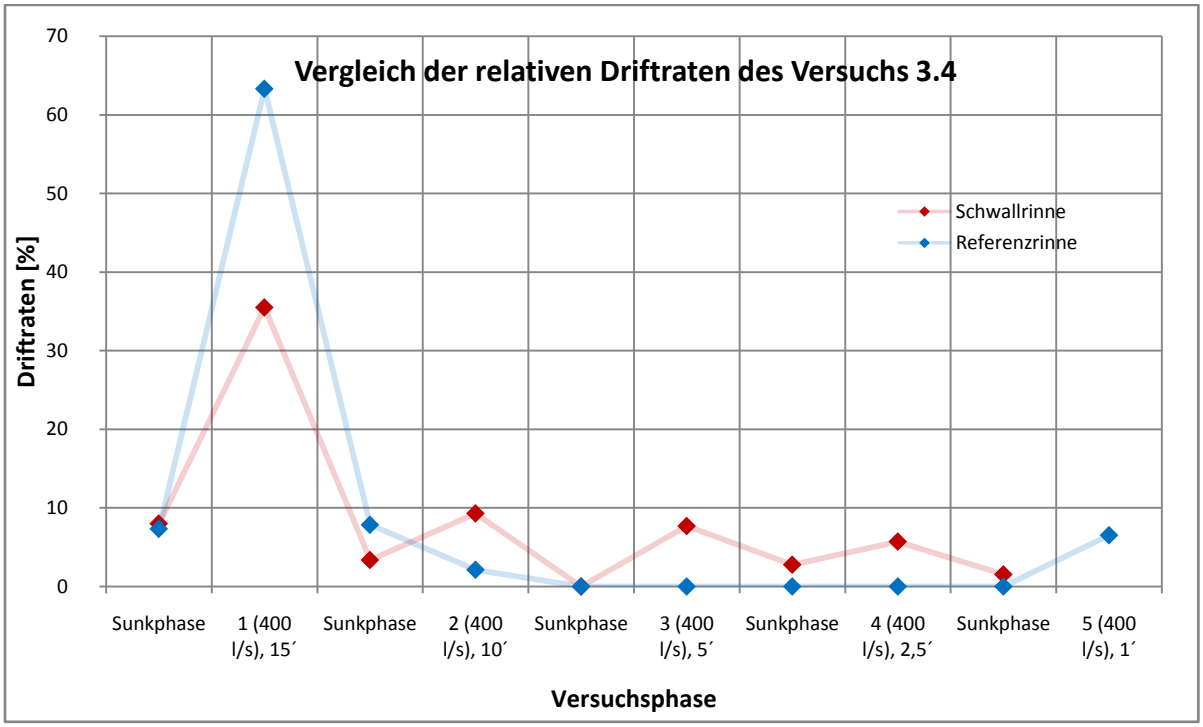


Abbildung 42: Vergleich der relativen Driftraten der beiden Rinnen von Schwallversuch 3.4

Betrachtet man Abbildung 42, so wird aufgrund der erhöhten Driftraten während des ersten Schwalles in beiden Rinnen ersichtlich, dass es eine Beeinflussung von Außen gegeben haben muss, da eine derartige Erhöhung der Driftrate ansonsten nicht üblich ist. In diesem Falle war es eine Wasseramsel (*Cinclus cinclus* L.), welche in beiden Rinnen durch ihr Jagdverhalten für Störung sorgte.

Die weiteren passiven Driftraten des Schwallversuchs 3.4 nahmen von Schwallereignis zu Schwallereignis kontinuierlich ab, und sind somit sehr ähnlich, verglichen mit denen der anderen 3 Einzelversuche. Lediglich die Driftrate während des letzten Schwalles war in der Referenzrinne erhöht und übertraf sogar die Driftrate der Schwallrinne.

4.4.2. Ergebnisse der 3. Schwallversuchsreihe

Aktive Drift

Die aktive Drift wurde hier nicht mehr in der Weise betrachtet, wie es für die Versuchsreihe 2 erfolgte, allerdings wurde im Zuge der Versuche versucht, die Retention der Rinne zu berücksichtigen, indem, vor allem bei den Schwallevents mit sehr kurzer An- und Abstiegszeit darauf geschaut wurde, dass die Phasen dann beginnen, wenn auch eine Änderung des Wasserstands bemerkbar ist bzw. wurde für die Schwallabstiegsphase eine Retention von etwa 2 Minuten angenommen.

Dies heißt somit auch, dass die Schwallereignisse 4 und 5 mehr oder weniger demselben Schwalldesign entsprechen.

In dieser Schwallversuchsreihe wurden die Zeitintervalle zwischen den Einzelschwallereignissen bewusst sehr kurz gehalten, weshalb auf eine genauere Untersuchung der aktiven Driftphasen in der Schwallrinne verzichtet wird. Die Driftraten sind während eines jeden Versuches gering und unauffällig.

Passive Drift

Schlüsselt man die Abdriftraten nun danach auf, in welchem Schwall sie stattgefunden haben, so ergeben sich folgende Ergebnisse, wie in Abbildung 43 ersichtlich:

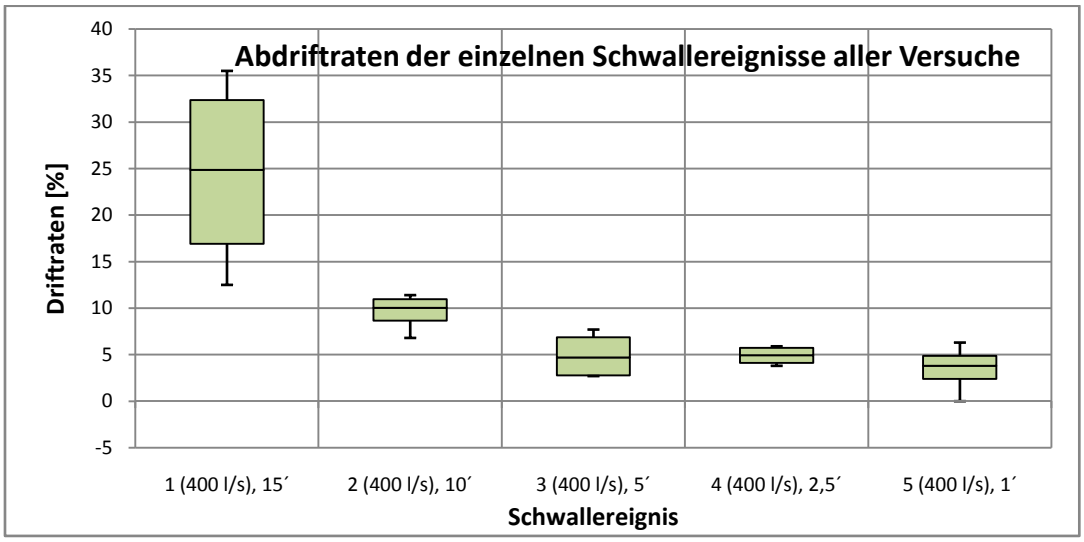


Abbildung 43:Abdriftraten (in % der verbleibenden Fische) der einzelnen Schwallereignisse, dargestellt mittels Boxplot

Es ist ersichtlich, dass die prozentuellen Driftraten (gemessen an den bis dahin in der Rinne verbliebenen Jungfischen) bei allen Versuchen während des ersten Schwallereignisses am größten sind und tendenziell mit der Anzahl der Schwallereignisse abnehmen. Die Driftergebnisse bei den letzten 3 Schwallereignissen sind sehr ähnlich. Es muss aber bedacht werden, dass der Maximalwert der passiven Drift bei Schwall 1 (400 l/s), 15´ aufgrund von Störungen durch Wasseramseln vermutlich erhöht ist (vgl. Tabelle 44).

Aufgrund der Beobachtung, dass die Driftraten während des jeweils ersten Schwallereignisses am höchsten sind, kann man darauf schließen, dass die Abdriftraten entweder von der Gesamtdauer der An- und Abstiegszeit abhängen, dass es mit Zunahme der Schwallereignisse zu einem Gewöhnungseffekt kommt oder dass die Jungfische mit „niedrigem Schwellenwert“ bereits beim ersten Schwall zum Abdriften angeregt werden (siehe „Diskussion der Schwallversuchsreihe 2“). Damit verbunden wäre die Tatsache, dass der Stress des zweiten Schwallereignisses trotz der schnelleren An- und Abstiegsgeschwindigkeit bzw. wegen der kürzeren Gesamtdauer keine so große Belastung darstellt wie beim ersten Schwall.

Um einen genaueren Einblick zu bekommen, zu welchem Zeitpunkt während eines Schwallereignisses Jungäschen driften, wurden die Driftraten nach ihrem Zeitintervall aufgeschlüsselt. Bei der Betrachtung folgender Tabellen und Abbildungen muss beachtet werden, dass die Zeitfenster nicht immer genau in die einzelnen Phasen eines Schwallevents passen, sondern dass sich manchmal der Übergang einer Phase zur anderen innerhalb eines Zeitintervalls befindet. Des weiteren muss man sich darüber im Klaren sein, dass es aufgrund der räumlichen Distanz zwischen den für die Regelungstechnik zuständigen Messinstrumenten und den möglichen Aufenthaltsorten der Jungäschen in der Rinne zu Verzögerungserscheinungen kommen kann, die nicht genau miteinbezogen sondern nur geschätzt werden können. Je weiter fortgeschritten bzw. je kürzer die Anstiegs-und Abstiegsdauer eines Schwalles wird, umso ungenauer werden die Ergebnisse.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte dürfen die folgenden Ergebnisse nicht als exakte Werte angesehen werden, sondern sollen, im Sinne dieser Arbeit, einen ersten Einblick geben und eventuelle Sachverhalte aufzeigen oder Trends ersichtlich machen.

Driftraten des ersten Schwallevents (15´An - und Abstieg)

Schwallphase	Dauer in min
Schwallanstieg	15
Schwallmaximum	10
Schwallabstieg	15
Gesamtdauer	40

Tabelle 48: Zusammensetzung des ersten Schwallevents

Um zu erfahren, wann die Driften innerhalb der einzelnen Schwallereignisse stattfinden, wurde der Zeitpunkt der Drift mittels Erfassung des Zeitintervalls ermittelt. Sieht man sich den jeweils ersten Schwall (15´An- und Abstiegszeit) und die Verteilung der Driftzeitpunkte an, so kommt man zu folgendem Ergebnis (vor grauem Bereich: Schwallanstieg, hinter grauem Bereich: Schwallabstieg):

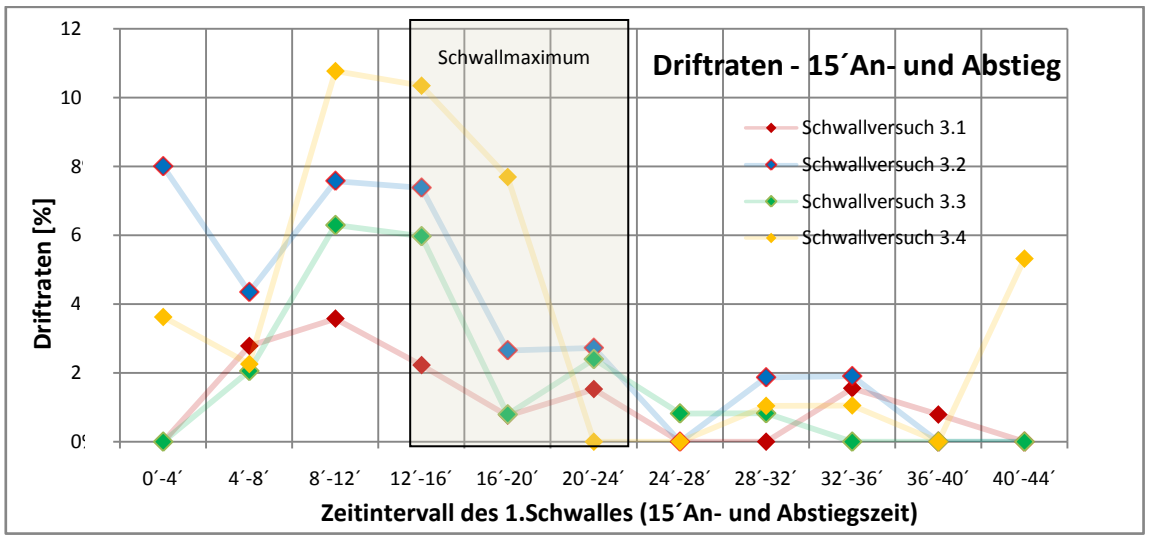


Abbildung 44: Vergleich der Driftraten des ersten Schwalles (15´An - und Abstieg) aller 4 Versuche

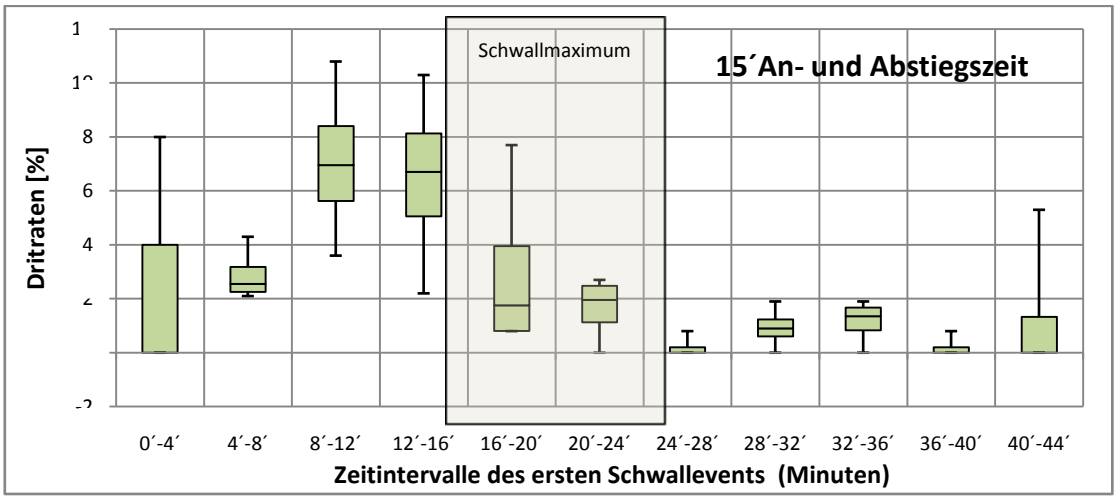


Abbildung 45: Box-Plot der Driftraten des ersten Schwallevents aller 4 Versuche

Man erkennt, dass die Abdriftrate während des Schwallanstieges (15´) zunimmt, um bis zum Erreichen des Maximalschwalles von 400 l/s (während des Intervalles von 12´-16´) wieder leichtzurückzugehen. Versuch 3.4 stellt das absolute und relative Maximum während des ersten Schwalles dar, in zwei der 4´-Intervalle beträgt die relative Abdrift über 10 % der sich zu diesem Zeitpunkt in der Rinne befindlichen Individuen. Das Ende des Schwallmaximums bzw. der Beginn des Schwallabstieges ist nach jeweils etwa 25 Minuten (Intervall 24´-28´) erreicht. Bis zu diesem Zeitpunkt hat die Drift mittlerweile weiter abgenommen, lediglich in Versuch 3.3 gibt es während des Schwalles einen zwischenzeitlich geringen Anstieg der relativen Driftrate.

In der Schwallabstiegsphase erkennt man zu Beginn eine Verringerung der Drift, danach bleibt die relative Driftrate in Versuch 3.1 sowie 3.3 konstant, in den beiden anderen Versuchen nimmt sie wieder zu. Zu Ende dieser Phase sinken die Driftraten wieder bei allen Versuchen, lediglich bei Versuch 3.3 war sie bereits auf 0.

Driftraten des zweiten Schwallevents (10´An – und Abstieg)

Schwallphase	Dauer in min
Schwallanstieg	10
Schwallmaximum	10
Schwallabstieg	10
Gesamtdauer	30

Tabelle 49: Zusammensetzung des ersten Schwallevents

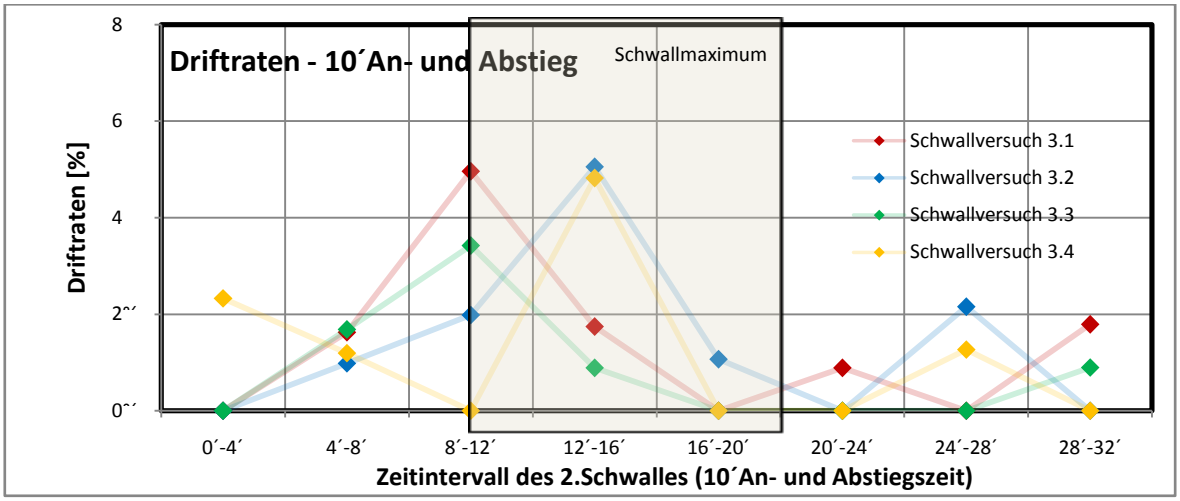


Abbildung 46: Vergleich der Driftraten des zweiten Schwalles (10´An - und Abstieg) aller vier Versuche

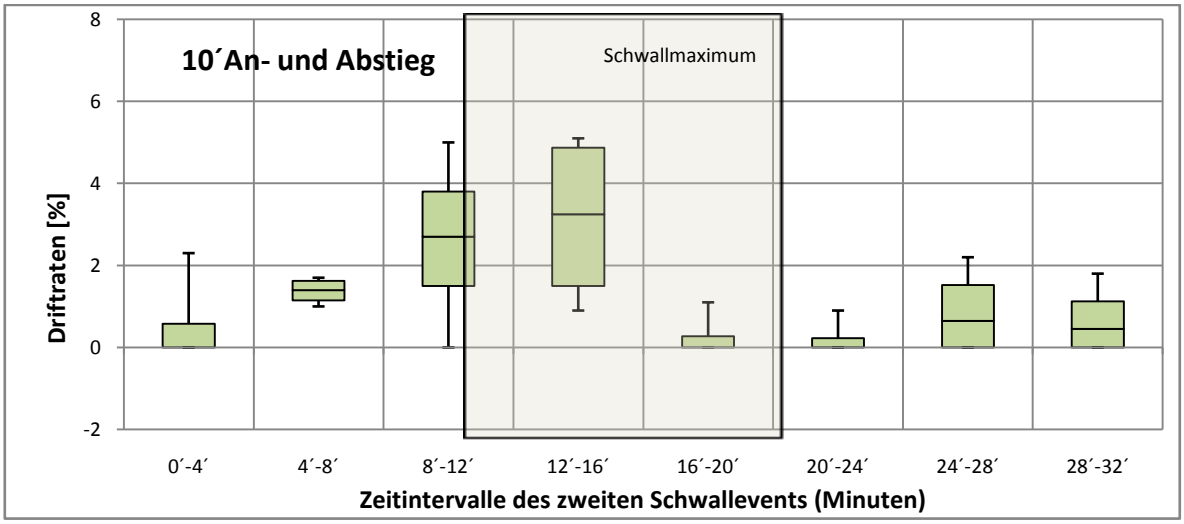


Abbildung 47: Box-Plot der Driftraten des zweiten Schwallevents aller 4 Versuche

Auch beim jeweils zweiten Schwallevent jedes einzelnen Versuches befinden sich die Driftmaxima in den beiden Zeitintervallen 8´-12´sowie 12´-16´, wobei der Schwallanstieg aber bereits während des dritten Intervalls (8´-12´) beendet war. Ob die Äschen nun am Ende des Anstieges oder zu Beginn des Schwallmaximums gedriftet sind, konnte nicht erhoben werden. Der Übergang von Maximalschwall zur Abstiegsphase (20´-24´) ist wieder von reduzierten Driftraten geprägt, um bis zum Ende der Phase wieder eine leichte Erhöhung der Abdriftraten in Versuch 3.2 und 3.4 zu erfahren. Diese beiden Versuche sind es auch, deren Maxima der Drift erst nach der Anstiegsphase zu erkennen sind.

Driftraten des dritten Schwallevents (5´An - und Abstieg)

Schwallphase	Dauer in min
Schwallanstieg	5
Schwallmaximum	10
Schwallabstieg	5
Gesamtdauer	20

Tabelle 50:Zusammensetzung des ersten Schwallevents

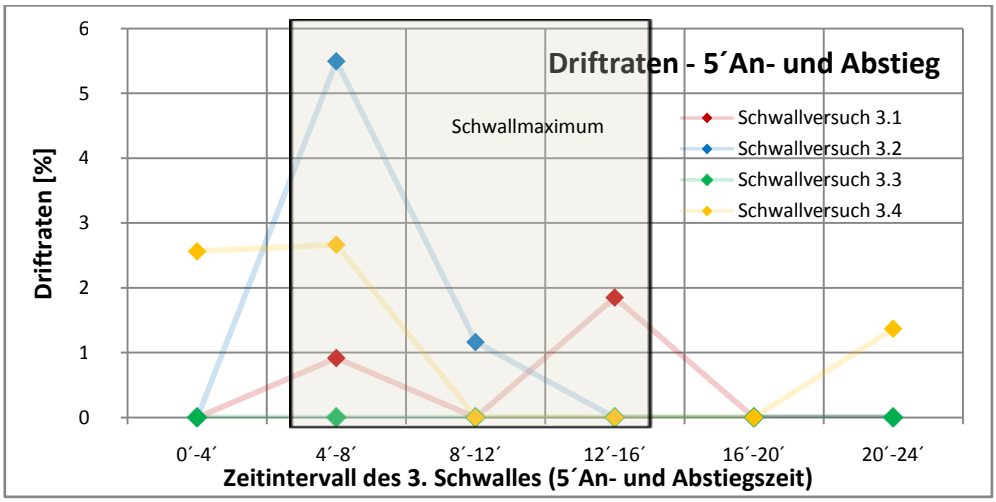


Abbildung 48: Vergleich der Driftraten des dritten Schwalles (5´An - und Abstieg) aller 4 Versuche

Für die Auswertung der 3. Einzelschwälle wurde das an die Abstiegsphase anschließende Zeitintervall ebenfalls miteinbezogen, da die Retention der Rinne auf den Abstieg der Schwallwelle wirkt.

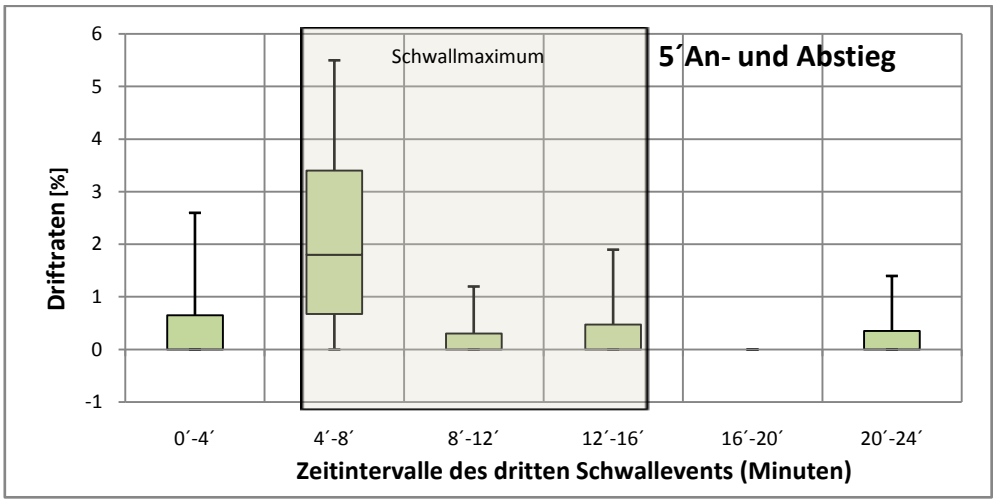


Abbildung 49: Box-Plot der Driftraten des dritten Schwallevents aller 4 Versuche

Die Driftmaxima liegen im 4´-8´-Intervall, in dem auch der Übergang von Anstieg zu Maximalschwall liegt und ähnelt in dieser Hinsicht den beiden vorhergegangenen Schwallevents, wobei hier aufgrund der zeitlichen Auflösung nicht exakt unterschieden werden kann, ob während der Anstiegsphase oder während der Schwallphase der größere Teil der Abdrift stattfand. Der Übergang zur Abstiegsphase (Intervall 12´-16´) stellt diesmal kein lokales Minimum dar, ist aber aufgrund der allgemein geringen Driftraten nicht eindeutig; in 4 von 6 Intervallen wurde jeweils nur während eines Versuches Drift nachgewiesen, im vorletzten Intervall gab es überhaupt keine Drift. Lediglich im zweiten Intervall, welches auch den Übergang von Anstiegs- zu Schwallphase darstellt, drifteten bei 3 der 4 Versuche Jungäschen.

Driftraten des vierten Schwallevents 2,5´An – und Abstieg)

Schwallphase	Dauer in min
Schwallanstieg	2.5
Schwallmaximum	10
Schwallabstieg	2.5
Gesamtdauer	15

Tabelle 51:Zusammensetzung des ersten Schwallevents

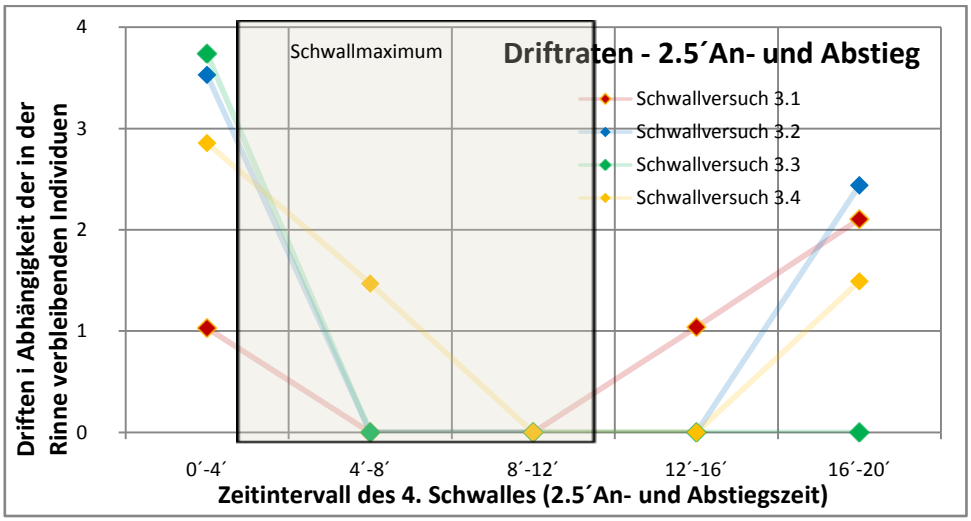


Abbildung 50: Vergleich der Driftraten des vierten Schwalles (2.5´An - und Abstieg) aller 4 Versuche

Hier ist die zeitliche Auflösung bereits so unscharf, dass der Übergang von Schwallanstieg zu Schwallmaximum im ersten Zeitintervall zu liegen kommt.

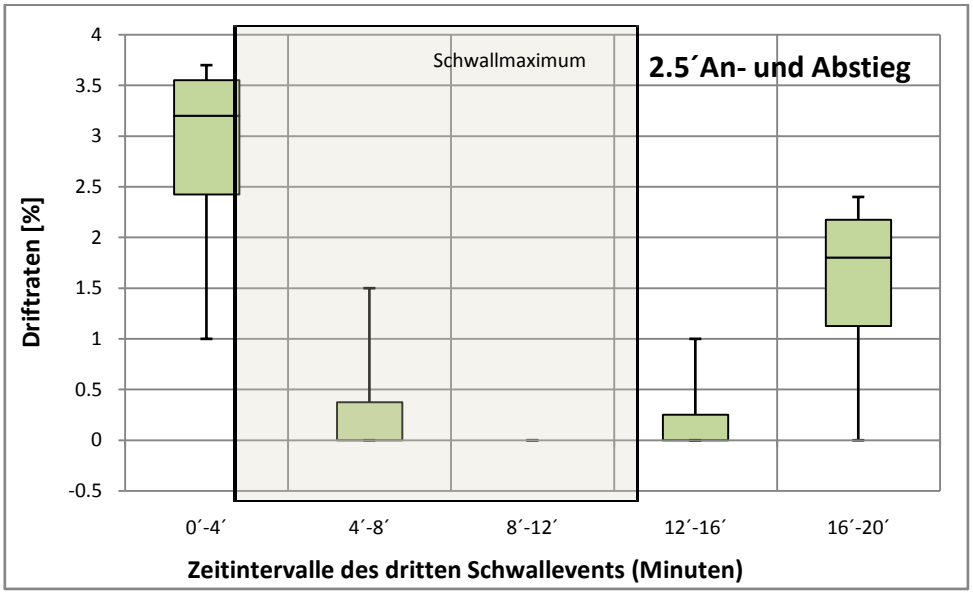


Abbildung 51: Box-Plot der Driftraten des vierten Schwallevents aller 4 Versuche

<u>Anmerkung</u>: An dieser Stelle gehört erwähnt, dass es sich bei diesem Schwallevent um derart geringe relative Driftraten resp. abgedriftete Jungäschen handelte, dass eine sinnvolle Auswertung und Interpretation der Ergebnisse nicht mehr möglich ist. Dies gilt auch für die Aufteilung der Driftraten für das Schwallereignis mit 1 Min. An- und Abstiegszeit<u>.</u>

Beim vierten Schwallevent liegt die gesamte Anstiegsphase sowie ein Teil der Schwallphase innerhalb des ersten Zeitintervalls (0´-4´), aus diesem Grunde ist der bisherige Trend, Steigung der Abdrift während der Anstiegsphase, aufgrund der groben, zeitlichen Auflösung, nicht ableitbar. Man kann

jedoch erkennen, dass die Drift bei allen 4 Versuchen mit der Dauer des Schwalles abnimmt, im dritten Zeitintervall (8´-12´) sind die Abdriftraten in allen 4 Versuchen 0. Im anschließenden Zeitintervall war, abgesehen von Versuch 3.1, die Drift ebenfalls 0, um im letzten Zeitintervall (16´-20´) in 3 Versuchen wieder anzusteigen.

Der eigentliche Versuch endet im vorletzten Intervall, aufgrund der Retention wurde aber das darauffolgende Intervall ebenfalls mit zur Auswertung herangezogen. Die darin gedrifteten Jungäschen können aber nicht genau der jeweiligen Schwall- oder Sunkphase zugeordnet werden. Dies ist auch nicht weiter tragisch, interessant ist, dass es in diesem Intervall zu Driftverhalten in einem Ausmaß von 1,5 -2,5 % bei 3 der 4 Versuche kam.

Driftraten des fünften Schwallevents (1´An - und Abstieg)

Schwallphase	Dauer in min
Schwallanstieg	1
Schwallmaximum	10
Schwallabstieg	1
Gesamtdauer	12

Tabelle 52: Zusammensetzung des ersten Schwallevents

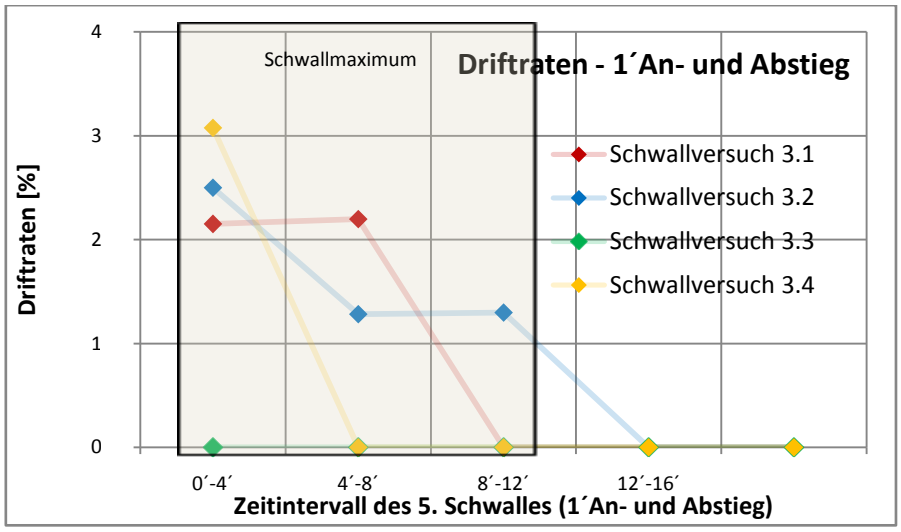


Abbildung 52: Vergleich der Driftraten des vierten Schwalles (1´An - und Abstieg) aller 4 Versuche

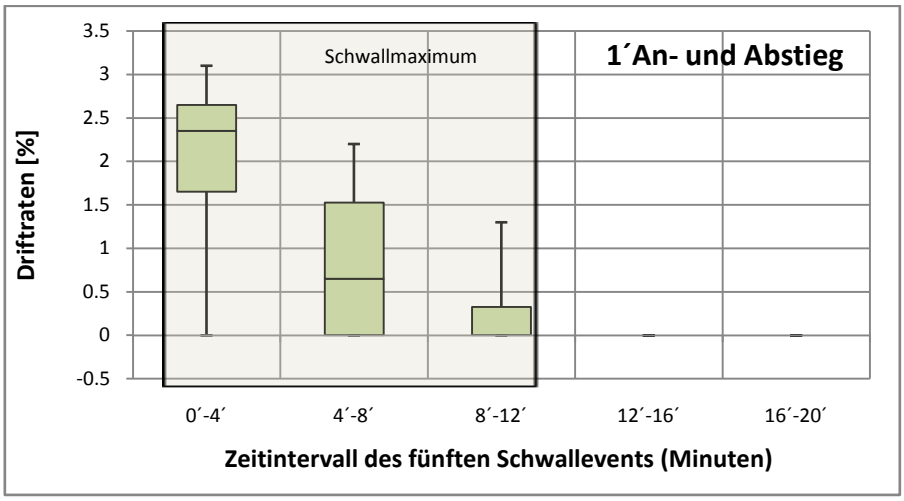


Abbildung 53: Box-Plot der Driftraten des vierten Schwallevents aller 4 Versuche

An dieser Stelle wird noch einmal auf die Anmerkung bei Abbildung 51 *aufmerksam gemacht.*

Die An- und Abstiegszeiten des fünften und letzten Schwalles sind mit 1 Minute eher theoretischer Natur, da es, wie schon oben erwähnt, aufgrund der Retention etwas länger dauert, bis ebendiese Schwallwelle auch das untere Ende der Rinne erreicht hat. Die reale Abstiegszeit der Schwallwelle sollte jener der Versuche mit 2,5´- An- und Abstiegsphase ähneln, jedoch zeigt sich dies nicht in den Driftraten der Abstiegsphase (vgl. Abbildung 51 und Abbildung 53): Hier gibt es zum Ende hin keine ansteigenden Driftraten wie beim Schwallevent zuvor.

Vergleich der Driftraten von Schwallrinne und Referenzrinne

Um die Driftraten in der Schwallrinne auch soweit zu verstehen, wie viele Fische im gleichen Zeitraum ohne Schwallereignisse gedriftet wären, wurde bei jedem Versuch die Referenzrinne mit der derselben Anzahl an Jungäschen besetzt und deren aktive Drift während denselben Zeitintervallen bestimmt.

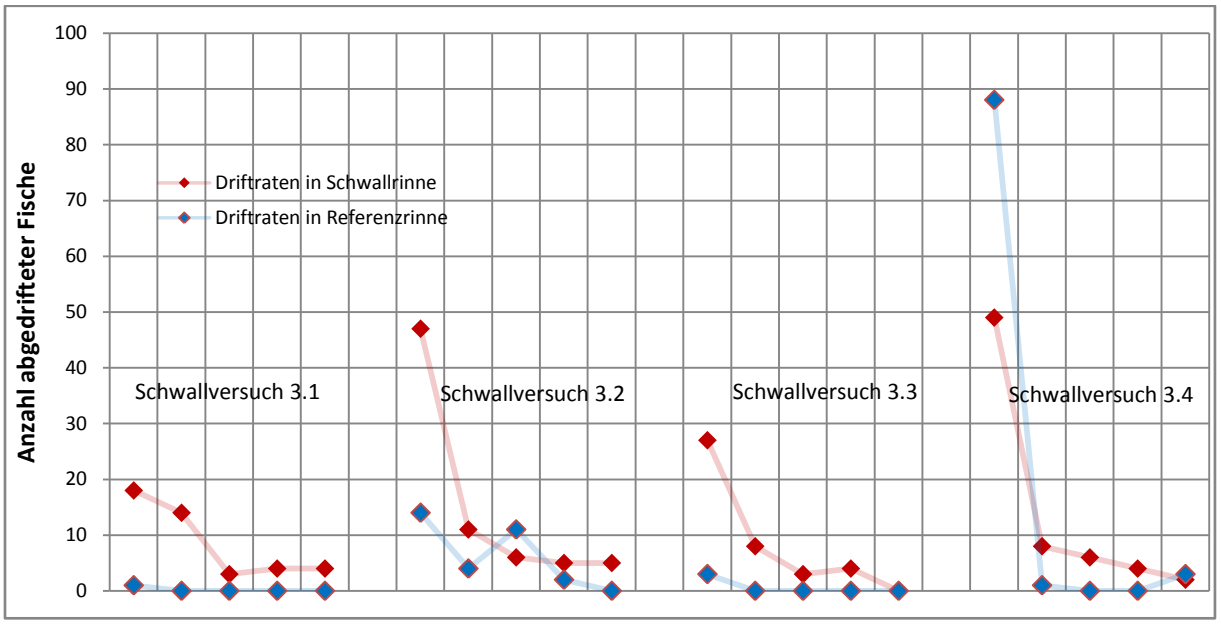


Abbildung 54: Übersicht der Driftraten in Schwall- und Referenzrinne aller 4 Versuche

Im Folgenden werden die Driftraten der einzelnen Versuche dargestellt, um einen Überblick zu geben, wie sich die Drift in der Schwallrinne zur Drift in der Referenzrinne verhält (die Unterbrechung zwischen den Einzelschwallereignissen spiegelt nicht die tatsächliche Dauer der Unterbrechung dar, sondern gilt lediglich der darstellerischen Abgrenzung).

Die aktiven Driftraten vor bzw. nach den einzelnen Schwallevents werden in den folgenden 4 Abbildungen nicht berücksichtigt. Das letzte Zeitintervall jedes einzelnen Schwalles ist so gewählt, dass die Retention der Schwallwelle bis zum Erreichen der Driftnetze berücksichtigt wurde.

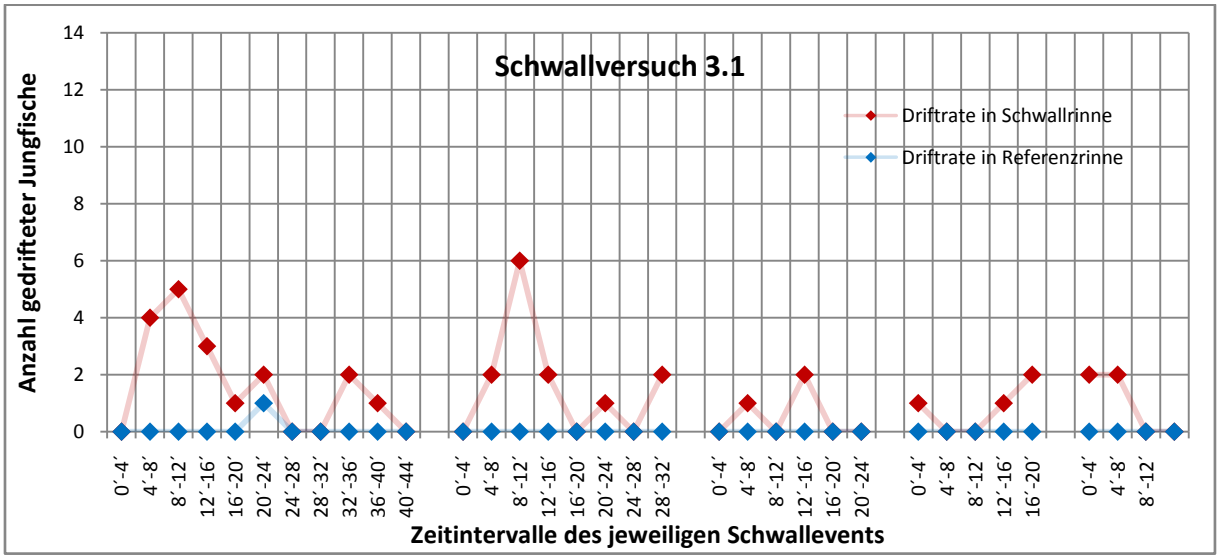


Abbildung 55: Driftraten des Schwallversuche 3.1 im Vergleich

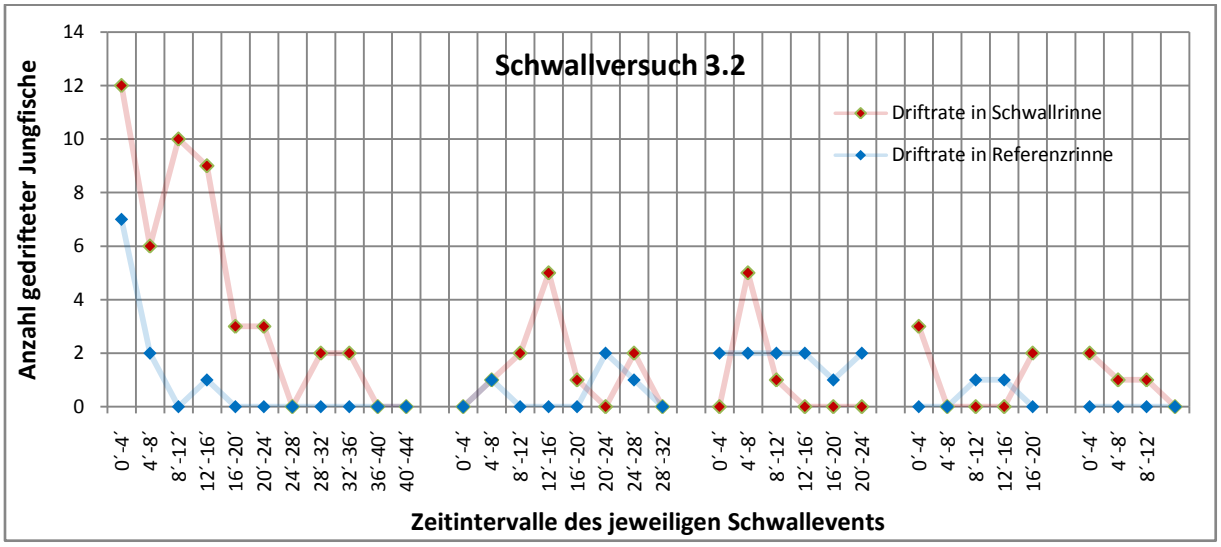


Abbildung 56: Driftraten des Schwallversuche 3.2 im Vergleich

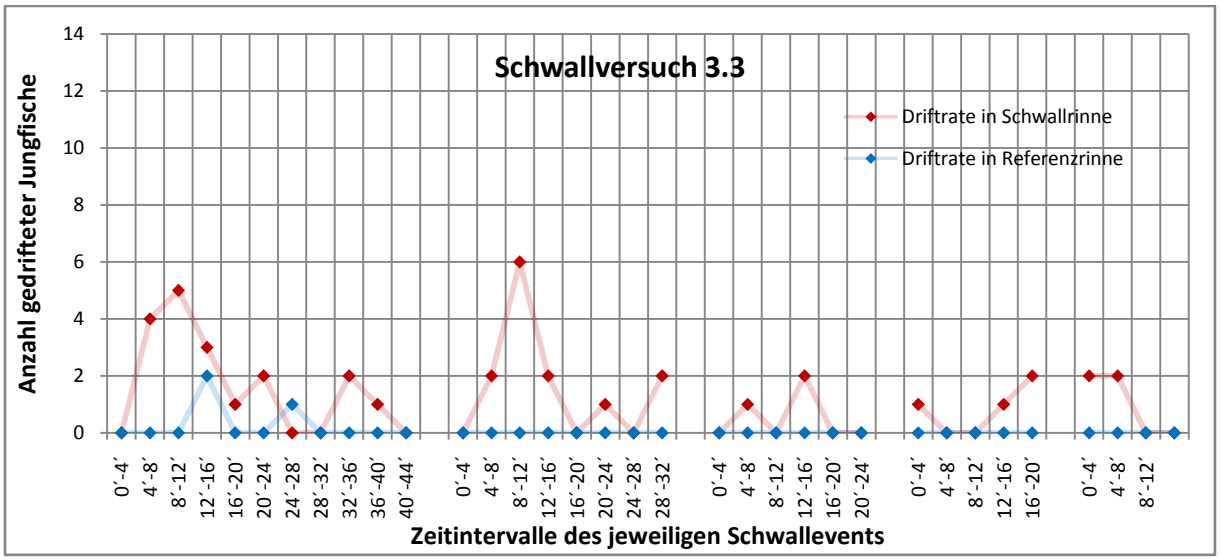


Abbildung 57: Driftraten des Schwallversuche 3.3 im Vergleich

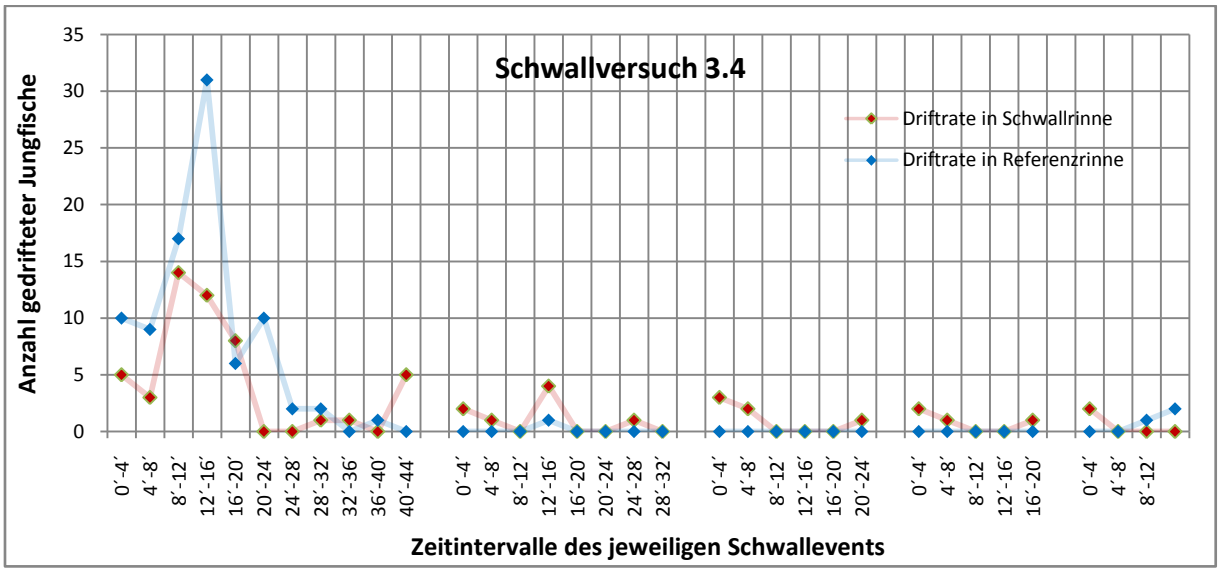


Abbildung 58: Driftraten des Schwallversuche 3.4 im Vergleich

Im Versuch 3.1 sowie 3.3 verhalten sich die Driftraten der Referenzrinne insofern sehr ähnlich, indem ausschließlich parallel zum ersten Schwallevent aktive Drift auftritt, und zwar dann, wenn es auch in der Schwallrinne zu einem Anstieg in Bezug auf das vorhergegangene Intervall kam (vgl. Abbildung 55 und Abbildung 57).

Aber nicht alle Versuche folgen diesem Muster, so zum Beispiel Versuch 3.4, wo es im Zuge der Durchführung zumindest einmal zu einer Beeinflussung durch die Wasseramsel kam, die sich in bzw. am Rande der Fließrinnen niederließ um Jagd auf die besetzten Jungäschen zu machen. Dies drückt sich in den sehr hohen, aktiven Driftraten aus, die durch Flucht bzw. durch Scheuchung flussabwärts entstanden. Während des ersten Schwalles (15´ An- und Abstiegszeit) war die aktive Drift in der Referenzrinne sogar knapp doppelt so hoch, verglichen mit der passiven Drift in der Schwallrinne. Auch Versuch 3.2 weist leicht erhöhte Driftraten zu Beginn des ersten Schwallevents auf, nahm daraufhin schnell ab, blieb aber über fast den gesamten Versuchsverlauf leicht erhöht. Die Umstände, die dazu führten, sind aber unbekannt. Einflussnahme durch z.B.: Wasseramseln konnte nicht beobachtet werden, kann aber nicht ausgeschlossen werden.

Strandung

Im Zuge der Schwallversuchsreihe 3 waren die Strandungsraten sehr gering:

Strandungsraten

Versuch	3.1		3.2		3.3		3.4	
Schwall	absolut	relativ [%]	absolut	relativ [%]	absolut	relativ [%]	absolut	relativ [%]
1 (400 l/s), 15´	0	0	0	0	1	0.83	0	0
2 (400 l/s), 10´	0	0	0	0	0	0	0	0
3 (400 l/s), 5´	1	0.9	0	0	0	0	1	1.5
4 (400 l/s), 2,5´	1	1.1	1	1.3	0	0	0	0
5 (400 l/s), 1´	1	1.1	0	0	0	0	0	0

Tabelle 53: Strandungszahlen der 4 Versuche der 3. Schwallversuchsreihe;

Verglichen mit den Versuchen der vorangegangen Versuchsreihe, ist die Strandung sehr gering. Während keines einzigen Schwallereignisses konnte Strandung von mehr als 1 Individuum nachgewiesen werden. Diese wiederspricht der zuvor getätigten Annahme, dass die Strandung häufig in Gruppen stattfindet, da die Jungäschen des Öfteren in Gruppen zu 2 oder mehr Individuen zusammen beobachtet wurden (siehe Seite 55). Eine graphische Darstellung der relativen Strandungsraten hat nur mäßig Sinn, da die absolute Strandung pro Schwall maximal 1 Individuum beträgt und aufgrund der verhältnismäßig hohen Anzahl an in der Rinne verbliebenen Jungäschen sich relative Driftraten um 1 % ergeben.

Clearing

Das Clearing wurde wie auch schon bei den vorhergegangenen Schwallreihen (siehe „Clearing“, Seite 56) gehandhabt und diente dazu, die einzelnen Versuche mengenmäßig zu komplettieren.

Clearing								
Versuchs-nummer	Besatz	Bestand nach Versuch	davon im Cearing	Erfolg Clearing	Besatz	Bestand nach Versuch	davon im Cearing	Erfolg Clearing
3.1	150	82	73	89 %	150	121	116	96 %
3.2	150	73	-	0 %	150	118	0	0 %
3.3	150	93	90	97 %	150	145	136	94 %
3.4	150	60	41	68 %	150	46	26	61 %

Tabelle 54: Wiedergefangene Jungäschen sowie der Anteil der bei der Elektrobefischung gefangenen Fische daran

Stellt man den prozentuellen Fangerfolg des Clearings graphisch dar, so erhält man folgendes Diagramm:

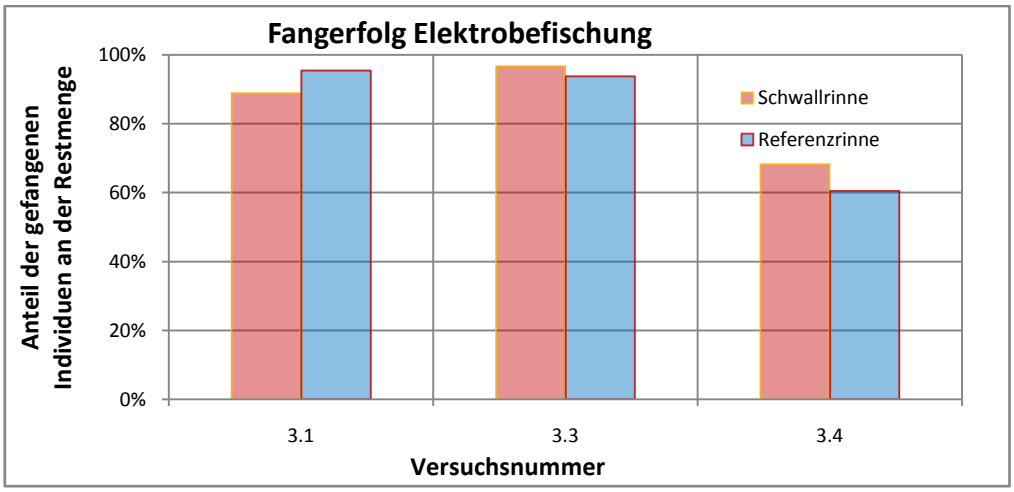


Abbildung 59: Vergleich der Fangerfolge der Elektrobefischungen im Zuge des Clearings

Betrachtet man Abbildung 59, so erkennt man beim Vergleich der beiden Rinnen eine relativ starke Korrelation zwischen den Fangzahlen des jeweiligen Versuches. Abgesehen vom Versuch 3.2, dessen Clearingdaten nicht verwertbar sind, wurde in allen Versuchen ein Großteil der besetzten Äschen auch wieder gefangen.

4.4.3. Diskussion und Interpretation der Ergebnisse der 3. Schwallversuchsreihe

Die Schwallversuchsreihe 3 hatte die Fragestellung zum Inhalt, welchen Einfluss die An- und Abstiegszeit auf die Driftraten bzw. auf die Strandung hat.

Es kamen insgesamt die genannten 4 Versuche zur weiteren Auswertung. Der Anfang des Versuches 3.4 war von einer Störung des Versuchs durch eine Wasseramsel geprägt, was sich in einer erhöhten, aktiven Driftrate vor dem ersten Schwall wiederspiegelte, wurde aber aufgrund des normalen, weiteren Verlaufes in die Auswertung miteinbezogen.

Bei Betrachtung von Abbildung 60 erkennt man, dass der jeweils 1.Schwall (15´An- und Abstiegszeit) aller Versuche das Driftmaximum in der Anstiegsphase hat und über Schwallphase und Abstiegsphase hinweg abnimmt.

Dieser Sachverhalt zeigt sich in den Ergebnissen der weiteren Schwalldesigns nicht mehr. Daraus lässt sich schließen, dass sich entweder viele Fische mit einer geringen Reizschwelle zur flussabwärtsgerichteten Wanderung bei Abflussänderung in der Rinne befinden, oder die Dauer einer Abflussschwankung in Kombination mit bestimmten An- und Abstiegsgeschwindigkeiten an sich der limitierende Faktor ist. Das würde heißen, dass nicht nur die Intensität der Dotationsänderung, sondern auch die Zeitspanne, in der der Abfluss erhöht wird, Auswirkungen auf Jungäschen hat. Dieses Bild zeigt sich auch wenn man nur die Driftraten der einzelnen Schwallanstiegsphasen vergleicht. Dem entgegen spricht die Tatsache, dass die Driftraten von Anstiegsphase zu Schwallphase während der anderen Einzelschwallereignisse steigen bzw. geringer abfallen. Außerdem gehört die Tatsache berücksichtigt, dass sich zeitliche Grenzen der einzelnen Versuchsphasen nicht exakt mit denen der Zeitintervalle decken, weshalb es zu Ungenauigkeiten kommen kann.

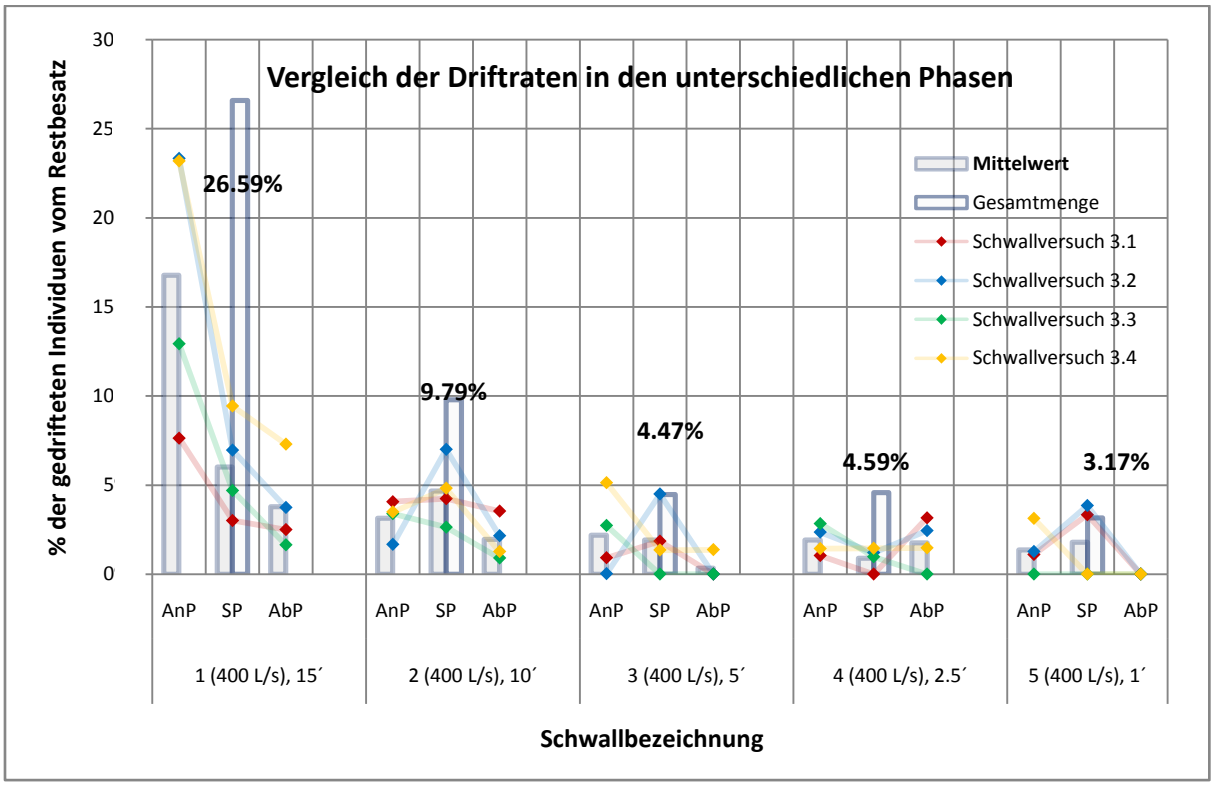


Abbildung 60: Darstellung aller Schwallereignisse und Vergleich der einzelnen Phasen („AnP"=Anstiegsphase, „SP"=Schwallphase, „AbP"= Abstiegsphase); Werte im Diagramm beziehen sich auf den Mittelwert

Anmerkung zu Abbildung 60*: Bei der Darstellung der Driftraten muss beachtet werden, dass die Berechnungen der Driftraten in den einzelnen Phasen mit Fortschreiten der einzelnen Versuche immer ungenauer werden, da die 4´-Intervalle eine zu geringe zeitliche Auflösung haben, als dass kurze Schwallanstiegszeiten wie während des 4. und 5. Schwalles (2,5´- bzw. 1´-Anstiegszeit) mit Sicherheit richtig abgebildet werden können. Aus diesem Grunde wurden die Driftraten von Intervallen, in denen ein Phasenwechsel auftritt, aliquot auf die jeweiligen Phasen aufgeteilt.*

Betrachtet man die Zusammenfassungen der weiteren Schwallereignisse, so erkennt man, dass die Gesamtmenge der gedrifteten Individuen mit der Anzahl der durchgeführten Einzelschwallereignisse abnimmt. Dies ist ebenfalls ein Indiz dafür, dass die Schwallanstiegszeit einen größeren Einfluss auf die Driftraten ausübt als die Schwallanstiegsgeschwindigkeit. Dies könnte man sich so erklären, dass ein sogenannter „Impuls", der die Fische zu einer Wanderung anregt, nicht so sehr von seiner Intensität also von seiner Dauer bzw. Häufigkeit geprägt ist.

	Mittelwerte der Driftraten in Schwallrinne	Mittelwerte der Driftraten in Referenzrinne	Differenz der Mittelwerte	Durchschnittliche Abweichung	Verhältnis der Mittelwerte
aktive Drift	3.5%	3.5%	0.0%	1.3%	1.0
1 (400 l/s), 15´	24.4%	18.8%	5.6%	19.5%	1.3
aktive Drift	1.9%	2.7%	-0.8%	1.5%	0.7
2 (400 l/s), 10´	9.6%	1.3%	8.3%	8.3%	7.5
aktive Drift	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-
3 (400 l/s), 5´	4.9%	2.1%	2.8%	3.7%	2.4
aktive Drift	3.1%	0.5%	2.5%	2.5%	5.7
4 (400 l/s), 2,5´	4.9%	0.4%	4.5%	4.5%	11.7
aktive Drift	1.4%	0.0%	1.4%	1.4%	-
5 (400 l/s), 1´	3.5%	1.6%	1.8%	3.5%	2.1
aktive Drift	2.8%	2.6%	0.2%	3.0%	1.1
Clearing	63.0%	62.5%	0.5%	3.9%	1.0

Tabelle 55: Vergleich der Mittelwerte der Driftraten beider Rinnen

Betrachtet man zunächst die aktive Drift, so sieht man, dass sich die Verhältnisse der Mittelwerte in einem Bereich von 0,7 (in der Schwallrinne tritt die 0,7-fache Driftrate der Referenzrinne auf) bis 5,7 (in der Schwallrinne tritt die 5,7-fache Driftrate der Referenzrinne auf) bewegen. Dies mag auf den ersten Blick zum Teil als enorm empfunden werden, sieht man sich aber die zugrundeliegenden Daten an, so erkennt man, dass die großen Unterschiede der Driftraten im Falle der aktiven Drift zwischen 3. und 4. Schwall nur von der erhöhten, aktiven Drift von Versuch 3.1 herrühren. Desweiteren handelt es sich um, absolut gesehen, sehr geringe Werte, weshalb es sehr schnell zu einer großen Verschiebung der Driftratenverhältnisse kommen kann.

Bei näherer Betrachtung der passiven Drift während der Schwallereignisse in der Schwallrinne bzw. der zeitgleichen aktiven Drift in der Referenzrinne, bewegen sich die Driftratenverhältnisse in einem Bereich von 1,3 bis 11,7, das heißt, dass in der Referenzrinne im Mittel nie eine höhere Driftrate als in der Schwallrinne erreicht wurde.

Für den Fangerfolg während des Clearings gibt es eine Abweichung vom Mittelwert von nur 0,5 % bzw. eine effektive, durchschnittliche Abweichung von 3,9 %. Aufgrund der Tatsache, dass diese Werte derart ähnlich sind, kann man davon ausgehen, dass die Qualität des Clearings sehr gut war, womit auch die Qualität der restlichen Daten untermauert wird.

4.5 Bestimmung der Fitness

Im Zeitraum vom 10.November 2011 bis 20. März 2012 wurden immer wieder per Zufall ausgewählte Fische vermessen und gewogen, um mithilfe dieser Daten die Fitness zu überprüfen. Zu diesem Zwecke wurde der K-Wert (Korpulenzfaktor bzw. Dichte) der Äschen mittels der „Fulton´schen Formel“ berechnet. Der K-Wert beschreibt die Dichte des Fisches und kann somit als Faktor für die Fitness herangezogen werden:

$$\frac{Gewicht \times 100}{Länge^3} = K(Korpulenzfaktor)$$

Desweiteren wurde der K´-Wert berechnet, wobei b die Steigung der Regressionsgerade der Messgruppe ist:

$$\frac{Gewicht \times 100}{Länge^b} = K´\ (spezifischer\ Korpulenzfaktor)$$

Folgend die Daten der gemessenen und gewogenen Fische, nach Datum sortiert. Wenn in der rechten Tabellenhälfte keine Werte vorhanden sind, so wurden nur aus 1 Rundbecken Fische entnommen und gemessen.

10.11.2011	Länge	Gewicht	K´	K	Länge	Gewicht	K´	K
Mw	64.8221	1.6567	0.9206	0.6010	63.4268	1.5689	0.8262	0.6030
Min	54	0.71	0.5197	0.3657	49	0.74	0.6921	0.5074
Max	81	2.77	1.2588	0.7647	80	3.31	1.0030	0.7343
Std	4.9249	0.3751	0.1278	0.0534	5.6329	0.4201	0.0621	0.0462
N	298	298	319	319	82	82	82	82
Stdn	4.9166	0.3745	0.0330	0.1195	5.5984	0.4175	0.0388	0.1392
Konfidenz	0.5582	0.0425	0.0036	0.0131	1.2117	0.0904	0.0084	0.0301
19.12.2011	Länge	Gewicht	K´	K	Länge	Gewicht	K´	K
Mw	67.2013	1.7825	0.8625	0.5803	67.6800	1.8105	1.0926	0.5782
Min	51	0.81	0.7257	0.4978	55	1.09	0.9465	0.4978
Max	84	3.32	1.1097	0.7639	82	2.98	1.3260	0.7380
Std	4.8295	0.3796	0.0537	0.0375	4.6923	0.3674	0.0683	0.0390
N	149	149	149	149	150	150	150	150
Stdn	4.8133	0.3783	0.0310	0.1134	4.6766	0.3662	0.0301	0.1099
Konfidenz	0.7728	0.0607	0.0050	0.0182	0.7484	0.0586	0.0048	0.0176
22.12.2011	Länge	Gewicht	K´	K	Länge	Gewicht	K´	K
Mw	67.6667	1.83129	0.89813	0.58412	66.2282	1.81839	1.18883	0.62125
Min	53	0.94	0.56924	0.36833	57	1.23	0.97179	0.50538
Max	81	2.96	1.11788	0.72815	80	3.02	1.67334	0.86147

Std	4.85027	0.38227	0.05618	0.03778	4.08048	0.34732	0.10183	0.05505
N	147	147	147	147	149	149	149	149
Stdn	4.83374	0.38097	0.03116	0.11383	4.06676	0.34615	0.02628	0.09599
Konfidenz	0.7814	0.06159	0.00504	0.0184	0.65299	0.05558	0.00422	0.01541
29.12.2011	Länge	Gewicht	K´	K	Länge	Gewicht	K´	K
Mw	68.973	1.94556	0.8514	0.58523	67.8658	1.82515	0.71853	0.57454
Min	57	1.16	0.68776	0.47407	55	0.91	0.63388	0.50571
Max	88	4.06	1.01466	0.69123	85	3.32	0.8373	0.68166
Std	5.00605	0.43794	0.05287	0.03725	5.29617	0.43878	0.04157	0.03377
N	148	148	148	148	149	149	149	149
Stdn	4.9891	0.43646	0.03111	0.11456	5.27837	0.43731	0.03352	0.12288
Konfidenz	0.80378	0.07032	0.00501	0.01846	0.84753	0.07022	0.00538	0.01973
18.01.2012	Länge	Gewicht	K´	K				
Mw	68.76	1.8766	1.05402	0.57098				
Min	56	1.13	0.96635	0.51475				
Max	79	2.85	1.19515	0.64345				
Std	5.03279	0.3855	0.05478	0.03259				
N	50	50	50	50				
Stdn	4.98221	0.38163	0.03185	0.11659				
Konfidenz	1.38097	0.10578	0.00883	0.03232				
07.02.2012	Länge	Gewicht	K´	K	Länge	Gewicht	K´	K
Mw	70.9329	2.04792	0.82976	0.56445	71.1544	2.0806	0.68944	0.56939
Min	57	1.02	0.71273	0.49067	61	1.19	0.59825	0.49565
Max	92	4.28	1.12033	0.78704	91	4.17	0.83933	0.69914
Std	5.87213	0.51607	0.05603	0.03972	5.17103	0.47064	0.04249	0.03541
N	149	149	149	149	149	149	149	149
Stdn	5.8524	0.51434	0.03523	0.13077	5.15365	0.46905	0.03105	0.11527
Konfidenz	0.9397	0.08259	0.00566	0.021	0.8275	0.07531	0.00499	0.01851
08.02.2012	Länge	Gewicht	K´	K				
Mw	68.8725	1.81195	0.43225	0.5446				
Min	57	0.97	0.3675	0.45735				
Max	83	2.99	0.49505	0.62815				
Std	5.10867	0.43814	0.02528	0.03223				
N	149	149	149	149				
Stdn	5.0915	0.43667	0.03191	0.11736				
Konfidenz	0.81752	0.07011	0.00512	0.01884				
20.03.2012	Länge	Gewicht	K´	K				
Mw	69.84	1.87013	0.69583	0.54132				
Min	58	1.09	0.50006	0.38087				
Max	84	3.44	0.95197	0.75337				
Std	5.13323	0.43404	0.05648	0.04436				
N	150	150	150	150				
Stdn	5.11609	0.43259	0.03153	0.1164				
Konfidenz	0.81873	0.06923	0.00505	0.01863				

Tabelle 56: Übersicht über die Ergebnisse der Fischmessungen; „K“: Korpulenzfaktor gem. Fulton, „K´“: Korpulenzfaktor, jedoch Steigung der Regression als Exponent, „Mw“: Mittelwert, „Std“: Standardabweichung von einer Stichprobe, „N“: Datenmenge, „Stdn“: Standardabweichung von der Grundgesamtheit,

Für 3 Versuche (1.3, 2.1, 2.2) wurden auch die im Zuge des Versuches wieder entnommenen (durch aktive Drift, passive Drift, Strandung, Clearing) Jungäschen gemessen und gewogen. Dies diente dazu, aufgrund einer eventuellen Änderung Rückschlüsse auf das Driftverhalten der Jungäschen sowie auf die Nahrungsbedingungen innerhalb der Rinnen zu ziehen.

Bei einem Vergleich der Kennwerte wurde nun versucht, herauszufinden, ob Korrelationen zwischen Driftkohorten erkannt werden können.

Für jeden der 3 Versuche wurden die 300 zu besetzenden Fische zuvor gewogen und gemessen, dabei wurden folgende Werte für die Schwallrinne und die Referenzrinne separat ermittelt.

Versuch 1.3

Wertet man nun die Messungen der gedrifteten und gestrandeten Jungfische des Versuches aus und setzt diese in Relation zu den Werten in Tabelle 57, so kommt man zu folgenden Ergebnissen:

1.3	Schwallrinne						Referenzrinne			
	akt. Drift	Anteil	pass. Drift	Anteil	Strandung	Anteil	akt. Drift 1	Anteil	akt. Drift 2	Anteil
1.Schwall	**20.06%**	1.3%	**3.38%**	65.5%	**-5.25%**	2.0%	**15.84%**	3.3%	**-**	-
2.Schwall	**-9.19%**	2.0%	**2.70%**	14.3%	**-0.60%**	4.8%	**-12.16%**	1.4%	**-**	-
3.Schwall	**-5.90%**	5.0%	**-9.48%**	10.5%	**-9.74%**	2.9%	**-5.02%**	15.4%	**-5.46%**	14.0%
4.Schwall	**-0.04%**	9.1%	**-27.68%**	3.3%	-	-	**-7.39%**	8.7%	**3.69%**	4.2%
5.Schwall	**6.30%**	3.4%	**0.35%**	3.6%	-	-	**14.25%**	23.1%	**-20.69%**	2.9%
6.Schwall	**-**	-	**-**	-	-	-	**-4.43%**	4.4%	**-**	-

Tabelle 57: Auswertung der Messergebnisse der innerhalb des Versuches 1.3 gedrifteten Jungäschen; Werte der unterschiedlichen Phasen beziehen sich auf prozentuelle Abweichung des K-Wertes aus Tabelle 56

Beachtet man die absoluten Driftzahlen in Tabelle 10 so sieht man, dass diese Werte zum Teil nicht aussagekräftig sind, da während einiger Phasen nur sehr geringe Strandungs- und Driftraten zu beobachten waren. Betrachtet man nur jene Werte, die einen Driftanteil größer als 5 % besitzen, so ist kein gemeinsamer Trend bezüglich Abweichungen der K-Werte erkennbar.

Dies führt zum Schluss, dass man nicht erkennen kann, ob es eine „Fraktionierung“ von Fischen mit ähnlichen K-Werten durch die Einzelschwallereignisse kommt, dass also die K-Werte der ausgedrifteten Jungäschen keinen deutlich sichtbaren, ähnlichen Unterschied zu den K-Werten der

besetzten Gesamtfischmenge aufweisen. Auch in der Referenzrinne findet man anhand der K-Wert-Änderungen ebenfalls keinen Zusammenhang zwischen den einzelnen Driftraten.

Versuch 2.1

2.1	Schwallrinne						Referenzrinne			
	akt. Drift	Anteil	pass. Drift	Anteil	Strandung	Anteil	akt. Drift 1	Anteil	akt. Drift 2	Anteil
1.Schwall	-	-	**1.03%**	0.7%	-	-	**-3.44%**	1.3%	-	-
2.Schwall	-	-	**-3.18%**	2.0%	-	-	**0.92%**	0.7%	-	-
3.Schwall	-	-	**-7.72%**	11.6%	-	-	-	-	-	-
4.Schwall	-	-	**-2.86%**	20.2%	**-4.31%**	2.9%	-	-	-	-
5.Schwall	**-2.15%**	1.0%	**-3.30%**	19.2%	-	-	-	-	-	-
6.Schwall	**-7.34%**	37.5%	**1.07%**	10.0%	-	-	**0.89%**	16.3%	-	-
nach 6.Schwall	**-3.22%**	6.7%	-	-	-	-	**2.20%**	16.3%	-	-

Tabelle 58:Auswertung der Messergebnisse der innerhalb des Versuches 2.1 gedrifteten Jungäschen; Werte der unterschiedlichen Phasen beziehen sich auf prozentuelle Abweichung des K-Wertes aus Tabelle 56

Betrachtet man nun wieder die Phasen, in denen mindestens 5 % der bis zu diesem Zeitpunkt verbliebenen Fische gedriftet sind, so erkennt man, dass die Werte der aktiven Drift jeweils negativ sind, sprich, die in diesen Phasen gedrifteten Jungäschen haben einen um den jeweiligen Prozentwert geringeren K-Wert. Man kann somit keinen Schluss ziehen zwischen Driftzeitpunkt und der Fitness des gedrifteten Fisches, jedoch fällt auf, dass die negativen K-Wertabweichungen meist größer sind, als die Abweichungen im positiven Bereich.

Versuch 2.2

2.2	Schwallrinne						Referenzrinne			
	akt. Drift	Anteil	pass. Drift	Anteil	Strandung	Anteil	akt. Drift 1	Anteil	akt. Drift 2	Anteil
1.Schwall	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.Schwall	-	-	**1.17%**	0.7%	-	-	-	-	-	-
3.Schwall	-	-	**-8.02%**	2.7%	-	-	-	-	-	-
4.Schwall	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.Schwall	-	-	**-2.85%**	1.4%	-	-	-	-	-	-
6.Schwall	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 59: Auswertung der Messergebnisse der innerhalb des Versuches 2.2 gedrifteten Jungäschen; Werte der unterschiedlichen Phasen beziehen sich auf prozentuelle Abweichung des K-Wertes aus Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

Während des Versuches 2.2 waren die Driftraten derart gering, dass mittels des K-Wertes keine Aussagen bezüglich Korrelation mit Driftraten getroffen werden konnten.

Betrachtet man nun auch die Daten der beim Clearing erfolgreich gefangenen Jungäschen und berechnet den Mittelwert aller wieder entnommenen Fische, so ergibt sich im Vergleich mit den vor dem Versuch ermittelten Daten folgendes Bild:

Versuch		MwK_{ges}	MwK_{wg}	MW des Gewichtes der Fische vor Versuch	mittleres Gewicht nach Versuch (mit K_{wg} berechnet)	Differenz	Verhältnis der mittleren Länge
1.3	Schwallrinne	0.580258255	0.595983442	1.7825	1.8087	-0.0262	**101.47%**
1.3	Referenzrinne	0.578239168	0.590091966	1.8105	1.8294	-0.0188	**101.04%**
2.1	Schwallrinne	0.584117442	0.564873588	1.8313	1.7502	0.0811	**95.57%**
2.1	Referenzrinne	0.621254216	0.62657009	1.8184	1.8201	-0.0017	**100.09%**
2.2	Schwallrinne	0.574544112	0.572677538	1.8251	1.7900	0.0351	**98.08%**
2.2	Referenzrinne	0.585228692	0.561273856	1.9456	1.8417	0.1039	**94.66%**

Abbildung 61: Vergleich der K-Werte des Gesamtbesatzes mit den wieder entnommenen Fischen; „MwK_{ges}“ : Mittelwert der K-Werte des gesamten Versuchsbesatzes; „MwK_{ges}“ : Mittelwert der K-Werte der wieder entnommenen Fische (Drift, Strandung, Clearing)

Es fällt auf, dass es eine Abweichung des mittleren Gewichts vor dem Versuch vom mittleren Gewicht nach dem Versuch (also nur jene Jungäschen, die durch Drift, Strandung und Clearing wieder aus den Rinnen entfernt werden konnten) gibt. Dies liegt unter anderem daran, dass die Zahl der wiedergefangenen Individuen von der der zuvor besetzten Fische teils erheblich abweicht.

Interpretation der Ergebnisse

Aus der Betrachtung der Ergebnisse der Vermessung ergeben sich folgende Rückschlüsse:

- Zu Beginn driftende Fische während Sunkphasen bzw. Schwallphasen haben keinen tendenziell einheitlich abweichenden K-Wert.
- Der gemessene Gewichtsunterschied (-26 mg bis 104 mg, vgl. Abbildung 61) der Fische vor bzw. nach einem durchgeführten Versuch ist nicht aussagekräftig, da die Zahl der wieder entnommenen Fische teils erheblich geringer war als

die der gesamten Besatzmenge. Die teilweise geringen Gewichtsunterschiede können auch auf bei der Messung entstehende Ungenauigkeiten zurückgeführt werden (z. B.: Haftwasser an der Fischoberfläche).

Bei Betrachtung des K-Wertes muss bedacht werden, dass der Wert mit dem Alter bzw. der Größe des Fisches geringer wird, insofern kann man nur Fische derselben Altersgruppe miteinander vergleichen.

Die im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Messungen und Berechnungen lassen keinerlei Schlüsse bezüglich gewichtsabhängiger Driftmuster zu.

5. Zusammenfassende Erkenntnisse und Diskussion

Die Versuchsanlage „HyTEC“ soll dem Erkenntnisgewinn über die Auswirkungen des Schwalleinflusses auf Juvenilstadien der Europäischen Äsche *(Thymallus thymallus L.)* dienen. Dazu wurden nach Fertigstellung der Experimentierrinnen erste Versuche durchgeführt, um grundlegende Erkenntnisse bezüglich der Reaktion der Jungfische auf unterschiedliche Schwallszenarien zu gewinnen.

- Junge Äschen driften und stranden vermehrt infolge einer Schwallbeeinflussung im Vergleich zu einer Referenzsituation
- Es kommt auch in der Referenzsituation sowie bei Sunkabfluss zu Drift
- Es ist keine Korrelation zwischen und größer werdenden Schwallabflüssen erkennbar
- Es ist eine Korrelation zwischen erhöhten Driftraten und der An- und Abstiegsdauer des Schwalls erkennbar
- Ab einem bestimmten Wert erhöhen schnellere Schwallabstiegsgeschwindigkeiten das Strandungsrisiko
- Es ist keine eindeutige Korrelation zwischen Drift und Fitness, in Bezug auf die gesamte Besatzmenge, feststellbar
- Tendenziell erhöhte Drift- und Strandungsraten während Dämmerungs- und Nachtphasen konnten mehrfach beobachtet werden.

Ein Problem stellte die Wiederauffindbarkeit der in den Rinnen verbliebenen Fische nach einem Versuch dar. Um einerseits diese Anzahl zu verringern ist es vermutlich von Vorteil, die Dauer einer Einzelversuchsdurchführung zu verkürzen und andererseits noch mehr zu vereinheitlichen, um eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Dies würde auch die Gefahr der Beeinflussung durch äußere Faktoren weiter verringern. Desweiteren könnte es sein, dass der Sunkabfluss während eines Experiments zu gering war, und dadurch eine Flucht ins Substrat begünstigt wurde.
Es ist nicht davon auszugehen, dass Fische unbemerkt die Rinne verlassen können, gedriftete Jungäschen in den Driftnetzen sind schell auffindbar und in der Regel unverletzt.
Ein weiterer Punkt zur Verbesserung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist die Wahl des Startzeitpunktes der Versuche. Es wurde beobachtet, dass es einen tageszeitlichen Verhaltensunterschied gibt, der separat untersucht werden müsste. Die Wassertemperatur sollte in

Zukunft ebenfalls genauer berücksichtigt werden, da auch dadurch Verhaltensunterschiede möglich sein könnten.

Außerdem nicht unterschätzt werden darf die in der Rinne stattfindende zeitliche und hydrologische Retention der Schwallwelle.

Die Ergebnisse der zweiten Versuchsanordnung haben gezeigt, dass die Drift und Strandung scheinbar nicht direkt mit dem Abflussmaximum in Zusammenhang stehen. Hierbei muss erwähnt werden, dass aufgrund der gleichbleibenden An- und Abstiegsdauer die Geschwindigkeit der Abflussänderung unterschiedlich ist, und man es daher mit 2 Variablen zu tun hat. Aus diesem Grunde sind die getroffenen Aussagen nicht eindeutig. Außerdem bedarf es hier weiterer Untersuchungen, ob es durch die anfänglich geringeren Schwalldotationen zu einem Gewöhnungseffekt kommen kann. Eine Möglichkeit dafür wäre, die Abfolge der Einzelschwallergebnisse umzudrehen und mit dem stärksten Schwall zu beginnen. Bei der darauffolgenden Versuchsreihe änderte sich nur die An- und Abstiegsgeschwindigkeit. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Driftraten während des ersten Schwallereignisses mit der geringsten An- und Abstiegsgeschwindigkeit am stärksten waren. In Verbindung mit den Ergebnissen der vorangegangenen Versuchsreihen ist dies ein Beleg dafür, dass die Dauer der Wasserspiegeländerung dafür verantwortlich ist. Um zu bestätigen, dass die Anstiegsdauer eine relevante Auswirkung auf die Jungäschen hat und nicht eine, wie auch immer definierte, Reizschwelle mancher Individuen gegenüber Abflussänderung, müsste in einem eigenen Versuchsverlauf stattfinden. Dies könnte sichtbar werden, wenn entweder ein Schwall dem 1. Schwall vorgeschalten ist, damit sich nur Fische in der Rinne befinden, die eine höhere Reizschwelle haben. Alternativ könnte man auch die 5 unterschiedlichen Schwalldesigns in umgekehrter Richtung abarbeiten.

Wie man sieht, sind bislang nur begrenzt genaue Aussagen möglich. Jede Fragestellung wirft neue Fragen auf, um deren Antworten zu finden bedarf es sehr vielen, detailreichen Versuchsanordnungen, die hoffentlich in naher Zukunft mit Hilfe der Versuchsanlage durchgeführt werden können.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Lage des Lunzer Sees, maßstabslos 5
Abbildung 2: Die genaue Lage der Versuchsanlage und der Entnahmeleitungen, am Westufer des Lunzer Sees 5
Abbildung 3: Blick vom unteren Ende der Versuchsrinnen, 01.09.2011 6
Abbildung 4: Blick in über die Anlage in Fließrichtung, 01.08.2012 6
Abbildung 5: Blick vom unteren Ende während der Herstellungsphase; 06.10.2010 6
Abbildung 6: Plattenschieber samt Motoren (1), Wasserentnahme für Rundbecken (2), Temperaturfühler(3) 9
Abbildung 7: Blick über die Versuchsrinnen in Fließrichtung; man beachte den erhöhten Abfluss im Zuge einer Versuchsdurchführung in der rechten Rinne 9
Abbildung 8: Blick auf die Netzkonstruktion am Rinnenende: Hier werden abgedriftete Äschen detektiert 10
Abbildung 9: Blick über die linke Versuchsrinne mit davorliegendem Tosbecken 11
Abbildung 10: Darstellung der Pegelstandsänderungen (cm/min) in den Rinnen; „v_Anstieg“: Anstiegsgeschwindigkeit der Schwallwelle im Gerinne, „v_Abstieg“: Abstiegsgeschwindigkeit d Schwallwelle im Gerinne 12
Abbildung 11: Anstiegs- und Abstiegsgeschwindigkeiten der verschiedenen Versuche in den unterschiedlichen Versuchsreihen 13
Abbildung 12: Versickerungsversuch in den Tosbecken vor und nach zusätzlicher, vertikaler Abdichtung 14
Abbildung 13: Übersicht über die gemessenen und berechneten Dotationen und deren Vergleich; 15
Abbildung 14: Vergleich der beiden Durchflussmessungen und deren Abweichung 16
Abbildung 15: Schwalldesigns der 1. Schwallversuchsreihe 20
Abbildung 16: Driftraten des Versuches 1.1 in beiden Rinnen im Vergleich „rot“: Schwallrinne, „blau“: Referenzrinne (die Abstände auf der x-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar); die Andeutung von Abenddämmerung und Nacht ist eine schematische Darstellung) 23
Abbildung 17: Driftraten des Versuches 1.2 der beiden Rinnen im Vergleich; die Andeutung von Abenddämmerung und Nacht ist eine schematische Darstellung) 26
Abbildung 18: Driftraten des Versuches 1.3 in beiden Rinnen im Vergleich; die Andeutung von Abenddämmerung und Nacht ist eine schematische Darstellung) 28
Abbildung 19: Vergleich der aktiven Driftraten der Referenzrinne während Versuch 1.2 und 1.3 30
Abbildung 20: Vergleich der Driftraten der Schwallrinne 31
Abbildung 21: Strandungsraten der 1. Schwallversuchsreihe; Werte beziehen sich auf jene Fischmenge, die sich vor dem jeweiligen Schwall in der Schwallrinne befand 32
Abbildung 22: Schematische Darstellung der hintereinander geschalteten Schwallamplituden 35
Abbildung 23: Übersicht über die durchgeführten Versuche der Schwallversuchsreihe 2 36
Abbildung 24: Driftraten des Versuches 2.1 der beiden Rinnen im Vergleich (die Abstände auf der x-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar) 38
Abbildung 25: Driftraten des Versuches 2.2 in beiden Rinnen im Vergleich (die Abstände auf der x-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar) 40
Abbildung 26: Driftraten des Versuches 2.3 der beiden Rinnen im Vergleich (die Abstände auf der X-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar) 42
Abbildung 27: Driftraten des Versuches 2.4 in beiden Rinnen im Vergleich (die Abstände auf der x-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar) 43
Abbildung 28: Driftraten des Versuches 2.5 in beiden Rinnen im Vergleich (die Abstände auf der x-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar) 45
Abbildung 29: Driftraten des Versuches 2.6 in beiden Rinnen im Vergleich (die Abstände auf der x-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar) 47
Abbildung 30: Driftraten des Versuches 2.7 in beiden Rinnen im Vergleich (die Abstände auf der x-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar) 48

Abbildung 31: Driftraten des Versuches 2.8 in beiden Rinnen im Vergleich (die Abstände auf der x-Achse stellen keine gleichmäßigen Zeitintervalle dar) 50
Abbildung 32: aktive Driftraten (Individuen/h), zum jeweils bevorliegenden Schwallereignis zugeordnet 52
Abbildung 33: aktive Driftraten der Referenzrinne; 53
Abbildung 34: passive Driftraten aller Versuche während der Schwallereignisse in der Schwallrinne 54
Abbildung 35: Box-Plot-Darstellung der Driftraten (in %) während der Schwallereignisse; Die durchgehende Linie gibt das arithmetische Mittel der Driftraten an 54
Abbildung 36: Strandungsraten der einzelnen Versuche, nach Schwallintensität aufgeschlüsselt 56
Abbildung 37: Vergleich der Fangerfolge der Elektrobefischungen im Zuge des Clearings als abschließende Phase eines Schwallversuches 57
Abbildung 38: Graphische Darstellung der einzelnen Schwalldesigns 62
Abbildung 39: Vergleich der relativen Driftraten der beiden Rinnen von Schwallversuch 3.1 66
Abbildung 40: Vergleich der relativen Driftraten der beiden Rinnen von Schwallversuch 3.2 68
Abbildung 41: Vergleich der relativen Driftraten der beiden Rinnen von Schwallversuch 3.3 70
Abbildung 42: Vergleich der relativen Driftraten der beiden Rinnen von Schwallversuch 3.4 72
Abbildung 43:Abdriftraten (in % der verbleibenden Fische) der einzelnen Schwallereignisse, dargestellt mittels Boxplot 74
Abbildung 44: Vergleich der Driftraten des ersten Schwalles (15´An - und Abstieg) aller 4 Versuche 76
Abbildung 45: Box-Plot der Driftraten des ersten Schwallevents aller 4 Versuche 77
Abbildung 46: Vergleich der Driftraten des zweiten Schwalles (10´An - und Abstieg) aller vier Versuche 78
Abbildung 47: Box-Plot der Driftraten des zweiten Schwallevents aller 4 Versuche 78
Abbildung 48: Vergleich der Driftraten des dritten Schwalles (5´An - und Abstieg) aller 4 Versuche 79
Abbildung 49: Box-Plot der Driftraten des dritten Schwallevents aller 4 Versuche 80
Abbildung 50: Vergleich der Driftraten des vierten Schwalles (2.5´An - und Abstieg) aller 4 Versuche 81
Abbildung 51: Box-Plot der Driftraten des vierten Schwallevents aller 4 Versuche 81
Abbildung 52: Vergleich der Driftraten des vierten Schwalles (1´An - und Abstieg) aller 4 Versuche 82
Abbildung 53: Box-Plot der Driftraten des vierten Schwallevents aller 4 Versuche 83
Abbildung 54: Übersicht der Driftraten in Schwall- und Referenzrinne aller 4 Versuche 84
Abbildung 55: Driftraten des Schwallversuche 3.1 im Vergleich 84
Abbildung 56: Driftraten des Schwallversuche 3.2 im Vergleich 85
Abbildung 57: Driftraten des Schwallversuche 3.3 im Vergleich 85
Abbildung 58: Driftraten des Schwallversuche 3.4 im Vergleich 86
Abbildung 59: Vergleich der Fangerfolge der Elektrobefischungen im Zuge des Clearings 88
Abbildung 60: Darstellung aller Schwallereignisse und Vergleich der einzelnen Phasen („AnP“=Anstiegsphase, „SP“=Schwallphase, „AbP“= Abstiegsphase); Werte im Diagramm beziehen sich auf den Mittelwert 90
Abbildung 61: Vergleich der K-Werte des Gesamtbesatzes mit den wieder entnommenen Fischen; „MwK_{ges}“ : Mittelwert der K-Werte des gesamten Versuchsbesatzes; „MwK_{ges}“ : Mittelwert der K-Werte der wieder entnommenen Fische (Drift, Strandung, Clearing) 96

Literaturverzeichnis

Baumann et.al., 2003. *Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes-Ergebnisse einer Literaturstudie; Mitteilungen zur Fischerei Nr. 75.* Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern : BUWAL, 2003.

BMFLUW, 2009. Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan-NGP2009. [Online] 2009. http://wisa.lebensministerium.at/article/archive/29367.

Bradford, 1997. *An experimental study of stranding of juvenile salmonids on gravel bars and in sidechannels during rapid flow decreases.* s.l. : Regulated Rivers: Research & Management 13: 395-401, 1997.

Eberstaller et.al., 2001. Trübung und Schwall Alpenrhein-Einfluss auf Substrat, Benthos, Fische; Teilbericht Fischökologie. *http://www.alpenrhein.net.* [Online] 2001. http://www.alpenrhein.net/Portals/0/Content/TS_Fachbericht_Fischo%CC%88kologie_2001Mai.pdf.

Jungwirth et.al., 2003. *Angewandte Fischökologie an Fließgewässern.* Wien : WUV Facultas, 2003.

Limnex, 2001. *Schwall/Sunk-Betrieb in schweizerischen Fliessgewässern.* Zürich : BUWAL, 2001.

Limnex-AG, 2004. Auswirkungen des Schwallbetriebes auf das Ökosystem der Fliessgewässer: Grundlagen zur Beurteilung. [Online] 2004. [Zitat vom: 20. August 2013.] http://assets.wwf.ch/downloads/wwf_schwallbericht.pdf.

Meile Tobias, Fette Markus und Baumann Peter. 2005. *Synthesebericht Schwall/Sunk; Publikation des Rhone-Thur Projektes.* Schweiz : s.n., 2005.

ÖWAV, 2008. *Schwall und Sunk an österreichischen Fließgewässern; Positionspapier der ÖWAV-Arbeitsgruppe "Schwall" der Fachgruppe Wasserbau, Igenieurbiologie und Ökologie.* Wien : s.n., 2008.

Schmutz et.al., 2013. *Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten.* Wien : BMFLUW, 2013.

Zeiringer, 2012. *Kollaudierungsbericht Versuchsanlage - Fließrinnen Lunz am See.* Wien : s.n., 2012.

Zeiringer et.al., 2011. *Einreichprojekt: Versuchsanlage - Fließrinnen Lunz am See; Technischer Bericht.* Wien : Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, 2011.