

Habitateignung der HyTEC- Versuchsanlage sowie Einfluss von Schwall auf Wachstums- und Konditionsentwicklung von Jungäschen (*Thymallus thymallus*)



Masterarbeit zur Erlangung des Titels

Master of Science

an der Universität für Bodenkultur

am Department Wasser-Atmosphäre-Umwelt

Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement

Studiengang Wildtierökologie und Wildtiermanagement

Johanna Friedl & Katharina Naesby

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

Mitbetreuer: Dipl.-Ing. Bernhard Zeiringer

Wien, Jänner 2014

*Die beste Weise, Fische zu beobachten,
besteht darin, selber zum Fisch zu werden.*

Jacques Yves Cousteau

Vorwort & Danksagung

An dieser Stelle sei unseren Betreuern Bernhard Zeiringer und Stefan Schmutz gedankt, welche diese Arbeit ermöglicht, und uns jeder Zeit mit Rat und Tat zur Seite standen. Weiters gilt unser großer Dank Erwin Lautsch für die kompetente und geduldige Unterstützung bei kniffligen Fragen der Statistik.

Aufgrund des notwendigen Zeitausmaßes der Versuchsreihen in Lunz am See, wurde es uns ermöglicht, diese Masterarbeit, neben Jobs, Kindern und laufendem Studium, zu zweit durchzuführen. Außerdem hat sich in vielen gemeinsamen Studienjahren und unzähligen Seminararbeiten gezeigt, dass wir ein gutes Team sind und uns gut ergänzen!

So leicht es klingen mag, eine Masterarbeit zu zweit zu schreiben, ist dennoch viel Kommunikation, Nachsicht und Verständnis die Voraussetzung dafür.

Während der Aufnahmen arbeiteten wir selten zeitgleich bei der Anlage. Meistens haben wir uns nur die „*Türklinke in die Hand gegeben*“ und sind halb-wöchentlich zwischen Wien bzw. Weidling und Lunz am See gependelt. Nur zu Beginn und Ende jeder Versuchsreihe waren wir gemeinsam vor Ort, um die Zählung und Vermessung der Fische zügig durchzuführen. Über unzählige Telefonate haben wir uns gegenseitig am Stand der Dinge gehalten und oftmals auch motiviert, die kalte Zeit in Lunz zu durchstehen.

Obwohl die Aufnahmen gemeinsam, wenn auch nicht zeitgleich, erfolgten, gab es für die Auswertung der Daten, sowie für die Bearbeitung der Fragestellungen eine Verantwortliche. Fragestellung 1 & 4 wurden von Johanna Friedl, Fragestellung 2 & 3 von Katharina Naesby bearbeitet, wobei Johanna Friedl bei Fragestellung 3 die parameter-freien Testverfahren durchgeführt hat. Katharina Naesby hat außerdem die Habitatmodellierung durchgeführt. Die Diskussion wurde gemeinsam erarbeitet, um alle Ergebnisse bestmöglich miteinander zu verschränken.

Am Ende sei noch all unseren Freunden und Familien gedankt, die uns durch unsere nebelig kalten, schneereichen „*Lunz-Arbeiten*“ begleitet haben.

Kurzfassung

Die vorliegende Studie wurde in der HyTEC-Versuchsanlage (**H**ydromorphological and **T**emperature **E**xperimental **C**hannel) in Lunz am See durchgeführt. Anhand von Schwallversuchen wurde der Einfluss von Schwallbetrieb auf Wachstums- und Konditionsentwicklung juveniler Äschen untersucht. Ein weiteres Ziel bestand darin, ein vertieftes Verständnis kausaler Zusammenhänge durch Beobachtung der Reaktion juveniler Äschen auf Schwall- und Sunkphänomene unter kontrollierten Bedingungen zu erhalten. Der zweite Teil dieser Arbeit befasst sich mit der Lebensraumnutzung der juvenilen Äsche in unterschiedlichen Altersstadien und Habitatmodellierungen bei unterschiedlichen Abflüssen in den Experimentierrinnen.

Die Versuchsreihen wurden über je drei Wochen im November 2012 und Februar 2013 durchgeführt und stellen somit einen der ersten Langzeitversuche dieser Art in der HyTEC-Versuchsanlage dar. In den Versuchszeiträumen wurde drei Mal pro Tag künstlich ein Schwall in der Experimentierrinne erzeugt. Diese ist einer natürlichen Schotterbank nachempfunden. Die durch das Schwallereignis abgedrifteten Individuen wurden erfasst und vermessen. Zeitgleich wurden in der zweiten, identen Experimentierrinne Referenzdaten hinsichtlich der Entwicklung der Jungäschen ohne Schwalleinfluss erzeugt.

Die Wachstums- und Konditionsentwicklung der juvenilen Äschen in Schwall- und Referenzrinne wurden verglichen. Die Versuchsreihen ergaben, dass sich juvenile Äschen unter Schwalleinfluss nicht schlechter entwickelten, als in der Referenzsituation ohne Schwalleinfluss. Jedoch wurden in der Schwallrinne wesentlich höhere Driftraten als in der Referenzrinne festgestellt. So sind im November 2012 37% und im Februar 2013 31% der ursprünglichen Anzahl von 250 Jungäschen in der Schwallrinne abgedriftet. In der Referenzrinne sind nur im Februar 2013 7% der ursprünglich 250 Individuen durch aktive Drift aus der Rinne ausgeschieden. Es wurde hier auch keine Strandung verzeichnet. Im Gegensatz dazu, sind in der Schwallrinne im Februar 2013 immerhin 39% der Jungäschen nach den Schwallereignissen gestrandet. Im November 2012 waren es 9%.

Durch die Modellierung der Experimentierrinne bei unterschiedlichen Dotationen wurden die Lebensraumannsprüche unterschiedlicher Entwicklungsstadien der

juvenilen Äsche betrachtet und die vorhandene Habitateignung berechnet. Für das Larvenstadium nimmt mit zunehmender Dotation das geeignete Habitat in der Experimentierrinne ab. Dies vor allem deswegen, da die Eignung des Habitats stark von Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe abhängig ist. Für juvenile Äschen im Sommer ist grundsätzlich mehr geeignetes Habitat verfügbar, welches jedoch mit ansteigender Dotation wieder abnimmt. Im Gegensatz dazu bietet die Experimentierrinne für juvenile Äschen im Herbst mit zunehmender Dotation ein besser geeignetes Habitat.

Im Zuge dieser Arbeit konnte kein negativer Einfluss von Schwallbetrieb auf Wachstums- und Konditionsentwicklung der juvenilen Äsche nachgewiesen werden. Unter Berücksichtigung der Habitateignung für verschiedene Altersstadien der Äsche war es möglich, die Ergebnisse der Schwallversuche spezifischer zu interpretieren. So konnte auf Grundlage der Habitateignung für dieses Altersstadium ein guter Gesamtindex festgestellt werden, welcher es ermöglicht, die Ergebnisse bezüglich des Einflusses auf Wachstums- und Konditionsentwicklung neutral zu beurteilen. Anders sähe es jedoch für Larven bzw. juvenile Äschen im Sommer mit schlechteren Habitateignungen aus. Hier wären die Ergebnisse grundlegend anders zu betrachten und zu interpretieren. Für eine umfassende Beurteilung der Auswirkungen durch den Schwallbetrieb ist jedoch die Kenntnis weiterer ökologischer und morphologischer Wirkungszusammenhängen notwendig.

Schlagwörter: Äsche, *Thymallus thymallus*, Konditionsentwicklung, Schwall, Sunk, Versuchsrinnen, HyTEC, Habitatmodellierung, Habitat Suitability Index

Abstract

The present study was carried out in the HyTEC-facility (**H**ydromorphological and **T**emperature **E**xperimental **C**hannel) in *Lunz am See*. The main issue of the project was to test the effects of hydropeaking on growth and condition development of juvenile grayling. Another aim was to obtain a deeper understanding of the causal coherence through observation of the reaction of juvenile grayling to peak flow and low flow under controlled conditions. The second part of this thesis dealt with habitat suitability of juvenile grayling at different life stages and habitat modelling in the channels at different flow rates.

The test series were conducted over a time period of three weeks each in November 2012 and February 2013. This is one of the first long term experiment of its kind at the HyTEC-facility. During the experiment periods, three hydropeaking events per day were executed in the treatment channel, which represents a natural gravel bar. The graylings, which drifted off due to hydropeaking, were caught and measured. Furthermore control data was generated in a second, morphologically identical shaped channel without hydropeaking.

Growth and conditions development of juvenile grayling in the treatment and the reference channel were compared. As a result there was no negative influence on growth and condition development of juvenile grayling due to hydropeaking. In contrast high rates of drift were detected in the treatment channel in both periods (37% in November 2012, 31% in February 2013 of total 250 individuals in each period). In the control channel only 7% of total 250 individual showed active drift in February 2013. In the treatment channel 37% of total 250 graylings stranded due to hydropeaking in February 2013 and 9% in November 2012, while in the control channel there was none.

The simulations in the experimental channel with varying water discharges showed the changing habitat suitability of different age classes. With raising discharge the habitat availability for the larval stage diminished. The suitability of the habitats depends strongly on flow velocity and water depth. For juvenile grayling the suitable habitat was at its biggest during summer but with raising discharge it declined as

well. In contrast during autumn the habitat for juvenile grayling enlarged with increasing discharge.

In the course of this thesis, no negative effects of hydropeaking on the growth and condition development of juvenile grayling could be proven. With respect to the habitat suitability analyses for different age classes of grayling, results of the hydropeaking experiment can be interpreted more specific. Based on the habitat suitability analyses a good overall index for this age class was detected. The result of the growth and conditions development analyses could so be considered as unaffected. For the other age stages the habitat was not adequate therefore results of the growth and conditions development analyses have to be interpreted fundamentally different. For a comprehensive assessment of the impacts of hydropeaking further research in terms of ecological and morphological interrelation is needed.

Keywords: grayling, *Thymallus thymallus*, condition development, hydropeaking, experimental channel, HyTEC, habitat modelling, Habitat Suitability Index

Inhaltsverzeichnis

Vorwort & Danksagung.....	3
Kurzfassung	4
Abstract	6
Inhaltsverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	10
1 Einleitung.....	12
1.1 Schwallproblematik.....	13
1.2 Definitionen	14
1.2.1 Schwall & Sunk.....	14
1.2.2 Drift.....	15
1.2.3 Strandung.....	16
1.3 Die Äsche	16
1.4 Habitatmodellierung.....	20
1.5 Zielsetzungen	20
1.6 Fragestellungen und Hypothesen	22
2 Material und Methoden.....	24
2.1 Schwallversuche	24
2.1.1 Beschreibung der HyTEC-Versuchsanlage.....	24
2.1.2 Beschreibung von Schwallrinne und Referenzrinne	28
2.1.3 Berechnung der Fließgeschwindigkeit	30
2.1.4 Berechnung der Schwallganglinie.....	32
2.1.5 Herkunft und Aufzucht der verwendeten Jungäschen (0+ Äschen).....	37
2.1.6 Vermessung der Jungäschen (0+ Äschen).....	37
2.1.7 Anzahl der Jungäschen (0+ Äschen)	39
2.1.8 Gemittelte Werte nach Versuchszeiträumen	41
2.1.9 Konditionsfaktor.....	41
2.1.10 Versuchsaufbau.....	42
2.1.11 Vorversuche	44

2.1.12 Versuchsanordnung November 2012	44
2.1.13 Versuchsanordnung Februar 2013	45
2.1.14 Futter und Futterverfügbarkeit	45
2.1.15 Wassertemperatur	46
2.1.16 Variablenbeschreibung	47
2.1.17 Methoden zur statistische Analyse der Schwallversuche	48
2.2 Hydrodynamische Modellierung.....	52
2.2.1 River 2D	52
3 Ergebnisse	58
3.1 Schwallversuche	58
3.1.1 Auswertung der Vermessungsdaten	58
3.1.2 Fragestellung 1 & 2: Auswirkungen der Schwalle auf die Jungäschen.....	66
3.1.3 Fragestellung 3.....	73
3.1.4 Fragestellung 4.....	102
3.2 Hydrodynamische Modellierung.....	105
4 Diskussion	114
4.1 Schwallversuche	114
4.1.1 Versuchsaufbau.....	114
4.1.2 Auswertung der Vermessungsdaten	115
4.1.3 Fragestellung 1 & 2: Auswirkungen der Schwalle auf die Jungäschen.....	116
4.1.4 Fragestellung 3.....	119
4.1.5 Fragestellung 4.....	121
4.2 Hydrodynamische Modellierung.....	122
5 Ausblick	125
Literaturverzeichnis	127
Abbildungsverzeichnis	132
Tabellenverzeichnis	135
Appendix.....	138
Erklärung	142

Abkürzungsverzeichnis

α – vorgegebene Irrtumswahrscheinlichkeit ($\alpha = 0,05$)

AM – arithmetisches Mittel

ANOVA – **A**nalysis of **V**ariance = Varianzanalyse

CbSI – **C**ombined **S**uitability Index

CSI – **C**omposite **S**uitability Index

df – degrees of freedom

Dot – Dotation

DS – Drucksonde

DV – Driftverhalten

G – Gewicht

HyTEC – **H**ydromorphological and **T**emperature **E**xperimental **C**hannel

KF – Konditionsfaktor

L – Länge

LOC – Locus

MD – Median

MZP – Messzeitpunkt

NGP – Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan

n.s. – nicht signifikant

p – berechnete Wahrscheinlichkeit ($p \leq \alpha = 0,05 = \text{sign.}$; $p \geq \alpha = 0,05 = \text{n.s.}$)

Ph – Phase

PHABSIM – **P**hysical **H**abitat **S**imulation

Profil_LOC_MZP_num – Kombination der Variablen LOC und MZP

R – linearer Korrelationskoeffizient nach Pearson

R^2 = R-Quadrat – Bestimmtheitsmaß nach Pearson

R2D – River 2D

RB – Rundbecken

RR – Referenzrinne

R_s – Korrelationskoeffizient nach Spearman

SI – **S**uitability Index

sign. – signifikant

SR – Schwallrinne

STD – Standardabweichung

Str – Strandung

TIN – trianguläres irreguläres Netzwerk

TZ – Tageszeit

VZR – Versuchszeitraum

WRRL – Wasserrahmen-Richtlinie

WUA – **W**eighted **U**sable **A**rea

1 Einleitung

Durch den steigenden Bedarf an Energie und in weiterer Folge die nicht ausreichende Effizienz, Suffizienz und Konsistenz in der Gewinnung und Nutzung dieser, kommt es bei der Produktion von nachhaltiger und ökologischer Energie zu negativen Nebeneffekten auf aquatische Systeme und deren Organismen. In Ländern mit alpinen Landschaften bietet sich die Nutzung von Wasserenergie mittels Schwallbetrieb an und wird in zunehmendem Maße ein notwendiger Bestandteil der nachhaltigen Energiegewinnung.

Die seit 2009 in Kraft getretene Richtlinie der EU zu erneuerbaren Energien (Richtlinie 2009/28/EG) gibt vor, dass bis zum Jahr 2020 der Anteil an erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch aller EU-Mitgliederstaaten mindestens 20% betragen muss. Österreich wurde sogar zu 34% an erneuerbarer Energie am Gesamtenergieverbrauch verpflichtet. Des Weiteren gilt es, neben dem Ausbau der Energie aus erneuerbaren Quellen, die Energieeffizienz zu steigern (Europäische Kommission 2009). Um diese Ziele erreichen zu können, wird vermehrt Wasser- und Windkraft zur Stromerzeugung genutzt. Derzeit werden in Österreich rund 55% des Strombedarfs durch Wasserkraft gedeckt (E-Control 2009).

Im Jahre 2000 trat die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) (Richtlinie 2000/60/EG) in Kraft. Sie legt für alle europäischen Mitgliederstaaten Umweltziele für Oberflächengewässer und das Grundwasser fest. Bis 2015 soll ein guter ökologischer und chemischer Zustand für Oberflächengewässer erreicht werden. Für das Grundwasser wird ein guter mengenmäßiger und chemischer Zustand angestrebt. Weiters zählen zu diesen Zielen die Vermeidung einer Verschlechterung sowie der Schutz und die Verbesserung des Zustandes der direkt von den Gewässern abhängenden Landökosystemen und Feuchtgebieten im Hinblick auf deren Wasserhaushalt (Europäische Kommission 2000).

Schwallbeeinflusste Fließstrecken entsprechen laut den vorgegebenen Zielen der WRRL nicht dem guten ökologischen Zustand eines Gewässers (Europäische Kommission 2000). Aus diesem Grund hat die Sanierung von Schwallstrecken oberste Priorität und ist für ein ökologisch ausgerichtetes, nachhaltiges Gewässermanagement unerlässlich. Des Weiteren bedarf es noch der ausführlichen

Erforschung der Wirkungszusammenhänge um nachhaltige Lösungsansätze zur Minimierung der Auswirkungen zu finden.

Der Nationale Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP) ist eine flussgebietsbezogene Planung, basierend auf einem integrierten Ansatz zum Schutz, zur Verbesserung und zur nachhaltigen Nutzung der Gewässer. Der NGP dient zur Umsetzung der Ziele und Grundsätze laut Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG 1959). Anhand einer umfangreichen IST-Bestandsanalyse werden die signifikanten Nutzungsarten der Gewässer sowie die dafür notwendigen Erhaltungs- und Sanierungsziele und deren Maßnahmen festgelegt (BMLFUW 2010).

Laut NGP gehören Schwall-Sunk-Erscheinungen zu den hydrologischen Belastungen eines Oberflächengewässers, welche ihren Ursprung in anthropogenen Quellen (intensive Wasserkraftnutzung in alpinen Regionen) haben. Ein guter ökologischer Zustand von Schwallstrecken ließe sich fallweise durch bauliche Sanierungsmaßnahmen erreichen. Hierzu zählen Ausgleichsbecken und Maßnahmen zur Minimierung der Auswirkungen durch Schwall, wie zum Beispiel Anbindungen an Nebengewässer oder Restrukturierungen (BMLFUW 2010). Weiters kann eine Änderung der Betriebsweise der Kraftwerke zu einer Verringerung der Auswirkungen durch Schwallbetrieb führen (Schmutz et al. 2013).

1.1 Schwallproblematik

Die Auswirkungen auf das aquatische System durch Schwallbetrieb sind mannigfaltig und schließen morphologische und hydrologische Veränderungen mit ein. Schwallbetrieb beeinflusst die natürliche Abflusssdynamik eines Fließgewässers und stört die ökologische Funktionsfähigkeit. Im Gegensatz zu anderen Eingriffen auf Gewässersysteme wirkt Schwall auf verhältnismäßig langen Fließstrecken.

Die durch Schwall ausgelösten Veränderungen betreffen das Abflussregime, die Flussmorphologie, Hydrologie und den ökologischen Zustand eines Fließgewässers. Diese morphologischen und hydrologischen Degradationen führen in weiterer Folge zu Habitatverlusten für aquatische und semiaquatische Organismen und damit einhergehend zu Veränderungen der Artenzusammensetzung. Auch die Dominanz einzelner Arten und der Rückgang von Arten, verbunden mit einem Verlust an Fischbiomasse sind Folgen. Im Speziellen sind hier im Kies laichende Arten

betroffen. Weiters kann die Betriebsweise schwallverursachender Wasserkraftwerke einen negativen Einfluss auf die Wasserqualität und -quantität haben (Limnex 2004).

In Österreich werden rund 811 km Fließstrecke an 122 Wasserkörpern durch Kraftwerke energietechnisch genutzt und sind als signifikant schwallbeeinflusst eingestuft. Die meisten Kraftwerke mit Schwallbetrieb befinden sich aufgrund geeigneter hydrologischer und geologischer Gegebenheiten in der Forellen- bzw. Äschenregion (Schmutz et al. 2013).

1.2 Definitionen

1.2.1 Schwall & Sunk

Als Schwall bezeichnet man eine anthropogen verursachte, kurzfristige Abflusserhöhung des Wasserspiegels. Der Schwall, und in weiterer Folge das künstliche Ansteigen des Wasserspiegels, entstehen bei der energetischen Nutzung von Wasserkraft durch Kraftwerksbetriebe. Sunk hingegen wird als das Absinken des Wasserspiegels und als die Dotation zwischen zwei Schwallen (Niedrigwasserphase) bezeichnet und stellt das Pendant zu Schwall dar. Sunk tritt in Zeiten mit geringem Strombedarf auf. Diese beiden Szenarien können aufeinanderfolgend mehrmals täglich ablaufen. Die Schwallamplitude, die Wasserspiegeldifferenz von Schwall zu Sunk, beschreibt die Intensität des Vorganges (Limnex 2004).

Schwall gehört laut NGP zu den hydrologischen Belastungen und stellt einen massiven Eingriff in die natürliche Abflussdynamik eines Fließgewässers dar. Zu diesen Belastungen zählt man Beeinträchtigungen der Hydrologie und Morphologie eines Fließgewässers. Weiters stellen auch longitudinale Unterbrechungen der Durchgängigkeit eines Fließgewässers durch Kraftwerke ein großes Problem dar (BMLFUW 2010). Nicht nur die Intensität und Häufigkeit eines Schwall-Sunk-Ereignisses sondern auch die An- und Abstiegsgeschwindigkeit sind ausschlaggebend für das Ausmaß der Auswirkungen. Veränderungen der Flussmorphologie, wie Gewässerquerschnitt, Sohlsubstrat und Uferbeschaffenheit spielen vor allem im fischökologischen Sinn eine bedeutende Rolle (Limnex 2004).

Die sich ändernden Lebensbedingungen in einem von Schwall und Sunk beeinflussten Fließgewässers stellen keinen natürlichen Lebensraum für Fische und

Makrozoobenthos dar. Es kommt zu einem Verlust lebensnotwendiger Habitate (Schmutz et al. 2013). Laut Unfer et al. (2011) weisen schwallbeeinflusste Strecken reduzierte Biomassen und Individuendichten benthischer Invertebraten auf. In weiterer Folge führt dies zu Nahrungsverlusten für Jungfische.

Durch die sich schnell erhöhende Fließgeschwindigkeit kommt es zu einer plötzlichen Stresssituation. Organismen werden vermehrt abgeschwemmt oder verdriftet. Dies kann zu einem Verlust ganzer Jahresbruten führen. Aber auch Erosion von Feinsedimenten und ein zu schneller Rückgang des Wassers stellen Probleme dar (Schmutz et al. 2013). In weiterer Folge stranden Larven und Jungfische (Unfer et al. 2011).

1.2.2 Drift

Needham (1928) hat das Phänomen der Drift eher zufällig entdeckt und als „*the downstream transport of aquatic insects in the current*“ genannt. Unter Drift versteht man die gezielt herbeigeführte oder unfreiwillige Bewegung von Fließgewässerorganismen mit der freien Welle (Jungwirth et al. 2003; Needham 1928). Weiters unterscheidet Waters (1972) Katastrophendrift und Verhaltensdrift, jedoch haben diese Driftarten unterschiedliche ökologische Auswirkungen. Katastrophendrift entsteht typischerweise durch Substratbewegungen und -verlagerungen, verursacht durch Hochwasser, stoßweise chemische Belastungen und physikalische Störungen (Jungwirth et al. 2003). Verhaltensdrift hingegen wird von den Organismen aktiv durchgeführt und durch bestimmte Verhaltensmuster (Nahrungssuche, Konkurrenzvermeidung) gesteuert (Waters 1972).

Katastrophendrift kann auch durch Schwall entstehen. Dabei übersteigt der Schwallabfluss eine für bestimmte Gewässerorganismen verträgliche Höhe, und es kommt zu einem unkontrollierten Abtreiben von Wasserpflanzen und -tieren (Limnux 2004). Natürlicherweise kommt es nur wenige Male pro Jahr bei Hochwassersituationen zu Katastrophendrift. Bei einer intakten Anbindung an Refugialräume (strömungsberuhigte Bereiche in Ufernähe, eingestaute Ufervegetation, Überschwemmungsgebiete und Zubringer) kommt es hingegen zu keinen großen Driftraten (Jungwirth et al. 2003).

Bei Schwallstrecken kann Katastrophendrift jedoch fast täglich auftreten und zum Verlust ganzer Benthosbesiedelungen führen (Baumann und Klaus, 2003). Weiters

stehen die Driftraten in direktem Zusammenhang mit der Erhöhung des Abflusses (Crisp und Hurley 1991; Crisp und Hurley 1991a; Vehanen et al. 2000; Thompson et al. 2011) und der Organismengröße bei Fischen bzw. dem Entwicklungsstadium bei Makrozoobenthos (Heggenes 1988; Hunter 1992; Limnex 2004; Thompson et al. 2011; Young et al. 2011).

1.2.3 Strandung

Strandungsphänomene stellen neben Drift ein weiteres Gefährdungspotential für wasserlebende Organismen dar. Das Absinken des Wasserspiegels (Schwallrückgang) und in weiterer Folge das Trockenfallen der Uferbereiche laufen bei einem Schwallereignis schneller ab als bei einem natürlichen Hochwasserereignis. Die Organismen können sich durch diesen raschen Wechsel in den Randbereichen nicht entsprechen schnell in Richtung Flussmitte zurückziehen und stranden (Limnex 2004).

Zu den wichtigsten Einflussfaktoren zählt man die Abstiegsgeschwindigkeit, Substratzusammensetzung, Spezies, Organismengröße und Tageszeit (Baumann und Klaus 2003; Schmutz et al. 2013; Unfer et al. 2011). Ein verlangsamter Abstieg des Wasserpegels bedeutet für sensible Organismen und Stadien vor allem eine Reduktion des Strandungsrisikos und möglicherweise somit auch eine Reduktion des durch den Schwall verursachten Stresses.

1.3 Die Äsche

Historisch betrachtet war die Äsche (*Thymallus thymallus*; Linnaeus 1758) in weiten Teilen Österreichs verbreitet und wurde als Speisefisch genutzt. Durch morphologische Zustandsveränderungen, Gewässerverunreinigungen, Kontinuumsunterbrechungen und Schwall-Sunk-Szenarien ist der Bestand der Äsche in vielen Flüssen zurückgegangen oder gar verschwunden (Heger 2011).

Ursprünglich war die Äsche so weit verbreitet, dass sogar eine ganze Fischregion nach ihr benannt wurde: die Äschenregion (auch Hyporhithral genannt). Sie liegt im Mittellauf alpiner Fließgewässer unterhalb der Forellenregion (Epi- und Meta-Rhithral) und oberhalb der Barbenregion (Epipotamal) (Dujmic 1997). Für diese Fließgewässer stellt die Äsche die Leit- und Charakterart dar und ist vom Metarhithral

(untere Forellenregion) bis hin zum Epipotamal (Barbenregion) eine häufig zu findende Fischart (Jungwirth et al. 2003).

Die Äschenregion zeichnet sich durch hohe Fließgeschwindigkeiten und einen hohen Sauerstoffgehalt aus. Im Sommer erreicht die Wassertemperatur nur selten über 15°C. Im Vergleich zur oberen und unteren Forellenregion nehmen Strömung und Gefälle ab, die Wasserführung ist hingegen zunehmend. Das Bodensubstrat besteht aus Geröll und grob- bis feinkörnigem Kies. Neben der Leitfischart Äsche findet man häufig Bachforellen, Huchen, Nasen und Regenbogenforellen (Dujmic 1997).

Heute sind die Äschenpopulationen rückläufig. Ein großes Problem stellen Schwall-Sunk-Szenarien für diese kieslaichende Art dar. Unfer et al. (2011) konnte nachweisen, dass es einen kausalen Zusammenhang zwischen Schwall-Sunk-Szenarien und den erhöhten Mortalitätsraten von Äschen-Jungfischen gibt. Weiters führt das Fehlen von entsprechenden Laichhabitaten zu Populationsrückgängen (Nykänen und Huusko 2002).

Die Äsche ist ein Knochenfisch und gehört zur Familie der *Salmonidae*. Sie ist in Europa der einzige Vertreter der Unterfamilie *Thymallinae* sowie der Gattung *Thymallus* (Dujmic 1997).

Die Äsche unterscheidet sich durch ihre markante Rückenflosse deutlich von anderen Salmoniden (Abbildung 1-1). Sie lebt bevorzugt in sauberen und sauerstoffreichen Gewässern des Flussoberlaufes und stellt hohe Ansprüche an ihren Lebensraum.



Abbildung 1-1: männliche und weibliche Äsche (*Thymallus thymallus*) (Esteve 2011)

Die Äsche besitzt im Jahresverlauf unterschiedliche Lebensraumansprüche. So unterscheiden sich die Sommer- von den Winterhabitaten. Im Sommer werden Habitate mit hohem Nahrungsangebot und niedrigem Konkurrenzdruck aufgesucht. In der kalten Jahreszeit wird der Energieverbrauch reduziert und Habitate mit guten Unterständen (Schutz vor Prädation) werden aufgesucht. Das Nahrungsangebot spielt hier eine untergeordnete Rolle (Kirchhofer et al. 2002).

Die Habitate der Äsche unterscheiden sich auch in den verschiedenen Altersstadien. Diese sind mit den wesentlichen Ansprüchen bezüglich Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe und Substratgröße in Abbildung 1-2 dargestellt. Das Larvenhabitat kennzeichnet sich durch geringe Fließgeschwindigkeiten, Wassertiefen und Substratgrößen < 2 mm. Hin zum Jungfischhabitat nehmen diese Parameter zu. Das Jungfischhabitat kennzeichnet sich durch Fließgeschwindigkeiten von 20-40 cm/s, Wassertiefen von 40-60 cm und Schotterbänken mit Substratgrößen von 8-32 mm. Das Adultfischhabitat ist durch Furten, Rinnen und Kolke gekennzeichnet.

Lebenszyklus der Äsche (*Thymallus thymallus*)

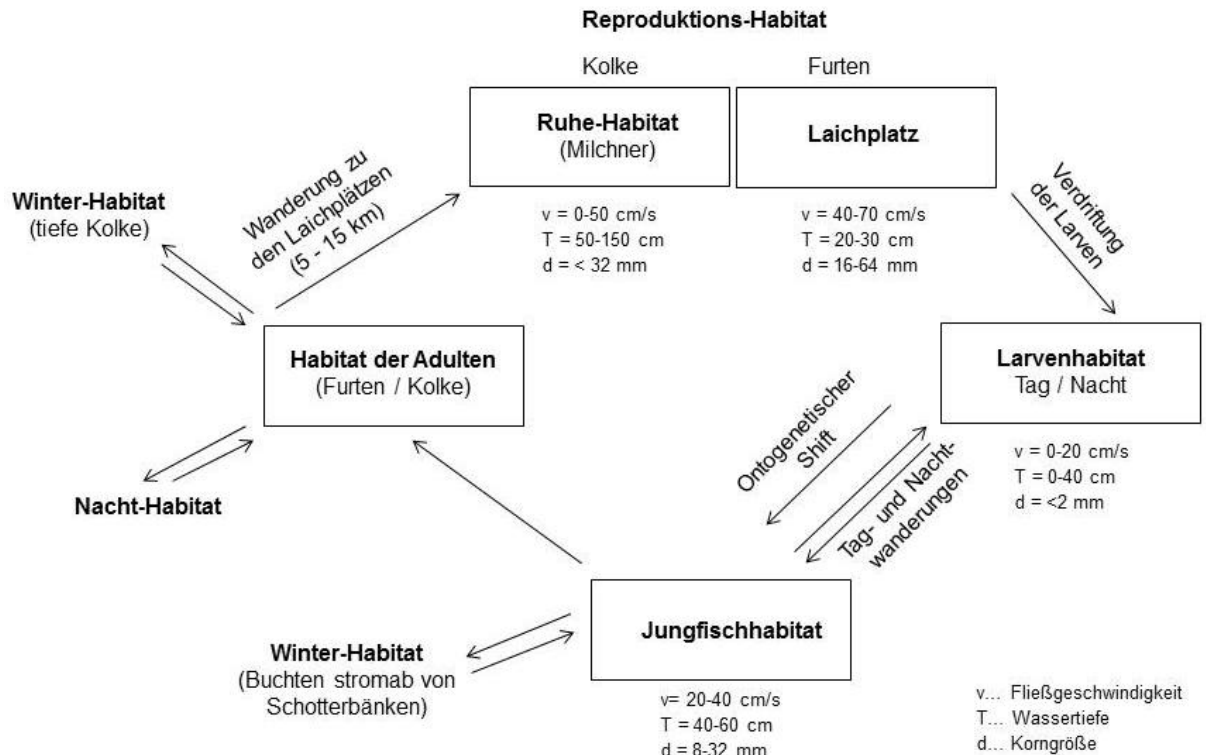


Abbildung 1-2: Lebenszyklus der Äsche (*Thymallus thymallus*) (in: Jungwirth et al. 2003; verändert nach: Sempeski und Gaudin 1995a,b,c,d)

Im Frühjahr werden Laichhabitate aufgesucht die zu 10-20% aus Sand, 50-70% Kies (<2 cm), 20-30% Steinen (2-10 cm) und einem geringen Anteil an größerem Substrat (>10 cm Durchmesser) bestehen. Die flachen Laichmulden werden nur an jenen Stellen angelegt, an denen der Schotterkörper eine Mächtigkeit von mindestens 5 cm aufweist. Die Wassertiefe beträgt im Schnitt 36 cm (30-50 cm) und die Fließgeschwindigkeit 54 cm s⁻¹ (23-90 cm s⁻¹) (Gönczi 1989). Nach Nykänen und Huusko (2002) bevorzugen Äschen Substratgrößen von 16-32 mm, Wassertiefen von 30-40 cm und Fließgeschwindigkeiten von 50-60 cm s⁻¹ für ihre Laichhabitate.

Eine Studie von Unfer et al. (2011) fand heraus, dass sich die Larven im Mai nach dem Emergieren aus den Schotterbänken in hohen Dichten über diesen aufhalten. Im Juni findet man die Larven in geschützten Buchten und nahe den Uferbereichen. Über den Sommer bis hin zum Herbst verlagern sich die Jungfischhabitate wieder auf die Schotterbänke. Es konnte weiters festgestellt werden, dass Jungäschen in den Monaten Juni bis Oktober Bereiche mit Wassertiefen von 5-80 cm und Fließgeschwindigkeiten von 0-10 cm/s bevorzugt aufsuchen. Wie aus dieser Studie ersichtlich wird, halten sich juvenile Äschen mit zunehmendem Alter bevorzugt in tieferen Bereichen mit höheren Fließgeschwindigkeiten auf.

Die Äsche ist in ihrer Entwicklung stark von der Wassertemperatur abhängig. Adulte Fische laichen bei 3,9-9°C ab (Gönczi 1989). Die Eier entwickeln sich in weiterer Folge am besten bei Wassertemperaturen von 8-10°C (Fischereiforschungsstelle Baden-Württemberg 2006). Als Optimalbereich für adulte Äschen werden Temperaturen von 4-18°C angesehen (Dujmic 1997).

Diese Komplexität der Anforderungen der Äschen an ihren Lebensraum zeigt deutlich, dass passenden Bedingungen für alle Altersstadien notwendig sind, um eine stabile Population gewährleisten zu können. In schwallbeeinflussten Gewässern ändern sich die Lebensbedingungen jedoch schlagartig. So kommt es durch Schwall zu einer Änderung der Wassertemperatur. Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe nehmen zu (Limnex 2004). Oftmals sind dann die notwendigen Voraussetzungen für Larven- und Jungfischhabitate nicht mehr gegeben und es kommt zu einem Verlust ganzer Bruten.

Für diesen Versuch wurde die Jungäsche (0+ Äsche) als Versuchsart ausgewählt, da Kraftwerke mit Schwallbetrieb aufgrund topographischer Gegebenheiten vor allem in der unteren Forellenregion und Äschenregion betrieben werden und somit einen

besonders großen Einfluss auf die Leitfischart Äsche ausüben. Vor allem Larven und Juvenile reagieren auf jegliche Veränderungen von optimalen Bedingungen besonders sensibel. In vorangegangenen in vivo als auch in den Experimentierrinnen durchgeführten Versuchen mit Äschenlarven und Jungfischen, haben sich markante Auswirkungen auf diese Altersstadien gezeigt (Schmutz et al. 2013; Unfer et al. 2011; Fohler 2013). Aufgrund dieser hohen Sensibilität erweist sich die Jungäsche als besonders geeignet für diesen Versuch.

1.4 Habitatmodellierung

Einer der Gründe für die Verwendung von Modellierungen und Simulationen ist die Bereitstellung von Entscheidungshilfen in der integrativen Bewirtschaftung von Einzugsgebieten, um ökologisch akzeptable Bedingungen schaffen zu können. Problemfelder können hier die Wasserentnahme und damit einhergehende reduzierte Restwassermengen (residual flow) sowie Schwallbetrieb sein. Die Simulation verschiedener Gestaltungsmöglichkeiten in Konstruktionsverfahren von Kraftwerksanlagen als auch bei Renaturierungsmaßnahmen wird durch solche Modellierungen erleichtert. Weiters können mögliche Betriebsweisen sowie deren Auswirkungen auf hydromorphologische und ökologische Faktoren durch eine Modellierung erleichtert und veranschaulicht werden.

Während der Modellierungsverfahren können für denselben Gewässerabschnitt verschieden Abflüsse simuliert werden, um die Unterschiede in Habitateignungen der verschiedenen Fischarten und Altersklassen aufzeigen zu können.

1.5 Zielsetzungen

Am Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement (IHG) an der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) wurde das Projekt „*Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern - Ökologische Folgen und Sanierungsmaßnahmen*“ bearbeitet. Ziel dieses Projekts war es, Wirkungszusammenhänge und ökologische Folgewirkungen von Schwallscheinungen auf Wasserorganismen besser erklären zu können. Weiters musste das Verständnis zwischen abiotischen Bedingungen und

ökologischen Wirkungen vertieft werden, um die Wirkungsmechanismen und das Ausmaß der Veränderungen verstehen zu können. Das Verständnis dieser Zusammenhänge ist notwendig, um ökologische Maßnahmen zu ermöglichen (Schmutz et al. 2013).

Für dieses Projekt wurde die HyTEC-Versuchsanlage (**H**ydromorphological and **T**emperature **E**xperimental **C**hannel) eigens errichtet, um ein vertieftes Verständnis kausaler Zusammenhänge durch Beobachtung der Reaktion von Fischen auf Schwall- und Sunk-Phänomene unter kontrollierten Bedingungen zu schaffen. An der Anlage werden in erster Linie Versuche durchgeführt, um Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen Schwall/Sunk und den kritischen Entwicklungsstadien (Larve und Jungfisch) der Fische zu untersuchen. In den bisher erfolgten Versuchsreihen wurde und wird die Äsche in unterschiedlichen Altersstadien mit der Bachforelle als bislang bevorzugte Versuchsfischart eingesetzt. In der Schwallrinne können verschiedenen Schwall Szenarien mit unterschiedlichen Amplituden, An- und Abstiegsgeschwindigkeiten experimentell durchgeführt werden. Somit können unter kontrollierten Bedingungen genaue Aussagen getroffen werden, wann wie viele Larven und Jungfische durch Schwall verdriftet sind und potentielle negative Einflüssen quantitativ erfasst werden (Schmutz et al. 2013).

Im Zuge dieser Masterarbeit werden die Auswirkungen von künstlich erzeugten Schwallereignissen in der HyTEC-Versuchsanlage auf Wachstums- und Konditionsentwicklung von Äschen-Jungfischen in zwei Versuchsmonaten (November 2012 und Februar 2013) untersucht. Es wird der Einfluss der Schwallereignisse auf die Höhe der Driftraten aufgezeigt und eine mögliche Adaption der Jungäschen an den Schwall eruiert.

Ziel dieser Arbeit ist es, einen wissenschaftlich belegten Wirkungszusammenhang von Schwalleinfluss auf Wachstums- und Konditionsentwicklung von Äschen-Jungfische aufzuzeigen. Dieser soll als Basis für ein ökologisch verträgliches und nachhaltiges Produzieren von Wasserkraft mittels Schwallbetriebs verwendet werden. Weiters sollen die Ergebnisse dieser Studie als Grundlage für Lösungsansätze in der Schwallproblematik herangezogen werden. Ein weiteres Ziel besteht darin, die Schwallamplituden, den Sunk und die Restwasserdotation so zu

gestalten, dass für Äschen in diesem sensiblen Altersstadium das Überleben gesichert werden kann.

Das Ziel des zweiten Teils dieser Arbeit besteht darin, ein hydraulisches Profil der Experimentierrinne zu modellieren, um in weiterer Folge eine Habitateignungsanalyse durchführen zu können. Die Ergebnisse dieser Analyse werden in einer Synthese mit den Ergebnissen der Schwallversuche kombiniert, um zusätzliche Aussagen über den Schwallfluss unter verschiedenen Habitateignungsbedingungen treffen zu können.

1.6 Fragestellungen und Hypothesen

Im Zuge dieser Masterarbeit werden für die Schwallversuche folgende Fragestellungen bearbeitet und Hypothesen geprüft:

Fragestellung 1 – Anzahl abgedrifteter Jungäschen

Gehen die Driftraten im Laufe der Versuchsreihen (November 2012 und Februar 2013) zurück und gibt es folglich eine Anpassung der Jungäschen an die Schwallereignisse?

Hypothese 1: Mit zunehmender Schwallanzahl in den Versuchszeiträumen nehmen die Driftraten in der Schwallrinne ab.

Fragestellung 2 – Anzahl gestrandeter Jungäschen

Gibt es eine Anpassung des Verhaltens der Jungäschen, um Strandungen im Laufe der Versuchsreihen (November 2012 und Februar 2013) zu minimieren?

Hypothese 2: Mit zunehmender Schwallanzahl in den Versuchszeiträumen nehmen die Strandungsraten in der Schwallrinne ab.

Fragestellung 3:

Gibt es Unterschiede in der Wachstumsentwicklung (Länge und Gewicht) und Ernährungszustandsentwicklung (Konditionsfaktor) der Jungäschen zwischen den Rinnen (Schwall- und Referenzrinne) und Messzeitpunkten (vor, während und nach der Versuchsreihe) differenziert nach den Versuchszeiträumen (November 2012 und Februar 2013)?

Hypothese 3.1: Es gibt in beiden Versuchszeiträumen einen Unterschied zwischen den Rinnen bezüglich Länge [mm] und Gewicht [g].

Hypothese 3.2: Es gibt in beiden Versuchszeiträumen einen Unterschied zwischen den Rinnen bezüglich des Konditionsfaktors.

Hypothese 3.3: Es gibt in beiden Versuchszeiträumen einen Unterschied zwischen (1) den Rinnen **und** (2) den Messzeitpunkten bezüglich Länge [mm] und Gewicht [g].

Hypothese 3.4: Es gibt in beiden Versuchszeiträumen einen Unterschied zwischen (1) den Rinnen **und** (2) den Messzeitpunkten bezüglich des Konditionsfaktors.

Fragestellung 4:

Welchen Einfluss übt die Wassertemperatur auf Wachstumsentwicklung (Länge und Gewicht) und Ernährungszustandsentwicklung (Konditionsfaktor) in den Versuchszeiträumen (November 2012 und Februar 2013) auf die Jungäschen aus, die während der Schwallereignisse abgedriftet sind?

Hypothese 4.1: Die Wassertemperatur hat einen starken Einfluss auf die Wachstumsentwicklung (Länge und Gewicht).

Hypothese 4.2: Die Wassertemperatur hat einen starken Einfluss auf die Ernährungszustandsentwicklung (Konditionsfaktor).

2 Material und Methoden

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Methoden der Schwallversuche (siehe Kapitel 2.1) sowie die Methoden zur hydrodynamischen Habitatmodellierungen (siehe Kapitel 2.2) erläutert.

2.1 Schwallversuche

2.1.1 Beschreibung der HyTEC-Versuchsanlage

Die Marktgemeinde Lunz am See liegt im Ybbstal im südlichen Niederösterreich. Die HyTEC-Versuchsanlage (**H**ydromorphological and **T**emperature **E**xperimental **C**hannel) wurde 2011 erbaut und befindet sich 400 m entfernt vom Seeauslass des Lunzer Sees. Im Gegensatz zu bisher erfolgten Studien und Versuchen im Freiland soll die HyTEC-Versuchsanlage die Möglichkeit bieten unter semilaboralen Bedingungen Versuche durch zu führen, bei denen auf einige ausschlaggebende Faktoren Einfluss genommen werden kann. In der Natur schwankende Einflussfaktoren, wie Wassertemperatur, Wasserstände und -verfügbarkeiten, Nahrungsmenge und -verfügbarkeit, sollen hier ausgeschlossen werden können. Da es sich um ein baulich abgeschlossenes System handelt, welches für Fische nicht migrierbar an den Lunzer Seebach angeschlossen ist, besteht in den Experimentierrinnen auch kein Prädationsrisiko für die Versuchsindividuen.

Die Anlage besteht im Wesentlichen aus vier Elementen (Abbildung 2-1):

- Wasserentnahme (Oberflächen- und Tiefenentnahme)
- Transportwasserleitung (Druckrohrleitungen)
- Messstation mit Schieberkammer und Rundbecken
- Versuchsrinnen

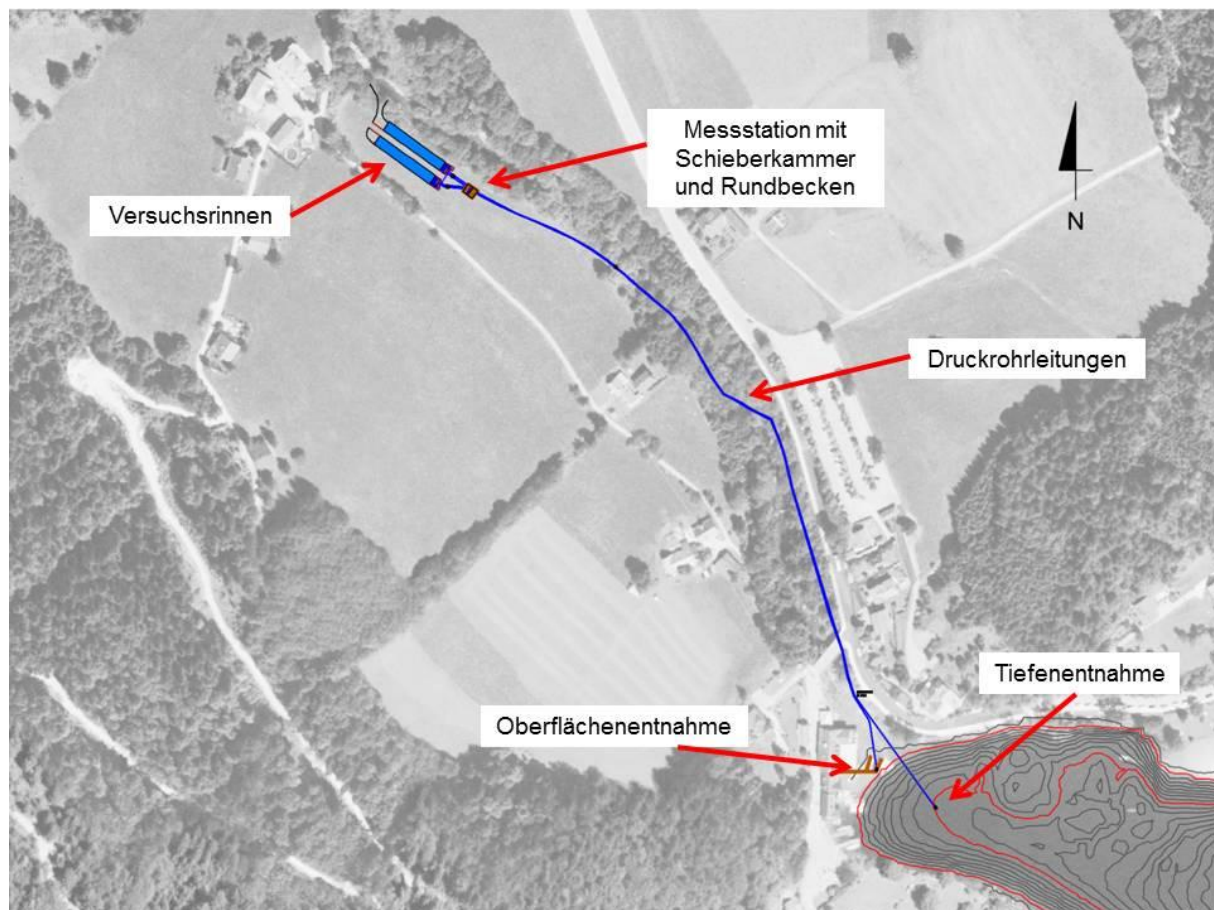


Abbildung 2-1: Schemaskizze der HyTEC-Versuchsanlage (verändert nach: Schmutz et al. 2013)

Die HyTEC-Versuchsanlage befindet sich auf 600,90 m Ü.A. Der Seeauslass liegt auf 608,05 m Ü.A. Aufgrund dieser topographischen Unterschiede ergeben sich eine Wasserspiegeldifferenz von 7,15 m und ein durchschnittliches Gefälle von 13‰ für die Druckrohrleitungen.

Wasserentnahme (Oberflächen- und Tiefenentnahme)

Die Wasserentnahme erfolgt über zwei DN400 Druckrohrleitungen (= nominaler Durchmesser 0,4 m) aus dem Lunzer See. Um die Wassertemperatur über einen gewünschten Versuchszeitraum konstant halten zu können, wurden die Entnahmestellen entsprechend gewählt. Die Oberflächenleitung liefert oberflächennahes, im Sommer wärmeres Wasser (Warmwasserleitung). Über die Tiefenleitung kann aus rund 10 m Tiefe konstant kühles Wasser entnommen werden (Kaltwasserleitung). Je nach Temperaturvorgabe des Versuches kann die Wassertemperatur mittels Regelsteuerung in der Anlage im gewünschten Verhältnis aus Oberflächen- und Tiefenleitung geregelt werden. Die Leitungseinlässe wurden

mit einem Reusengitter mit 2 cm Maschenweite gegen das ungewollte Ansaugen von Schwimmern, Tauchern oder Fischen versehen und am Seegrund (Tiefenleitung) bzw. am Steg (Oberflächenleitung) verankert.

Transportwasserleitungen (Druckrohrleitungen)

Mit einem Maximaldurchfluss von 300 l/s je Druckrohrleitung werden die Versuchsrinnen ständig mit einer Mindestdotation über die DN400 Druckrohrleitungen versorgt, welche aus einem Glasfaserkunststoffgemisch (Stahl und Glasfaser verstärktes, ungesättigtes Polyesterharz) bestehen. Bei Bedarf kann während eines Versuches der Durchfluss auf das gewünschte Maß, bis maximal 600 l/s, erhöht werden.

Messstation mit Schieberkammer und Rundbecken

Die zwei Versorgungsrohre führen unter der Messstation in die Schieberkammer. Unmittelbar davor teilen sie sich in je zwei weitere Rohrstränge pro Rinne auf. So können beide Rinnen mit Kalt- und Warmwasser versorgt werden. Durch motorisierte Plattenschieber werden die Durchflüsse in die Rinnen reguliert und gesteuert.

Zwischen der Schieberkammer und den vier Rohrauslässen in die Versuchsrinnen befindet sich an jedem Rohr ein Ultraschallmessgerät (1-Pfad Messung, Typ-RISONIC 2000 Sensoren Typ A, Firma Rittmeyer). Diese ermitteln die Durchflussmengen der Rohre und leiten die Messungen an die Kontroll- und Steuerungseinheit weiter. Im Kontroll- und Steuerungsmodul RISONIC (Komponenten: RISONIC Controller und RISONIC Ultraschall-Laufzeit) werden die Daten verarbeitet und die Durchflusswerte angezeigt. Im fünf-Minutentakt werden die Daten gespeichert.

Die Schieberkammer befindet sich unter einem Holzhaus direkt unter der Geländekante. Weiters beinhaltet die Messstation Mess- und Regelinstrumente, Einrichtungen zum Vermessen, Wiegen und Erfassen der Versuchsindividuen, sowie drei Rundbecken. Die Rundbecken befinden sich unter der überdachten Rückseite der Messstation und weisen einen Durchmesser von 2 m auf. Alle drei Becken werden ständig mit Wasser aus Oberflächen- und Tiefenleitung versorgt.

In den Mischbecken (Tosbecken) werden die Wassermengen aus der Kalt- und Warmwasserleitung mittels einer Prallwand aus Holz, welche in etwa 1,5 m von den Rohrauslässen entfernt ist, gemischt und beruhigt, um der Temperaturanforderung der jeweiligen Versuchsanordnung zu entsprechen.

Eine Bentonit-Dichtungsbahn dichtet die Rinnen gegen Versickern des Wassers in den Untergrund ab. Darüber wurde ausreichend Flussschotter angebracht. Je nach Versuchsanforderung kann diese Flussschotterzusammensetzung hinsichtlich Geometrie und Größe entsprechend angepasst werden. Auch hinsichtlich anderer Merkmale sind die Rinnen variabel gestaltbar. So sind Versuche mit verschiedenen ausgestalteten Gerinnegeometrien und unterschiedlichen Flussgestaltungselementen (Mulden, Buchten) möglich.

Eine Damm-Balken-Konstruktion am Ende der Experimentierrinnen kontrolliert den Rückfluss in den Lunzer Seebach. Stromabwärts sind an dieser Konstruktion Auffangnetzte angebracht, welche in sieben Segmente aufgeteilt sind. Die Jungäschen können so gezielt aufgenommen und weiteren Untersuchungen zugeführt werden.

2.1.2 Beschreibung von Schwallrinne und Referenzrinne

Um eine vergleichbare Situation zu schaffen wurden beide Rinnen hinsichtlich Geometrie, Sohlsubstrat und Ausformung des Rinnengrunds ident gebaut. Die maximal benetzte Breite beträgt 6 m auf einer Länge von 40 m. Die spiegelverkehrt angelegten Rinnen sind zur Mitte hin mit einer Holz-Stahl-Konstruktion befestigt. Diese halbiert den nachempfundenen natürlichen Flusslauf der Länge nach, um auch bei Wasserknappheit, vor allem im Winter, genügend breite Ufergeometrien erhalten zu können. Weiters wird dadurch in der Mitte ein begehrbarer Damm geschaffen.

Die rote Umrandung in Abbildung 2-3 kennzeichnet die Versuchsabschnitte von Schwall- und Referenzrinne, in welchen sich die Jungäschen während der Versuchsreihen befunden haben. In der Mitte der Rinnen (orangener Balken) wurden quer zur Fließrichtung Holzwände angebracht, um eine Ausbreitung der Versuchsindividuen in den oberen Bereich der Rinnen zu verhindern. Die Wasseranschlagsbreite ist bei Sunk (25 l/s – durchgehende hellblaue Linie), bei 125 l/s (kurz strichlierte hellblaue Linie) und bei Schwall (400 l/s – lang strichlierte hellblaue Linie) erkennbar.

Rinne 2 (orogr. links)



Abbildung 2-4 zeigt Schwall- und Referenzrinne während eines Schwallereignisses. Der Unterschied von Schwall (400 l/s – links im Bild) zu Sunk (25 l/s – rechts im Bild) ist deutlich zu erkennen. In der Referenzrinne ist das installierte Lochblech gut zu sehen. Dieses verhindert das ungewollte Abdriften der Jungäschen in der Referenzrinne. Weiters sind in der Mitte beider Rinnen die Futterautomaten (siehe Kapitel 2.1.14) und die quer zur Fließrichtung angebrachten Holzwände erkennbar.

Abbildung 2-4 zeigt Schwall- und Referenzrinne während eines Schwallereignisses. Der Unterschied von Schwall (400 l/s – links im Bild) zu Sunk (25 l/s – rechts im Bild) ist deutlich zu erkennen. In der Referenzrinne ist das installierte Lochblech gut zu sehen. Dieses verhindert das ungewollte Abdriften der Jungäschen in der Referenzrinne. Weiters sind in der Mitte beider Rinnen die Futterautomaten (siehe Kapitel 2.1.14) und die quer zur Fließrichtung angebrachten Holzwände erkennbar.



Abbildung 2-4: Schwallrinne (links) und Referenzrinne (rechts) während eines Schwallereignisses (eigene Aufnahme 2012)

2.1.3 Berechnung der Fließgeschwindigkeit

Zur Ermittlung der Fließgeschwindigkeit bei der Grunddotierung von 25 l/s und während des Schwalls mit 400 l/s wurde das mobile Gerät FLO-MATE 2000 (Marsh-McBirney, INC.) eingesetzt. Dieses Gerät ermittelt im magnetisch-induktiven Verfahren die Fließgeschwindigkeit in m/s auf zwei Kommastellen genau. Der Zufluss wurde über das Steuerungsmodell RISONIC geregelt (siehe Kapitel 2.1.1).

Die Messungen wurden bei der 10 m Markierung im Versuchsabschnitt, bzw. bei der 30 m Markierung der Gesamtrinne vorgenommen. Von der senkrechten Holzwand bis zum Wasseranschlag wurde alle 15 cm ein Messpunkt gesetzt. An jedem Messpunkt wurde der erste Wert 5 cm über der Gewässersohle ermittelt. In 5 cm Schritten wurde dann die Fließgeschwindigkeit bis zur Wasseroberfläche hin ermittelt. An jenen Messpunkten, an denen die Wassertiefe weniger als 5 cm betrug, wurde die Fließgeschwindigkeit aus dem letztmöglich gemessenem Wert extrapoliert. Bei einer Grunddotierung von 25 l/s lag der Wasseranschlag bei 1,80 m, während des Schwalls (400 l/s) bei 4,65 m. Somit ergibt sich eine wechselfeuchte Zone von 2,85 m (Abbildung 2-5). Die Wasserspiegeldifferenz von Schwall zu Sunk betrug 16,4 cm. Anhand der Messung wurde eine Gerinne-Querneigung von 6% ermittelt.

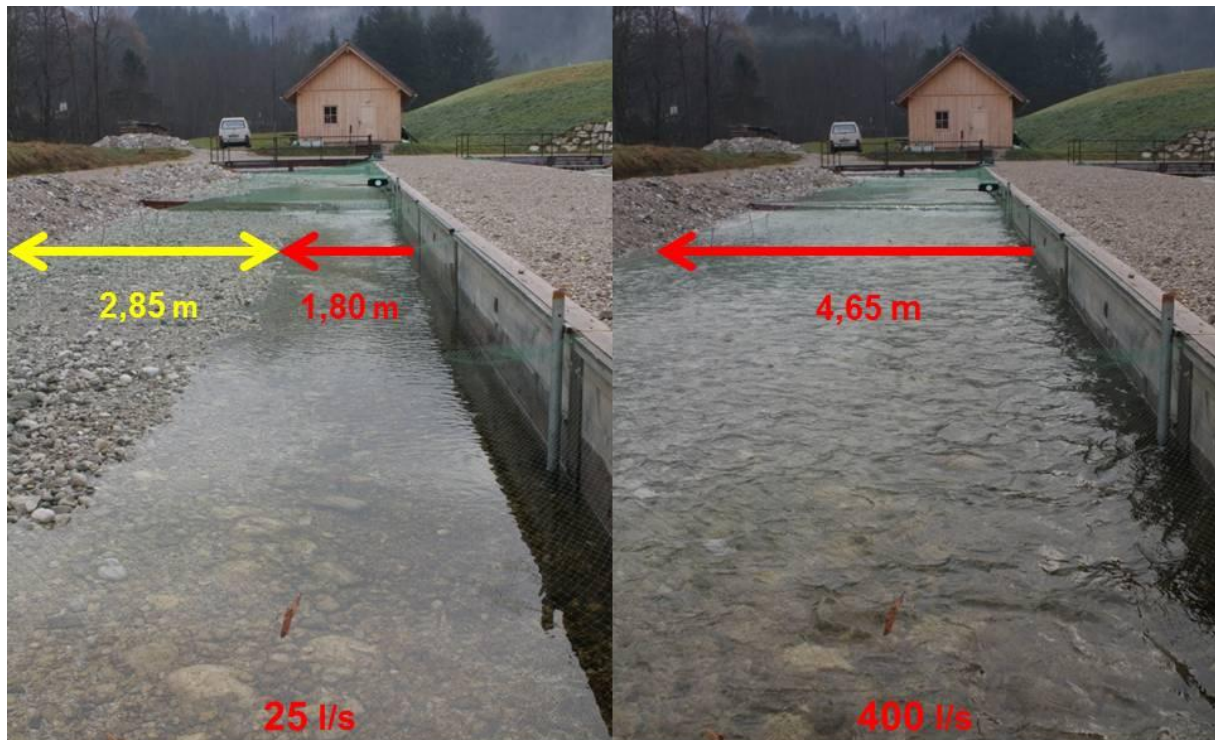


Abbildung 2-5: Wasseranschlag und wechselfeuchte Zone bei Sunk (25 l/s) und Schwall (400 l/s) (eigene Aufnahme 2012)

Die Auswertung der aufgenommenen Daten für die Geschwindigkeitsverteilung wurden mit der Software Surfer10 erstellt. Die Interpolation der räumlich verteilten Fließgeschwindigkeiten und die Erstellung der Isotachen erfolgten ebenfalls über dieses Programm. Die Darstellung der Isotachen wurde in einem nächsten Schritt in ACAD exportiert, um das Profil der Sohlhöhe aus der tachymetrischen Vermessung zu rekonstruieren.

In Abbildung 2-6 sind die gemessenen Fließgeschwindigkeiten in m/s für die Grunddotationen von 25 l/s (oben) und bei Schwall von 400 l/s (unten) ersichtlich. Vor allem bei Schwall kann man an der Gewässersohle und zum Ufer hin eine verlangsamte Fließgeschwindigkeit im Vergleich zum Hauptstrom erkennen. In der Mitte sind Fließgeschwindigkeiten von bis zu 0,85 m/s ablesbar. Bei der Grunddotations gibt es geringere Unterschiede der Fließgeschwindigkeiten, die sich auch in der geringeren Anzahl der Isotachen zeigen.

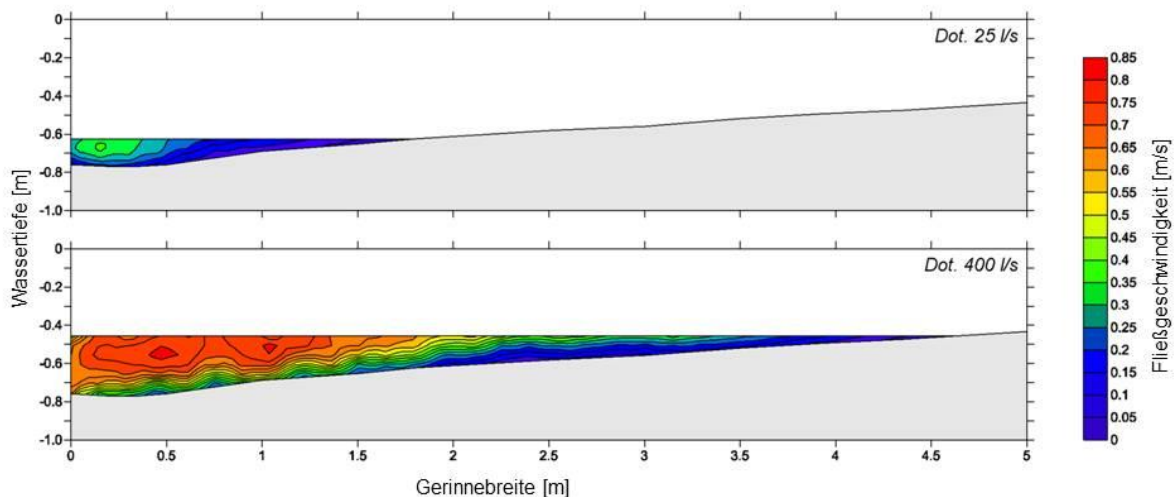


Abbildung 2-6: Fließgeschwindigkeiten in m/s für die Sunkdotations von 25 l/s (oben) und bei Schwall von 400 l/s (unten)

2.1.4 Berechnung der Schwallganglinie

Für eine möglichst präzise Beschreibung der Schwallparameter und um mögliche Abweichungen von programmierten zu tatsächlichen Schwallkennwerten zu detektieren, wurde die Schwallganglinie mittels Drucksonden-Messungen (DS) ermittelt. Weiters soll mit diesem Versuch eine exakte Beschreibung der Anstiegs- und Abstiegsgeschwindigkeiten ermöglicht werden.

Für diesen Versuch wurden modulare Drucksonden (Datenloggersonden) der Firma AquiTronic verwendet. Der Zufluss wurde ebenfalls über das Steuerungsmodell RISONIC geregelt (siehe Kapitel 2.1.1).

Versuchsaufbau

Hierfür wurde eine Stationierung der Sonden in der Rinne bei den Metern 24, 30 und 36 gewählt. Die angegebenen Pegel über den Sonden sind relativ zu betrachten. Die nachfolgenden Werte für die Wasserspiegelabstiche und Pegel wurden bei Sunk gemessen. Der Wasserspiegelabstich beträgt für Sonde 1 -0,68 m, für Sonde 2 -0,62 m und für Sonde 3 -0,57 m. Der Pegel liegt bei 600,14 m Ü.A. an Sonde 1, 600,14 m Ü.A. an Sonde 2 und bei 600,13 m Ü.A. an Sonde 3. Die Wandoberkante liegt bei 600,75 m Ü.A. und das Gefälle zwischen den Drucksonden beträgt 0,08%.

Die Dotation bei Sunk beträgt geplanter Weise konstante 25 l/s und der Anstieg sowie der Abstieg sollen zwei Minuten dauern. Der Schwall wurde für 20 Minuten mit einer Dotation von 400 l/s programmiert.

Anstieg

Wie jedoch bereits aus der folgenden Abbildung 2-7 ersichtlich wird, ergibt sich eine ein- bis eineinhalb minütige Verzögerung der Wasserspiegeländerung durch Retention vom Rinneneinlauf bis zum unteren Versuchsabschnitt (ab Meter 20). Es gilt zu beachten, dass der programmierte Anstieg (gestrichelte Linie) ohne Stationierung in der Rinne berechnet wurde und zu betrachten ist. Die Drucksonden 1-3 hingegen wurden im unteren Teil der Rinne bei den Metern 24, 30 und 36 positioniert. Dieser Faktor kann erklären, warum es zu einer zeitlichen Verschiebung der Wasserspiegelhebung (bzw. -absenkung) in der Rinne kommt.

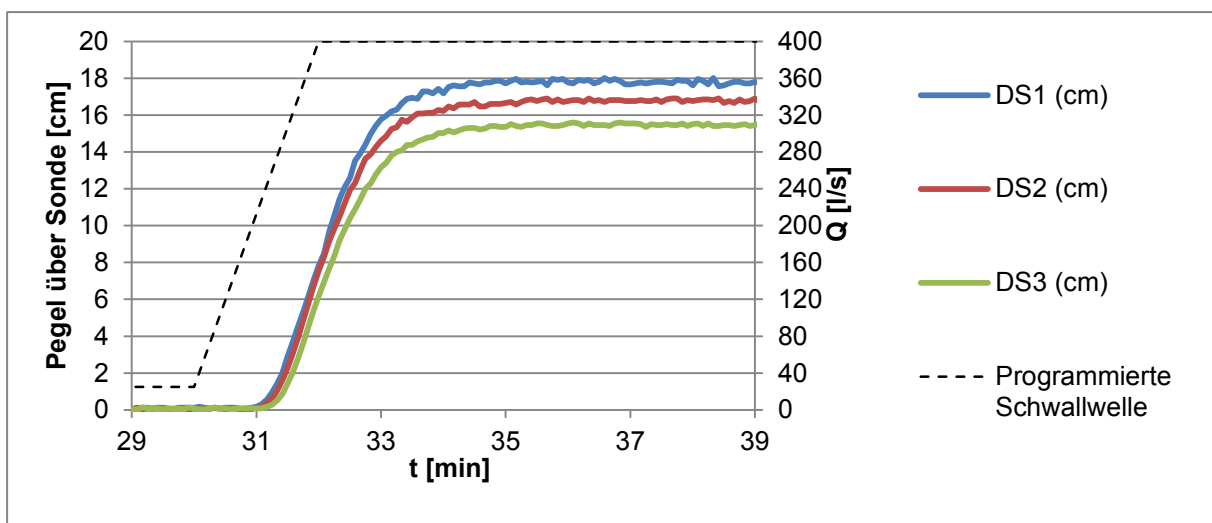


Abbildung 2-7: programmierter und tatsächlicher Anstieg der Schwallganglinie

Erst während des Anstiegs selbst relativiert sich die Retention im Längsverlauf des unteren Abschnitts (siehe Überschneidung der roten und blauen Ganglinien in Abbildung 2-7).

Schwall

Während des Schwall (Abbildung 2-8) gibt es Differenzen der Messwerte zu den programmierten Werten. Auch zeigen die gemessenen Werte der Sonden 1-3 untereinander Abweichungen.

Die geplante Dotation von 400 l/s wurde während des Versuchs nicht erreicht. Eine Abweichung vom programmierten Wert von bis zu 80 l/s konnte festgestellt werden. Die Wasserspiegeldifferenz von 20 cm zwischen Sunk und Schwall wurde bis zu einem Viertel unterschritten.

Über den gesamten Schwallzeitraum zeigt sich zwischen den Sonden 1-3 eine Wasserspiegeldifferenz von bis zu 2 cm und eine Abweichung der Dotation von bis zu 60 l/s.

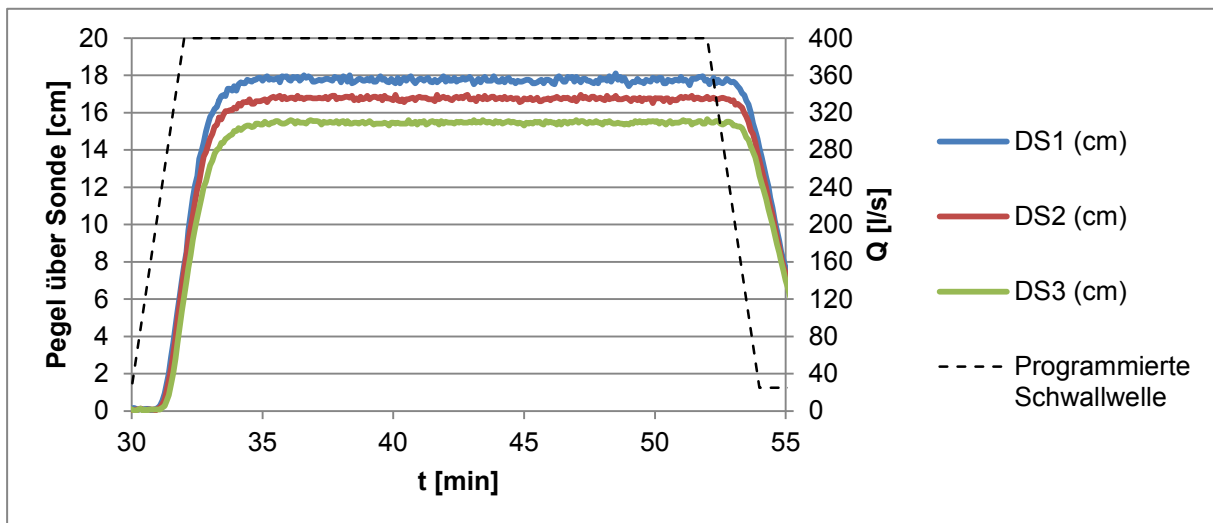


Abbildung 2-8: programmierte und tatsächliche Schwallganglinie

Abstieg

Wie schon beim Anstieg zeigt sich auch hier eine Retention der eingeleiteten Wassermengen. Die Verzögerung beim Abfließen des Wassers beträgt ebenfalls rund eine Minute. Auch hier kommt es während der Phase des Abstiegs zu einer Überlagerung der Ganglinien, da sich auch hier die zeitliche Verzögerung zwischen den Sonden relativiert (Abbildung 2-9).

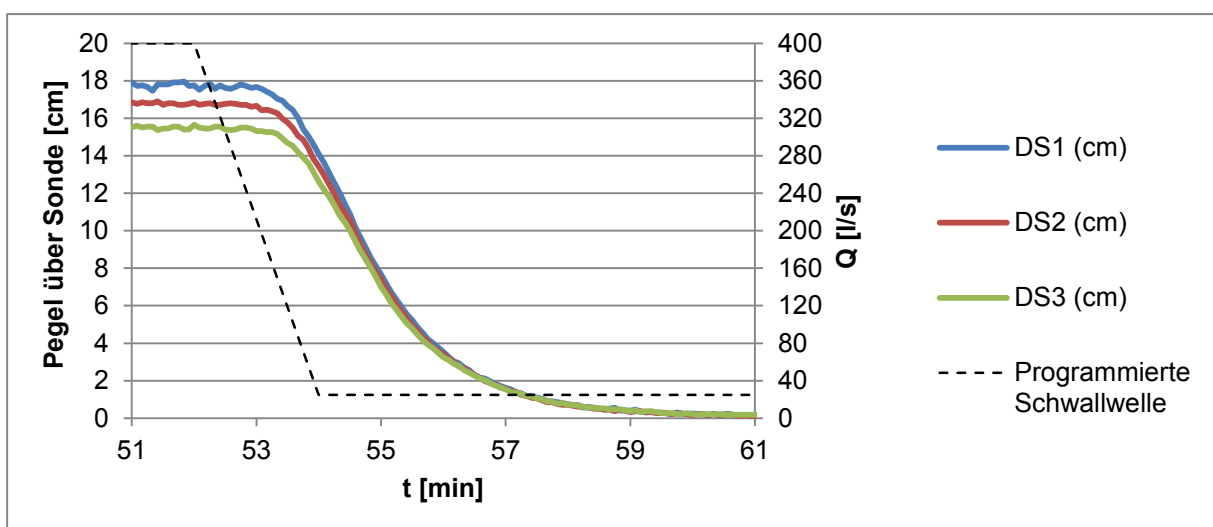


Abbildung 2-9: programmierter und tatsächlicher Abstieg der Schwallganglinie

Spezifische Anstiegsgeschwindigkeiten

Anhand des Vergleichs der Abbildung 2-10, Abbildung 2-11 und Abbildung 2-12 und den daraus ablesbaren spezifischen Anstiegsgeschwindigkeiten (7,4 cm/min an Sonde 1; 7,0 cm/min an Sonde 2; 6,8 cm/min an Sonde 3) wird ersichtlich, dass mit zunehmendem Abstand vom Ursprung der Schwallwelle die spezifischen Anstiegsgeschwindigkeiten abnehmen. Die Varianz beträgt hier rund 0,6 cm/min von der ersten bis zur dritten Drucksonde bei einem Gesamtabstand von nur 12 Metern.

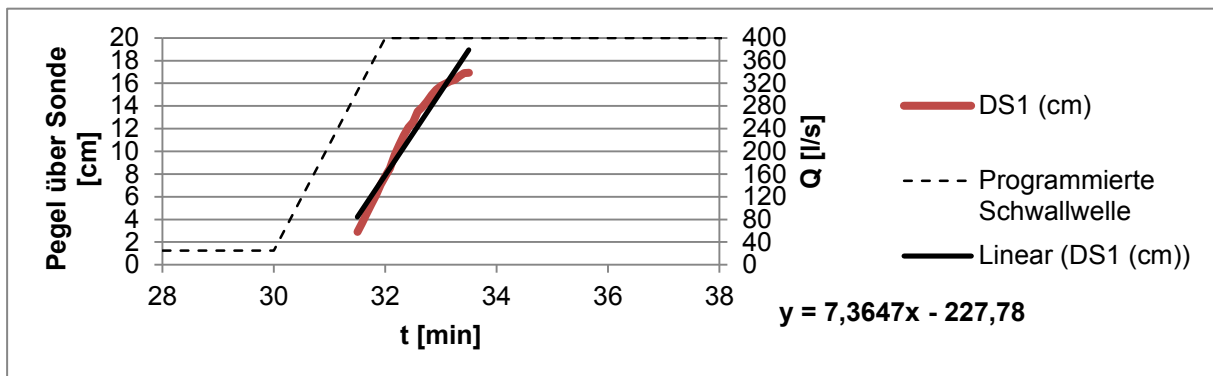


Abbildung 2-10: spezifische Anstiegsgeschwindigkeit Drucksonde 1

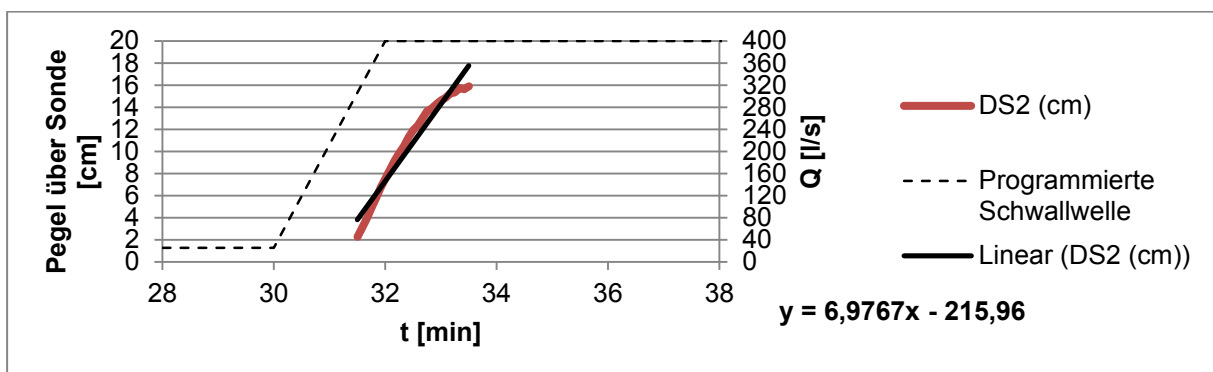


Abbildung 2-11: spezifische Anstiegsgeschwindigkeit Drucksonde 2

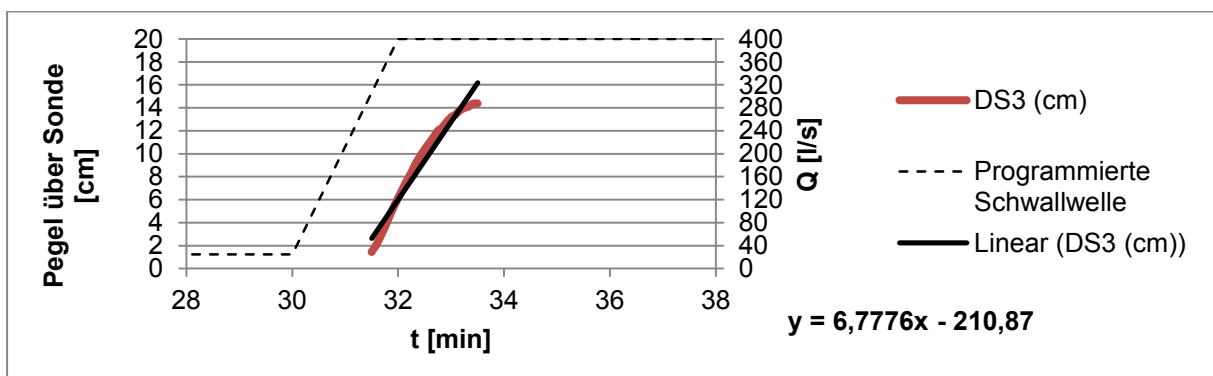


Abbildung 2-12: spezifische Anstiegsgeschwindigkeit Drucksonde 3

Spezifische Abstiegspeedigkeiten

Auch bei den spezifischen Abstiegspeedigkeiten lässt sich ein abnehmender Trend von der ersten bis zur dritten Sonde beobachten (Abbildung 2-13, Abbildung 2-14, Abbildung 2-15). Die spezifischen Werte liegen hier zwischen -4,6 und -4,1 cm/min und liegen somit unter den spezifischen Anstiegswerten von 7,4-6,8 cm/min. Hieraus lässt sich möglicher Weise eine Retention ablesen, die von der Rinnenstruktur- und geometrie sowie dem Substrat abhängig ist. Durch ebendiese Gegebenheiten erkennt man ein langsames Auslaufen der Wassermengen als dies beim Einlauf zu beobachten ist.

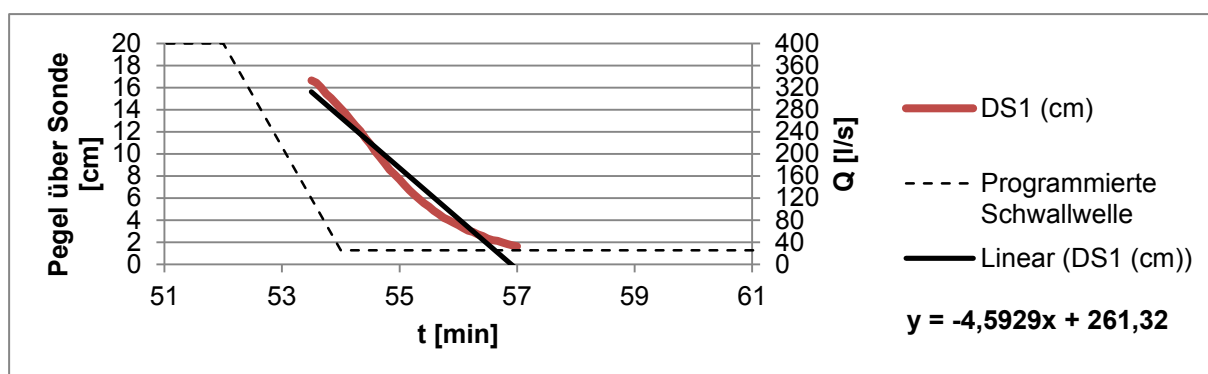


Abbildung 2-13: spezifische Abstiegspeedigkeit Drucksonde 1

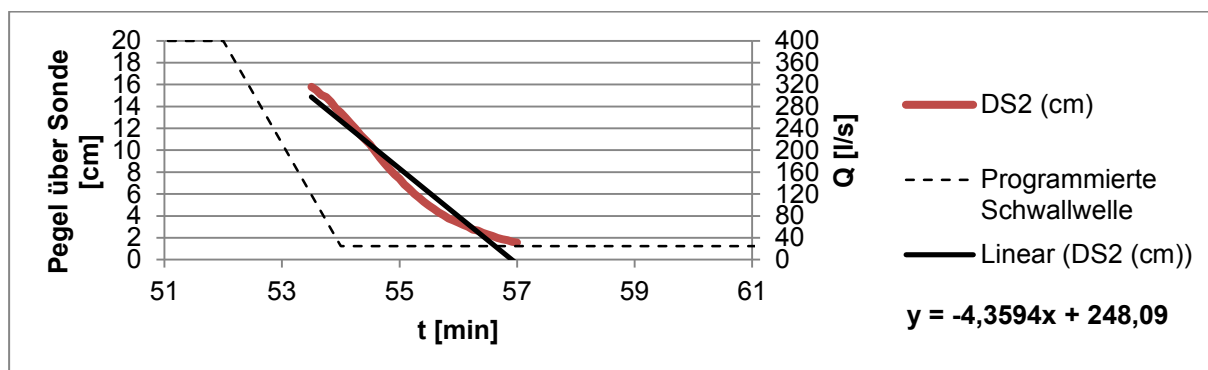


Abbildung 2-14: spezifische Abstiegspeedigkeit Drucksonde 2

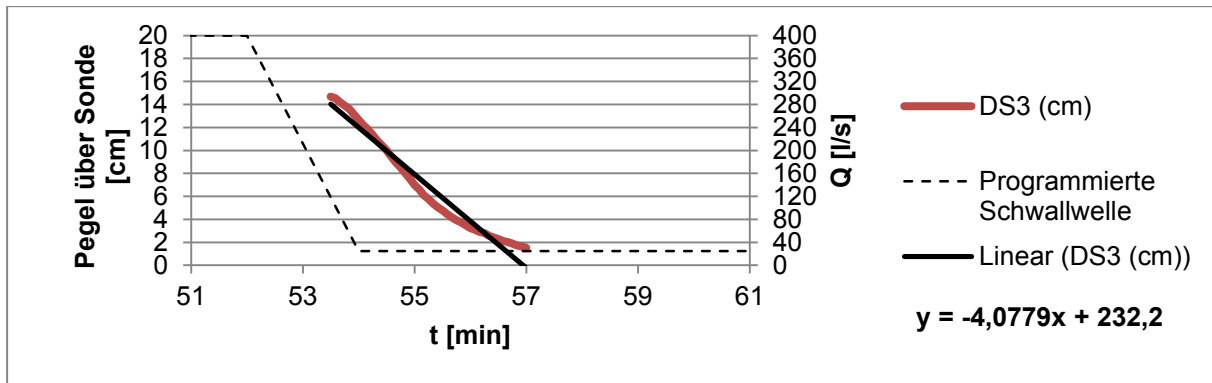


Abbildung 2-15: spezifische Abstiegs geschwindigkeit Drucksonde 3

Betrachtet man das Querprofil der Rinnen wird ersichtlich, dass die Auswirkungen der Schwallwelle mit ihren spezifischen An- und Abstiegsparametern vor allem die wechselfeuchte Zone beeinflussen. Für Organismen die sich in diesem Bereich aufhalten, bedeuten höhere An- bzw. Abstiegs geschwindigkeiten mehr Stress und vor allem auch die Gefahr von Strandung (siehe Kapitel 1.2.3) bei zu raschem Absinken des Wasserspiegels nach Ende des Schwall.

2.1.5 Herkunft und Aufzucht der verwendeten Jungäschen (0+ Äschen)

Für diesen Versuch wurde eine Art ausgewählt, welche einen ausgedehnten Lebensraum im Österreich bewohnt: die Äsche (siehe Kapitel 1.3).

Die Elterntiere stammen von einem Wildfang aus der Ybbs Anfang März 2012. Das Abstreifen der Samen und Eier erfolgte in der Fischzucht Füsselsberger. Hier fand ebenfalls die Befruchtung statt. Ab dem Augenpunktstadium wurde ein Teil der Eier direkt in den Rundbecken der HyTEC-Versuchsanlage weiter betreut und fertig ausgebrütet. Mittels Wassertemperatursteuerung über Oberflächen- und Tiefenleitung wurde die Entwicklung der Eier zu einem gewünschten Schlupftermin hin gesteuert. Mitte Mai 2012 waren alle Larven fertig ausgebrütet.

Die Ernährung der Individuen erfolgte bis Anfang September 2012 ausschließlich mittels Seeplanktons. Danach kam Kunstfutter zum Einsatz, welches über automatische Futterspender abgegeben wurde (siehe Kapitel 2.1.14).

2.1.6 Vermessung der Jungäschen (0+ Äschen)

Alle verwendeten Jungäschen (0+ Äschen) wurden vor und nach dem Versuch hinsichtlich Länge und Gewicht vermessen. Fische, die während der

Schwallereignisse Driftverhalten gezeigt haben, wurden direkt im Anschluss vermessen. Aus diesen beiden Parametern, Länge und Gewicht, wurde in weiterer Folge der Konditionsfaktor nach Fulton berechnet (siehe Kapitel 2.1.9).

Für alle Versuchsstandorte (Schwall- und Referenzrinne, sowie Rundbecken) wurden die Vermessungen der Jungäschen getrennt vorgenommen. Die Individuen wurden dafür zufällig aus dem Rundbecken entnommen und in entsprechenden Behältnissen verwahrt. Für die Vermessung kamen 10-20 Individuen in einen separaten Kübel mit einer Wasser-Nelkenöl-Mischung. Es wurden 3-5 Tropfen Nelkenöl für 7 Liter Wasser verwendet. Nelkenöl hat eine narkotisierende Wirkung auf Fische und ermöglicht so eine stressminimierende Vermessung (Hamackova et al 2006). Trotzdem wurde darauf geachtet möglichst schnell zu arbeiten, um die Zeit in Narkose so kurz wie möglich zu halten. Nach Einsetzen der Wirkung des Nelkenöls, die Latenzzeit betrug etwa drei bis fünf Minuten, wurden die Fische raschest möglich vermessen. Hierfür wurde jede Jungäsche einzeln entnommen und auf eine mit Wasser gefüllte Längenmessschale gelegt und in Millimetern [mm] von Kopf bis Schwanzende vermessen (Abbildung 2-16).



Abbildung 2-16: Jungäsche auf Längenmessschale (eigene Aufnahme 2012)

Im nächsten Schritt kam die Äsche direkt in einen mit Wasser gefüllten Behälter, welcher auf einer Waage (Mettler Toledo, Classic Light, PL1502-S) stand, um das Gewicht in 100stel Gramm [g] zu ermitteln. Anschließend kamen die vermessenen Fische in einen separaten Bereich im Rundbecken. Um die narkotisierende Wirkung

des Nelkenöls aufzuheben wurden die vermessenen Individuen mit sauerstoffreichem Frischwasser ausgenüchert.

Sowohl am Anfang, als auch am Ende der Versuchsreihen wurden alle Vermessungen von derselben Person durchgeführt, um Abweichungen von der standardisierten Behandlung auszuschließen. Die Vermessungen während des Schwall von in Drift gegangenen Jungäschen wurden von der jeweils anwesenden Person nach dem gleichen Muster ausgeführt.

Nachdem alle Jungäschen für Schwall- und Referenzrinne vermessen waren, erfolgte der Besatz in den entsprechenden Bereich der jeweiligen Rinne (vgl. Abbildung 2-3).

2.1.7 Anzahl der Jungäschen (0+ Äschen)

Vor Versuchsbeginn wurden für jeden Versuchszeitraum (November 2012 und Februar 2013) für Schwall- und Referenzrinne je 250 Individuen aus dem Rundbecken entnommen und vermessen. Aus diesen 500 Vermessungen pro Versuchszeitraum wurden mittels Zufallszahlentafel weitere 250 Vermessungen als Vergleichswerte für das Rundbecken vor Versuchsbeginn ermittelt.

Nach Versuchsende wurden Schwall- und Referenzrinne mittels Elektrobefischung befischt, um die verbliebenen Individuen vermessen zu können. Für Vermessungsdaten aus dem Rundbecken wurden 250 Individuen erneut aus diesem entnommen und vermessen. Diese Vorgehensweise wurde sowohl im November 2012 als auch im Februar 2013 angewandt.

Im November 2012 ergab sich so eine Summe von 500 Vermessungen an Jungäschen und 250 aus diesen generierte Daten vor Versuchsbeginn. 93 Vermessungen erfolgten an in Drift gegangenen Individuen während der Schwallereignisse. Weitere 551 Vermessungen wurden nach Versuchsende an Jungäschen der Schwall- und Referenzrinne sowie des Rundbeckens durchgeführt.

Im Februar 2013 waren es ebenfalls 500 Vermessungen an Versuchsindividuen und 250 generierten Daten vor dem Beginn der Versuchsreihe. Während des Schwallbetriebes wurden 77 Vermessungen an Jungäschen durchgeführt. 579 Vermessungen wurden an Individuen nach Ende des Versuchs aus Schwall- und Referenzrinne sowie Rundbecken durchgeführt.

In Summe wurden somit über beide Versuchszeiträume 2300 Vermessungen an 1500 Jungäschen durchgeführt. Weiters wurden 500 Daten für das Rundbecken generiert, dies ergibt in Summe somit 2800 Vermessungsdaten. 1394 Vermessungsdaten entstammen dabei aus November 2012. Die restlichen 1406 Vermessungsdaten wurden im Februar 2013 erhoben.

Abbildung 2-17 veranschaulicht die erhobenen Vermessungsdaten differenziert nach Versuchszeiträumen (November 2012, Februar 2013), Versuchsstandorten (Schwall- und Referenzrinne, Rundbecken) und Messzeitpunkten (vor, während, nach).

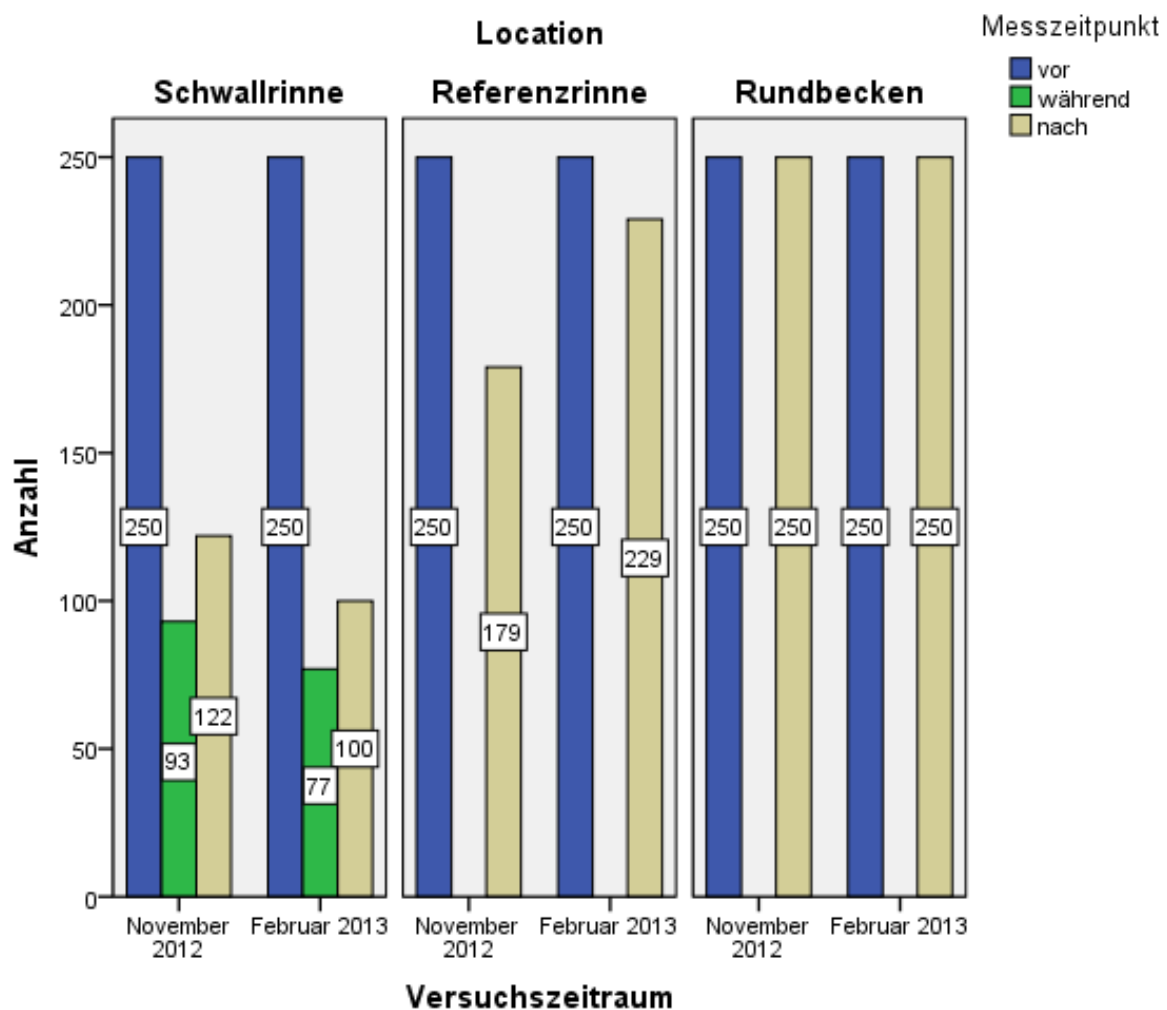


Abbildung 2-17: Anzahl der erhobenen Vermessungsdaten nach Versuchszeiträumen, Versuchsstandorten und Messzeitpunkten

Die Differenzen in der Anzahl an durchgeführten Vermessungen an Jungäschen in Schwall- und Referenzrinne vor und nach den Versuchsreihen sind nicht eindeutig geklärt. Es besteht die Möglichkeit, dass einzelne Individuen, zum Beispiel durch

Prädation, unbemerkt aus den Versuchsrinnen ausgeschieden sind. Es ist auch möglich, dass nach Versuchsende nicht alle Jungäschen durch die Elektrofischung erfasst werden konnten. Diese Vermutungen können für beide Rinnen in beiden Versuchszeiträumen angenommen werden.

2.1.8 Gemittelte Werte nach Versuchszeiträumen

Die folgenden Angaben über die Vermessungsdaten der Jungäschen sind gemittelte Werte von Länge, Gewicht und Konditionsfaktor über die Loci, Schwall- und Referenzrinne sowie Rundbecken, jedoch mit einer Unterscheidung der Versuchszeiträume nach November 2012 und Februar 2013.

Im November 2012 betrug die durchschnittliche Länge der Individuen 74 mm und umfasste eine Spanne von 55-108 mm. Im Februar 2013 hatten die Jungäschen eine durchschnittliche Länge von 77 mm, lagen jedoch ebenfalls in einem Bereich von 55-109 mm.

Das durchschnittliche Gewicht der Jungäschen betrug 2,7 g im November 2012 und umfasst eine Spannweite von 1,2-8,0 g. Im Februar 2013 wogen die Individuen im Schnitt ebenfalls 2,7 g in einem Bereich von 0,8-9,2 g.

Im Schnitt betrug der Konditionsfaktor der Jungäschen im November 2012 0,66 in einem Bereich von 0,39-1,10. Im Februar 2013 lag der durchschnittliche Konditionsfaktor der Individuen von 0,58 zwischen 0,42 und 1,01.

Daraus lässt sich ablesen, dass von November 2012 zu Februar 2013 ein Längenwachstum stattgefunden hat, das Gewicht hingegen stagnierte. Beim Konditionsfaktor kam es zu einer Abnahme.

2.1.9 Konditionsfaktor

Um für die vorliegende Arbeit die Fitness der Jungäschen bestimmen zu können, wird der Konditionsfaktor nach Fulton verwendet. Mit Hilfe des Konditionsfaktors, oder auch Korpulenzfaktor bzw. K-Faktor genannt, sind Aussagen über den Ernährungszustand und die Wachstumsbedingungen eines Fisches möglich. Für die Berechnung sind Daten über Länge und Gewicht des Fisches notwendig (Fulton 1904). Der Konditionsfaktor nach Fulton (1904) wird wie folgt berechnet:

$$\text{Konditionsfaktor} = \frac{\text{Gewicht [g]} * 100}{\text{Länge [cm]}^3}$$

Der Konditionsfaktor ermöglicht Rückschlüsse über den körperlichen Zustand eines Fisches und spiegelt in weiterer Folge den Ernährungszustand, den Lebensraum und das Nahrungsangebot wieder. Es können Individuen einer Art von unterschiedlichen Geschlechts oder unterschiedlichen Populationen miteinander verglichen werden (Gassner et al. 2002). Weiters kann der Konditionsfaktor für dieselbe Fischart in verschiedenen Gewässern unterschiedlich ausfallen. Schwankungen des Konditionsfaktors können durch unterschiedliche Magenfüllungsgrade und Gonadengewichte verursacht werden (Neumann 2009). Die Jahreszeit und in weiterer Folge die Wassertemperatur üben ebenfalls Einfluss auf den Konditionsfaktor aus. So steigt der Konditionsfaktor bei höheren Wassertemperaturen an (Prinz et al. 2009).

2.1.10 Versuchsaufbau

Ziel dieser Versuchsreihen ist es, einen möglichen Unterschied zwischen einer Schwall- und Referenzsituation aufzeigen zu können. Dazu werden in der Schwallrinne drei Mal täglich künstlich Schwallsituationen erzeugt. Die Dotation der Referenzrinne wird hingegen dauerhaft auf dem Sunk-Niveau belassen.

Sowohl in die Schwallrinne, als auch in die Referenzrinne werden zu Beginn der Versuchsreihen je 250 vermessene Jungäschen eingesetzt (siehe Kapitel 2.1.6. und Kapitel 2.1.7). Der Besatz erfolgt jeweils in den unteren Teil der Rinnen (vgl. Abbildung 2-3). Durch eine quer zur Fließrichtung angebrachte Holzwand wird ein Aufsteigen der Fische in den oberen Bereich der Experimentierrinnen verhindert. Nach einer Adaptionsphase von je 16 Stunden beginnen die eigentlichen Versuchsreihen.

Über einen Zeitraum von drei Wochen wird drei Mal täglich, um 9:00 Uhr, 12:00 Uhr und 15:00 Uhr, in der Schwallrinne ein Schwall produziert. Alle Schwallfolgen der gleichen Programmierung. Die Grunddotation beträgt in der Schwallrinne 25 l/s, binnen 120 Sekunden steigt der Wasserpegel auf den Schwalldurchfluss von 400 l/s an. Dieser dauert 20 Minuten lang an. Danach sinkt der Wasserpegel wieder innerhalb von 120 Sekunden auf die Grunddotation (25 l/s) ab. Die Referenzrinne wird über den gesamten Zeitraum mit einem konstanten Durchfluss von 25 l/s dotiert.

Eine genaue Beschreibung der programmierten und tatsächlichen Schwallganglinie und deren Abweichung davon sind unter Kapitel 2.1.4 detailliert beschrieben.

Alle Jungäschen, die während der Schwallereignisse aus der Schwallrinne ausscheiden, werden nach Phasen unterteilt aufgenommen. Als Phase 1 (aktive Drift) wird die Zeit vom Entfernen des Lochblechs bis zum Ansteigen des Schwall bezeichnet und dauert rund 15 Minuten. Phase 2 (Anstieg) kennzeichnet die Anstiegsphase bis zum vollständigen Erreichen der maximalen Schwallamplitude. Die darauf folgende Phase 3 (Schwall) wird bis zum Beginn des Absteigens des Schwall verzeichnet und ist die am längsten andauernde Phase von rund 20 Minuten, gefolgt von Phase 4, dem Abstieg. Diese Phase dauert so lange, bis die Rinne wieder die Grunddotation von 25 l/s erreicht hat. Als Phase 5 wird die Strandung der Individuen bezeichnet. Sie wird nach Absinken des Wasserpegels auf die Grunddotation und Einsetzen des Lochblechs aufgenommen.

Während aller Phasen, aktive Drift bis Abstieg, steht eine Person unterhalb der Segmentnetze im Auslaufbereich. Von hier aus werden die driftenden Fische schonend aus den Segmentnetzen genommen und der entsprechenden Phase zugeteilt.

Um Verluste durch aktive Drift außerhalb der Schwalle zu vermeiden, werden am Ende beider Rinnen mobile Lochbleche installiert. Um weitere Ausfälle durch Krähen, Eisvögel, Wasserameln oder andere Prädatoren zu verhindern, werden über beiden Experimentierrinnen permanent Vogelschutznetze angebracht.

Sowohl im November 2012 als auch im Februar 2013 werden nach dem letzten Schwallereignis beide Rinnen mittels Elektrobefischung befishet, um die Endvermessung der verbliebenen Jungäschen durchzuführen.

Die Elektrobefischung funktioniert nach dem Prinzip der Galvanotaxis und Galvanonarkose. Mittels eines Elektroaggregates wird zwischen einer ins Wasser getauchten Anode und Katode ein elektrisches Feld erzeugt. Gelangen Fische in den Einflussbereich dieses elektrischen Feldes, werden sie zur Anode gezogen und betäubt. Für die Stromerzeugung kommt ein benzinbetriebenes Rückenaggregat mit Viertaktmotor (EFKO-ELT 60 II) zum Einsatz. Dieses liefert eine Leistung von 1,3 kW (Gleichstrom). Als Anode wird eine Polstange verwendet. An diesem langen, isolierten Stab befindet sich ein Metallring mit einem feinmaschigen Netz. Die

Katode wird als 3 m langes Kupferkabel ausgeführt und hinter dem Rückenaggregat im Wasser nachgezogen.

Die Elektrobefischung wird immer von zwei Personen durchgeführt. Eine Person trägt das Rückenaggregat und führt die Anode durch das Wasser. Die zweite Person fängt mit einem Kescher die regungslosen Fische und setzt diese sofort in einen Wasserkübel. Danach werden die Fische, getrennt nach Schwall- und Referenzrinne, in das Rundbecken gesetzt. Beide Rinnen werden mehrmals befischt, um möglichst alle verbliebenen Jungäschen für die Endvermessung aufzunehmen.

2.1.11 Vorversuche

In einem ersten Vorversuche Ende Oktober 2012 wurden je 250 Jungäschen in Schwall- und Referenzrinne gesetzt. In den ersten 15 Minuten nach dem Besatz hat sich eine geringe aktive Drift gezeigt (0-2%). Danach gab es tagsüber keine aktive Drift. In der Nacht gab es ebenfalls kaum aktive Drift (0-1%). Jedoch zeigte sich sowohl in der Morgen- als auch in der Abenddämmerung über einen 30-minütigen Zeitraum eine massive aktive Drift der Jungfische. Hier kam es zu Ausfällen von 25-30% der besetzten Jungäschen (mündliche Mitteilung von Zeiringer B., 28. Oktober 2012).

Um die Dämmerungsdrift zu vermeiden, entschied man Lochbleche am Ende jeder Rinne zu installiert. Das Dämmerungsdriftverhalten und das damit verbundene Ausscheiden aus den Experimentierrinnen sollten für diese Versuchsanordnungen ausgeschlossen werden können. Dieses Verhalten ist für die Fragestellung nicht relevant und auch nicht direkt dem Driftverhalten während des Schwall zuordenbar.

In einem zweiten Vorversuch Anfang November 2012 wurden 500 Individuen in jede Rinne gesetzt. Aufgrund der sehr hohen Ausfallsraten von mehr als 30% durch aktive Drift kurz nach dem Besatz und weitem 50% allein während eines Schwallereignisses wurde entschieden, für den tatsächlichen Versuch nur 250 Jungäschen zu besetzen.

2.1.12 Versuchsanordnung November 2012

Die Vermessungen der Jungäschen wurden an zwei aufeinander folgenden Tagen im November 2012 durchgeführt. Am zweiten Tag erfolgte der Besatz der Rinnen mit den vermessenen Individuen gegen 15:00 Uhr. Am 10. November 2012 fand um 9:00

Uhr der erste Schwall statt. An den darauffolgenden 20 Tagen wurden drei Schwalle pro Tag produziert. Insgesamt ergab sich so eine Summe von 63 Schwallen an 21 Versuchstagen über diesen Zeitraum. Das Set-Up für die Schwallrinne hat, wie unter Kapitel 2.1.10 beschrieben, stattgefunden.

In der Referenzrinne war die Grunddotation von 25 l/s für den gesamten Versuchszeitraum programmiert. Weiters war das Lochblech am Ende der Rinne dauerhaft installiert.

2.1.13 Versuchsanordnung Februar 2013

Im Februar 2013 hat die Vermessung der 500 Jungäschen für Schwall- und Referenzrinne an einem Tag stattgefunden. Der Besatz erfolgte noch am selben Tag gegen 16:00 Uhr. Am darauffolgenden Tag (2. Februar 2013) wurde um 9:00 Uhr der erste Schwall gestartet. Aufgrund der enormen Neuschneemengen war in diesem Versuchszeitraum an drei Tagen kein Schwallbetrieb möglich. An diesen Tagen wurde die Schwallrinne vorsichtig durch das Anheben des Wasserpegels von den Schneemassen befreit, um am darauf folgenden Tag wieder den Versuch regulär aufnehmen zu können. Somit ergaben sich insgesamt 57 Schwalle an 19 Versuchstagen. Auch hier hat das Set-Up für die Schwallrinne, wie unter Kapitel 2.1.10 beschrieben, stattgefunden.

In der Referenzrinne wurde über den Versuchszeitraum die Dotation von 25 l/s konstant gehalten. Im Gegensatz zu November 2012 wurde jedoch das Lochblech ebenfalls 15 Minuten vor Schwallbeginn entfernt, um eine mögliche aktive Drift aufnehmen zu können. Nach Schwallende in der Schwallrinne, wurde das Lochblech auch in der Referenzrinne wieder installiert.

2.1.14 Futter und Futterverfügbarkeit

Die Nahrungsverfügbarkeit sollte in diesen Versuchsreihen keinen limitierenden Faktor darstellen und keinen Einfluss auf Längen- oder Gewichtsentwicklung der Versuchsindividuen ausüben.

Während der gesamten Versuchsdauer wurden die Fische mit Kunstfutter durch mechanische Futterautomaten versorgt. Die Futterspender wurden sowohl in der Schwallrinne als auch in der Referenzrinne kurz unterhalb der 20 m Stufe montiert (Abbildung 2-18 links). Zwischen 8:00 Uhr und 9:00 Uhr wurden 160 g des

Kunstfutters (wie in Abbildung 2-18 rechts ersichtlich) auf beide Automaten aufgeteilt. Ab dem Zeitpunkt des Befüllens der Futterautomaten gaben diese über einen Zeitraum von ungefähr neun Stunden kontinuierlich das Futter ab. Dies deckt die aktive Fressphase der vorwiegend optisch orientierten Äsche ab (Gerstmeier und Romig 2003).



Abbildung 2-18: Installation des Futterautomaten über der Schwallrinne (links) und Befüllung mit Kunstfutter (rechts) (eigene Aufnahme 2012)

Die Fütterung der Fische im Rundbecken erfolgte ebenfalls mit Kunstfutter, jedoch über einen vollautomatischen Futterspender, welcher mittels Zeitschaltuhr programmiert wurde.

2.1.15 Wassertemperatur

Die Wassertemperatur wurde durch das Kontroll- und Steuerungsmodul RISONIC (RISONIC Controller und RISONIC Ultraschall-Laufzeit) festgestellt und im fünf-Minutentakt aufgezeichnet.

Um eine möglichst konstante Wassertemperatur während der Versuchsreihen zu gewährleisten, werden diese über die Wasserentnahme gesteuert. 75% der Wasserentnahme erfolgen über die Tiefenleitung, da das Wasser auf Grund der Lage aus 10 m Tiefe weniger starken Temperaturschwankungen ausgesetzt ist. Die restlichen 25% der Wassermengen werden durch die Oberflächenleitung geliefert.

Um einen möglichen Einfluss der Wassertemperatur auf Länge, Gewicht und Konditionsfaktor feststellen zu können, werden für die statistische Auswertung gemittelte Wassertemperatur-Tageswerte herangezogen.

Im November 2012 betrug die durchschnittliche Tages-Wassertemperatur am ersten Versuchstag 8,1°C und stieg an den folgenden drei Tagen leicht an. Bis Versuchsende ging die gemittelte Tages-Wassertemperatur auf 6,6°C zurück (Abbildung 2-19 hellblaue Linie). Im Februar 2013 lag die gemittelte Tages-Wassertemperatur bei 3,8°C am ersten Versuchstag. Bis zum elften Versuchstag ging die durchschnittliche Tages-Wassertemperatur auf das Minimum von 2,9°C zurück und stieg bis Versuchsende wieder leicht an (Abbildung 2-19 dunkelblaue Linie). Es ergibt sich zwischen den Versuchszeiträumen somit eine Temperaturdifferenz von rund 4°C.

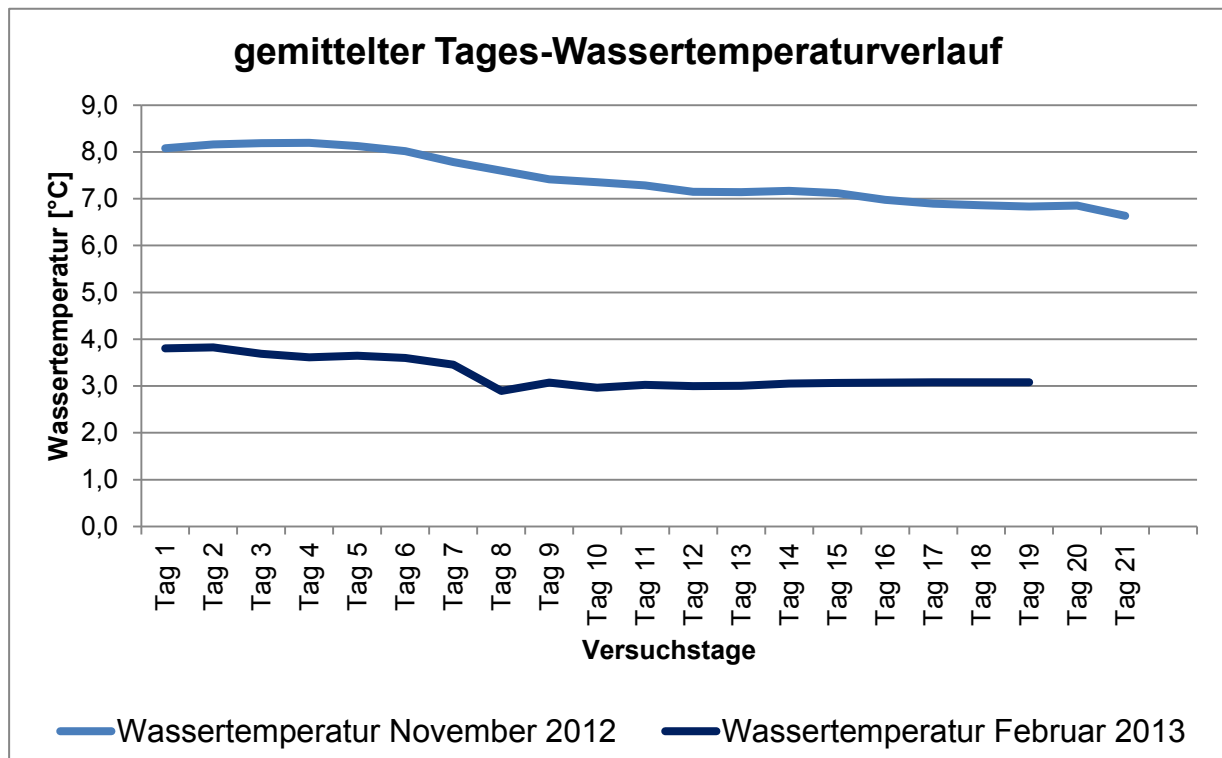


Abbildung 2-19: gemittelte Wassertemperatur-Tageswerte für November 2012 (hellblau) und Februar 2013 (dunkelblau)

2.1.16 Variablenbeschreibung

In Tabelle 2-1 sind die Variablen und deren Abkürzungen kurz erläutert.

Tabelle 2-1: Beschreibung der aufgenommenen Variablen

Abkürzung	Variablenbeschreibung
L	Länge [mm]
G	Gewicht [g]
KF	Konditionsfaktor
VZR	Versuchszeitraum (November 2012, Februar 2013)
LOC	Locus (Schwall- und Referenzrinne, Rundbecken)
MZP	Messzeitpunkt (vor, während, nach)
Profil_loc_mzp_num	Kombination der Variablen LOC und MZP
TZ	Tageszeit (früh, mittags, nachmittags)
Ph	Phase 1-5 (aktive Drift, Anstieg, Schwall, Abstieg, Strandung)
DV	Driftverhalten der Fische (ja, nein)
Str	gestrandete Fische
Dot	Dotation [l/s]

2.1.17 Methoden zur statistische Analyse der Schwallversuche

Zur statistischen Analyse der Daten und in weiterer Folge zu Beantwortung der Fragestellungen und Überprüfung der Hypothesen kommt das Statistik-Programm PASW Statistics Version 18.0.0 zum Einsatz. Die Dateneingabe erfolgt mittels Microsoft Office Excel 2010. Dieses Programm wird weiters für zusätzliche Berechnungen und zur Erstellung von Abbildungen verwendet.

Fragestellung 1 & 2

An erster Stelle stehen Häufigkeitsanalysen, um einen möglichen Trend des Schwalleinflusses auf die Drift- und Strandungsraten erkennen zu können. Diese werden zusätzlich grafisch über Histogramme aufbereitet.

Fragestellung 3

Um die Hypothesen 3.1, 3.2, 3.3 und 3.4 prüfen zu können werden zur Darstellung möglicher Unterschiede Tabellen mit dem arithmetischen Mittel (AM) und dem Median (MD) erzeugt.

Um zu testen, ob statistisch signifikante Unterschiede vorliegen, werden diese mittels Varianzanalyse (ANOVA = **A**nalysis of **V**ariance) getestet. Normalverteilung der Zielgröße in den Faktorstufen und Varianzhomogenität der Zielgröße zwischen den Faktorstufen sind die Voraussetzungen, um diesen Parameter-Test durchführen zu können. Die ANOVA testet, ob grundsätzlich faktorielle Einflüsse vorhanden sind. Für die Überprüfung der Hypothesen 3.1 und 3.2 wird eine univariate einfaktorielle, für die Überprüfung der Hypothesen 3.3 und 3.4 eine univariate zweifaktorielle ANOVA durchgeführt.

Das Bestimmtheitsmaß R^2 gibt den erklärten Anteil der Varianz einer abhängigen Variable durch das Modell wieder. Der Wert kann zwischen 0 und 1 liegen, wobei 1 einen perfekten linearen und 0 keinen linearen Zusammenhang darstellt. Demnach gilt, je höher der Wert ist, desto besser wird der Einfluss auf die abhängige Variable durch das Modell erklärt.

Wenn statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Rinnen (Hypothese 3.1 und 3.2) vorliegen, werden diese mittels Post-hoc Tests (Bonferroni-Test) spezifiziert. Mittels paarweisen Mittelwertvergleichen werden diese Unterschiede zwischen den Rinnen analysiert.

Über Fehlerbalkendiagramme werden die Unterschiede zusätzlich grafisch dargestellt. Diese stellen den arithmetischen Mittelwert (AM; mit (○) gekennzeichnet) und ein 95%-iges Konfidenzintervall dar. Die Irrtumswahrscheinlichkeit liegt bei 5% ($\alpha=0,05$).

Unter der Voraussetzung, dass Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) und Varianzhomogenität (Levene-Test) nicht vorliegen, kommen alternativ parameterfreie Testverfahren (Kruskal-Wallis- bzw. Mediantest) zum Einsatz. Mit diesen werden mögliche statistisch signifikante Unterschiede parameterfrei detektiert.

Für zwei- und mehr- faktorielle Verfahren (Hypothese 3.3 und 3.4) existieren jedoch keine parameterfreien Testverfahren, so dass die Erzeugung einer eindimensionalen Profilvariablen aus zwei Einzelfaktoren notwendig wird. In diesem Fall ist das die Kombination der Variablen Rinne **und** Messzeitpunkt zur folgenden Profilvariable:

$$\text{Profil_LOC_MZP_num} = \text{LOC} * 10 + \text{MZP} * 1$$

In Tabelle 2-2 ist die Beschreibung der neuen Profilvariable Profil_LOC_MZP_num mit den alten Kategorien und neuen laufenden Nummern ersichtlich.

Tabelle 2-2: Beschreibung der Profilvariable Profil_LOC_MZP_num

Profilvariable: Profil_LOC_MZP_num		Wertelabel
Kategorie	laufende Nummer	
1 1	1	Schwallrinne / vor
1 2	2	Schwallrinne / während
1 3	3	Schwallrinne / nach
2 1	4	Referenzrinne / vor
2 2	5	Referenzrinne / nach
3 1	6	Rundbecken / vor
3 2	7	Rundbecken / nach

Mit diesen erstellten Profilvariablen werden in Folge wieder der Kruskal-Wallis- und Mediantest durchgeführt.

Die am Ende folgenden Box-Plots sollen die Verteilung der Daten aus Kruskal-Wallis- und Mediantest (einschließlich deren Parameter zur mittleren Lage und Dispersion) veranschaulichen.

Für alle Testverfahren wird die vorgegebene Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha_{(2\text{-seitig})}=0,05$ herangezogen. Alle Analysen werden auf Basis der 2800 Vermessungsdaten durchgeführt.

Fragestellung 4

Um Fragestellung 4 beantworten und in weiterer Folge die Hypothesen prüfen zu können, wird in einem ersten Schritt mittels Methode der Korrelation die Stärke einer ungerichteten wechselseitigen Beziehung zwischen zwei Variablen aufgezeigt. Es soll ein Zusammenhang zwischen zwei Variablen detektiert werden, die Richtung dieses Zusammenhangs bleibt jedoch vorerst unspezifiziert (mündliche Mitteilung von Lautsch E., 24. September 2013).

Die Korrelation nach Pearson gibt die Stärke eines linearen Zusammenhangs zwischen zwei Variablen an und verwendet zur Berechnung die Originaldaten. Es werden metrische und normalverteilte Daten vorausgesetzt. Wird eine oder werden

mehrere dieser Voraussetzungen nicht erfüllt, wird die Korrelation nach Spearman empfohlen. Die Korrelation nach Spearman setzt keine Linearität voraus, sondern ist ein Maß für die Stärke eines monotonen Zusammenhangs zwischen zwei Variablen. Weiters werden in der Korrelation nach Spearman Rangplätze zur Berechnung herangezogen (Apostolopoulos 2007; medistat GmbH 2013).

Der Wert des Korrelationskoeffizienten R liegt immer zwischen $+1$ und -1 . Das Vorzeichen gibt die Richtung des Zusammenhangs an (positives Vorzeichen- positiver Zusammenhang; negatives Vorzeichen- negativer Zusammenhang). Beträgt R 0 , liegt kein Zusammenhang vor (Apostolopoulos 2007).

In Tabelle 2-3 sind die Interpretationsrichtlinien nach Pearson ersichtlich.

Tabelle 2-3: Interpretationsrichtlinien nach Pearson (nach Apostolopoulos 2007)

R	Interpretation
0	kein linearer Zusammenhang
0-0,5	schwach linearer Zusammenhang
0,5-0,8	mittlerer linearer Zusammenhang
0,8-1	stark linearer Zusammenhang
1	perfekt linearer Zusammenhang

Die Interpretation der Korrelation nach Spearman unterscheidet sich ein wenig und ist in Tabelle 2-4 ersichtlich.

Tabelle 2-4: Interpretationsrichtlinien nach Spearman (nach medistat GmbH 2013)

R_s	Interpretation
0-0,2	kein bis geringer Zusammenhang
0,2-0,5	schwacher bis mäßiger Zusammenhang
0,5-0,8	deutlicher Zusammenhang
0,8-1	hoher bis perfekter Zusammenhang

In einem zweiten Schritt wird versucht, die Ergebnisse der Korrelation mittels Regressionsanalyse zu spezifizieren. Die Regression beschreibt die Stärke eines gezielt gerichteten Einflusses einer Variablen auf eine Zielvariable.

Für alle Testverfahren wird die vorgegebene Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0,05$ (z-seitig) herangezogen. Alle Analysen werden auf Basis der Daten der 170 Driftereignisse aus November 2012 und Februar 2013 berechnet.

2.2 Hydrodynamische Modellierung

Durch die Simulationen der Experimentierrinne bei unterschiedlichen Dotationen werden Lebensraumansprüche unterschiedlicher Entwicklungsstadien der juvenilen Äsche betrachtet und die vorhandene Habitateignung bewertet.

In diesen Simulationen werden relevante abiotische und biotische Faktoren sowie Lebensraumansprüche der Organismen kombiniert. Im ersten Schritt werden hierfür univariate Habitatnutzungskurven generiert und anschließend mit den abiotischen, hydraulischen Bedingungen in der Rinne kombiniert. In weiterer Folge wird aus der Synthese dieser Daten ein Habitateignungsindex erstellt.

Die hier verwendeten abiotischen Faktoren sind Fließgeschwindigkeit und Wassertief. Des Weiteren laufen Substratgrößen und -verteilungen in die Modellierung mit ein.

2.2.1 River 2D

Das hier verwendete Simulationsprogramm River 2D (R2D) ist ein kostenlos verfügbares Programm. Es wurde an der Universität Alberta entwickelt. Wie die folgende Abbildung 2-20 veranschaulicht, fließen in die Modellierung sowohl biotische als auch abiotische Faktoren mit ein.

Für die abiotischen Faktoren werden eine Vermessung der Rinne und eine hydraulische Berechnung vorgenommen. Es werden die Lage der in dem Gerinnesystem vorhandener Elemente sowie allgemeine Raumdaten aufgenommen. Die vermessenen Punkte werden in Folge mit den hydraulischen Parametern, Fließgeschwindigkeit und -richtung sowie Wassertiefe kombiniert und zur hydraulischen Modellierung kombiniert.

In einem zweiten Schritt werden die biotischen Faktoren aufgenommen. Hierfür werden die Lebensraumanprüche für unterschiedliche Lebensstadien der Fische auf der Basis der oben genannten abiotischen Faktoren formuliert. Diese wurden aus Beobachtungen und Vermessungen in Flüssen der Äschenregion abgeleitet. Letztlich wird so der Lebensraumanpruch berechnet, formuliert und schlussendlich modelliert.

In weiterer Folge kann eine Habitatmodellierung durchgeführt werden, welche weiteren Analysen und Auswertungen unterzogen werden kann.

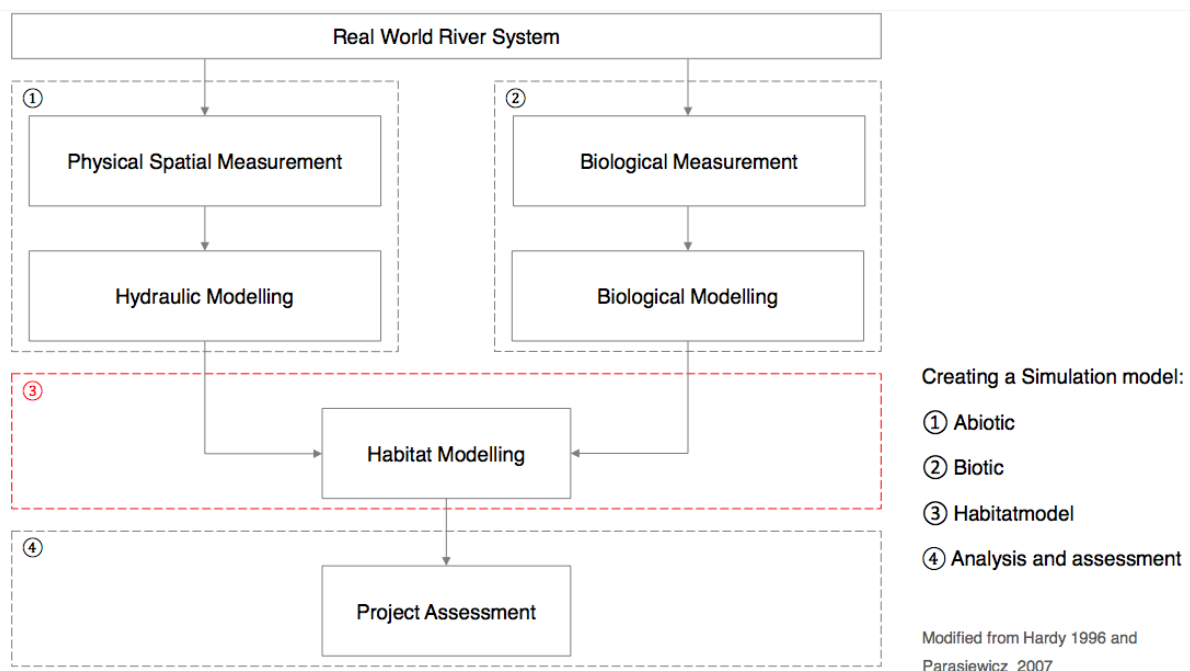


Abbildung 2-20: Schritte bei der Erstellung eines Simulationsmodells (in: Zeiringer 2012; verändert nach Hardy 1996 und Parasiewicz 2007)

In River 2D (R2D) sind mehrere Module eingebettet, welche für unterschiedliche Fragestellungen und Bereiche eine spezifische Bearbeitung ermöglichen. Die für diese Arbeit verwendeten Module sind das R2D_Bed und R2D_Mesh sowie das River2D-Modul mit der Hydrodynamik- und Fischhabitat-Modellanwendung. R2D_Bed und R2D_Mesh sind graphische Daten-Editierprogramme.

Das Modellierungsverfahren verläuft über mehrere Schritte, die folgend kurz erörtert werden. Die Beschreibung der Module und Arbeitsschritte entstammt aus Arbeiten von Steffler und Blackburn (2002), Waddle und Steffler (2002) und Steffler (2002).

R2D_Bed

Geländehöhe und Gerinnerauigkeit sind die erforderlichen physikalischen Eingangsparameter. Die vermessene Rinnentopographie wird in dieser Anwendung zu einem digitalen Höhenmodell überführt und die effektive Rauigkeit vergeben. Über diese werden im nächsten Schritt die Wasserspiegellagen kalibriert. In R2D_Bed ist es möglich, für jeden einzelnen Datenpunkt oder aber auch für unregelmäßige, polygonale Flächen diese Eingangsparameter anzupassen, um die vorliegenden topographischen Daten des Gerinnebetts zu editieren.

R2D_Mesh

Das zuvor in R2D_Bed erstellte digitale Oberflächenmodell stellt für diese Anwendung die Grundlage dar. Die einzelnen Knoten können zu Bruchkanten verbunden, oder unabhängig dargestellt werden. Nach der Übernahme der Topographie aus R2D_Bed ist eine Diskretisierung des Geländemodells in ein mehr oder weniger regelmäßiges Netzwerk (Vermaschung des Berechnungsnetzes) notwendig. Ergebnis dieses Editierverfahrens ist ein trianguläres, irreguläres Netzwerk (TIN), welches letztlich in das River2D-Modul übernommen wird um Wassertiefen, Fließgeschwindigkeiten und Habitateignungen zu berechnen und graphisch darzustellen.

River2D-Modul

Im River2D-Modul bietet sich die Möglichkeit zur zweidimensionalen, tiefengemittelten, hydrodynamischen Modellierung. Zudem ist ein Fischhabitat-Modellierungstool implementiert. Ein Set aus abiotischen Faktoren wie Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, Größe und Zusammensetzung des Substrats, Beschattung und Strukturtypen können in die Modellierung mit einfließen.

Das Hydrodynamik-Modell basiert auf einer zweidimensionalen, tiefen-gemittelten Fließgeschwindigkeitsberechnung. Das Fischhabitat-Modellierungstool wurde für die Anwendung an natürlichen Bächen und Flüssen konzipiert. Das Fischhabitat-Modell folgt dem PHABSIM-Ansatz (**Physical Habitat Simulation**). Man kann damit die **Weighted-Usable-Area** (WUA; gewichtete, nutzbare Fläche) und den **Combined Suitability Index** (CbSI) berechnen.

Es werden verfügbare Habitatflächen berechnet, welche aus einer Kombination von Informationen über Qualität und Quantität bestehen. Der Gesamt-Index wird für jeden

Punkt und der umgebenden Fläche in dem TIN einzeln berechnet. Hierfür werden die zuvor separat erstellten Habitatindices multiplikativ verknüpft. Das WUA wird aus Fläche mal Gesamtindex berechnet.

Der CbSI an jedem Knotenpunkt wird als eine Kombination der einzelnen Suitability-Indizes für Tiefe, Geschwindigkeit und Channel-Index berechnet. Der Suitability-Index für jeden Parameter wird über lineare Präferenzkurven abgeleitet. Geschwindigkeiten und Tiefen werden direkt aus der hydraulischen Simulation entnommen. Die Channel-Index Werte hängen von der Eignung des Substrates für die Fischart und Lebensphase ab.

Um nun eine Modellierung der Schwallrinne zu ermöglichen, wird im ersten Schritt ein Gerinne-Modell erstellt, in welches Geometrie, Sohlsubstratgröße und dessen Zusammensetzung mit einfließen. Hierfür werden Querprofile in der Rinne vermessen.

Als Deckschicht wurde homogenes Sohlsubstrat mit einer Korngröße von 2-6 cm verwendet (Akal bis Mikrolithal). Diese haben für die Individuen in diesem Versuch immer den Channel-Index Wert 1 (höchste Eignung).

Auf dieses Gerinne-Modell aufbauend werden durch die zuvor gemessenen Wasserspiegellagen die Fließgeschwindigkeiten gemessen. Die Messungen der Fließgeschwindigkeiten werden bei den Dotationen von 25 l/s, 125 l/s und 400 l/s vorgenommen. Diese werden an mehreren Stationierungen gleichmäßig über die Länge des Versuchsabschnitt verteilt (Stationierung bei Meter 0, 4, 8, 12, 16, 20) aufgenommen.

Modellkalibrierung

Für die Modellierung mit dem Programm River 2D muss eine zweidimensionale Modellkalibrierung durchgeführt werden. Hierzu müssen die Rauigkeitswerte des Untergrundes so weit verändert werden, dass in einem ersten Schritt die gemessenen mit dem berechneten Wasserspiegel übereinstimmen, und im zweiten Schritt auch die gemessenen Fließgeschwindigkeiten mit dem Modell korrelieren.

Biotische Faktoren

Über eine Synthese der Daten aus Unfer et al. (2011) und Zeiringer et al. (in prep.) werden von Habitat- und Nutzungspräferenzen der Jungäscbe aus Drau und Ybbs Daten erstellt, welche für diese Modellierung verwendet werden (Tabelle A- 4). So werden mittels statistischer Auswertung univariate Nutzungs- bzw. Präferenzkurven für die Jungäscbe bzw. Larven zu unterschiedlichen Jahreszeiten (Frühling, Sommer, Herbst) generiert.

Berechnung des Gesamtindex

Die Habitateignung der Schwallrinne wird getrennt nach den einzelnen Parametern Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe und Substrat berechnet und schließlich zu einem gesamten Habitateignungsindex (CbSI = **C**ombined **S**uitability **I**ndex) verbunden. Der CbSI wird durch multiplikative Verknüpfung der einzelnen univariaten Nutzungskurven nach folgender Formel berechnet:

$$CbSI = SI_d * SI_v * SI_{CI}$$

wobei CbSI der Gesamtwert der Eignungsindizes, SI_d der Eignungsindex der Wassertiefe (depth), SI_v der Eignungsindex der Fließgeschwindigkeit (velocity) und SI_{CI} der Eignungsindex der Sohlstruktur (channel index) ist.

Der CbSI kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei ein CbSI von 0 ein ungeeignetes und ein CbSI von 1 ein sehr gut geeignetes Habitat darstellt. In folgender Tabelle 2-5 werden die einzelnen Gewichtungen und deren Bedeutung angeführt.

Tabelle 2-5: Werte des Habitateignungsindex (CbSI = Combined Suitability Index) und deren Bedeutung

CbSI	Interpretation
0-0,2	ungeeignetes Habitat
0,2-0,4	mäßig geeignetes Habitat
0,4-0,6	geeignetes Habitat
0,6-0,8	gut geeignetes Habitat
0,8-1	sehr gut geeignetes Habitat

Weiters wird auch die WUA (= **w**eighted **u**sable **a**rea) berechnet. Sie berechnet sich aus der Summe des Suitability Index einer Zelle $\sum SI(i)$ und der Größe dieser Zelle $A(i)$.

$$WUA(Q) = \sum SI(i) * A(i)$$

3 Ergebnisse

In den nachfolgenden Kapiteln werden die statistischen Ergebnisse der Schwallversuche (siehe Kapitel 2.1) sowie die Ergebnisse der hydrodynamischen Habitatmodellierungen (siehe Kapitel 2.2) erläutert.

3.1 Schwallversuche

Im Zentrum der statistischen Auswertungen der Schwallversuche stehen die Anzahl der Individuen sowie die drei Variablen Länge [mm], Gewicht [g] und Konditionsfaktor.

3.1.1 Auswertung der Vermessungsdaten

Im folgenden Kapitel werden die durchschnittlichen Werte der Variablen Länge [g], Gewicht [mm] und Konditionsfaktor getrennt nach den Rinnen (Schwall- und Referenzrinne sowie Rundbecken) aufgezeigt. Die Unterschiede und nachfolgenden Vergleiche werden anhand des arithmetischen Mittels transparent gemacht und beziehen die zeitliche Komponente des Messzeitpunkts (vor, während, nach) sowie die Versuchszeiträume (November 2012, Februar 2013) mit ein. Alle Mittelwerte werden über Fehlerbalkendiagramme (95%-iges Konfidenzintervall) veranschaulicht.

Tabelle 3-1 listet zusammenfassend die Mittelwerte von Länge, Gewicht und Konditionsfaktor nach Versuchszeitraum, Locus und Messzeitpunkt auf. Es gilt bei allen drei Variablen zu beachten, dass die Mittelwerte des Messzeitpunkts „während“ von jenen Individuen stammen, die während der Schwallereignisse Driftverhalten gezeigt haben.

Tabelle 3-1: durchschnittlichen Mittelwerte von Länge, Gewicht und Konditionsfaktor, aufgeteilt nach Versuchszeitraum, Location und Messzeitpunkt

Versuchszeitraum	Location	Messzeitpunkt	Länge [mm]	Gewicht [g]	Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1) ³]	N
November 2012	Schwallrinne	vor	74	2,6	,64	250
		während	74	2,6	,64	93
		nach	76	3,0	,67	122

	Referenzrinne	vor	74	2,7	,64	250
		nach	75	3,0	,68	179
	Rundbecken	vor	74	2,6	,64	250
		nach	74	2,9	,68	250
	Insgesamt	Insgesamt	74	2,7	,66	1394
Februar 2013	Schwallrinne	vor	78	2,8	,59	250
		während	77	2,7	,59	77
		nach	79	2,9	,58	100
	Referenzrinne	vor	76	2,6	,56	250
		nach	77	2,7	,58	229
	Rundbecken	vor	77	2,7	,58	250
		nach	77	2,7	,57	250
	Insgesamt	Insgesamt	77	2,7	,58	1406

Schwallrinne

Länge

Wie in Abbildung 3-1 ersichtlich ist, sind die Mittelwerte der Länge vor und während der Versuchsreihe im November 2012 fast gleich groß. Erst nach Ende des Versuches zeigt sich ein deutlicher Anstieg im Mittelwerte der Länge. Im Februar 2013 lag die durchschnittliche Länge der Individuen über dem Niveau jener im November 2012. Die vermessenen Individuen nach Beendigung der Versuchsreihe im Februar 2013 waren um rund 2 mm größer, als die während der Schwallereignisse abgedrifteten Jungäschen.

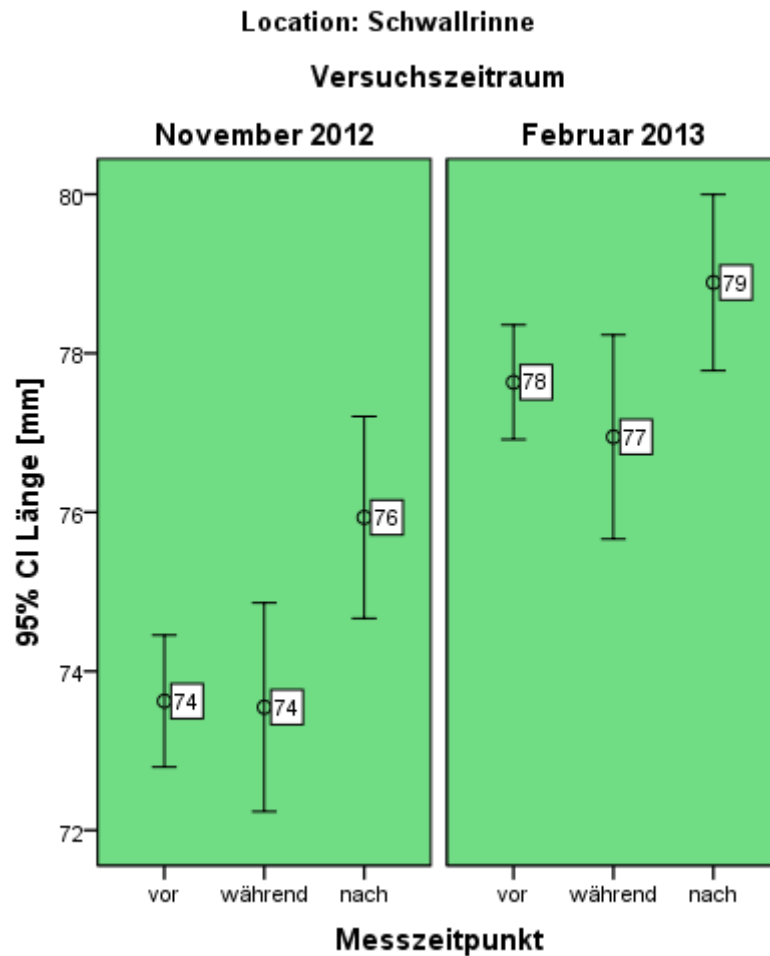


Abbildung 3-1: durchschnittliche Länge der vermessenen Jungäschen in der Schwallrinne

Gewicht

Wie aus Abbildung 3-2 ersichtlich wird, sind im November 2012 die durchschnittlichen Gewichte der ersten beiden Messzeitpunkte (vor und während) annähernd gleich groß. Erst am Ende des Versuches zeigt sich wieder eine markante Zunahme des arithmetischen Mittels des Gewichts. Dies spricht für eine aufrechte Gewichtszunahme im November 2012. Im Februar 2013 zeigt sich jedoch ein Absinken des Mittelwertes des Gewichtes während der Versuchsreihe, der dann wieder in einer Zunahme über dem des Anfangsniveaus resultiert.

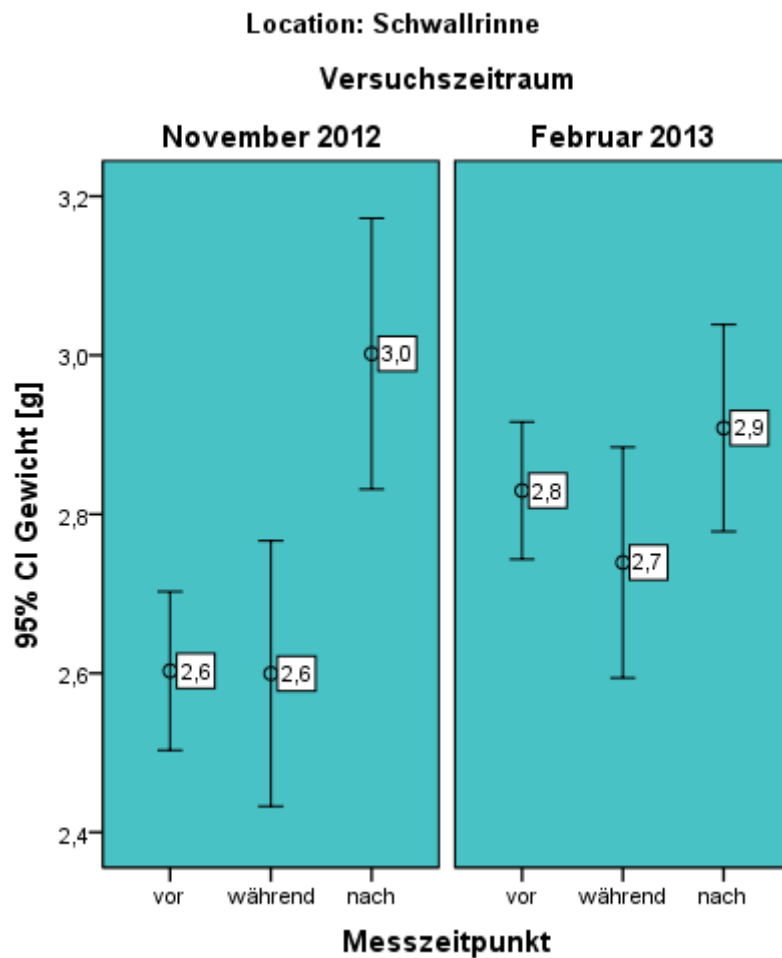


Abbildung 3-2: durchschnittliches Gewicht der vermessenen Jungäschen in der Schwallrinne

Konditionsfaktor

Im November 2012 ist ein ähnliches Muster für den Konditionsfaktor wie bei den anderen beiden Variablen zu erkennen. In Abbildung 3-3 kann man ablesen, dass die ersten beiden Mittelwerte des Konditionsfaktors gleich groß sind. Am Ende des Versuchs ist ein Anstieg des durchschnittlichen Konditionsfaktors zu verzeichnen. Im Februar 2013 lag der durchschnittliche Konditionsfaktor deutlich unter jenen im November 2012. Des Weiteren ist kaum ein Unterschied der Vermessungen vor, während und nach der Versuchsreihe zu erkennen.

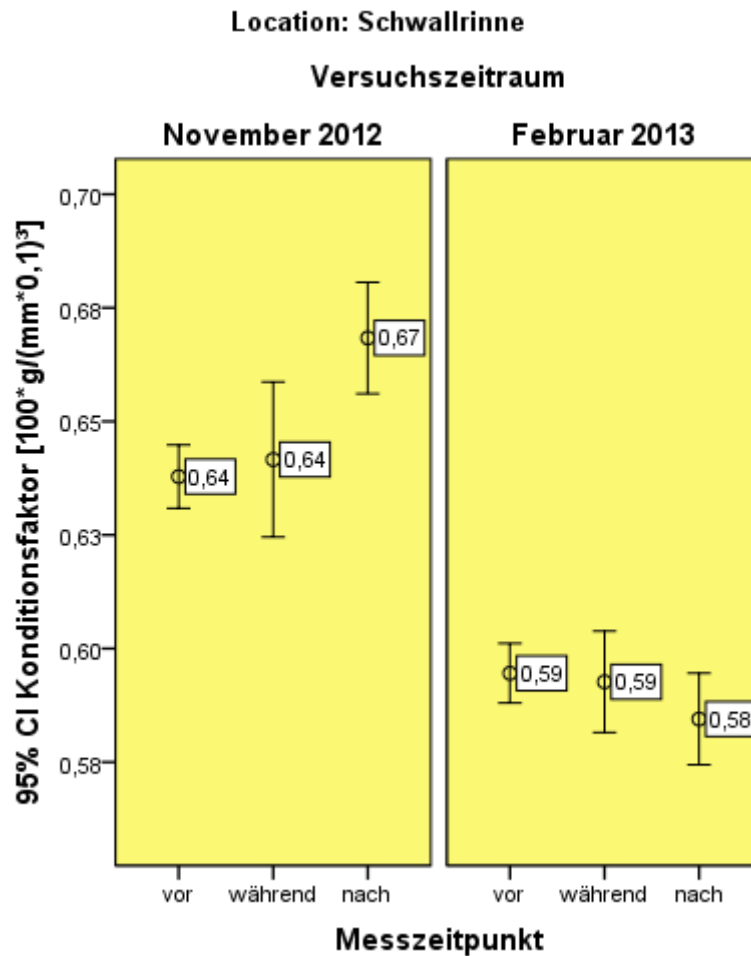


Abbildung 3-3: durchschnittlicher Konditionsfaktor der vermessenen Jungäschen in der Schwallrinne

Referenzrinne

Im November 2012 war die Referenzrinne während der gesamten Versuchsdauer durch ein Lochblech am Ende der Rinne geschlossen, um ein ungewolltes Ausscheiden der Jungäschen aus dem Versuch zu verhindern. Somit konnte auch keine aktive Drift aufgenommen werden (siehe Kapitel 2.1.12).

Während des Versuches im Februar 2013 war die Referenzrinne während der Schwallereignisse geöffnet, um aktiv driftende Individuen ohne Schwalleneinfluss aufnehmen zu können. Es hat sich jedoch gezeigt, dass nur während des ersten Schwallereignisses 17 Individuen aktiv in Drift gegangen sind. In allen nachfolgenden Schwallen kam es zu keinem einzigen Driftereignis (siehe Kapitel 2.1.13).

Länge

Im November 2012 kann man einen deutlichen Anstieg der durchschnittlichen Länge im Laufe des Versuches erkennen. Im Februar 2013 war die durchschnittliche Länge der vermessenen Jungäschen im Schnitt auf einem höheren Ausgangsniveau als im November 2012. Es zeigt sich auch hier eine leichte Zunahme der mittleren Länge (Abbildung 3-4).

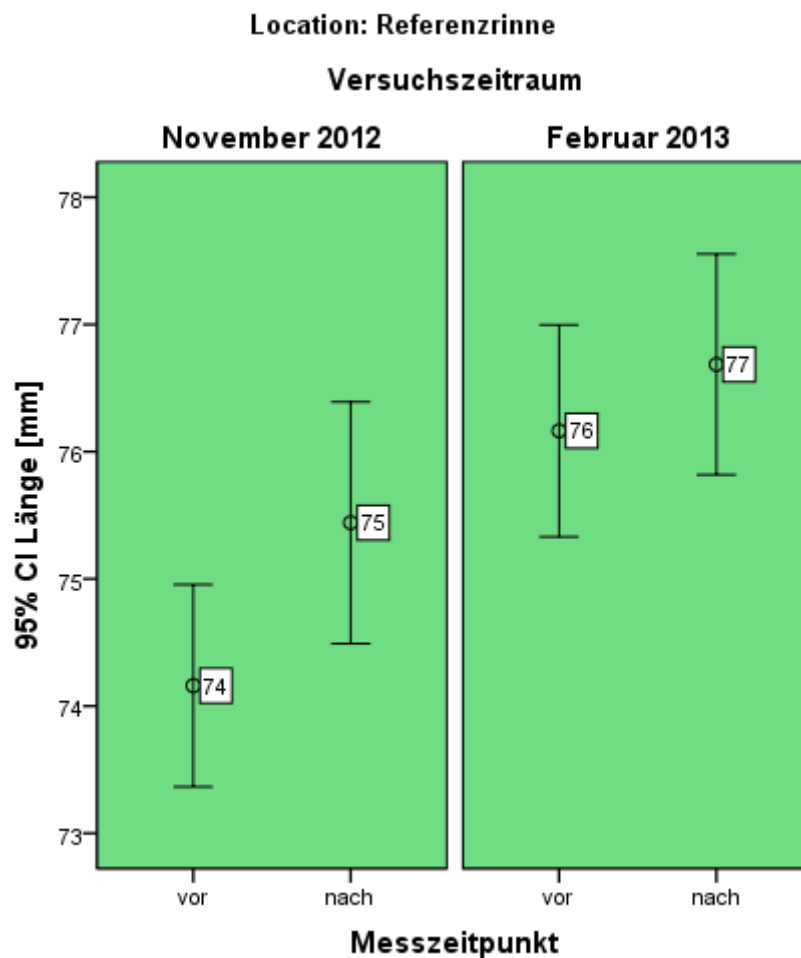


Abbildung 3-4: durchschnittliche Länge der vermessenen Jungäschen in der Referenzrinne

Gewicht

In Abbildung 3-5 lässt sich erkennen, dass die vermessenen Jungäschen einen Anstieg des durchschnittlichen Gewichts in beiden Versuchszeiträumen aufweisen. Das Ausgangsniveau liegt im Februar 2013 jedoch wieder unter jenem im November 2012.

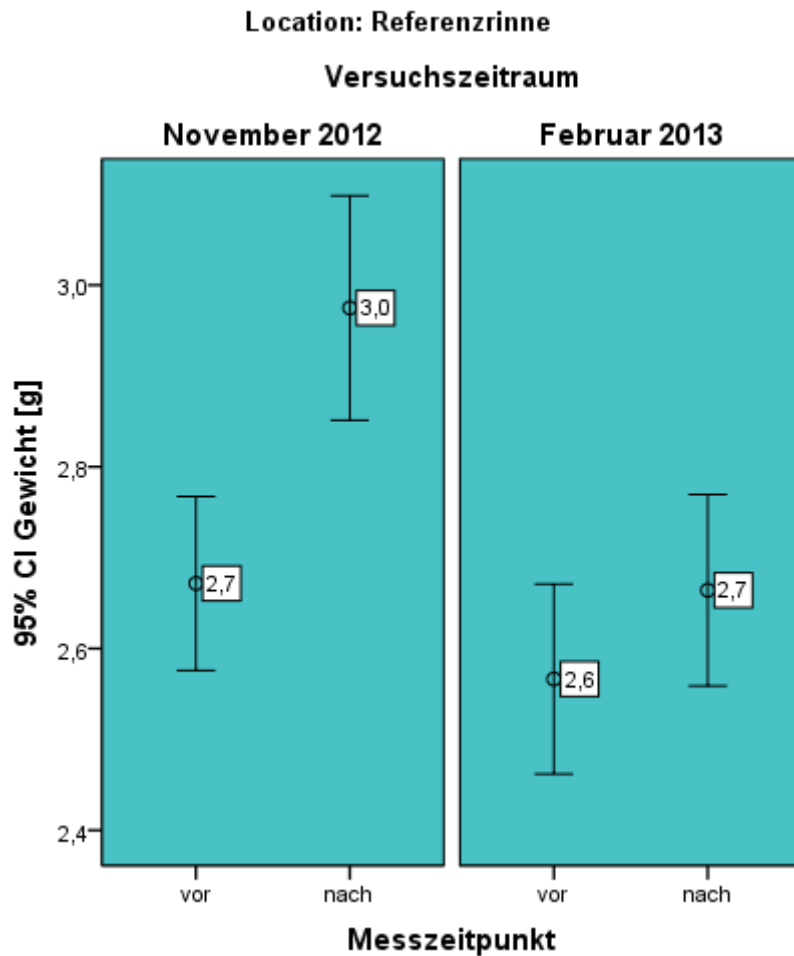


Abbildung 3-5: durchschnittliches Gewicht der vermessenen Jungäschen in der Referenzrinne

Konditionsfaktor

In Abbildung 3-6 lässt sich, wie schon beim Gewicht, ein deutlicher Niveauunterschied zwischen den beiden Versuchsmonaten im durchschnittlichen Konditionsfaktor erkennen. Es gibt jedoch in beiden Versuchszeiträumen eine Zunahme des durchschnittlichen Konditionsfaktors von Beginn bis zum Ende der Versuchsreihe.

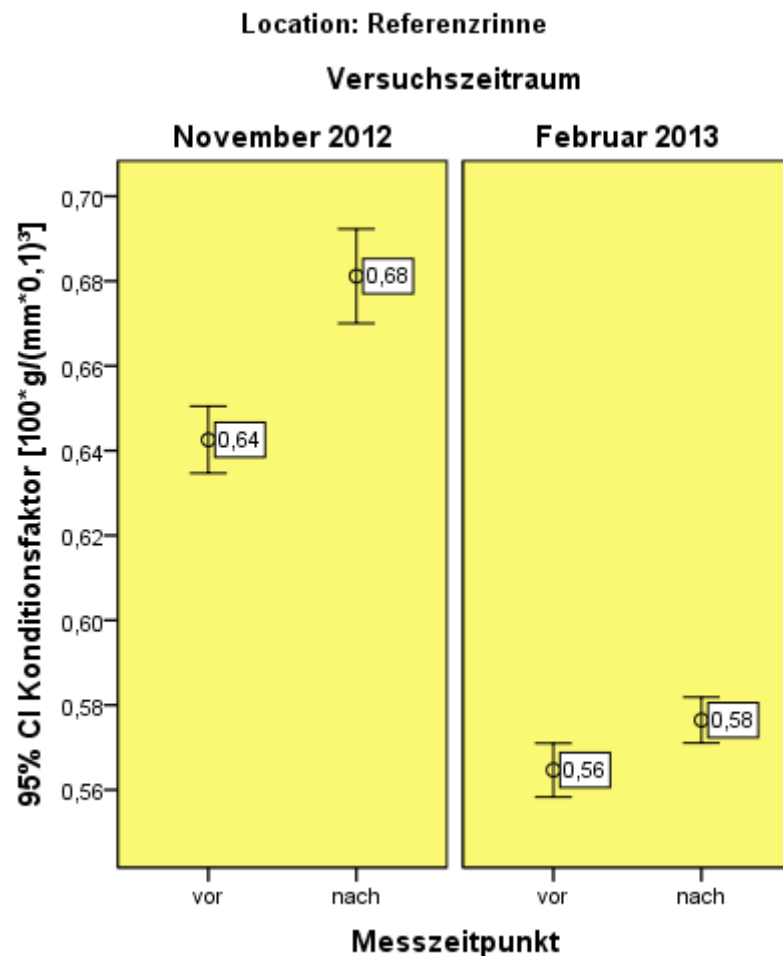


Abbildung 3-6: durchschnittlicher Konditionsfaktor der vermessenen Jungäschen in der Referenzrinne

Rundbecken

Die Vermessungsdaten von Individuen des Rundbeckens wurden als Vergleichswerte für die Jungäschen der Referenzrinne aufgenommen, um einen möglichen Einfluss der Futteraufnahme aufzeigen zu können. Die Mittelwerte von Länge, Gewicht und Konditionsfaktor der Jungäschen aus dem Rundbecken sind in Tabelle 3-1 ersichtlich.

Anhand der Mittelwerte von Länge, Gewicht und Konditionsfaktor kann man erkennen, dass sich die beiden Versuchszeiträume hinsichtlich dieser Variablen grundlegend voneinander unterscheiden und somit nicht direkt über ihre Mittelwerte vergleichbar sind. Dies speziell hinsichtlich der Auswirkungen der Schwallversuche sowie der unterschiedlich natürlichen, ökologisch variierenden Wachstumsmodi der

Fische im Herbst bzw. Winter. Aus diesem Grund werden in weiterer Folge die Versuchszeiträume getrennt voneinander betrachtet und nicht direkt miteinander verglichen. In den statistischen Analysen wurde der Datensatz dafür nach Versuchszeiträumen getrennt.

3.1.2 Fragestellung 1 & 2: Auswirkungen der Schwall auf die Jungäschen

Die nachfolgenden Kapitel listen die Anzahl der gedrifteten und gestrandeten Individuen in der Schwallrinne auf, um feststellen zu können, ob die Jungäschen in den Versuchszeiträumen eine Anpassung über den Verlauf der Schwallereignisse gezeigt haben.

In den folgenden Analysen wird davon ausgegangen, dass die Drift in diesem Altersstadium auf einem aktiven Verhalten beruht. Im Gegensatz dazu sind die gestrandeten Individuen offensichtlich auf Grund einer lokalen, gerinne-spezifischen Untiefe festgesessen. Aufgrund dieses Unterschiedes werden die beiden vom Schwall verursachten Ereignisse getrennt betrachtet.

Fragestellung 1: Anzahl abgedrifteter Jungäschen

Gehen die Driftraten im Laufe der Versuchsreihen (November 2012 und Februar 2013) zurück und gibt es folglich eine Anpassung der Jungäschen an die Schwallereignisse?

Hypothese 1: Mit zunehmender Schwallanzahl in den Versuchszeiträumen nehmen die Driftraten in der Schwallrinne ab.

Versuchszeitraum

In beiden Versuchszeiträumen (November 2012, Februar 2013) wurden jeweils 250 Jungäschen zu Beginn in die Schwallrinne gesetzt. Im November 2012 sind 37% (93 Jungäschen) der ursprünglich 250 Jungäschen in Drift gegangen. Im Februar 2013 waren es 31% (77 Jungäschen) der ursprünglichen Anzahl der Individuen.

Abbildung 3-7 und Abbildung 3-8 zeigen die genaue Anzahl der abgedrifteten Individuen nach Versuchstagen für November 2012 und Februar 2013. Weder im November 2012 noch im Februar 2013 zeigt sich ein erkennbarer Trend der Driftereignisse. Im November 2012 gibt es Spitzen im ersten Versuchsdrittel. Im

Februar 2013 kann man am Anfang und in der Mitte der Versuchsreihe einen Peak der Driftereignisse erkennen.

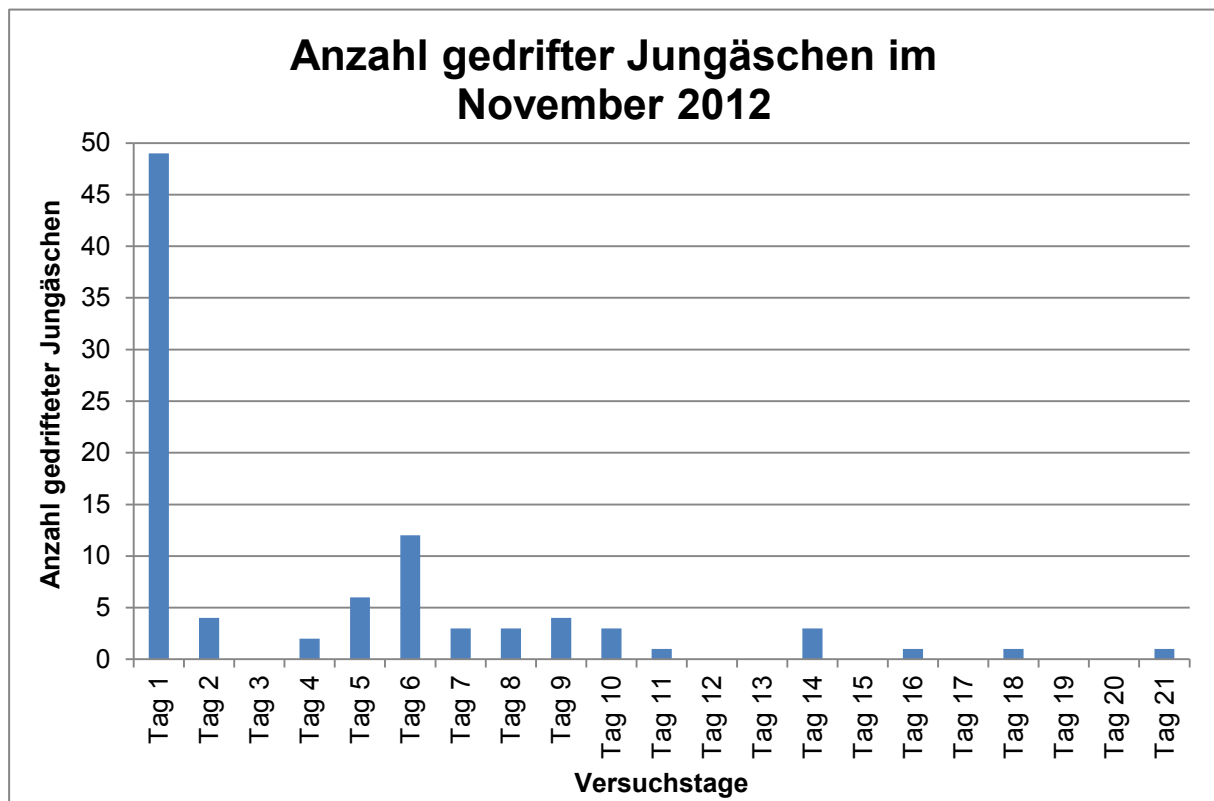


Abbildung 3-7: Anzahl gedrifteter Jungäschen nach Versuchstagen für November 2012

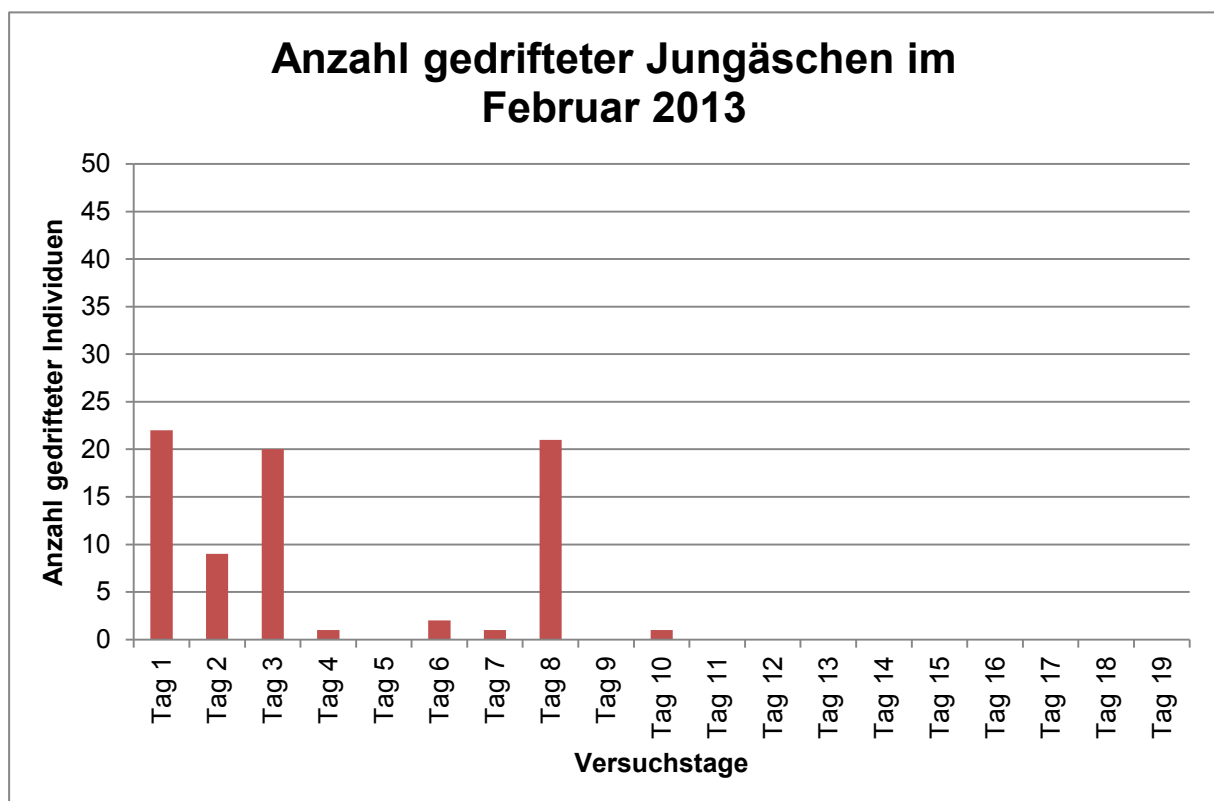


Abbildung 3-8: Anzahl gedrifteter Jungäschen nach Versuchstagen für Februar 2013

Im November 2012 sind die 93 Jungäschen in 23 (37%) der 63 Schwallereignissen aus der Versuchsrinne abgedriftet. Im Februar 2013 sind die 77 abgedrifteten Individuen hingegen in nur 12 (21%) der 57 Schwalke abgedriftet.

Zusammenfassend kann die Hypothese 1, dass mit zunehmender Schwallanzahl die Driftraten der Jungäschen abnehmen, somit für November 2012 und Februar 2013 angenommen werden.

Woche

Die nachfolgende Abbildung 3-9 listet die Anzahl der in Drift gegangenen Individuen, aufgeteilt nach Versuchszeitraum und Woche auf. Man kann erkennen, dass im November 2012 in der ersten Woche 82% der 93 Jungäschen in Drift gegangen sind. In der zweiten und dritten Woche sind die Driftereignisse stark zurückgegangen. Im Februar 2013 sind 71% der 77 Individuen in der ersten Woche aus der Schwallrinne abgedriftet. In der zweiten Woche sind die Driftereignisse um mehr als die Hälfte zurückgegangen, in der dritten Woche wurde keine Drift mehr verzeichnet.

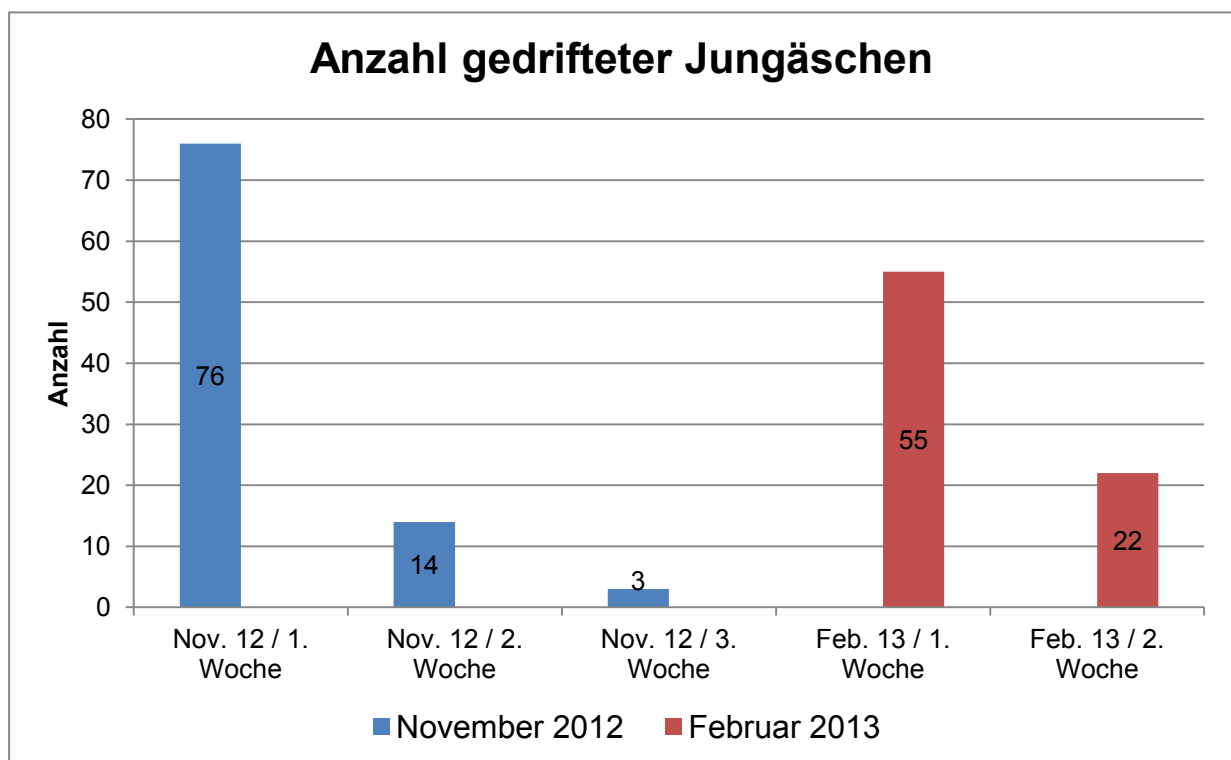


Abbildung 3-9: Anzahl der in Drift gegangenen Individuen nach Versuchszeitraum und Woche

Zur Darstellung des mittleren Niveaus der Längen-, Gewichts- und Konditionsfaktorunterschiede in den Wochen, werden das arithmetische Mittel (AM) und der Median (MD) herangezogen (Tabelle 3-2).

Im November 2012 sind in der ersten Woche, verglichen mit den Anfangsvermessungen in der Schwallrinne, die kürzeren und dadurch konditionsstärkeren Individuen in Drift gegangen. In der Variable Gewicht gibt es keine Unterschiede. Gewicht und Konditionsfaktor der Individuen, die in der zweiten Woche Driftverhalten gezeigt haben, waren geringer als jene der ersten Woche. Sowohl Länge, Gewicht als auch Konditionsfaktor der Individuen der dritten Woche sind niedriger als die Werte der Endvermessung aller Individuen der Schwallrinne, die mittels Elektrobefischung aus der Versuchsrinne geholt wurden (vgl. Tabelle 3-1).

Im Februar 2013 haben in der ersten Woche, verglichen mit den Anfangsvermessungen der Individuen der Schwallrinne, die kürzeren und dadurch konditionsstärkeren Individuen Driftverhalten gezeigt. In der Variable Gewicht gibt es keine Unterschiede. Sowohl Gewicht als auch Konditionsfaktor der Individuen, die in der zweiten Woche Driftverhalten gezeigt haben, sind niedriger als die in der ersten Woche und am Ende der Versuchsreihe (vgl. Tabelle 3-1).

Tabelle 3-2: statistische Parameter (arithmetisches Mittel (AM), Median (MD), Standardabweichung (STD)) von Länge, Gewicht und Konditionsfaktor

Bericht					
Versuchszeitraum	Woche		Länge [mm]	Gewicht [g]	Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1) ³]
November 2012	1. Woche	AM	73	2,6	,65
		MD	73	2,4	,63
		STD	7	,9	,09
		N	76	76	76
	2. Woche	AM	74	2,5	,61
		MD	74	2,5	,61
		STD	5	,5	,04
		N	14	14	14
	3. Woche	AM	74	2,7	,64
		MD	76	2,8	,64
		STD	6	,7	,02
		N	3	3	3
Februar 2013	1. Woche	AM	77	2,8	,60
		MD	76	2,7	,59

		STD	6	,6	,05
		N	55	55	55
	2. Woche	AM	77	2,7	,57
		MD	76	2,5	,56
		STD	5	,7	,04
		N	22	22	22

Tageszeit

Die nachfolgende Abbildung 3-10 listet die Anzahl der in Drift gegangenen Individuen, aufgeteilt nach Versuchszeitraum und Tageszeit auf. Im November 2012 sind von den 93 in Drift gegangenen Jungäschen mehr als die Hälfte der Individuen während der Mittagsschwalle abgedriftet und etwa ein Drittel während der Schwalle in der Früh. Während der Nachmittagsschwalle haben nur 10 Jungäschen Driftverhalten gezeigt. Im Februar 2013 sind während der Mittagsschwalle hingegen weniger als 10% der Driftereignisse aufgetreten. Während der Früh- und Nachmittagsschwalle sind indessen in Summe 94% der 77 Individuen aus der Schwallrinne abgedriftet.

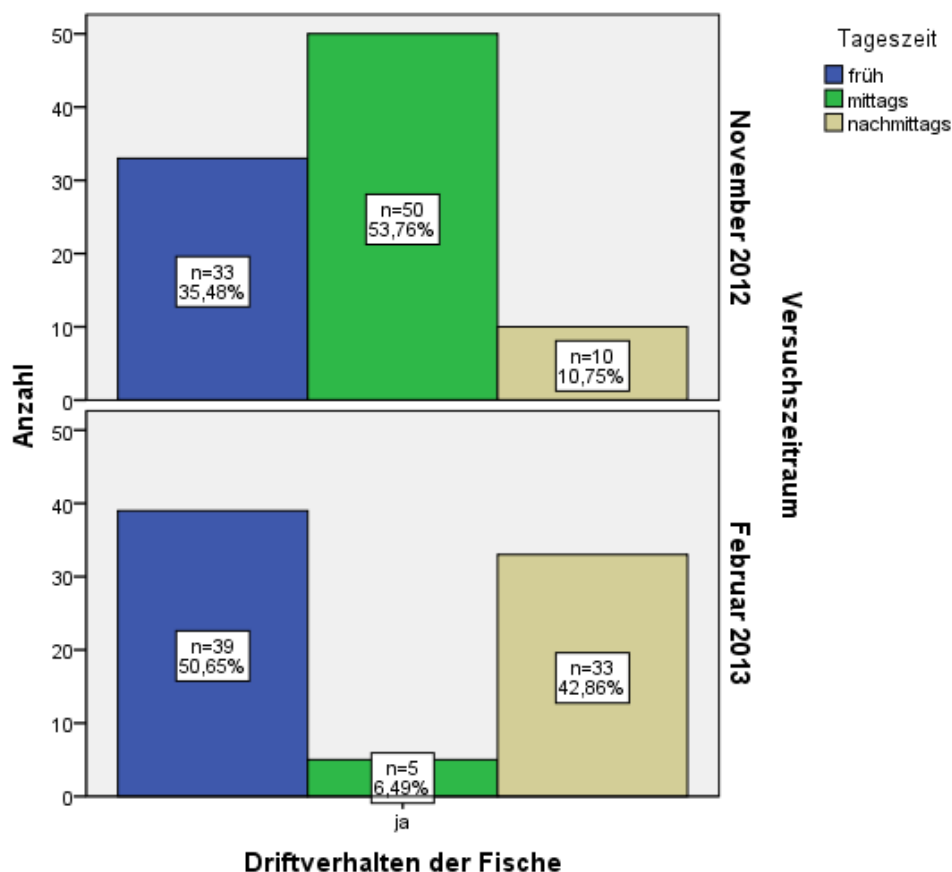


Abbildung 3-10: Anzahl der in Drift gegangenen Individuen nach Tageszeit und Versuchszeitraum

Phase/Dotation

Abbildung 3-11 listet die in Drift gegangenen Individuen aufgeteilt nach Versuchszeitraum und Phase auf. Man kann erkennen, dass in beiden Versuchszeiträumen während der Phase des Schwall mehr als zwei Drittel der Driftereignisse stattgefunden haben. Jedoch auch in der Phase des Anstiegs sind bis zu einem Fünftel der Driftereignisse verzeichnet worden. Weiters zeigen sich in beiden Versuchszeiträumen in der Anstiegsphase in etwa doppelt so viele Driftereignisse wie bei der aktiven Drift. In der Phase des Abstiegs wurde sowohl im November 2012 als auch im Februar 2013 nur je ein Individuum verzeichnet

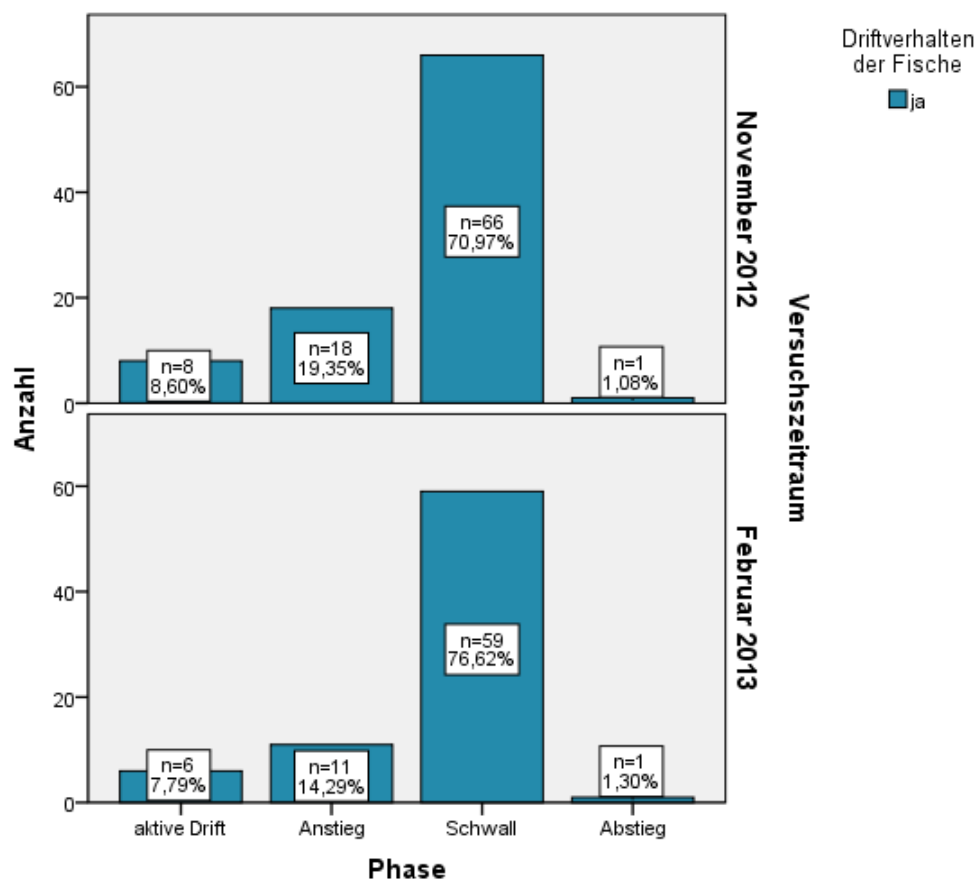


Abbildung 3-11: Anzahl der in Drift gegangenen Jungäschen nach Phase und Versuchszeitraum

Fragestellung 2: Anzahl gestrandeter Jungäschen

Gibt es eine Anpassung des Verhaltens der Jungäschen, um Strandungen im Laufe der Versuchsreihen (November 2012 und Februar 2013) zu minimieren?

Hypothese 2: Mit zunehmender Schwallanzahl in den Versuchszeiträumen nehmen die Strandungsraten in der Schwallrinne ab.

Gestrandete Jungäschen wurden hinsichtlich Länge und Gewicht nicht vermessen. Sie wurden nur zahlenmäßig aufgenommen und sofort wieder in die Schwallrinne zurückgesetzt, da Strandungen, im Gegensatz zur aktiven Drift, nicht gezielt durch aktives Verhalten ausgelöst werden und somit eine Vergleichbarkeit mit den Driftereignissen nicht gegeben ist. Die zahlenmäßige Aufnahme der Strandungsereignisse wurde zur Darstellung eines möglichen Trends oder einer möglichen Anpassung bzw. Lerneffekts der Jungäschen durchgeführt.

Im November 2012 sind 9% (23 Individuen) der ursprünglich 250 besetzten Jungäschen gestrandet. Im Februar waren es immerhin 38% (94 Individuen) der Jungäschen, die nach einem Schwall im Uferbereich zurück geblieben sind.

In Abbildung 3-12 kann man erkennen, dass im November 2012 an den ersten neun Versuchstagen täglich bis zu fünf Strandungen aufgetreten sind. Gegen Ende des Versuches kam es im November 2012 noch einmal zu drei Strandungen. Weiters zeigt Abbildung 3-12 die gestrandeten Jungäschen an den einzelnen Versuchstagen im Februar 2013. Hier sind die Strandungen nur an den ersten fünf Versuchstagen aufgetreten. Zahlenmäßig waren diese jedoch größer als im November 2012. So sind am ersten und zweiten Versuchstag über 80% der 94 gestrandeten Jungäschen im Uferbereich zurückgeblieben.

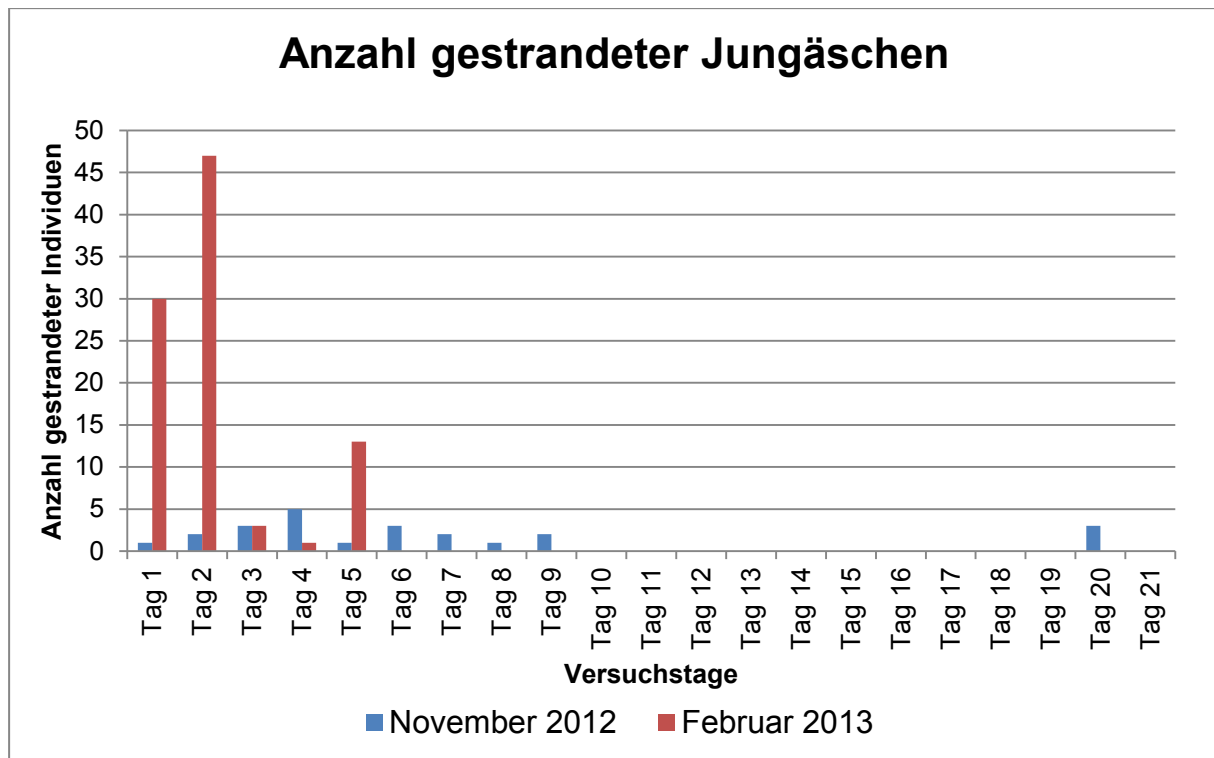


Abbildung 3-12: Anzahl gestrandeter Jungäschen für November 2012 und Februar 2013

Auffällig ist, dass die Strandungen der Jungäschen sowohl im November 2012 als auch im Februar 2013 immer an derselben Stelle aufgetreten sind. Dies ist möglicherweise auf eine Mulde im Sediment kurz unterhalb der quer zur Fließrichtung angebrachten Holzwand, welche bei Sunk nicht an den Hauptstrom angebunden ist, zurückzuführen.

Zusammenfassend kann die Hypothese 2, dass mit zunehmender Schwallanzahl die Strandungsraten der Jungäschen abnehmen, somit für November 2012 und Februar 2013 angenommen werden.

3.1.3 Fragestellung 3

Gibt es Unterschiede in der Wachstumsentwicklung (Länge und Gewicht) und Ernährungszustandsentwicklung (Konditionsfaktor) der Jungäschen zwischen den Rinnen (Schwall- und Referenzrinne) und Messzeitpunkten (vor, während und nach der Versuchsreihe) differenziert nach den Versuchszeiträumen (November 2012 und Februar 2013)?

Hypothese 3.1: Es gibt in beiden Versuchszeiträumen einen Unterschied zwischen den Rinnen bezüglich Länge [mm] und Gewicht [g].

Hypothese 3.2: Es gibt in beiden Versuchszeiträumen einen Unterschied zwischen den Rinnen bezüglich des Konditionsfaktors.

Hypothese 3.3: Es gibt in beiden Versuchszeiträumen einen Unterschied zwischen (1) den Rinnen **und** (2) den Messzeitpunkten bezüglich Länge [mm] und Gewicht [g].

Hypothese 3.4: Es gibt in beiden Versuchszeiträumen einen Unterschied zwischen (1) den Rinnen **und** (2) den Messzeitpunkten bezüglich des Konditionsfaktors.

Hypothese 3.1

Es gibt in beiden Versuchszeiträumen einen Unterschied zwischen den Rinnen bezüglich Länge [mm] und Gewicht [g].

Länge

Zur Darstellung des mittleren Niveaus (Location) der Längenunterschiede werden das arithmetische Mittel (AM) und der Median (MD) herangezogen. Wie in Tabelle 3-3 ersichtlich ist, war die durchschnittliche Länge im November 2012 in der Referenzrinne am größten, gefolgt von Schwallrinne und Rundbecken. Diese Unterschiede sind jedoch geringer als 1 mm. Im Februar 2013 war die durchschnittliche Länge hingegen in der Schwallrinne deutlich am größten, gefolgt von den um rund 1 mm kleineren Individuen im Rundbecken und in der Referenzrinne.

Tabelle 3-3: statistische Parameter (arithmetisches Mittel (AM), Median (MD), Standardabweichung (STD)) der Länge [mm]

Länge [mm]					
Versuchszeitraum	Location	AM	MD	STD	N
November 2012	Schwallrinne	74	73	7	465
	Referenzrinne	75	74	6	429
	Rundbecken	74	73	7	500
	Insgesamt	74	74	7	1394
Februar 2013	Schwallrinne	78	77	6	427

	Referenzrinne	76	75	7	479
	Rundbecken	77	76	7	500
	Insgesamt	77	76	6	1406

Ob die obigen Längenunterschiede statistisch signifikant sind, wird zunächst mit einer Varianzanalyse (ANOVA; Parameter-Test) beurteilt.

Tabelle 3-4: Testergebnisse (ANOVA) zur Überprüfung von Längenunterschieden des arithmetischen Mittels

ANOVA-Tabelle						
	Versuchszeitraum					
	November 2012			Februar 2013		
	Länge [mm] * Location			Länge [mm] * Location		
	Zwischen den Gruppen	Innerhalb der Gruppen	Insgesamt	Zwischen den Gruppen	Innerhalb der Gruppen	Insgesamt
	(Kombiniert)			(Kombiniert)		
df	2	1391	1393	2	1403	1405
F	1,459			5,763		
Signifikanz (p)	,233			,003		
R ² (korrigiert)	,001			,007		

Unter der Voraussetzung, dass Normalverteilung und Varianzhomogenität vorliegen, kann folgende Hypothesenentscheidung getroffen werden (Tabelle 3-4):

Für November 2012 muss die Hypothese 3.1 verworfen werden, das heißt, es liegen keine signifikanten Längenunterschiede zwischen den Rinnen vor ($p=0,233 > \alpha=0,05$).

Dagegen kann die Hypothese 3.1 für Februar 2013 angenommen werden, das heißt, es liegt ein statistisch gesicherter Längenunterschied zwischen den Rinnen vor ($p=0,003 < \alpha=0,05$).

Im Februar 2013 liegt ein statistisch signifikanter Längenunterschied vor ($p<\alpha$). Der Erklärungsgrad mit $R^2=0,007$ besagt jedoch, dass nur 0,7% der Streuung erklärt werden.

Tabelle 3-5: Post-hoc Mittelwertvergleich (Bonferroni-Test; p =empirische Wahrscheinlichkeiten) der Länge

November 2012

	Schwallrinne	Referenzrinne	Rundbecken
p			
Schwallrinne	-		
Referenzrinne	0,829	-	
Rundbecken	1	0,272	-

Februar 2013			
	Schwallrinne	Referenzrinne	Rundbecken
p			
Schwallrinne	-		
Referenzrinne	0,003	-	
Rundbecken	0,037	1	-

Der statistisch gesicherte Längenunterschied zwischen den Rinnen zeigt sich aber nur bei dem Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne einerseits und Schwallrinne und Rundbecken andererseits im Februar 2013 ($p[\text{SR vs. RR}] = 0,003$; $p[\text{SR vs. RB}] = 0,037$) (Tabelle 3-5)

Bei Betrachtung von Abbildung 3-13 kann man im November 2012 die geringen Längenunterschiede zwischen den Loci erkennen. Im Februar 2013 ist der statistisch signifikante Längenunterschied zwischen Schwallrinne und Referenzrinne einerseits und Schwallrinne und Rundbecken andererseits hingegen gut erkennbar.

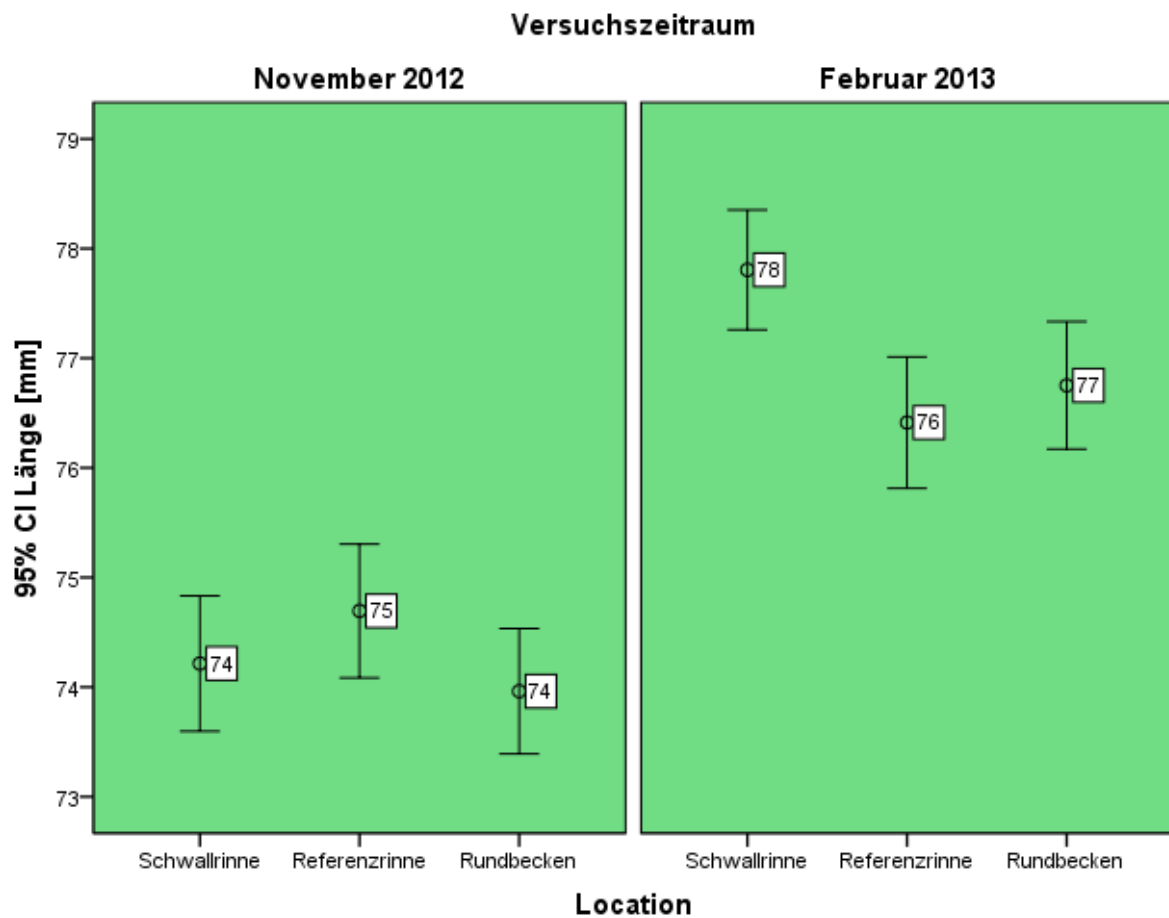


Abbildung 3-13: Darstellung des Konfidenzintervalls (95% CI) der Länge (arithmetisches Mittel)

Unter der Voraussetzung, dass Normalverteilung und Varianzhomogenität nicht vorliegen, werden der Kruskal-Wallis- und Mediantest (parameterfreie Tests) angewandt.

Tabelle 3-6: Testergebnisse (Kruskal-Wallis-Test) zur Überprüfung von Längenunterschieden des mittleren Niveaus

Kruskal-Wallis-Test		
Versuchszeitraum		Länge [mm]
November 2012	Chi-Quadrat	2,576
	df	2
	Asymptotische Signifikanz (p)	,276
Februar 2013	Chi-Quadrat	21,699
	df	2
	Asymptotische Signifikanz (p)	,000

Tabelle 3-7: Testergebnisse (Mediantest) zur Überprüfung von Längenunterschieden des mittleren Niveaus

Mediantest - Häufigkeiten					
Versuchszeitraum			Location		
			Schwallrinne	Referenzrinne	Rundbecken
November 2012	Länge [mm]	> Median	232	221	244
		< = Median	233	208	256
Februar 2013	Länge [mm]	> Median	235	200	223
		< = Median	192	279	277
Testentscheidung: November 2012: $\chi^2=0,684$; df=2; p=0,710 (n.s.)					
Februar 2013: $\chi^2=17,502$; df=2; p=0,000 (sign.)					

Sowohl der Kruskal-Wallis-, als auch der Mediantest bestätigen die bereits von der ANOVA ermittelte Signifikanzentscheidung (Tabelle 3-6; Tabelle 3-7). Das heißt, dass für November 2012 die Hypothese 3.1 verworfen (Kruskal-Wallis-Test: $p=0,276 > \alpha=0,05$; Mediantest: $p=0,710 > \alpha=0,05$), und für Februar 2013 die Hypothese 3.1 angenommen (Kruskal-Wallis-Test: $p=0,000 < \alpha=0,05$; Mediantest: $p=0,000 < \alpha=0,05$) werden muss.

Abbildung 3-14 stellt die Erkenntnisse der parameterfreien Testentscheidung (Kruskal-Wallis- und Mediantest) zusätzlich grafisch dar.

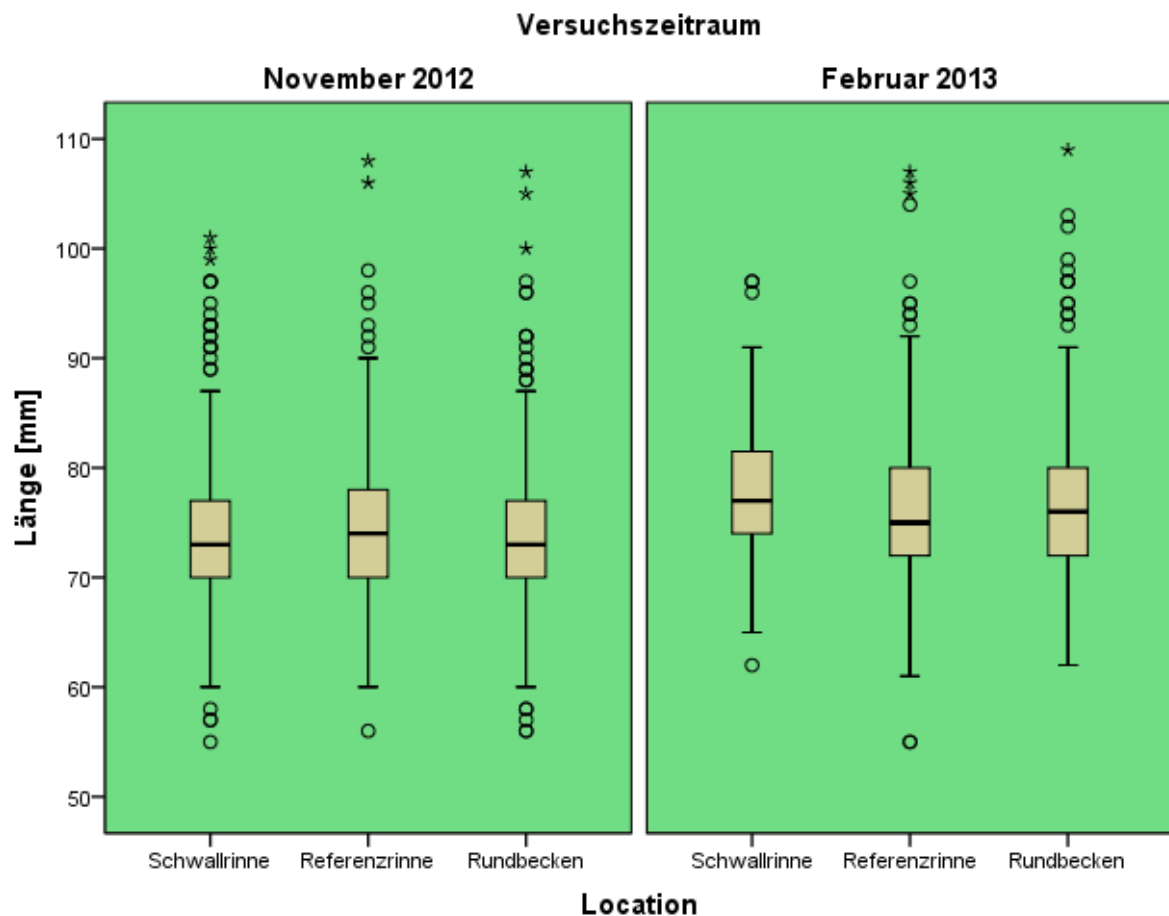


Abbildung 3-14: Box-Plots der Länge (Median; Interquartil; Extremwerte“°“; Ausreißer“**“)

Gewicht

Zur Darstellung des mittleren Niveaus (Location) der Gewichtsunterschiede werden das arithmetische Mittel (AM) und der Median (MD) herangezogen. Sowohl im November 2012 als auch im Februar 2013 unterschieden sich die durchschnittlichen Gewichte zwischen den drei Locations um weniger als 0,3 g (Tabelle 3-8).

Tabelle 3-8: statistische Parameter (arithmetisches Mittel (AM), Median (MD), Standardabweichung (STD)) des Gewichts [g]

Gewicht [g]					
Versuchszeitraum	Location	AM	MD	STD	N
November 2012	Schwallrinne	2,7	2,5	,9	465
	Referenzrinne	2,8	2,7	,8	429
	Rundbecken	2,7	2,6	,8	500
	Insgesamt	2,7	2,6	,8	1394
Februar 2013	Schwallrinne	2,8	2,7	,7	427
	Referenzrinne	2,6	2,5	,8	479

	Rundbecken	2,7	2,5	,9	500
	Insgesamt	2,7	2,5	,8	1406

Ob die obigen Gewichtsunterschiede statistisch signifikant sind, wird zunächst mit einer Varianzanalyse (ANOVA; Parameter-Test) beurteilt.

Tabelle 3-9: Testergebnisse (ANOVA) zur Überprüfung von Gewichtsunterschieden des arithmetischen Mittels

ANOVA-Tabelle						
	Versuchszeitraum					
	November 2012			Februar 2013		
	Gewicht [g] * Location			Gewicht [g] * Location		
	Zwischen den Gruppen	Innerhalb der Gruppen	Insgesamt	Zwischen den Gruppen	Innerhalb der Gruppen	Insgesamt
	(Kombiniert)			(Kombiniert)		
df	2	1391	1393	2	1403	1405
F	1,418			8,911		
Signifikanz (p)	,243			,000		
R ² (korrigiert)	,001			,011		

Unter der Voraussetzung, dass Normalverteilung und Varianzhomogenität vorliegen, kann folgende Hypothesenentscheidung getroffen werden (Tabelle 3-9):

Für November 2012 muss die Hypothese 3.1 verworfen werden, das heißt, es liegen keine signifikanten Gewichtsunterschiede vor ($p=0,243 > \alpha=0,05$).

Dagegen kann die Hypothese 3.1 für Februar 2013 angenommen werden, das heißt, es liegt ein statistisch gesicherter Gewichtsunterschied zwischen den Rinnen vor ($p=0,000 < \alpha=0,05$).

Im Februar 2013 liegt ein statistisch signifikanter Gewichtsunterschied vor ($p<\alpha$). Der Erklärungsgrad mit $R^2=0,011$ besagt jedoch, dass nur 1,1% der Streuung erklärt werden.

Tabelle 3-10: Post-hoc Mittelwertvergleich (Bonferroni-Test; p =empirische Wahrscheinlichkeiten) des Gewichts

November 2012			
	Schwallrinne	Referenzrinne	Rundbecken
p			
Schwallrinne	-		
Referenzrinne	0,293	-	

Rundbecken	1	0,779	-
------------	---	-------	---

Februar 2013			
	Schwallrinne	Referenzrinne	Rundbecken
p			
Schwallrinne	-		
Referenzrinne	0,000	-	
Rundbecken	0,009	0,670	-

Dieser statistisch gesicherte Gewichtsunterschied zwischen den Rinnen zeigt sich aber nur bei dem Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne einerseits und Schwallrinne und Rundbecken andererseits im Februar 2013 ($p[\text{SR vs. RR}] = 0,000$; $p[\text{SR vs. RB}] = 0,009$) (Tabelle 3-10).

In Abbildung 3-15 kann man den geringen Gewichtsunterschied zwischen den Loci im November 2012 erkennen. Im Februar 2013 ist der statistisch signifikante Gewichtsunterschied zwischen Schwallrinne und Referenzrinne einerseits und Schwallrinne und Rundbecken andererseits hingegen gut erkennbar.

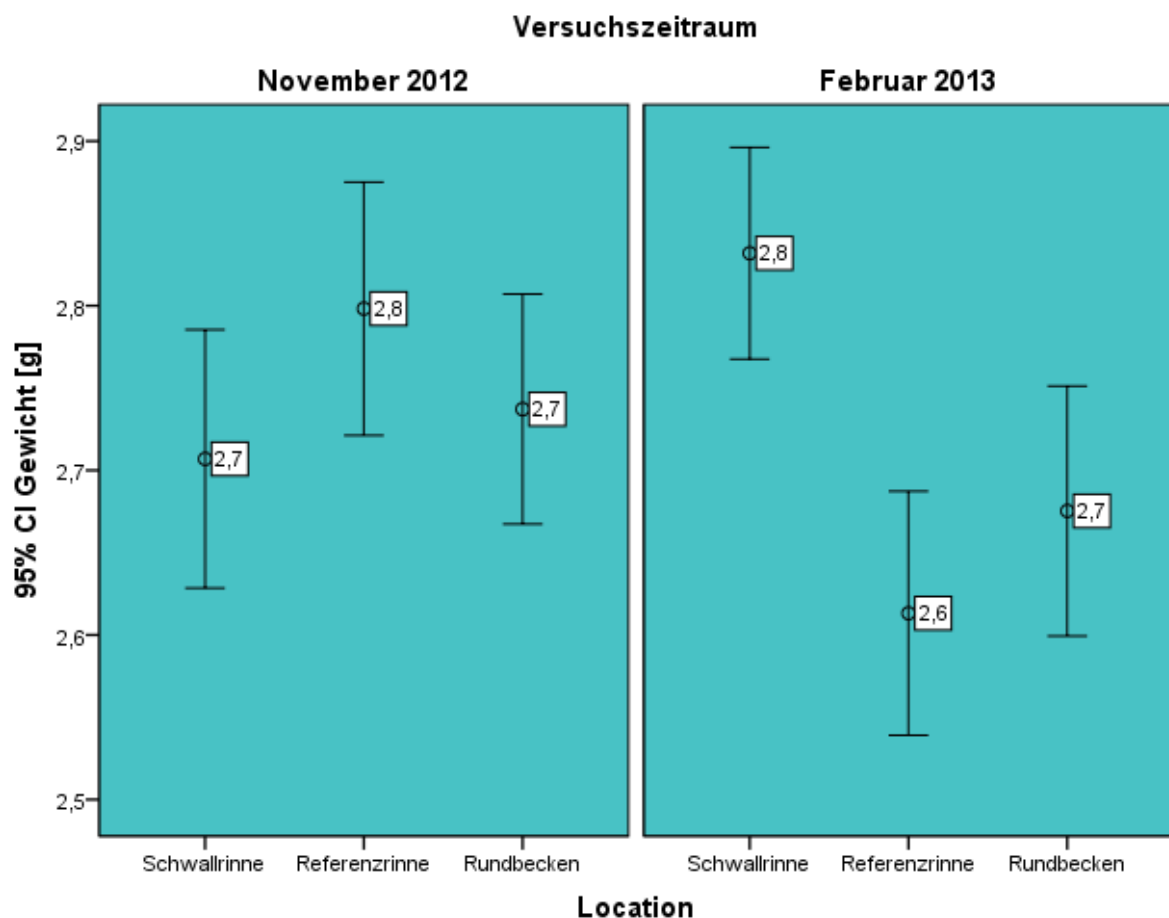


Abbildung 3-15: Darstellung des Konfidenzintervalls (95% CI) des Gewichts (arithmetisches Mittel)

Unter der Voraussetzung, dass Normalverteilung und Varianzhomogenität nicht vorliegen, werden der Kruskal-Wallis- und Mediantest (parameterfreie Tests) angewandt.

Tabelle 3-11: Testergebnisse (Kruskal-Wallis-Test) zur Überprüfung von Gewichtsunterschieden des mittleren Niveaus

Kruskal-Wallis-Test		
Versuchszeitraum		Gewicht [g]
November 2012	Chi-Quadrat	6,721
	df	2
	Asymptotische Signifikanz (p)	,035
Februar 2013	Chi-Quadrat	41,772
	df	2
	Asymptotische Signifikanz (p)	,000

Tabelle 3-12: Testergebnisse (Mediantest) zur Überprüfung von Gewichtsunterschieden des mittleren Niveaus

Mediantest - Häufigkeiten					
Versuchszeitraum			Location		
			Schwallrinne	Referenzrinne	Rundbecken
November 2012	Gewicht [g]	> Median	219	232	242
		< = Median	246	197	258
Februar 2013	Gewicht [g]	> Median	259	205	232
		< = Median	168	274	268
Testentscheidung: November 2012: $\chi^2=4,889$; df=2; p=0,087 (n.s.)					
Februar 2013: $\chi^2=31,789$; df=2; p=0,000 (sign.)					

Der Mediantest bestätigt die bereits von der ANOVA ermittelte Signifikanzentscheidung. Für November 2012 muss die Hypothese 3.1 abgelehnt und für Februar 2013 angenommen werden (November 2012: $p=0,087 > \alpha=0,05$; Februar 2013: $p=0,000 < \alpha=0,05$) (Tabelle 3-12).

Hingegen kommt der Kruskal-Wallis-Test zu dem Ergebnis, dass die Hypothese 3.1 sowohl für November 2012 als auch Februar 2014 angenommen werden muss. Das heißt, es liegt in beiden Versuchszeiträumen ein statistisch gesicherter Gewichtsunterschied zwischen den Rinnen vor (November 2012: $p=0,035 < \alpha=0,05$; Februar 2013: $p=0,000 < \alpha=0,05$) (Tabelle 3-11).

Abbildung 3-16 stellt die Erkenntnisse der parameterfreien Testentscheidung (Kruskal-Wallis- und Mediantest) zusätzlich grafisch dar.

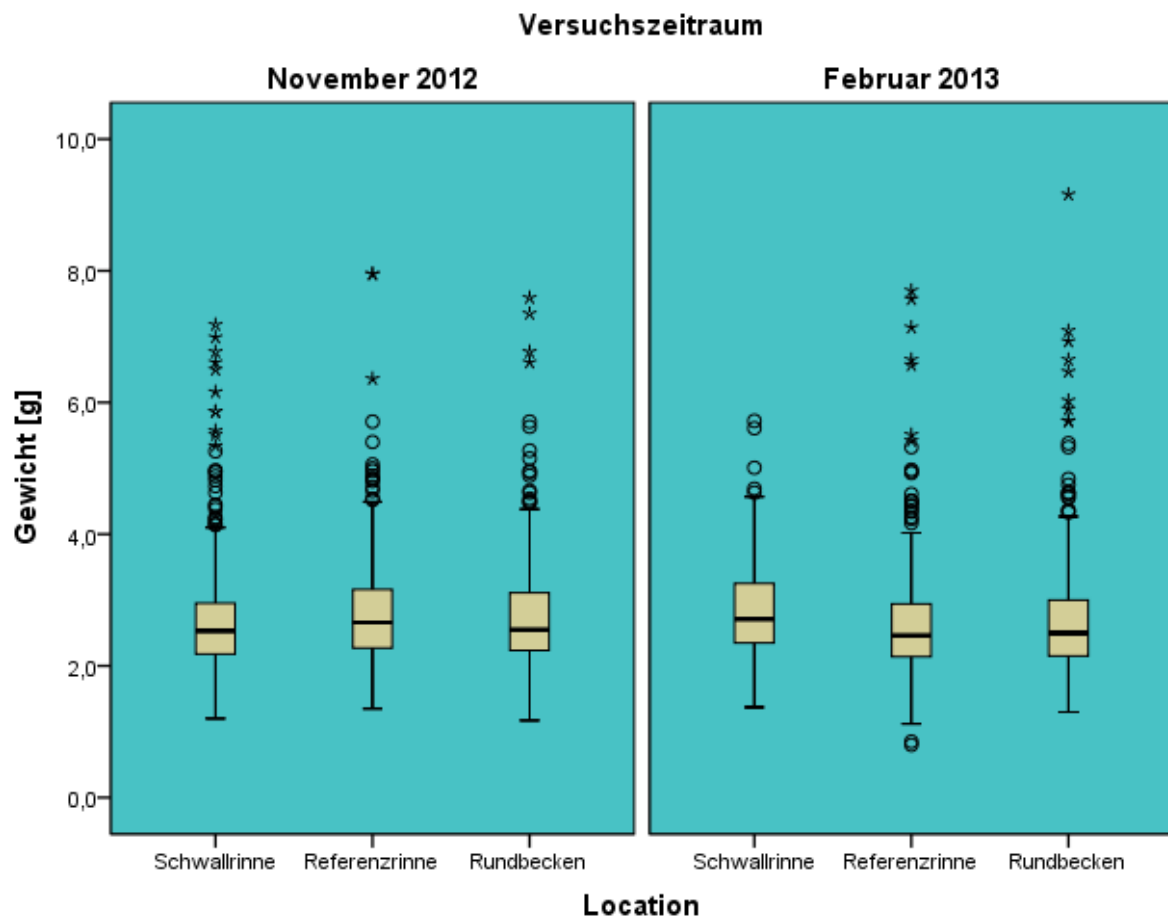


Abbildung 3-16: Box-Plots des Gewichts (Median; Interquartil; Extremwerte“o“; Ausreißer“*“)

Hypothese 3.2

Es gibt in beiden Versuchszeiträumen einen Unterschied zwischen den Rinnen bezüglich des Konditionsfaktors.

Zur Darstellung des mittleren Niveaus (Location) der Konditionsfaktorunterschiede werden das arithmetische Mittel (AM) und der Median (MD) herangezogen. Sowohl im November 2012 als auch im Februar 2013 liegen kaum Konditionsfaktorunterschiede zwischen den Locations vor. Jedoch ist das mittlere Niveau im November 2012 deutlich höher als jenes im Februar 2013 (Tabelle 3-13).

Tabelle 3-13: statistische Parameter (arithmetisches Mittel (AM), Median (MD), Standardabweichung (STD)) des Konditionsfaktors

Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1) ³]					
Versuchszeitraum	Location	AM	MD	STD	N
November 2012	Schwallrinne	,65	,64	,07	465
	Referenzrinne	,66	,64	,07	429
	Rundbecken	,66	,65	,07	500
	Insgesamt	,66	,65	,07	1394
Februar 2013	Schwallrinne	,59	,59	,05	427
	Referenzrinne	,57	,56	,05	479
	Rundbecken	,58	,57	,05	500
	Insgesamt	,58	,57	,05	1406

Ob die obigen Konditionsfaktorunterschiede statistisch signifikant sind, wird zunächst mit einer Varianzanalyse (ANOVA; Parameter-Test) beurteilt.

Tabelle 3-14: Testergebnisse (ANOVA) zur Überprüfung von Konditionsfaktorunterschieden des arithmetischen Mittels

ANOVA-Tabelle						
	Versuchszeitraum					
	November 2012			Februar 2013		
	Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1) ³] * LOC Location			Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1) ³] * LOC Location		
	Zwischen den Gruppen (Kombiniert)	Innerhalb der Gruppen	Insgesamt	Zwischen den Gruppen (Kombiniert)	Innerhalb der Gruppen	Insgesamt
df	2	1391	1393	2	1403	1405
F	7,538			22,435		
Signifikanz (p)	,001			,000		
R ² (korrigiert)	,009			,030		

Unter der Voraussetzung, dass Normalverteilung und Varianzhomogenität vorliegen, kann folgende Hypothesenentscheidung getroffen werden (Tabelle 3-14):

Die Hypothese 3.2 kann für November 2012 und Februar 2013 angenommen werden, das heißt, es liegt eine statistisch gesicherter Konditionsfaktorunterschied zwischen den Rinnen vor (November 2012: $p=0,001 < \alpha=0,05$; Februar 2013: $p=0,000 < \alpha=0,05$).

Sowohl im November 2012 als auch im Februar 2013 liegt eine statistisch signifikanter Konditionsfaktorunterschied vor ($p<\alpha$). Der Erklärungsgrad mit $R^2=0,009$ für November 2012 und $R^2=0,030$ für Februar 2013 erklären jedoch nur zu 0,9% bzw. 3% die Streuung.

Tabelle 3-15: Post-hoc Mittelwertvergleich (Bonferroni-Test; p =empirische Wahrscheinlichkeit) des Konditionsfaktors

November 2012			
	Schwallrinne	Referenzrinne	Rundbecken
p			
Schwallrinne	-		
Referenzrinne	0,029	-	
Rundbecken	0,000	0,844	-

Februar 2013			
	Schwallrinne	Referenzrinne	Rundbecken
p			
Schwallrinne	-		
Referenzrinne	0,000	-	
Rundbecken	0,000	0,233	-

Dieser statistisch gesicherte Konditionsfaktorunterschied zwischen den Rinnen zeigt sich sowohl im November 2012 als auch im Februar 2013 bei dem Vergleich zwischen Schwallrinne und Referenzrinne einerseits und Schwallrinne und Rundbecken andererseits (November 2012: p [SR vs. RR]=0,029; p [SR vs. RB]=0,000; Februar 2013: p [SR vs. RR]=0,000; p [SR vs. RB]=0,000) (Tabelle 3-15).

Abbildung 3-17 veranschaulicht die statistisch signifikanten Konditionsfaktorunterschiede im November 2012 und Februar 2013 zwischen Schwallrinne und Referenzrinne einerseits und Schwallrinne und Rundbecken andererseits.

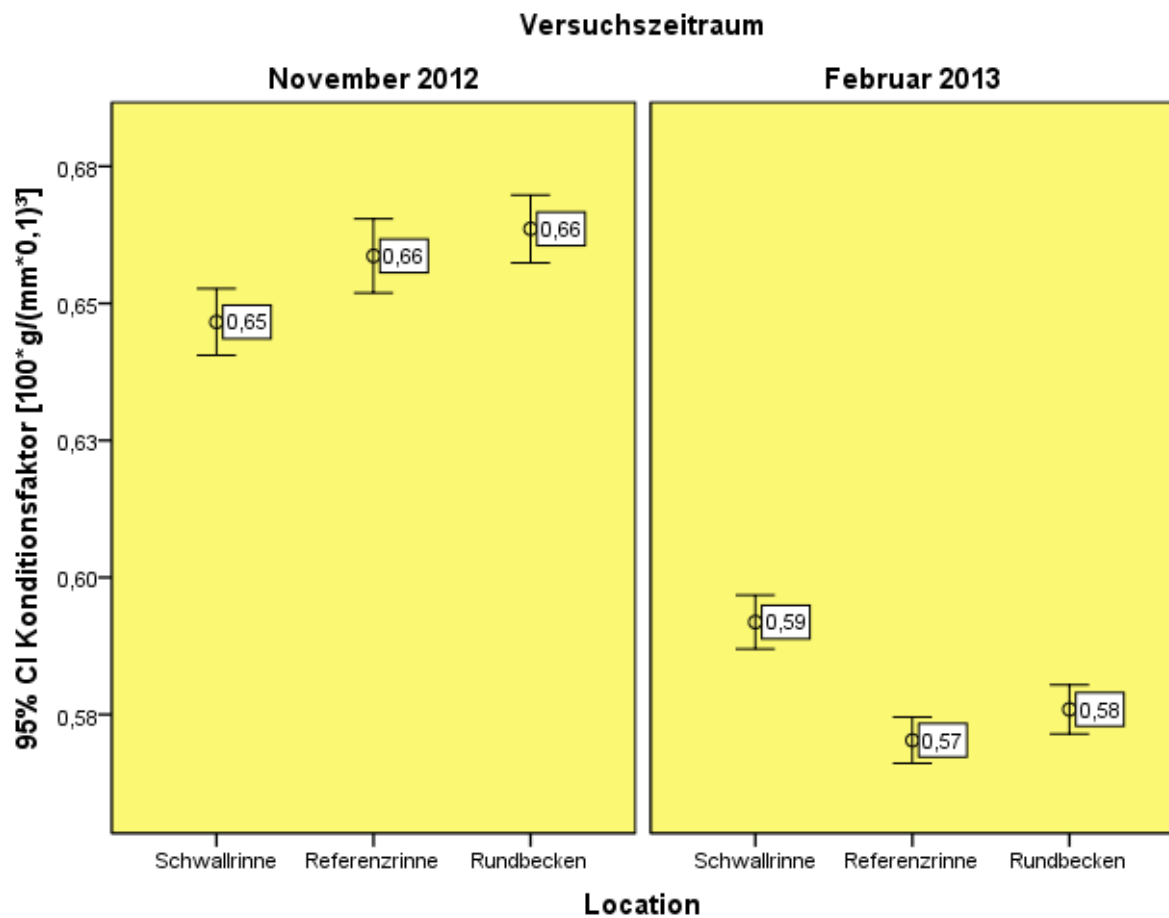


Abbildung 3-17: Darstellung des Konfidenzintervalls (95% CI) des Konditionsfaktors (arithmetisches Mittel)

Unter der Voraussetzung, dass Normalverteilung und Varianzhomogenität nicht vorliegen, werden der Kruskal-Wallis- und Mediantest (parameterfreie Tests) angewandt.

Tabelle 3-16: Testergebnisse (Kruskal-Wallis-Test) zur Überprüfung von Konditionsfaktorunterschieden des mittleren Niveaus

Kruskal-Wallis-Test		
Versuchszeitraum		Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1)³]
November 2012	Chi-Quadrat	13,832
	df	2
	Asymptotische Signifikanz (p)	,001
Februar 2013	Chi-Quadrat	44,799
	df	2
	Asymptotische Signifikanz (p)	,000

Tabelle 3-17: Testergebnisse (Mediantest) zur Überprüfung von Konditionsfaktorunterschieden des mittleren Niveaus

Mediantest - Häufigkeiten					
Versuchszeitraum			Location		
			Schwallrinne	Referenzrinne	Rundbecken
November 2012	Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1) ³]	> Median	213	211	272
		<= Median	252	218	228
Februar 2013	Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1) ³]	> Median	250	208	245
		<= Median	177	271	255
Testentscheidung: November 2012: $\chi^2=7,254$; df=2; p=0,027 (sign.)					
Februar 2013: $\chi^2=20,966$; df=2; p=0,000 (sign.)					

Sowohl der Kruskal-Wallis- als auch der Mediantest bestätigen die bereits von der ANOVA ermittelte Signifikanzentscheidung (Tabelle 3-16; Tabelle 3-17). Das heißt, es liegt sowohl im November 2012, als auch im Februar 2013 ein statistisch gesicherter Konditionsfaktorunterschied zwischen den Rinnen vor (Kruskal-Wallis-Test: November 2012: $p=0,001 < \alpha=0,05$; Februar 2013: $p=0,000 < \alpha=0,05$; Mediantest: November 2012: $p=0,027 < \alpha=0,05$; Februar 2013: $p=0,000 < \alpha=0,05$).

Abbildung 3-18 stellt die Erkenntnisse der parameterfreien Testentscheidung (Kruskal-Wallis- und Mediantest) zusätzlich grafisch dar.

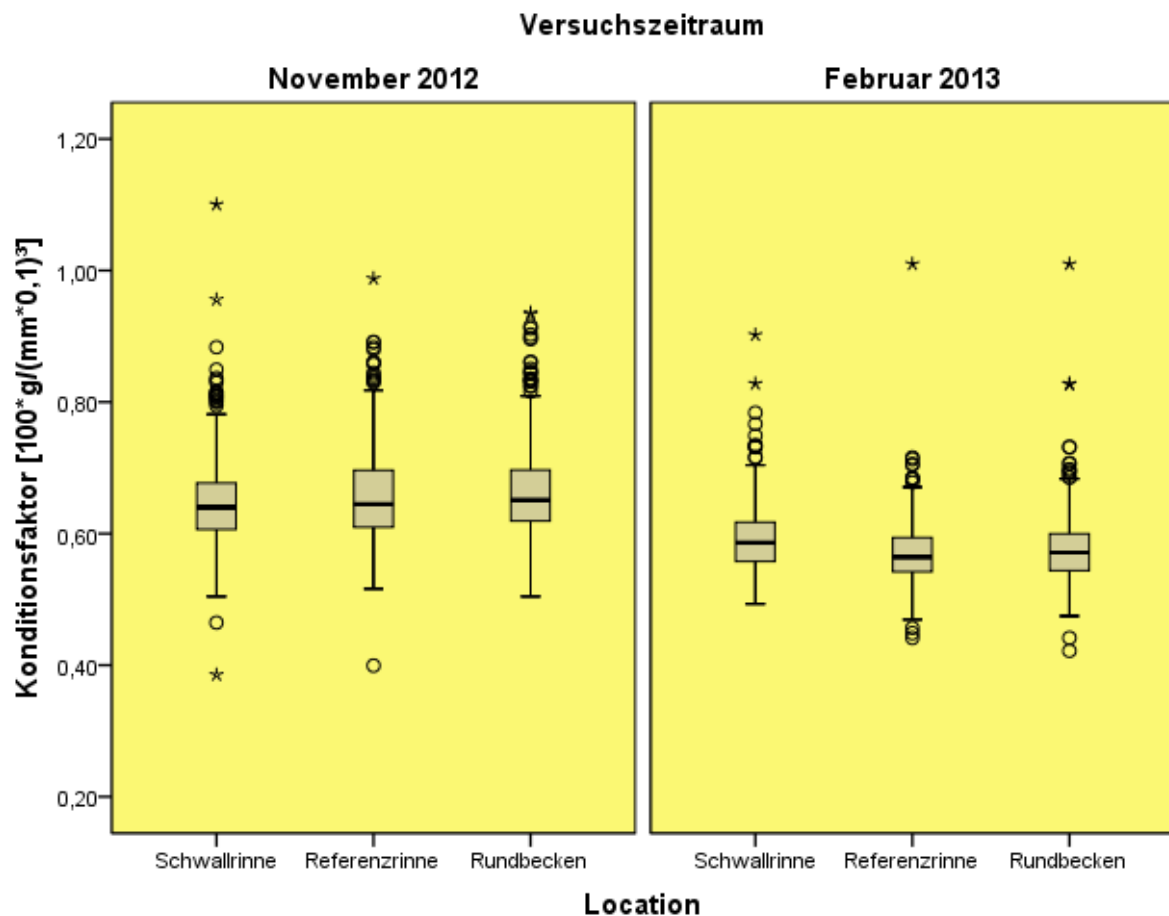


Abbildung 3-18: Box-Plots des Konditionsfaktors (Median; Interquartil; Extremwerte“°“; Ausreißer“*“)

Hypothese 3.3

Es gibt in beiden Versuchszeiträumen einen Unterschied zwischen (1) den Rinnen **und** (2) den Messzeitpunkten bezüglich Länge [mm] und Gewicht [g].

Länge

Zur Darstellung des mittleren Niveaus (Location und Messzeitpunkt) der Längenunterschiede werden das arithmetische Mittel (AM) und der Median (MD) herangezogen (Tabelle 3-18). Eine detaillierte Beschreibung inklusive Vergleiche wird in Kapitel 3.1.1 ausgeführt.

Tabelle 3-18: statistische Parameter (arithmetisches Mittel (AM), Median (MD), Standardabweichung (STD)) der Länge [mm]

Länge [mm]

Versuchszeitraum	Location	Messzeitpunkt	AM	MD	STD	N
November 2012	Schwallrinne	vor	74	73	7	250
		während	74	73	6	93
		nach	76	75	7	122
	Referenzrinne	vor	74	73	6	250
		nach	75	75	6	179
	Rundbecken	vor	74	73	7	250
		nach	74	73	6	250
	Insgesamt	Insgesamt	74	74	7	1394
Februar 2013	Schwallrinne	vor	78	77	6	250
		während	77	76	6	77
		nach	79	79	6	100
	Referenzrinne	vor	76	75	7	250
		nach	77	75	7	229
	Rundbecken	vor	77	76	6	250
		nach	77	76	7	250
	Insgesamt	Insgesamt	77	76	6	1406

Ob die obigen Längenunterschiede statistisch signifikant sind, wird zunächst mit einer Varianzanalyse (ANOVA; Parameter-Test), unter der Voraussetzung dass Normalverteilung und Varianzhomogenität vorliegen, beurteilt.

Tabelle 3-19: Testergebnisse (ANOVA) zur Überprüfung von Längenunterschieden des arithmetischen Mittels

ANOVA - Tests der Zwischensubjekteffekte				
Abhängige Variable: Länge [mm]				
Versuchszeitraum	Quelle	df	F	Sig.
November 2012	Korrigiertes Modell	6	3,310	,003
	Konstanter Term	1	121261,811	,000
	LOC	2	2,402	,091
	MZP	2	8,005	,000
	LOC * MZP	2	1,472	,230
	Fehler	1387		
	Gesamt	1394		
	Korrigierte Gesamtvariation	1393		
Februar 2013	Korrigiertes Modell	6	2,812	,010
	Konstanter Term	1	125009,096	,000
	LOC	2	7,897	,000
	MZP	2	2,482	,084
	LOC * MZP	2	,659	,517
	Fehler	1399		
	Gesamt	1406		
	Korrigierte Gesamtvariation	1405		
a. R-Quadrat = ,014 (korrigiertes R-Quadrat = ,010)				

b. R-Quadrat = ,012 (korrigiertes R-Quadrat = ,008)

Die oben formulierte Hypothese 3.3 kann nur partiell bestätigt werden. Sie muss demnach aufgrund folgender Testergebnisse (Tabelle 3-19) modifiziert werden:

In beiden Versuchszeiträumen gibt es statistisch signifikante Auffälligkeiten. Wobei im November 2012 nur der Messzeitpunkt statistisch signifikante Längenunterschiede signalisiert ($p[\text{MZP}] = 0,000 < \alpha = 0,05$), während im Februar 2013 hingegen nur die Rinnen statistisch signifikante Längenunterschiede belegen ($p[\text{LOC}] = 0,000 < \alpha = 0,05$). Eine statistisch gesicherte wechselseitige Wirkung der beiden Faktoren ($\text{LOC} * \text{MZP}$) auf die Länge kann verworfen werden (November 2012: $p[\text{LOC} * \text{MZP}] = 0,230 > \alpha = 0,05$; Februar 2013: $p[\text{LOC} * \text{MZP}] = 0,517 > \alpha = 0,05$).

Obwohl die ANOVA-Modelle statistisch signifikante Auffälligkeiten anzeigen, weisen sie für beide Versuchszeiträume keinen Erklärungswert auf. Das heißt konkret, dass die Streuung der Zielgröße Länge im November 2012 nur zu 1% ($R^2 = 0,010$) durch die Kombination $\text{LOC} * \text{MZP}$ erklärt wird. Im Februar 2013 wird die Streuung der Zielgröße Länge sogar nur zu 0,8% ($R^2 = 0,008$) durch die Kombination $\text{LOC} * \text{MZP}$ erklärt.

Abbildung 3-19 veranschaulicht die Ergebnisse der Parameter-Testentscheidung (ANOVA).

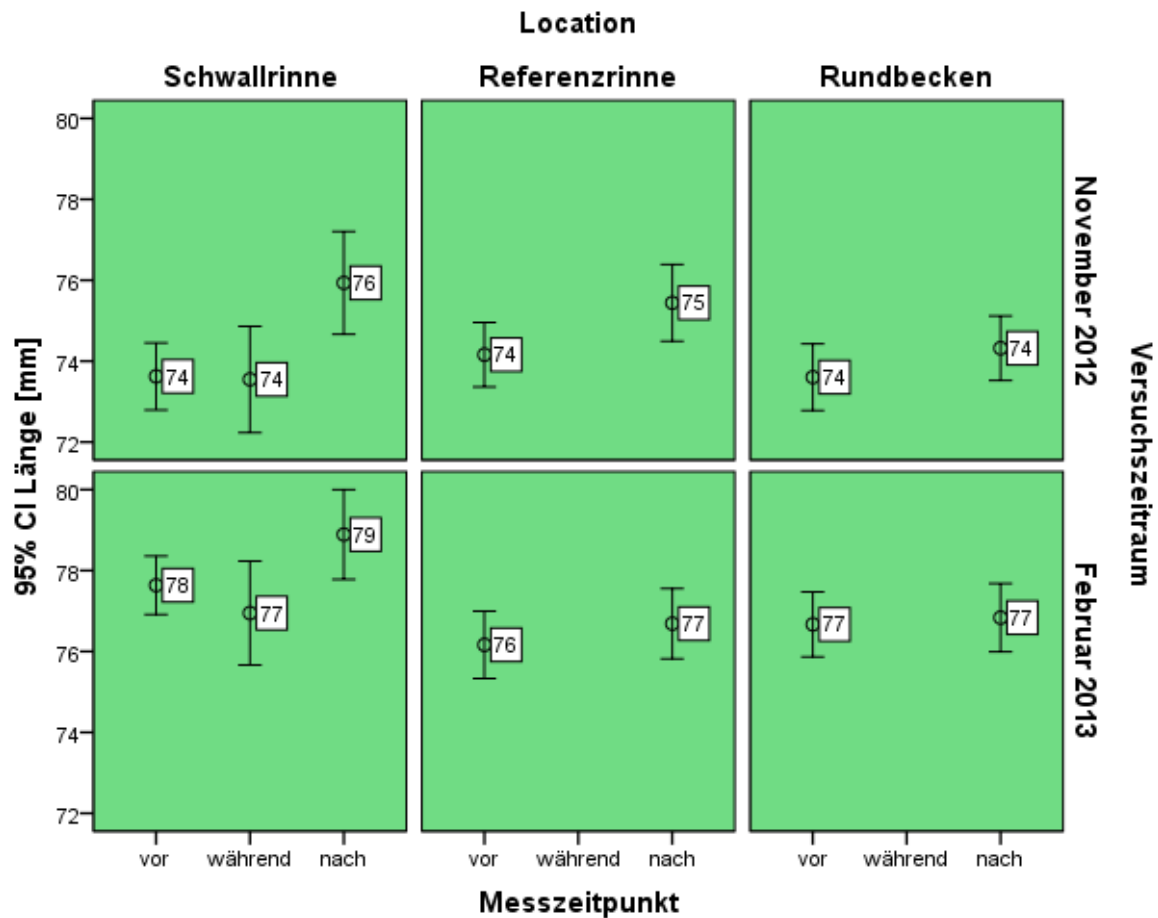


Abbildung 3-19: Darstellung des Konfidenzintervalls (95% CI) der Länge (arithmetisches Mittel)

Unter der Voraussetzung, dass Normalverteilung und Varianzhomogenität nicht vorliegen, werden der Kruskal-Wallis- und Mediantest (parameterfreie Tests) angewandt. Nachdem für zwei- und mehr-faktorielle Verfahren jedoch keine parameterfreien Testverfahren existieren, wird die Analyse mit der erstellten Profilvariable (Profil_LOC_MZP_num) durchgeführt (siehe Kapitel 2.1.17).

Tabelle 3-20: Testergebnisse (Kruskal-Wallis-Test) zur Überprüfung von Längenunterschieden des mittleren Niveaus

Kruskal-Wallis-Test		
Versuchszeitraum		Länge [mm]
November 2012	Chi-Quadrat	18,272
	df	6
	Asymptotische Signifikanz (p)	,006
Februar 2013	Chi-Quadrat	29,751
	df	6

	Asymptotische Signifikanz (p)	,000
--	-------------------------------	------

Tabelle 3-21: Testergebnisse (Mediantest) zur Überprüfung von Längenunterschieden des mittleren Niveaus

Mediantest - Häufigkeiten				
Profil_LOC_MZP_num	Versuchszeitraum			
	November 2012		Februar 2013	
	Länge [mm]		Länge [mm]	
	> Median	< = Median	> Median	< = Median
Schwallrinne / vor	117	133	135	115
Schwallrinne / während	42	51	35	42
Schwallrinne / nach	73	49	65	35
Referenzrinne / vor	118	132	101	149
Referenzrinne / nach	103	76	99	130
Rundbecken / vor	121	129	117	133
Rundbecken / nach	123	127	106	144
Testentscheidung: November 2012: $\chi^2=11,793$; df=6; p=0,067 (n.s.)				
Februar 2013: $\chi^2=25,794$; df=6; p=0,000 (sign.)				

Während der Kruskal-Wallis-Test in beiden Versuchszeiträumen statistische Signifikanzen (November 2012: $p=0,006 < \alpha=0,05$; Februar 2013: $p=0,000 < \alpha=0,05$) anzeigt, zeigt der Mediantest dieses nur im Februar 2013 an (November 2012: $p=0,067 > \alpha=0,05$; Februar 2013: $p=0,000 < \alpha=0,05$) (Tabelle 3-20; Tabelle 3-21).

Zusammenfassend kann man sagen, dass nach Kruskal-Wallis-Test die Hypothese 3.3 sowohl für November 2012 als auch für Februar 2013 angenommen werden muss. Das heißt, hier liegen statistisch signifikante Unterschiede der Länge zwischen den Rinnen **und** den Messzeitpunkten vor. Laut Mediantest muss die Hypothese 3.3 für November 2012 jedoch abgelehnt und kann nur für Februar 2013 angenommen werden.

Abbildung 3-20 stellt die Ergebnisse der parameterfreien Testentscheidung (Kruskal-Wallis- und Mediantest) grafisch dar.

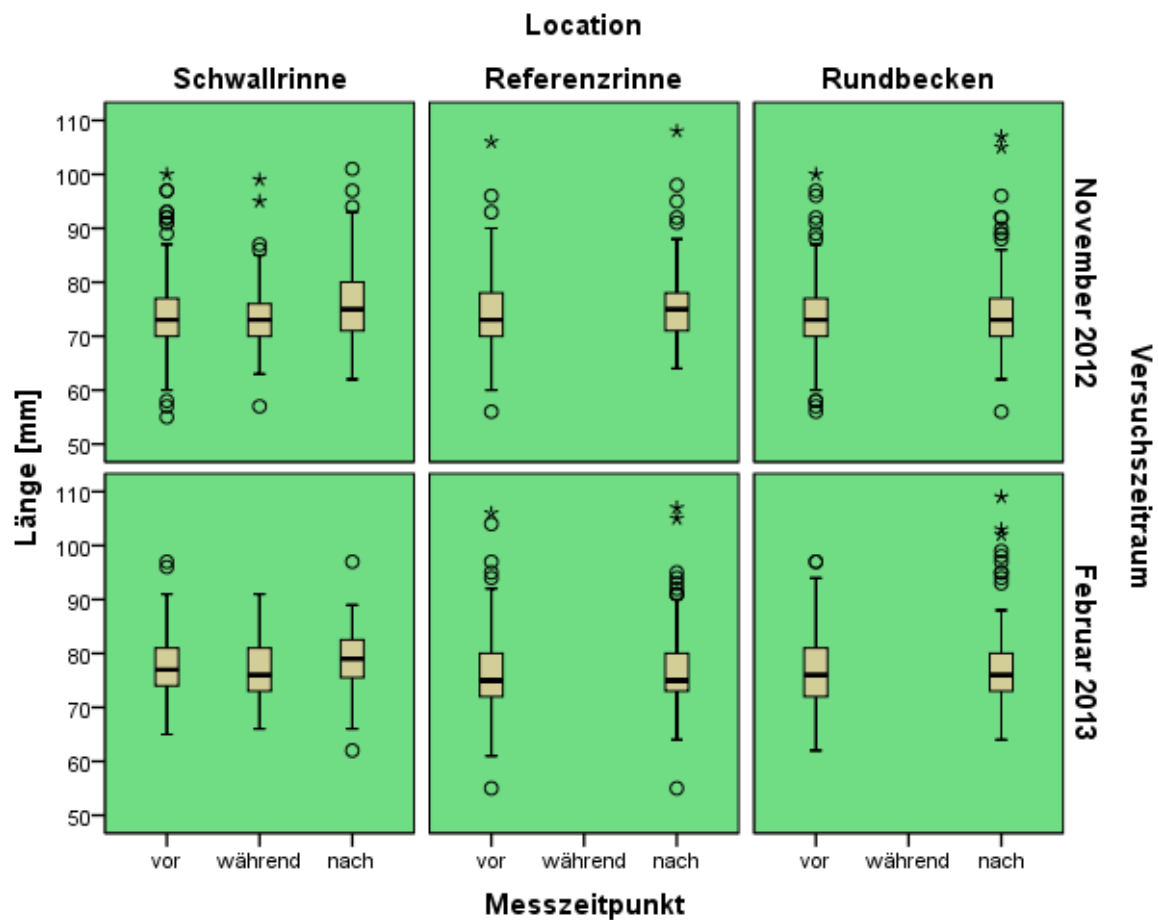


Abbildung 3-20: Box-Plots der Länge (Median; Interquartil; Extremwerte^{“o“}; Ausreißer^{“*“})

Gewicht

Zur Darstellung des mittleren Niveaus (Location und Messzeitpunkt) der Gewichtsunterschiede werden das arithmetische Mittel (AM) und der Median (MD) herangezogen (Tabelle 3-22). Eine detaillierte Beschreibung der Mittelwerte des Gewichts ist unter Kapitel 3.1.1 beschrieben.

Tabelle 3-22: statistische Parameter (arithmetisches Mittel (AM), Median (MD), Standardabweichung (STD)) des Gewichts [g]

Gewicht [g]						
Versuchszeitraum	Location	Messzeitpunkt	AM	MD	SD	N
November 2012	Schwallrinne	vor	2,6	2,5	,8	250
		während	2,6	2,4	,8	93
		nach	3,0	2,8	1,0	122
	Referenzrinne	vor	2,7	2,5	,8	250
		nach	3,0	2,8	,8	179
	Rundbecken	vor	2,6	2,5	,8	250

Februar 2013	Insgesamt	nach	2,9	2,7	,8	250
		Insgesamt	2,7	2,6	,8	1394
	Schwallrinne	vor	2,8	2,7	,7	250
		während	2,7	2,6	,6	77
		nach	2,9	2,9	,7	100
	Referenzrinne	vor	2,6	2,4	,8	250
		nach	2,7	2,5	,8	229
	Rundbecken	vor	2,7	2,5	,8	250
		nach	2,7	2,5	,9	250
	Insgesamt	Insgesamt	2,7	2,5	,8	1406

Ob die obigen Gewichtsunterschiede statistisch signifikant sind, wird zunächst mit einer Varianzanalyse (ANOVA; Parameter-Test), unter der Voraussetzung dass Normalverteilung und Varianzhomogenität vorliegen, beurteilt.

Tabelle 3-23: Testergebnisse (ANOVA) zur Überprüfung von Gewichtsunterschieden des arithmetischen Mittels

ANOVA - Tests der Zwischensubjekteffekte				
Abhängige Variable: Gewicht [g]				
Versuchszeitraum	Quelle	df	F	Sig.
November 2012	Korrigiertes Modell	6	8,350	,000
	Konstanter Term	1	10798,131	,000
	LOC	2	1,411	,244
	MZP	2	23,573	,000
	LOC * MZP	2	,998	,369
	Fehler	1387		
	Gesamt	1394		
	Korrigierte Gesamtvariation	1393		
Februar 2013	Korrigiertes Modell	6	3,605	,001
	Konstanter Term	1	9869,810	,000
	LOC	2	9,342	,000
	MZP	2	1,558	,211
	LOC * MZP	2	,339	,712
	Fehler	1399		
	Gesamt	1406		
	Korrigierte Gesamtvariation	1405		
a. R-Quadrat = ,035 (korrigiertes R-Quadrat = ,031)				
b. R-Quadrat = ,015 (korrigiertes R-Quadrat = ,011)				

Die oben formulierte Hypothese 3.3 kann nur partiell bestätigt werden. Sie muss demnach aufgrund folgender Testergebnisse (Tabelle 3-23) modifiziert werden:

In beiden Versuchszeiträumen gibt es statistisch signifikante Auffälligkeiten. Wobei im November 2012 nur der Messzeitpunkt statistisch signifikante Gewichtsunterschiede signalisiert ($p[\text{MZP}]=0,000 > \alpha=0,05$), während im Februar 2013 hingegen nur die Rinnen statistisch signifikante Gewichtsunterschiede belegen ($p[\text{LOC}]=0,000 > \alpha=0,05$). Eine statistisch gesicherte wechselseitige Wirkung der beiden Faktoren ($\text{LOC} * \text{MZP}$) auf das Gewicht kann verworfen werden (November 2012: $p[\text{LOC} * \text{MZP}]=0,369 > \alpha=0,05$; Februar 2013: $p[\text{LOC} * \text{MZP}]=0,712 > \alpha=0,05$).

Obwohl die ANOVA-Modelle statistisch signifikante Auffälligkeiten anzeigen, weisen sie für beide Versuchszeiträume kaum einen Erklärungswert auf. Das heißt konkret, dass die Streuung der Zielgröße Gewicht im November 2012 nur zu 3,1% ($R^2=0,031$) durch die Kombination $\text{LOC} * \text{MZP}$ erklärt wird. Im Februar 2013 wird die Streuung der Zielgröße Gewicht sogar nur zu 1,1% ($R^2=0,011$) durch die Kombination $\text{LOC} * \text{MZP}$ erklärt.

Abbildung 3-21 stellt die Ergebnisse der Varianzanalyse (ANOVA; Parameter-Test) zusätzlich grafisch dar.

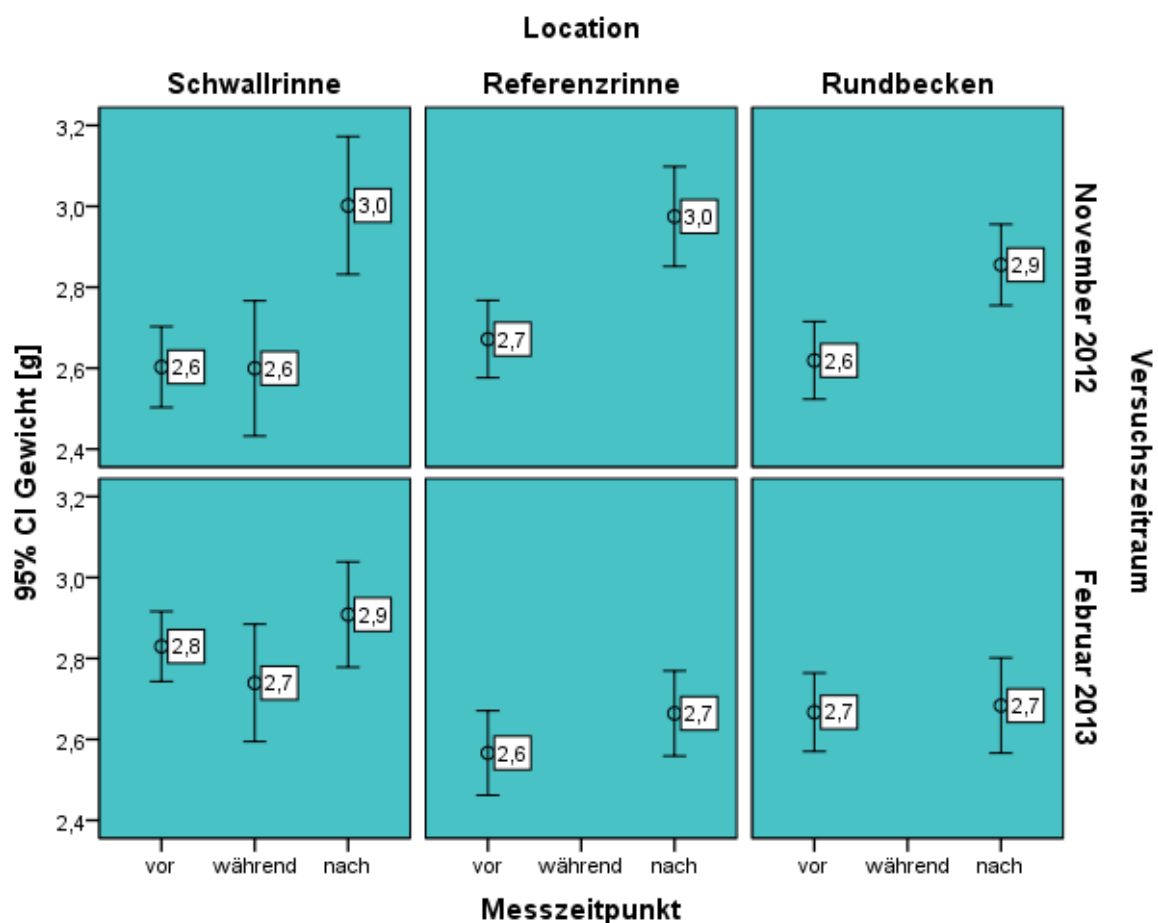


Abbildung 3-21: Darstellung des Konfidenzintervalls (95% CI) des Gewichts (arithmetisches Mittel)

Für die Anwendung der parameterfreien Tests (Kruskal-Wallis- und Mediantest) wird die bereits erstellte Profilvariable (Profil_LOC_MZP_num) herangezogen.

Tabelle 3-24: Testergebnisse (Kruskal-Wallis-Test) zur Überprüfung von Gewichtsunterschieden des mittleren Niveaus

Kruskal-Wallis-Test		
Versuchszeitraum		Gewicht [g]
November 2012	Chi-Quadrat	69,151
	df	6
	Asymptotische Signifikanz (p)	,000
Februar 2013	Chi-Quadrat	49,881
	df	6
	Asymptotische Signifikanz (p)	,000

Tabelle 3-25: Testergebnisse (Mediantest) zur Überprüfung von Gewichtsunterschieden des mittleren Niveaus

Mediantest - Häufigkeiten				
Profil_LOC_MZP_num	Versuchszeitraum			
	November 2012		Februar 2013	
	Gewicht [g]		Gewicht [g]	
	> Median	< = Median	> Median	< = Median
Schwallrinne / vor	102	148	147	103
Schwallrinne / während	37	56	42	35
Schwallrinne / nach	80	42	70	30
Referenzrinne / vor	115	135	95	155
Referenzrinne / nach	117	62	110	119
Rundbecken / vor	100	150	120	130
Rundbecken / nach	142	108	112	138
Testentscheidung: November 2012: $\chi^2=57,261$; df=6; p=0,000 (sign.)				
Februar 2013: $\chi^2=42,103$; df=6; p=0,000 (sign.)				

Sowohl der Kruskal-Wallis-Test (November 2012: $p=0,000 < \alpha=0,05$; Februar 2013: $p=0,000 < \alpha=0,05$) als auch der Mediantest (November 2012: $p=0,000 < \alpha=0,05$; Februar 2013: $p=0,000 < \alpha=0,05$) zeigen in beiden Versuchszeiträumen statistische Signifikanzen an (Tabelle 3-24; Tabelle 3-25).

Das heißt, dass sowohl im November 2012 als auch im Februar 2013 die Hypothese 3.3 angenommen werden muss. Hier gibt es statistisch signifikante Unterschiede des Gewichts zwischen den Rinnen **und** den Messzeitpunkten.

Abbildung 3-22 stellt die Ergebnisse der parameterfreien Testentscheidung (Kruskal-Wallis- und Mediantest) grafisch dar.

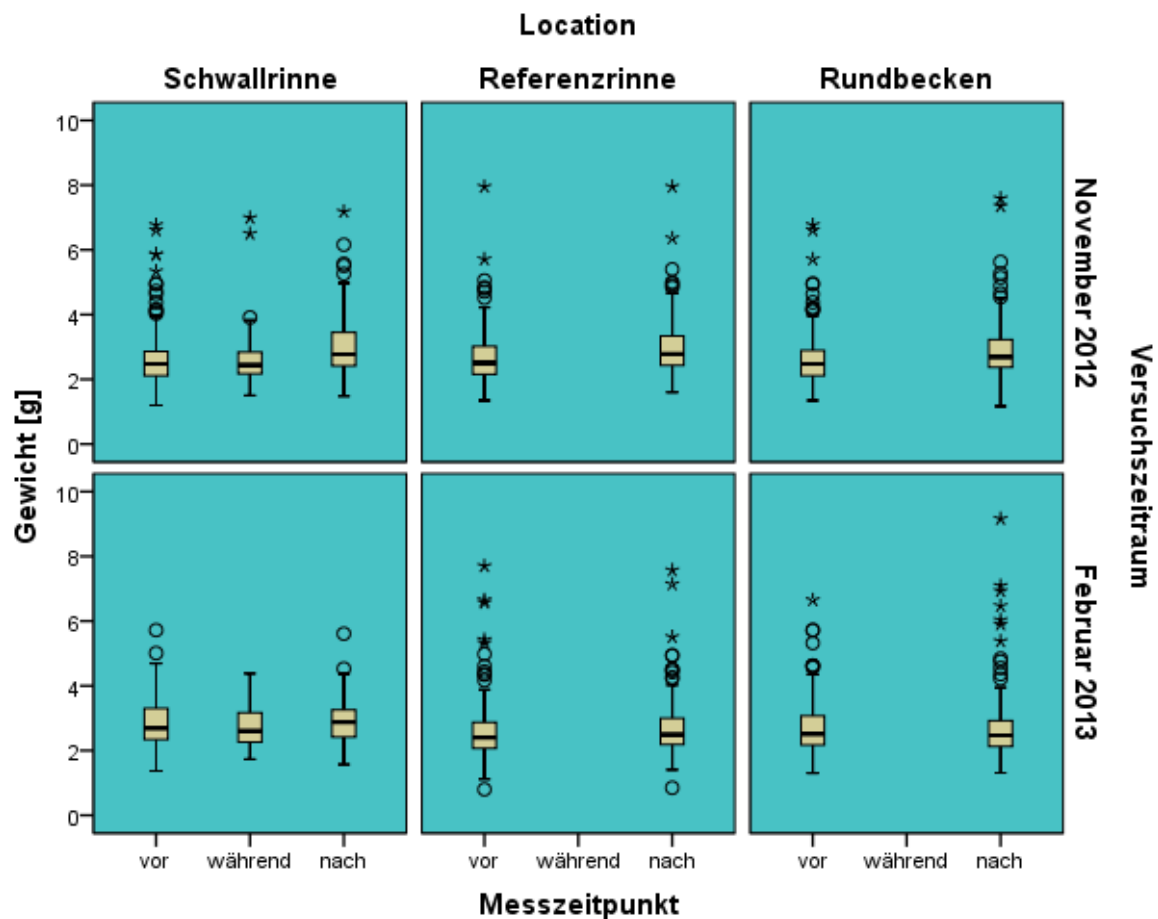


Abbildung 3-22: Box-Plots des Gewichts (Median; Interquartil; Extremwerte "o"; Ausreißer "*")

Hypothese 3.4

Es gibt in beiden Versuchszeiträumen einen Unterschied zwischen (1) den Rinnen **und** (2) den Messzeitpunkten bezüglich des Konditionsfaktors.

Zur Darstellung des mittleren Niveaus (Location und Messzeitpunkt) der Konditionsfaktorunterschiede werden das arithmetische Mittel (AM) und der Median

(MD) herangezogen (Tabelle 3-26). Ein ausführlicher Vergleich der Konditionsfaktoren ist ebenfalls unter Kapitel 3.1.1 zu finden.

Tabelle 3-26: statistische Parameter (arithmetisches Mittel (AM), Median (MD), Standardabweichung (STD)) des Konditionsfaktors

Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1)³]						
Versuchszeitraum	Location	Messzeitpunkt	AM	MD	STD	N
November 2012	Schwallrinne	vor	,64	,64	,06	250
		während	,64	,62	,08	93
		nach	,67	,66	,07	122
	Referenzrinne	vor	,64	,64	,06	250
		nach	,68	,67	,08	179
	Rundbecken	vor	,64	,64	,06	250
		nach	,68	,67	,08	250
	Insgesamt	Insgesamt	,66	,65	,07	1394
Februar 2013	Schwallrinne	vor	,59	,59	,05	250
		während	,59	,59	,05	77
		nach	,58	,58	,05	100
	Referenzrinne	vor	,56	,56	,05	250
		nach	,58	,57	,04	229
	Rundbecken	vor	,58	,57	,06	250
		nach	,57	,57	,04	250
	Insgesamt	Insgesamt	,58	,57	,05	1406

Ob die obigen Konditionsfaktorunterschiede statistisch signifikant sind, wird zunächst mit einer Varianzanalyse (ANOVA; Parameter-Test), unter der Voraussetzung dass Normalverteilung und Varianzhomogenität vorliegen, beurteilt.

Tabelle 3-27: Testergebnisse (ANOVA) zur Überprüfung von Konditionsfaktorunterschieden des arithmetischen Mittels

ANOVA - Tests der Zwischensubjekteffekte				
Abhängige Variable: Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1) ³]				
Versuchszeitraum	Quelle	df	F	Sig.
November 2012	Korrigiertes Modell	6	19,027	,000
	Konstanter Term	1	90047,687	,000
	LOC	2	2,589	,075
	MZP	2	45,048	,000
	LOC * MZP	2	,603	,548
	Fehler	1387		
	Gesamt	1394		
	Korrigierte Gesamtvariation	1393		
Februar 2013	Korrigiertes Modell	6	9,336	,000

	Konstanter Term	1	117183,979	,000
	LOC	2	13,180	,000
	MZP	2	,172	,842
	LOC * MZP	2	5,449	,004
	Fehler	1399		
	Gesamt	1406		
	Korrigierte Gesamtvariation	1405		
a. R-Quadrat = ,076 (korrigiertes R-Quadrat = ,072)				
b. R-Quadrat = ,038 (korrigiertes R-Quadrat = ,034)				

Die oben formulierte Hypothese 3.4 kann nur partiell bestätigt werden. Sie muss demnach aufgrund folgender Testergebnisse (Tabelle 3-27) modifiziert werden:

In beiden Versuchszeiträumen gibt es statistisch signifikante Auffälligkeiten. Wobei im November 2012 nur der Messzeitpunkt statistisch signifikante Konditionsfaktorunterschiede signalisiert ($p[\text{MZP}] = 0,000 < \alpha = 0,05$), während im Februar 2013 hingegen nur die Rinnen statistisch signifikante Konditionsfaktorunterschiede belegen ($p[\text{LOC}] = 0,000 < \alpha = 0,05$). Eine statistisch gesicherte wechselseitige Wirkung der beiden Faktoren (LOC * MZP) auf den Konditionsfaktor kann nur für Februar 2013 angenommen werden ($p[\text{LOC} * \text{MZP}] = 0,004 < \alpha = 0,05$). Im November 2012 kann die wechselseitige Wirkung der beiden Faktoren hingegen verworfen werden ($p[\text{LOC} * \text{MZP}] = 0,548 > \alpha = 0,05$).

Obwohl die ANOVA-Modelle statistisch signifikante Auffälligkeiten anzeigt, weisen sie für beide Versuchszeiträume einen sehr niedrigen Erklärungswert auf. Das heißt konkret, dass die Streuung der Zielgröße Konditionsfaktor im November 2012 nur zu 7,2% ($R^2 = 0,072$) durch die Kombination LOC * MZP erklärt wird. Im Februar 2013 wird die Streuung der Zielgröße Konditionsfaktor sogar nur zu 3,4% ($R^2 = 0,034$) durch die Kombination LOC * MZP erklärt.

In Abbildung 3-23 werden die Ergebnisse der Parameter-Testentscheidung (ANOVA) grafisch dargestellt.

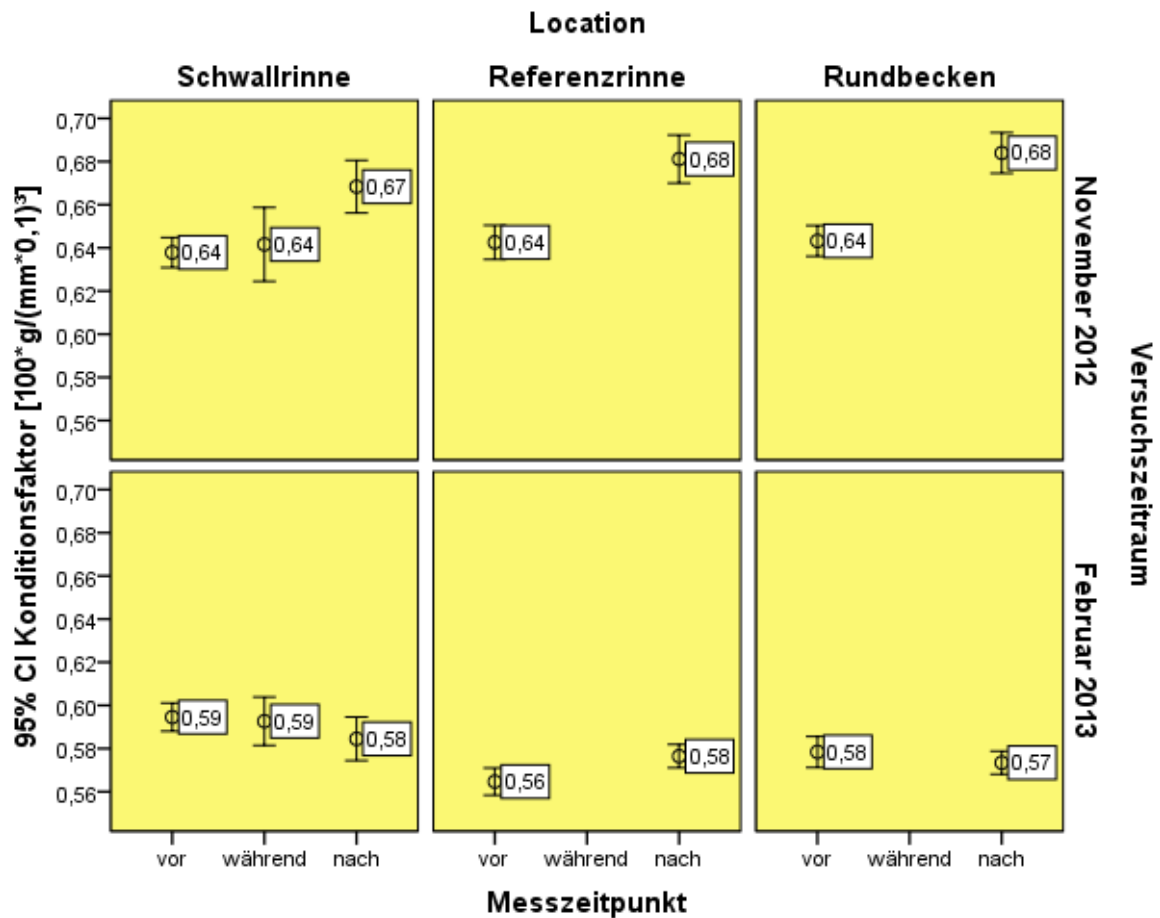


Abbildung 3-23: Darstellung des Konfidenzintervalls (95% CI) des Konditionsfaktors (arithmetisches Mittel)

Für die Anwendung der parameterfreien Tests (Kruskal-Wallis- und Mediantest) wird die Profilvariable (Profil_LOC_MZP_num) herangezogen.

Tabelle 3-28: Testergebnisse (Kruskal-Wallis-Test) zur Überprüfung von Konditionsfaktorunterschieden des mittleren Niveaus

Kruskal-Wallis-Test		
Versuchszeitraum		Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1) ³]
November 2012	Chi-Quadrat	102,045
	df	6
	Asymptotische Signifikanz (p)	,000
Februar 2013	Chi-Quadrat	57,601
	df	6
	Asymptotische Signifikanz (p)	,000

Tabelle 3-29: Testergebnisse (Mediantest) zur Überprüfung von Konditionsfaktorunterschieden des mittleren Niveaus

Mediantest - Häufigkeiten				
Profil_LOC_MZP_num	Versuchszeitraum			
	November 2012		Februar 2013	
	Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1) ³]		Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1) ³]	
	> Median	< = Median	> Median	< = Median
Schwallrinne / vor	109	141	149	101
Schwallrinne / während	31	62	47	30
Schwallrinne / nach	73	49	54	46
Referenzrinne / vor	103	147	96	154
Referenzrinne / nach	108	71	112	117
Rundbecken / vor	110	140	120	130
Rundbecken / nach	162	88	125	125
Testentscheidung: November 2012: $\chi^2=60,044$; df=6; p=0,000 (sign.)				
Februar 2013: $\chi^2=27,574$; df=6; p=0,000 (sign.)				

Sowohl der Kruskal-Wallis-Test (November 2012: $p=0,000 < \alpha=0,05$; Februar 2013: $p=0,000 < \alpha=0,05$) als auch der Mediantest (November 2012: $p=0,000 < \alpha=0,05$; Februar 2013: $p=0,000 < \alpha=0,05$) zeigen in beiden Versuchszeiträumen statistische Signifikanzen an (Tabelle 3-28; Tabelle 3-29).

Das heißt, dass sowohl im November 2012 als auch im Februar 2013 die Hypothese 3.4 angenommen werden kann. Hier gibt es statistisch signifikante Unterschiede des Konditionsfaktors zwischen den Rinnen **und** den Messzeitpunkten.

Abbildung 3-24 stellt die Ergebnisse der parameterfreien Testentscheidung (Kruskal-Wallis- und Mediantest) grafisch dar.

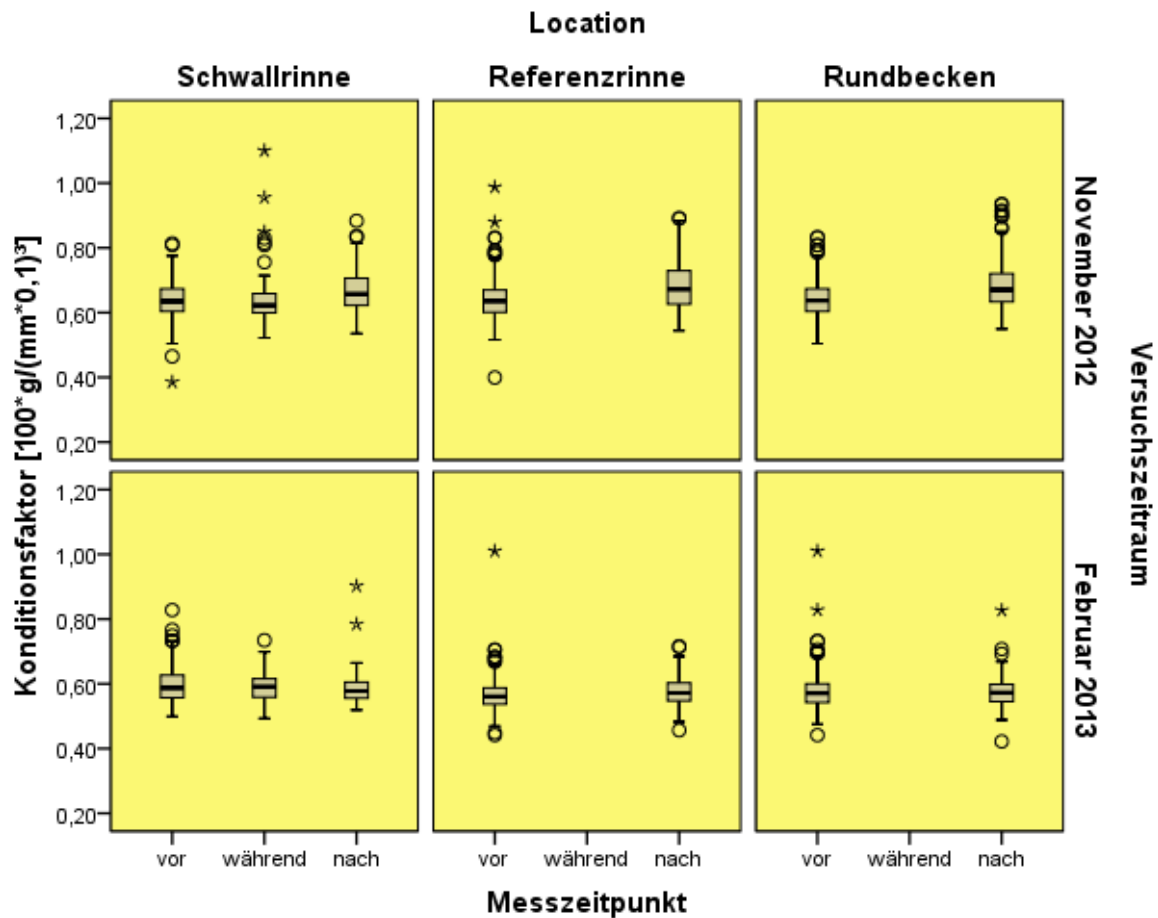


Abbildung 3-24: Box-Plots des Konditionsfaktor (Median; Interquartil; Extremwerte“°“; Ausreißer“*“)

3.1.4 Fragestellung 4

Welchen Einfluss übt die Wassertemperatur auf Wachstumsentwicklung (Länge und Gewicht) und Ernährungszustandsentwicklung (Konditionsfaktor) in den Versuchszeiträumen (November 2012 und Februar 2013) auf die Jungäschen aus, die während der Schwallereignisse abgedriftet sind?

Hypothese 4.1: Die Wassertemperatur hat einen starken Einfluss auf die Wachstumsentwicklung (Länge und Gewicht).

Hypothese 4.2: Die Wassertemperatur hat einen starken Einfluss auf die Ernährungszustandsentwicklung (Konditionsfaktor).

Die folgende Tabelle 3-30 fasst die Korrelation nach Pearson zusammen. In Tabelle 3-31 ist die Korrelation nach Spearman ersichtlich. In beiden Tabellen sind die signifikanten ($p \leq 0,05 < \alpha = 0,05$) Zusammenhänge gelb und fett hervorgehoben.

Sowohl im November 2012 als auch im Februar 2013 gibt es laut Korrelation nach Pearson zwischen Länge, Gewicht, Konditionsfaktor und Wassertemperatur einen schwach linearen, jedoch nicht signifikanten ($p \geq 0,05 > \alpha = 0,05$) Zusammenhang (Tabelle 3-30).

Tabelle 3-30: Korrelation nach Pearson für Länge, Gewicht, Konditionsfaktor und Wassertemperatur, aufgeteilt nach Versuchszeitraum (November 2012, Februar 2013)

Korrelation Pearson			
Versuchszeitraum			Wassertemperatur [C°]
November 2012	Länge [mm]	Korrelation nach Pearson	-,090
		Signifikanz (2-seitig)	,391
		N	93
	Gewicht [g]	Korrelation nach Pearson	,001
		Signifikanz (2-seitig)	,996
		N	93
	Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1) ³]	Korrelation nach Pearson	,168
		Signifikanz (2-seitig)	,108
		N	93
Februar 2013	Länge [mm]	Korrelation nach Pearson	-,047
		Signifikanz (2-seitig)	,687
		N	77
	Gewicht [g]	Korrelation nach Pearson	,017
		Signifikanz (2-seitig)	,887
		N	77
	Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1) ³]	Korrelation nach Pearson	,215
		Signifikanz (2-seitig)	,060
		N	77

Im November 2012 gibt es laut Korrelation nach Spearman nur für den Konditionsfaktor einen schwach bis mäßig positiven ($R_s = 0,207$), auf dem Niveau von 0,05_(2-seitig) signifikanten ($p = 0,046 < \alpha = 0,05$) Zusammenhang zwischen der Wassertemperatur. Im Februar 2013 liegt laut Korrelation nach Spearman ein geringer, jedoch nicht signifikanter ($p > 0,05 > \alpha = 0,05$) Zusammenhang zwischen Länge, Gewicht, Konditionsfaktor und Wassertemperatur vor (Tabelle 3-31).

Tabelle 3-31: Korrelation nach Spearman für Länge, Gewicht, Konditionsfaktor und Wassertemperatur, aufgeteilt nach Versuchszeitraum (November 2012, Februar 2013)

Korrelation Spearman			
Versuchszeitraum			Wassertemperatur [C°]
November 2012	Länge [mm]	Korrelationskoeffizient	-,197
		Sig. (2-seitig)	,059
		N	93
	Gewicht [g]	Korrelationskoeffizient	-,113
		Sig. (2-seitig)	,279
		N	93
	Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1)³]	Korrelationskoeffizient	,207*
		Sig. (2-seitig)	,046
		N	93
Februar 2013	Länge [mm]	Korrelationskoeffizient	-,068
		Sig. (2-seitig)	,557
		N	77
	Gewicht [g]	Korrelationskoeffizient	-,016
		Sig. (2-seitig)	,893
		N	77
	Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1)³]	Korrelationskoeffizient	,087
		Sig. (2-seitig)	,450
		N	77
*. Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).			

Da in den oben beschriebenen Korrelationen nur ein schwacher Zusammenhang von Länge, Gewicht, Konditionsfaktor und Wassertemperatur aufgezeigt werden konnte, werden im Folgenden die Versuchswochen noch zusätzlich mit aufgenommen. In beiden Versuchszeiträumen bleibt jeweils die dritte Versuchswoche unberücksichtigt, da die Fallzahlen von drei für November 2012 bzw. null für Februar 2013 hinsichtlich der Höhe nicht repräsentativ sind.

Länge, Gewicht und Wassertemperatur korrelieren auch unter Berücksichtigung der Versuchswochen in beiden Versuchszeiträumen nur schwach, jedoch nicht signifikant ($p \geq 0,05 > \alpha = 0,05$). Dies trifft sowohl für die Korrelation nach Pearson als auch für die Korrelation nach Spearman zu (Tabelle A- 1, Tabelle A- 2).

Laut Korrelation nach Pearson gibt es einen linearen Zusammenhang des Konditionsfaktors und der Wassertemperatur in den Versuchswochen. Hier korreliert der Konditionsfaktor im Februar 2013 in der 1. Woche schwach linear negativ ($R = -$

0,324) auf dem Niveau von 0,05_(2-seitig) signifikant ($p=0,016 < \alpha=0,05$) mit der Wassertemperatur. Die Streuung dieser beiden Variablen wird zu 10,5% ($R^2=-0,324^2$) durch R^2 erklärt. Es wird eine gering bis mäßig, jedoch nicht signifikante ($p \geq 0,05 > \alpha=0,05$) Korrelation zwischen Konditionsfaktor und Wassertemperatur in den Versuchswochen laut Spearman angezeigt (Tabelle A- 3).

Wie aus den obigen Tabellen und Ergebnissen ersichtlich wird, kann behauptet werden, dass die Hypothesen 4.1 und 4.2 nicht zutreffen. Bis auf wenige Ausnahmen sind diese zu verwerfen. Dies sowohl streng linear parametrisch, als auch nicht linear, „nur“ monoton, betrachtet. Nachdem die Korrelationskoeffizienten sowohl nach Pearson, als auch noch Spearman kaum messbare Zusammenhänge aufzeigen, erübrigt sich im Weiteren die Durchführung von Regressionsanalysen.

3.2 Hydrodynamische Modellierung

Tabelle 3-32 zeigt die Wassertiefen (Abb. a, b, c) und Fließgeschwindigkeiten (Abb. d, e, f) der Experimentierrinne bei den Dotationen 25 l/s, 125 l/s und 400 l/s. Die größte Wassertiefe der Experimentierrinne liegt nahe der Holzschlacht. Hier beträgt die Wassertiefe rund 19 cm bei 25 l/s (Abb. a) und steigt auf rund 25 cm während der Dotation von 125 l/s (Abb. b) an. Während eines Schwall (400 l/s; Abb. c) erreicht die Wassertiefe maximal etwa 40 cm. Die Fließgeschwindigkeiten steigen in der Rinne von maximal 0,26 m/s bei Sunk (25 l/s; Abb. d) auf 0,55 m/s bei 125 l/s (Abb. e) und auf circa 1 m/s während der Schwallereignisse (400 l/s; Abb. f) an.

Abbildung 3-25 stellt die WUA (= **W**eighted **U**sable **A**rea) bei unterschiedlichen Dotationen sowie die drei Stadien „Larven“, „Juvenil im Sommer“ und „Juvenil im Herbst“ dar. Auf der y-Achse sind die summierten WUA-Werte aufgetragen, auf der x-Achse die jeweiligen Dotationen in l/s in Kombination mit den Stadien. Es ist ersichtlich, dass für das Stadium „Larven“ bei jeder vorherrschenden Dotation die summierten WUA-Werte am niedrigsten sind. Weiters nimmt mit zunehmender Dotation die nutzbare Fläche ab. Für „Juvenile im Sommer“ und „Juvenile im Herbst“ sind die nutzbaren Flächen in der Experimentierrinne von Grund auf wesentlich höher. Für das Stadium „Juvenile im Sommer“ nimmt mit zunehmender Dotation die

Eignung ab, im Stadium „Juvenile im Herbst“ nimmt sie jedoch vorerst stark zu und verläuft ab 200 l/s beinahe konstant.

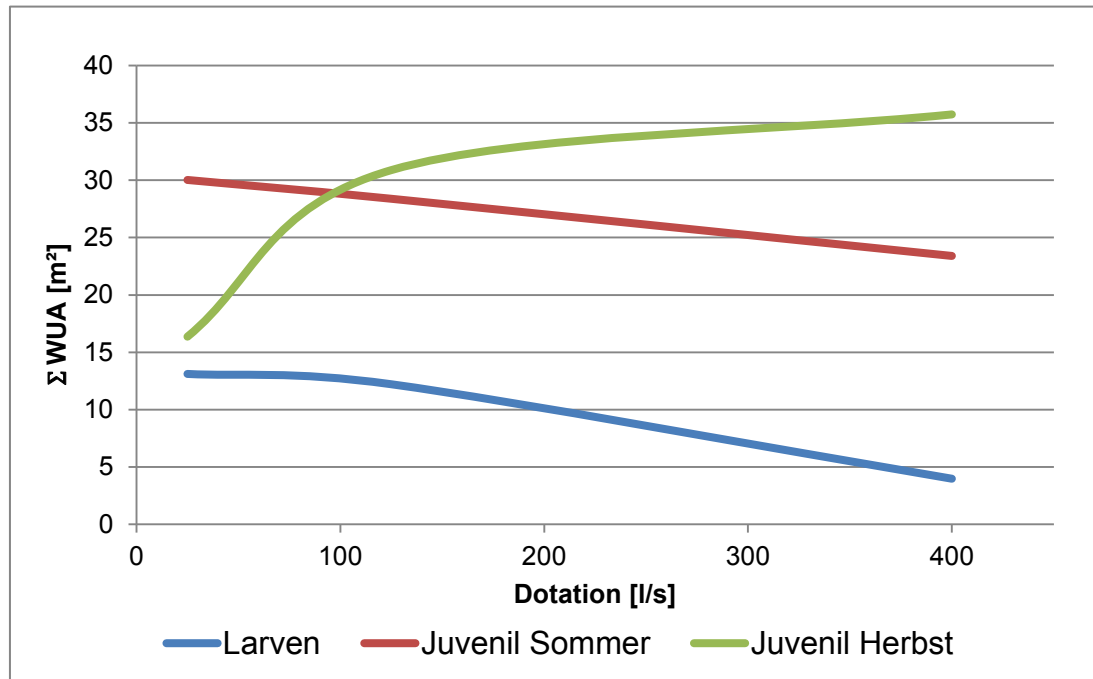


Abbildung 3-25: summierte gewichtete nutzbare Fläche (WUA) für verschiedene Altersstadien der Jungäscche bei unterschiedlichen Dotationen

Tabelle 3-32: Übersicht über Wassertiefen [m] (a, b, c) und Fließgeschwindigkeiten [m/s] (d, e, f) in der Experimentierrinne bei 25 l/s, 125 l/s und 400 l/s

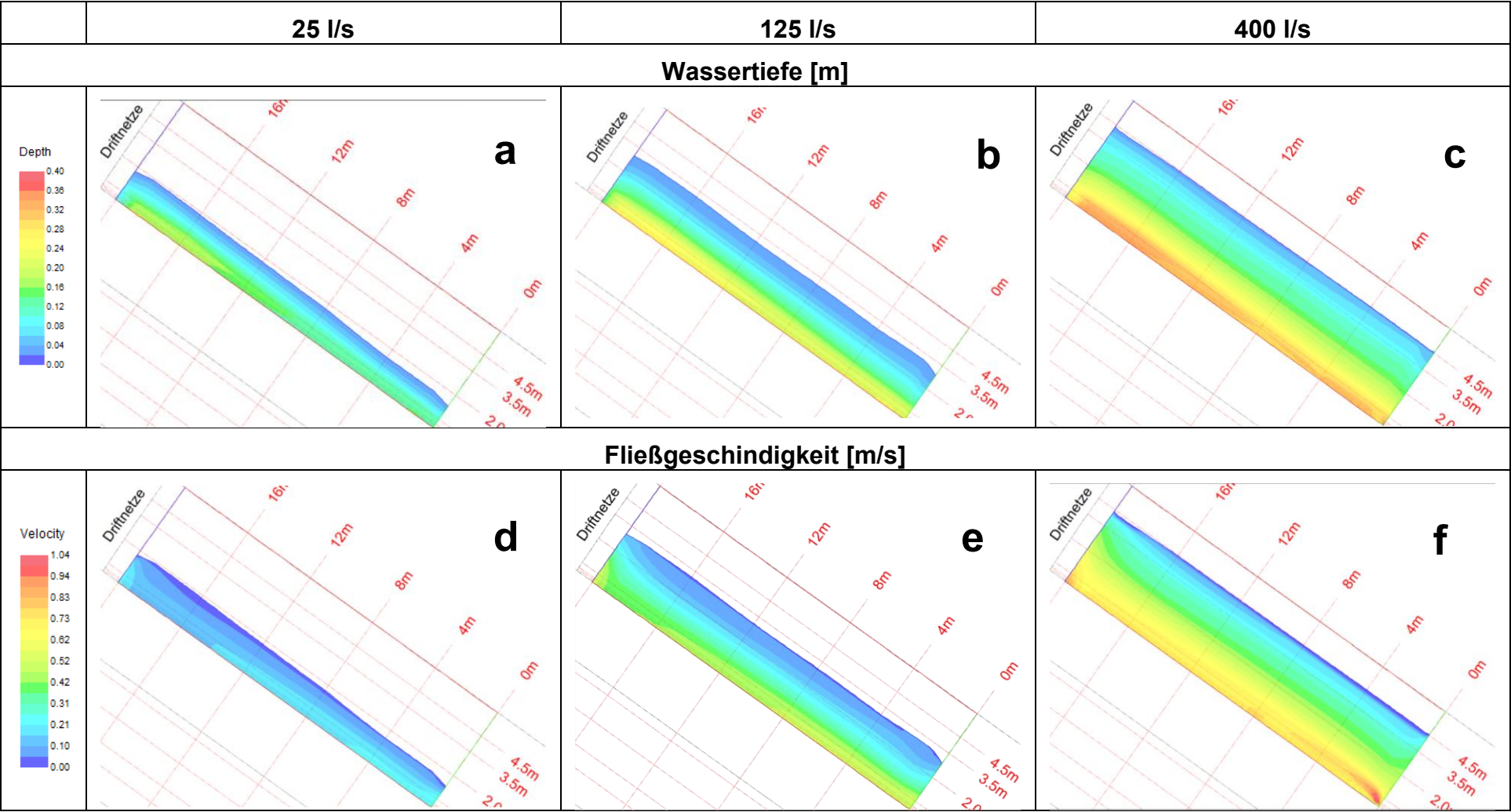
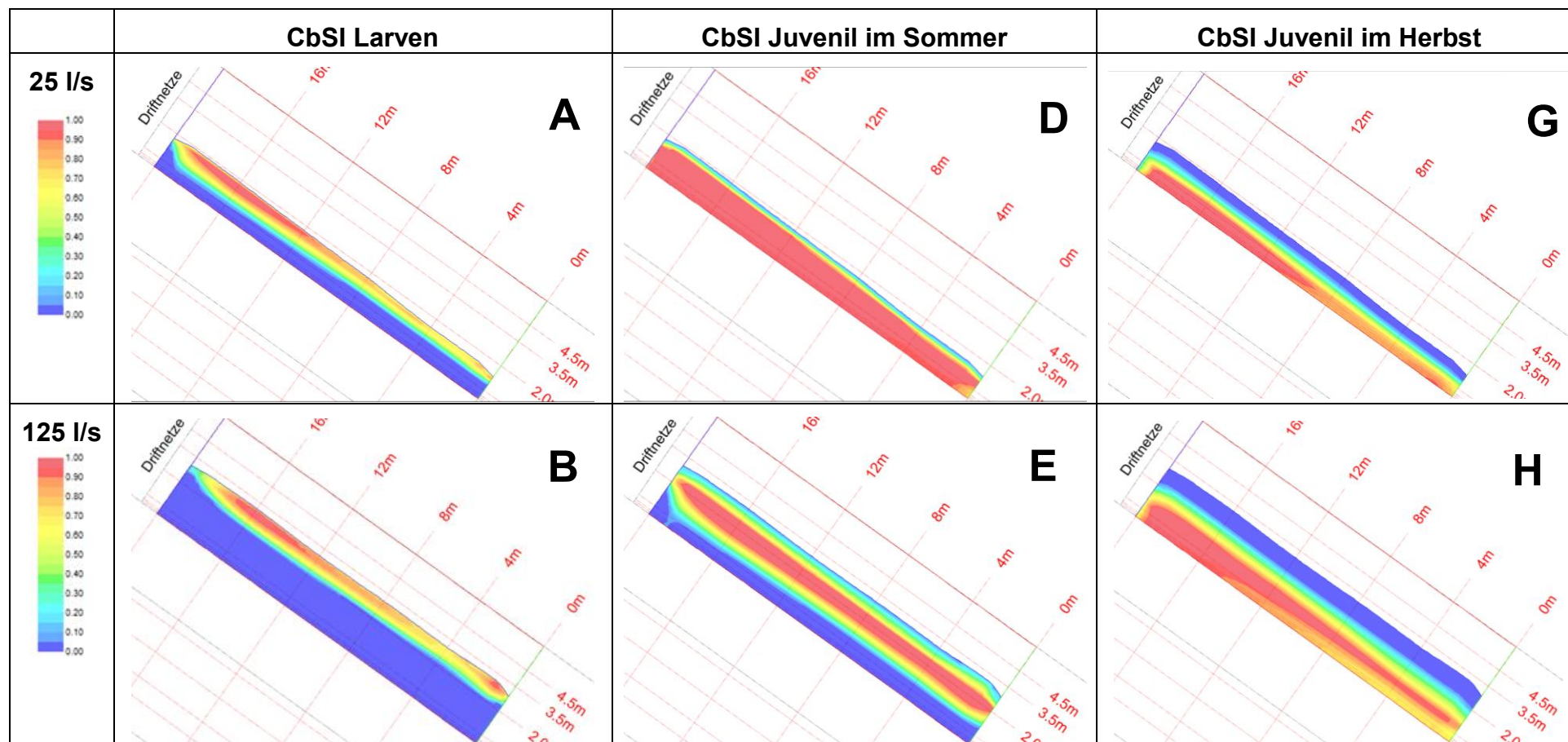


Tabelle 3-33: Combined Suitability Indices (CbSI) für die Stadien „Larven“, „Juvenil im Sommer“ und „Juvenil im Herbst“ bei 25 l/s (A, B, C), 125 l/s (D, E, F) und 400 l/s (G, H, I,)



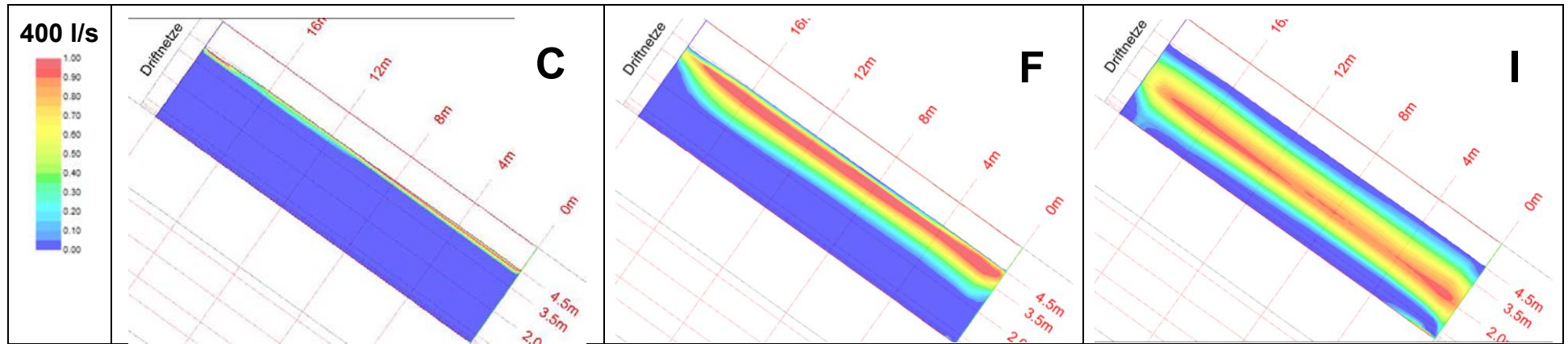


Tabelle 3-33 veranschaulicht die CbSIs grafisch für die Stadien „Larven“ (Abb. A, B, C), „Juvenil im Sommer“ (Abb. D, E, F) und „Juvenil im Herbst“ (Abb. G, H, I) bei 25 l/s, 125 l/s und 400 l/s. Die dazugehörigen klassifizierten CbSI-Flächen sind in Tabelle 3-35, Tabelle 3-36 und Tabelle 3-37 ersichtlich.

Bei Betrachtung des CbSIs des Larvenstadiums bei 25 l/s (Abb. A) wird ersichtlich, dass die geeignetsten Flächen entlang des unteren Bereichs des Ufers liegen. Mit zunehmender Dotation (125 l/s; Abb. B) sinken die geeigneten Flächen für Larven ab. Auch hier liegen die besser geeigneten Flächen wieder im ufernahen Bereich. Während eines Schwall (400 l/s; Abb. C) ist nur noch ein wenige Zentimeter breiter Bereich entlang des Ufers als gut geeignetes Habitat für die Larven in der Rinne zu finden.

Für juvenile Äschen im Sommer bei 25 l/s (Abb. D) ist beinahe die gesamte Rinne bestens geeignetes Habitat. Ab einer Dotation von 125 l/s (Abb. E) verringern sich die geeigneten Flächen und verlagern sich weiter in Richtung Rinnenmitte. Während eines Schwallereignisses (400 l/s; Abb. F) verlagern sich die gut geeigneten Habitatflächen wieder zunehmend in Richtung Ufer, wo niedrigere Wassertiefen und geringere Fließgeschwindigkeiten vorherrschen.

Für juvenile Äschen im Herbst ist es bei 25 l/s (Abb. G) umgekehrt. Eher der Holzschlucht-nahe Bereich ist besser geeignet. Juvenile Äschen finden bei 125 l/s (Abb. H) im Herbst, im Vergleich zu 25 l/s, eine größere, gut geeignete Habitatfläche vor. Die Flächen mit guter Habitatqualität liegen hier nahe der Holzschlucht, sprich in den stärker überströmten und tieferen Bereichen der Rinne. Auch aus den Präferenzkurven erkennt man den Bedarf an höheren Fließgeschwindigkeiten und größeren Tiefen (Abbildung 3-25). Bei 400 l/s (Abb. I) hingegen, erkennt man einen Trend des besser geeigneten Habitats zur Mitte der Rinne hin, wo die nicht ganz so hohen Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen zu finden sind.

Die oben grafisch veranschaulichten geeigneten Habitatflächen (Tabelle 3-33) lassen sich auch quantitativ erfassen (Tabelle 3-35, Tabelle 3-36, Tabelle 3-37).

Zur Vereinfachung der Darstellung und Interpretation der Ergebnisse wird, wie in Tabelle 3-34 ersichtlich, eine Klassifizierung der Indices vorgenommen.

Tabelle 3-34: Werte des Habitateignungsindex (CbSI = Combined Suitability Index) und deren Bedeutung

CbSI	Interpretation
0-0,2	ungeeignetes Habitat
0,2-0,4	mäßig geeignetes Habitat
0,4-0,6	geeignetes Habitat
0,6-0,8	gut geeignetes Habitat
0,8-1	sehr gut geeignetes Habitat

Während der Grunddotations von 25 l/s wird eine gesamt-benetzte Fläche von 34,2 m² erreicht (Tabelle 3-35). Für Larven ist von dieser Fläche mehr als die Hälfte (rund 21,1 m²) ungeeignetes bzw. mäßig geeignetes Habitat. Lediglich 10,7 m² sind gut bzw. sehr gut geeignetes Habitat für dieses Altersstadium. Für juvenile Äschen im Sommer hingegen ist der größte Anteil (29,6 m²) der benetzten Fläche als gutes bzw. sehr gutes Habitat geeignet. Im Herbst sind die Flächen hingegen beinahe gleich groß, die als ungeeignetes und mäßiges geeignetes bzw. als gut und sehr gut geeignetes Habitat eingestuft werden. Für dieses Altersstadium ergeben sich aufgrund der Summierung der Flächen pro Klasse des CbSI immerhin 15 m² gut bzw. sehr gut geeignetes Habitat.

Tabelle 3-35: benetzte Fläche je klassifiziertem CbSI bei einer Dotation von 25 l/s für drei Altersstadien

25 l/s			
	Larve	Juvenil Sommer	Juvenil Herbst
CbSI	Σ Fläche/Klasse [m²]	Σ Fläche/Klasse [m²]	Σ Fläche/Klasse [m²]
0-0,2	17,2725	2,8218	12,6369
0,2-0,4	3,803	0,9396	3,41
0,4-0,6	2,3979	0,7709	2,7443
0,6-0,8	5,4333	1,6131	3,9982
0,8-1	5,2875	28,0488	11,4048

Gesamtfläche [m²]	34,1942	34,1942	34,1942
-------------------------------------	----------------	----------------	----------------

Bei der Dotation von 125 l/s ergibt sich in der Experimentierrinne eine benetzte Fläche von rund 62 m² (Tabelle 3-36). Für Äschen im Larvenstadium ist bei dieser Dotation der Großteil der benetzten Fläche der Rinne ungeeignetes Habitat (45,3 m²). Lediglich 7,3 m² stellen ein gut bis sehr gut geeignetes Habitat dar. Im Sommer ist für juvenile Äschen nur noch knapp ein Drittel der gesamt-benetzten Fläche ungeeignetes Habitat. Etwa eine gleich große Fläche ist jedoch gut und sehr gut geeignetes Habitat. Im Herbst ist das Verhältnis von gänzlich ungeeignetem, zu sehr gut geeignetem Habitat ähnlich wie im Sommer.

Tabelle 3-36: benetzte Fläche je klassifiziertem CbSI bei einer Dotation von 125 l/s für drei Altersstadien

125 l/s			
	Larve	Juvenil Sommer	Juvenil Herbst
CbSI	∑ Fläche/Klasse [m²]	∑ Fläche/Klasse [m²]	∑ Fläche/Klasse [m²]
0-0,2	45,3221	23,7608	21,9847
0,2-0,4	3,2566	6,715	4,4121
0,4-0,6	6,0895	7,3864	5,5653
0,6-0,8	7,2926	6,7325	9,7845
0,8-1	0,0535	17,4196	20,2677
Gesamtfläche [m²]	62,0143	62,0143	62,0143

Rund 90 m² benetzter Fläche stehen den Äschen bei einer Dotation von 400 l/s in der Experimentierrinne zur Verfügung (Tabelle 3-37). Für Larven ist bei dieser Dotation beinahe der gesamte Bereich ungeeignet. Lediglich ein ganz schmaler Streifen an der Wasseranschlagslinie ist für dieses Stadium noch ein sehr gut geeignetes Habitat (2,6 m²). Auch für Jungäschen im Sommer ist der bedeutendste Anteil noch ungeeignet Habitat, jedoch sind hier immerhin rund 19 m² als gut und sehr gut

geeignetes Habitat verfügbar. Im Herbst weist die Rinne für juvenile Äschen, wie schon bei der Dotation von 125 l/s, eine gleich große Fläche für gut und sehr gut geeignetes Habitat auf.

Tabelle 3-37: benetzte Fläche je klassifiziertem CbSI bei einer Dotation von 400 l/s für drei Altersstadien

400 l/s			
	Larve	Juvenil Sommer	Juvenil Herbst
CbSI	Σ Fläche/Klasse [m²]	Σ Fläche/Klasse [m²]	Σ Fläche/Klasse [m²]
0-0,2	85,733	55,556	34,0767
0,2-0,4	1,1722	8,4338	11,5183
0,4-0,6	0,106	6,641	14,2584
0,6-0,8	0,2661	6,6894	17,9558
0,8-1	2,6301	12,5872	12,0982
Gesamtfläche [m²]	89,9074	89,9074	89,9074

4 Diskussion

In der folgenden Diskussion werden die Erkenntnisse aus der statistischen Datenauswertung der Schwallversuche sowie die Erkenntnisse der hydrodynamischen Habitatmodellierung zusammengefasst. Falls vorhanden, wird zwischen den Erkenntnissen dieser Arbeit und anderen, themenverwandten Forschungsarbeiten ein Zusammenhang hergestellt. Des Weiteren werden die anfangs formulierten Fragestellungen und Hypothesen mit den Forschungsergebnissen zusammengeführt.

4.1 Schwallversuche

4.1.1 Versuchsaufbau

Die Situation in der Schwallrinne kann nicht mit der gesamten Länge von in vivo vorkommenden schwallbeeinflussten Fließstrecken verglichen werden. Die Experimentierrinne stellt mit der gewählten Schotterbanksituation vielmehr das Habitat für Jungäschen dar. Es gilt jedoch zu beachten, dass die Situation des Gerinneausschnittes immer und überall auftreten kann, wo in naturnahen Gewässerabschnitten entsprechende Schotterbänke vorhanden sind.

Die Gerinnequerneigung von 6% (siehe Kapitel 2.1.3) ist flach, jedoch typisch für Schotterbänke in Schwallstrecken (mündliche Mitteilung von Zeiringer B., 8. Jänner 2014). Wie in Schmutz et al. (2013) festgehalten, führen geringere Querneigungen zu einem höheren Strandungsrisiko als in steileren Uferbereichen. Weiters führt eine höhere Grunddotations zwischen den Schwallspitzen zu einer Verringerung des Strandungsrisikos, da geringe Wasserwechselzonen entstehen.

Durch die gewählte Dotation von 400 l/s während der Schwallereignisse kann eine Wasserspiegelanhebung von rund 20 cm in der Experimentierrinne hervorgerufen werden und ist somit mit schwallbeeinflussten Fließstrecken in vivo vergleichbar. Lediglich die Anstiegsgeschwindigkeiten von 6,8 bis 7,4 cm/min und Abstiegsgeschwindigkeiten von 4,6 bis 4,1 cm/min (siehe Kapitel 2.1.4) sind schnell, jedoch auch in bestimmten Schwallstrecken zu finden (Schmutz et al. 2013). Wie in

Schweizer et al. (2009) empfohlen wird, kann ein sogenannter Vorschwall die Reaktionszeit für aquatische Organismen erhöhen, um ein mögliches Driftverhalten zu verringern.

Weiters gilt es zu beachten, dass Jungäschen in diesem Alter in klassischen Hyporhithralstrecken in der Natur vermehrt größer (110-150 mm) zu dieser Jahreszeit sind. Für diese Versuchsreihen wurden die Individuen jedoch gezielt künstlich klein gehalten, da aufgrund vorangegangener Studien (vgl. Schmutz et al. 2013) ein möglicher Einfluss von Schwall eher bei kleineren Individuen festgestellt werden konnte.

4.1.2 Auswertung der Vermessungsdaten

Die Vermessungsdaten der während der Schwallereignisse abgedrifteten Jungäschen in der Schwallrinne werden mit den Vermessungsdaten vor Versuchsbeginn verglichen, da sowohl im November 2012 als auch im Februar 2013 alle Driftereignisse jeweils im ersten Versuchsdrittel aufgetreten sind und innerhalb dieses kurzen Zeitraums von keiner markanten Zunahme von Wachstums- und Ernährungszustandsentwicklung ausgegangen werden kann.

Die niedrigeren Werte von Länge, Gewicht und Konditionsfaktor der Jungäschen, die während Schwall abgedriftet sind, liegen folglich daran, dass tatsächlich die schwächeren Individuen Driftverhalten gezeigt haben. Das bedeutet, dass tatsächlich schwächere Individuen dem Schwall nicht standhalten können und ausselektiert werden.

Wie in Abbildung 3-1 ersichtlich, hat sowohl im November 2012 als auch im Februar 2013 ein Längenwachstum stattgefunden, wobei dieses im ersten Versuchszeitraum größer war. Das größere Längenwachstum im November 2012 ist vermutlich auf die höheren Wassertemperaturen zurückzuführen. Des Weiteren sind die Individuen im Februar 2013 auf Grund des natürlichen Längenwachstums vom ersten zum zweiten Versuchszeitraum größer als im November 2012 gewesen. Im November 2012 lässt sich kein eindeutiger Trend erkennen, dass die kürzeren Individuen verdriftet sind, im Februar 2013 trifft dies jedoch zu.

Bei Betrachtung des durchschnittlichen Gewichts der Jungäschen ist in der Schwallrinne ein ähnliches Muster erkennbar. Im November 2012 hat eine deutlichere Gewichtszunahme als im Februar 2013 stattgefunden. Dieser Umstand

ist vermutlich wieder auf die höheren Wassertemperaturen im November 2012 zurückzuführen. Auch hier, wie schon bei der Länge, sind im November 2012 die gleich schweren und im Februar 2013 die leichteren Jungäschen aus der Experimentierrinne abgedriftet (Abbildung 3-2).

Im November 2012 hat der Konditionsfaktor eine deutliche Zunahme erfahren. Im Februar 2013 hingegen ging dieser zurück. Dies beruht auf der Tatsache, dass das Längenwachstum im Vergleich zur Gewichtszunahme relativ größer war. Beide Versuchszeiträume haben jedoch gemeinsam, dass sich der Konditionsfaktor der während der Schwallereignissen abgedrifteten Jungäschen nicht zu jenem der Anfangsvermessung unterschieden hat (Abbildung 3-3).

Zusammenfassend kann daraus geschlossen werden, dass nur im Februar 2013 die kürzeren und leichteren Individuen von Schwall in ihrem Driftverhalten beeinflusst wurden. Der Schwall selbst hat in diesem Versuchszeitraum nur einen geringen Einfluss auf Wachstums- und Ernährungszustandsentwicklung ausgeübt. Im Vergleich dazu, wurde im Februar 2013 in der Referenzrinne ein Anstieg von Länge, Gewicht und Konditionsfaktor verzeichnet. Daraus kann geschlossen werden, dass die Entwicklung unter diesen extremen winterlichen Bedingungen in der Referenzrinne ohne Schwalleinfluss besser verlaufen ist.

4.1.3 Fragestellung 1 & 2: Auswirkungen der Schwall auf die Jungäschen

Wie schon in Kapitel 3.1.2 angesprochen, werden die Drift- und Strandungsereignisse der Jungäschen während Schwall getrennt betrachtet, da die gestrandeten Jungäschen vermutlich auf Grund einer lokalen, gerinne-spezifischen Untiefe (Falleneffekt) festgesessen sind.

Fragestellung 1: Anzahl abgedrifteter Jungäschen

Versuchszeitraum und Woche

Abbildung 3-7 und Abbildung 3-8 listen die Anzahl der während der Schwallereignisse gedrifteten Jungäschen für November 2012 und Februar 2013 auf. In keinem der beiden Versuchszeiträume ist ein Muster der abgedrifteten Jungäschen zu erkennen. Beiden gemeinsam ist jedoch, dass ab der Hälfte der Schwallereignisse kaum (November 2012) bzw. keine (Februar 2013) Driftereignisse mehr aufgetreten sind. Daraus lässt sich schließen, dass sich die Jungäschen an die

Schwallereignisse angepasst haben. Aus Abbildung 3-9 wird auch ersichtlich, dass die Driftereignisse von der ersten zur dritten Woche in beiden Versuchszeiträumen zahlenmäßig deutlich abgenommen haben. Im Februar 2013 hat diese Adaption scheinbar deutlich schneller stattgefunden, da die Driftereignisse hier nur während 12 Schwallereignissen aufgetreten sind. Im November 2012 waren es fast doppelt so viele (21) Schwallereignisse, bei denen die Jungäschen Driftverhalten gezeigt haben.

Bei Betrachtung von Länge, Gewicht und Konditionsfaktor über den Verlauf der Wochen kann man erkennen, dass entweder alle drei Variablen nach dem Besatz in die Schwallrinne zurückgegangen sind oder aber die schwächeren Individuen gedriftet sind. Letzteres erscheint wahrscheinlicher. Diese Annahme gilt für November 2012 und Februar 2013. Daraus kann geschlossen werden, dass vermehrt die schwächeren Individuen dem dauerhaften Einfluss von Schwallbetrieb nicht Stand halten können.

Tageszeit

Abbildung 3-10 listet die Anzahl der abgedrifteten Jungäschen nach Tageszeit und Versuchszeitraum auf. In beiden Versuchszeiträumen ist kein Trend im Driftverhalten der Jungäschen zu erkennen. Das durch Morgen- und Abenddämmerung verursachte Driftverhalten ist eindeutig auszuschließen, da die betroffenen Schwallzeiten (früh, nachmittag) außerhalb der Dämmerungszeiten lagen. Dieser Unterschied im Driftverhalten bleibt vorerst ungeklärt. Es besteht weiterer Forschungsbedarf um einen möglichen Einfluss unterschiedlicher Helligkeiten auf die Auswirkungen von Schwall und Sunk zu untersuchen.

Phase/Dotation

Bei Betrachtung von Abbildung 3-11 ist deutlich erkennbar, dass von der Phase der aktiven Drift, über den Anstieg bis zur Phase des Schwalls die Driftraten in beiden Versuchszeiträumen deutlich zugenommen haben. Trotz der in Abbildung 3-25 (grüne Kurve; juvenile Äschen im Herbst) gezeigten steigenden Eignung bei zunehmender Dotation, kann der Anstieg der Driftraten über die Phasen möglicherweise durch die hohen Anstiegsgeschwindigkeiten (siehe Kapitel 2.1.4) erklärt werden.

Nachdem sowohl im November 2012 als auch im Februar 2013 mehr als zwei Drittel der Driftereignisse während der Phase des Schwalls aufgetreten sind, kann man

eindeutig von einer heftigeren Reaktion der Individuen auf den Schwall ausgehen. Obwohl sich die Einflüsse der Schwalle auf Wachstums- und Ernährungszustandsentwicklung in dieser Altersklasse sehr gering halten, führen die Schwallereignisse zu einer massiven Störung, welche im Driftverhalten der Jungäschen resultieren.

Fragestellung 2: Anzahl gestrandeter Jungäschen

Im November 2012 wurden 23, im Februar 2013 hingegen 94 Strandungsereignisse verzeichnet (Abbildung 3-12). Dieser deutliche Unterschied ist möglicherweise auf eine Mulde im Sediment kurz unterhalb der quer zur Fließrichtung angebrachten Holzwand zurückzuführen. Diese Mulde ist durch die Wassermassen, welche während der Schwallereignisse über die Holzwand gefallen sind, entstanden und deren wiederholte Entstehung konnte auch durch Umbauversuche mit entsprechendem Flussbettmaterial nicht behoben werden. Während Sunk war diese Mulde nicht an den Hauptstrom angebunden, und stellt somit einen möglichen Falleneffekt dar.

Die geringeren Wassertemperaturen im Winter, und der damit verbundene reduzierte Stoffwechsel, einhergehend mit einer verringerten Aktivität der Jungäschen erhöhen das Strandungsrisiko (Halleraker et al. 2003; Salveit 2001). Jedoch sind die Strandungsereignisse im Februar 2013 nur an den ersten fünf Versuchstagen aufgetreten. Dies spricht gegen den Einfluss der Wassertemperatur auf das Strandungsrisiko, da die Wassertemperatur im Februar 2013 bei rund 4°C lag und dies eigentlich der kältere Versuchszeitraum war (im Vergleich zu November 2012 von rund 7°C).

In vorrangegangenen Schwallversuchen mit Jungfischen wurde ein signifikant erhöhtes Strandungsrisiko bei hohen Abstiegseschwindigkeiten (bis zu 3,0 cm/min) festgestellt. Weiters konnte der Falleneffekt durch Mulden, welche bei Sunk nicht an den Hauptstrom angebunden sind, bei höheren Abstiegseschwindigkeiten nachgewiesen werden. Eine Anbindung dieser Mulden an Buchtstrukturen minimiert wiederum das Strandungsrisiko bei hohen Abstiegseschwindigkeiten (Schmutz et al. 2013).

4.1.4 Fragestellung 3

Hypothese 3.1 und Hypothese 3.2

Im November 2012 sind Länge und Gewicht der Jungäschen zwischen den Rinnen nicht signifikant unterschiedlich. In Folge kann davon ausgegangen werden, dass keine Unterschiede zwischen den Loci bestehen. Da in diesen Auswertungen keine Unterscheidung der Messzeitpunkte erfolgte, und demnach die während der Schwallereignisse abgedrifteten Individuen inkludiert sind und sich trotz dessen keine Unterschiede aufweisen lassen, kann daraus geschlossen werden, dass sich die Jungäschen der Schwallrinne nicht schlechter als jene der Referenzrinne entwickelt haben.

Im Februar 2013 gibt es hingegen signifikante Unterschiede von Länge und Gewicht zwischen den Experimentierrinnen, jedoch sind diese sehr gering und liegen unter 2 mm bzw. 0,2 g zwischen den Rinnen und können ebenfalls vernachlässigt werden. Das Bestimmtheitsmaß R^2 ist sehr gering ($< 2\%$) und bestätigt, dass der Locus alleine tatsächlich kaum einen Einfluss auf das Ergebnis hat.

Bei Betrachtung des Konditionsfaktors zeigen sich hingegen in beiden Versuchszeiträumen signifikante Unterschiede zwischen den Loci. Jedoch ist auch hier das Bestimmtheitsmaß R^2 wieder sehr gering ($< 3\%$) und auch die Unterschiede selbst so gering, dass der Einfluss der Loci als nicht relevant betrachtet werden kann.

Im Februar 2013 kann somit auch nicht von einer schlechteren Entwicklung der Jungäschen in der Schwallrinne gesprochen werden. Vielmehr waren die Individuen der Referenzrinne kürzer und leichter, dieser Unterschied kann jedoch möglicherweise durch eine unbewusste oder auch unkontrollierte Selektion beim Fang der Individuen aus dem Rundbecken entstanden sein. Weiters kann die Futteraufnahme in der Referenzrinne zu einem niedrigeren Ergebnis geführt haben, da zeitweise unterhalb der Futterautomaten Verpilzungen von nicht aufgenommener Nahrung entstanden sind. Diese Verpilzungen wurden aber auch in der Schwallrinne, jedoch weniger stark, verzeichnet. Andere Einflussfaktoren, wie Futterverfügbarkeit oder Substratzusammensetzung, können ausgeschlossen werden, da in beiden Versuchsrinnen, abgesehen vom Schwallereignis, dieselben Bedingungen vorgeherrscht haben.

In einer Studie von Auer (2010) wurde festgestellt, dass Länge und Gewicht von 0+ Äschen in schwallbeeinflussten Fließstrecken größer als in nicht schwallbeeinflussten sind. Dieser Umstand wurde möglicherweise auf Wassertemperaturschwankungen und eine Trübung von eingeleitetem Wasser in den nicht schwallbeeinflussten Abschnitt zurückgeführt. Diese beiden Faktoren können jedoch für die im November 2012 und Februar 2013 durchgeführten Versuchsreihen ausgeschlossen werden. Weiters war die Futterverfügbarkeit in diesen Versuchen in beiden Experimentierrinnen gleich und kann somit ebenfalls als beeinflussender Faktor ausgeschlossen werden.

Hypothese 3.3 und Hypothese 3.4

Wie schon bei Hypothese 3.1 und 1.2, sind auch hier die Unterschiede von Länge, Gewicht und Konditionsfaktor zwischen den Loci und den Messzeitpunkten sehr gering, sodass von keinen großen Unterschieden gesprochen werden kann.

Bei Betrachtung der Tests, ob die Loci **und** die Messzeitpunkte signifikante Unterschiede aufzeigen, ist bei der ANOVA kein eindeutiges Ergebnis erkennbar. Weder im November 2012 noch im Februar 2013 werden statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Kombination von Loci und Messzeitpunkt angezeigt. Lediglich der Konditionsfaktor zeigt im Februar 2013 signifikante Unterschiede zwischen dieser Kombination an, jedoch ist das Bestimmtheitsmaß R^2 sehr gering ($< 4\%$), sodass auch hier kein aussagekräftiger Einfluss besteht.

Hingegen werden im November 2012 statistisch signifikante Unterschiede von Länge, Gewicht und Konditionsfaktor zwischen dem Haupteffekt Messzeitpunkt angezeigt und im Februar 2013 nicht, das heißt, dass im November 2012 der Messzeitpunkt eher einen Einfluss hat, als im Februar 2013. Jedoch ist das Bestimmtheitsmaß R^2 auch hier wieder gering ($< 8\%$), sodass auch hier dieser Einfluss nicht als Haupteinfluss betrachtet werden kann.

Obwohl die parameterfreien Testentscheidungen fast ausschließlich statistisch signifikante Unterschiede anzeigen, ist der gemessene Unterschied in der Wachstums- und Ernährungszustandsentwicklung zwischen den Loci und den Messzeitpunkten so gering, dass man von keinem nennenswerten Einfluss sprechen kann.

Die festgestellten Unterschiede bei der Jungätsche sind sehr gering. Es gilt zu beachten, dass es aber auch noch viele weitere aquatische Organismen gibt, die in beeinflussten Schwallstrecken vorkommen und möglicherweise stärkere Reaktionen anzeigen. In diesen Versuchsreihen könnte kein eindeutig statistisch signifikanter Einfluss auf Wachstums- und Ernährungszustandsentwicklung der Jungätschen beobachtet werden.

4.1.5 Fragestellung 4

Bei der Berechnung der Korrelation, wurden für die Wassertemperatur Tagesmittelwerte verwendet. Die Wachstumsleistung der Jungätschen ist jedoch ein kontinuierlicher Prozess, auf den die Temperatur nur am jeweiligen Tag Einfluss ausübt. Nachdem die individuellen Wachstumsraten der einzelnen Individuen von der Anfangsvermessung bis zum Driftereignis nicht bekannt sind, kann ein möglicher Einfluss der Wassertemperatur auf die jeweiligen Wachstums- und Ernährungszustandsentwicklungen der einzelnen Jungätschen nicht exakt detektiert werden. Es kann lediglich über die gemittelten Werte aller abgedrifteten Jungätschen eine Aussage getroffen werden.

Feststeht, dass die Wassertemperatur keinen starken Einfluss auf Wachstums- und Ernährungszustandsentwicklung während der Versuchszeiträume (November 2012, Februar 2013) auf die Jungätschen ausübt. Auch die in weiterer Folge durchgeführten Tests mit Unterteilung in Wochen, konnten keinen Einfluss der Wassertemperatur auf Wachstums- und Ernährungszustandsentwicklung aufzeigen.

Weiters sind die Ergebnisse dieser Fragestellung nur für November 2012 und Februar 2013 für Jungätsche in diesem Altersstadium in diesen Versuchsreihen gültig.

Es gilt zu beachten, dass die Wassertemperatur in diesen Versuchsreihen gezielt über die Wasserentnahme (siehe Kapitel 2.1.15) gesteuert wurde und über den Tag kaum Schwankungen aufweist. In schwallbeeinflussten Fließstrecken gibt es jedoch, oft mehrmals täglich, größere Wassertemperaturschwankungen. Dies geschieht innerhalb kürzester Zeit zwischen Schwall- und Sunkereignissen und unterscheidet sich deutlich zu dem natürlichen Zustand eines Fließgewässers. Die für den Schwall entnommenen Wassermengen aus Speicherseen sind im Sommer kühler bzw. im Winter wärmer als die natürliche Wassertemperatur. Diese

Wassertemperaturschwankungen über den Tag können die Physiologie und Fitness aquatischer und somit poikilothermen Organismen beeinflussen (Limnux 2004). Trotz der geringen Wassertemperaturen, vor allem im Februar 2013 (ca. 4°C – vgl. Abbildung 2-19), und der in Folge reduzierten Stoffwechselraten, hat scheinbar ausreichend Futteraufnahme stattgefunden, um keinen negativen Einfluss der Schwallereignisse auf die Wachstums- und Ernährungszustandsentwicklung der Jungäschen auszuüben.

Ein möglicher Einfluss der Wassertemperatur auf Wachstums- und Ernährungszustandsentwicklung kann über einen längeren Versuchszeitraum jedoch nicht ausgeschlossen werden. Hierfür wären Folgeversuche mit variierenden Wassertemperaturen während der Schwallereignisse notwendig.

4.2 Hydrodynamische Modellierung

Aus der Synthese der Daten von Unfer et al. (2011) und Zeiringer et al. (in prep.) wurden Habitatpräferenzen der Jungäsche generiert (vgl. Tabelle A- 4). Für das Larvenstadium im Mai werden Fließgeschwindigkeiten von 0-0,05 m/s und Wassertiefen von 3-10 cm als optimal angesehen. Im Sommerhabitat der juvenilen Äsche sind Wassertiefen von 5-35 cm und Fließgeschwindigkeiten von 0,05-0,2 m/s geeignet. Im Herbst steigen die optimale Wassertiefe auf 15-60 cm und die optimale Fließgeschwindigkeit auf 0,1-0,4 m/s an. Aufgrund der Versuchsreihen mit juvenilen Äschen im Herbst und Winter wird vermehrt auf die Präferenzen zu dieser Jahreszeit eingegangen.

Die tieferen und stärker überströmten Bereiche der Rinne sind bei steigender Dotation für das Larvenstadium nur bedingt geeignet (Tabelle 3-33; Abb. A, B, C). Mit zunehmender Dotation ist ein abnehmender Trend des gut geeigneten Habitats erkennbar. Dieses Ergebnisse spiegeln auch die zunehmenden Strandungsraten bei höheren Dotationen von vorangegangenen Versuchsreihen wieder (vgl. Schmutz et al. 2013). Fraglich ist, ob diese geringen Randbereiche bei 25 l/s und 125 l/s genügend gut geeignetes Habitat darstellen, um den Larven das Überleben sichern zu können.

Bei juvenilen Äschen im Sommer ist ein ähnliches Muster erkennbar – mit zunehmender Dotation nimmt das geeignete Habitat ab (Abbildung 3-25; Tabelle 3-33; Abb. D, E, F). Der Modellierung nach, wäre demnach die Rinne mit 25 l/s und

den spezifischen Wassertiefen von maximal 19 cm und Fließgeschwindigkeiten von maximal 0,26 m/s als ideales Habitat für juvenile Äschen im Sommer zu betrachten, wobei die Fließgeschwindigkeit an der oberen Grenze des optimalen Bereichs liegt. Offensichtlich übersteigt die Dotation bei 125 l/s bereits die Ansprüche an ein optimales Habitat, was in einer Reduktion der geeigneten Flächen resultiert. Derselbe Trend lässt sich auch für 400 l/s erkennen.

Für juvenile Äschen im Herbst steigt mit zunehmender Dotation der CbSI an (Abbildung 3-25), das heißt, dass höherer Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten notwendig sind, um ein gut geeignetes Habitat darzustellen. Bei Betrachtung von Tabelle 3-33; Abb. I kann man jedoch erkennen, dass für juvenile Äschen zu dieser Jahreszeit die Dotation von 400 l/s die Anforderungen hinsichtlich Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit übersteigen. Die geringere Dotation von 125 l/s scheint den Bedürfnissen der Jungäusche zu dieser Jahreszeit eher zu entsprechen.

Bei Betrachtung der Wassertiefen kann man erkennen, dass die Wassertiefe von rund 20 cm während Sunk an der unteren Grenze des Optimums im Herbst von 15-60 cm liegt. Während der Schwallereignisse steigt die Wassertiefe auf rund 40 cm an und liegt somit genau im optimalen Bereich im Herbst. Unfer et al. 2011 sieht hingegen Wassertiefen von 35-55 cm als Optimalbereich für dieses Altersstadium der Jungäuschen an, somit liegt die Wassertiefe von knapp 20 cm während Sunk deutlich unter diesem Bereich. Dies bedeutet eine unzureichende Wassertiefe verbunden mit einer Stresssituation für die Individuen und könnte eine Ursache für die schlechtere Wachstumsentwicklung der Jungäuschen im Februar 2013 darstellen.

In der Experimentierrinne steigt die Fließgeschwindigkeit von 0,26 m/s während Sunk auf 1 m/s während der Schwallereignisse an und übersteigt somit deutlich die Präferenzen im Herbst von 0,1-0,4 m/s. Hingegen liegt bei Sunk die Fließgeschwindigkeit der ganzen Rinne im Optimum. Trotz der hohen Fließgeschwindigkeiten während der Schwallereignisse hat dies keine negativen Auswirkungen auf Wachstums- und Konditionsentwicklung der Jungäuschen gehabt. Die Ergebnisse der Habitatanalyse spiegeln im Falle der juvenilen Äsche im Herbst, die Ergebnisse des Einflusses auf Wachstums- und Konditionsentwicklung durch Schwall wider.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Larven wohl am sensibelsten reagieren, da bei allen Dotationen nur ein sehr geringer Flächenbereich als gut

geeignetes Habitat angesehen werden kann. Mit zunehmendem Alter der Individuen steigen die Anforderungen und Toleranzen gegenüber höherer Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten an, somit werden größere Bereiche für die Jungäsche nutzbar (vgl. Abbildung 3-25).

Schlussendlich konnte mit diesen Versuchsreihen kein Einfluss auf Wachstums- und Ernährungszustandsentwicklung der Jungäschen in diesem Altersstadium festgestellt werden. Ungeachtet dessen hat der Schwall Auswirkungen auf die Drift- und Strandungsraten, welche in Folge in geringeren Populationsdichten und niedrigeren Äschenbeständen resultieren.

5 Ausblick

Die vorliegende Masterarbeit liefert Erkenntnisse über den Einfluss von Schwall- und Sunkphänomenen auf Jungäschen. Feststeht, dass aufgrund der komplexen Thematik, mit einigen in der Natur unbekannten und schwankenden Parametern, weiterer Forschungsbedarf besteht, um ein vertieftes Verständnis der Schwallauswirkungen auf juvenile Äschen zu erhalten. Weiters stellt die HyTEC-Versuchsanlage mit ihren Experimentierrinnen ein kleines Gewässersystemelement dar und kann zur Beurteilung somit sehr gut für diese Situation herangezogen werden.

Das am Anfang definierte Ziel, die Wirkungszusammenhänge von Schwalleinfluss auf Wachstums- und Ernährungszustandsentwicklung der Äschen-Jungfische aufzuzeigen, wurde innerhalb eines gewissen Rahmens erreicht. Vor allem während der statistischen Datenauswertung, als auch während der Versuchsreihen selbst, sind einige neue Forschungsfragen aufgetreten, welche die Komplexität des Themas noch deutlicher gezeigt haben. Um die Wirkungszusammenhänge noch genauer erfassen zu können, sind weitere Studien notwendig. Auch die Zusammenarbeit fächerübergreifender Disziplinen sollte forciert werden.

Große Bedeutung haben die bereits angesprochenen Folgeversuche. Hierfür wäre es interessant, wenn die im Zuge dieser Studie durchgeführten Versuchsreihen wiederholt werden könnten, um (1) weitere Vergleichswerte und (2) die Ergebnisse verifizieren zu können. Weiters wären Folgeversuche mit geänderten Parametern wie höhere An- und Abstiegsgeschwindigkeiten, häufigere Schwallfrequenzen, geänderte Gerinnestrukturen, variierende Wassertemperaturen und Restwassermengen möglich, um weitere Erkenntnisse zu erhalten. Der Einfluss möglicher Habitatstrukturen für unterschiedliche Altersklassen sollte auch untersucht werden, um morphologische Verbesserungsmaßnahmen an schwallbeeinflussten Fließstrecken durchführen zu können. Ebenfalls sind Versuchsreihen mit anderen, Fischarten möglich, welche in schwallbeeinflussten Fließstrecken vorkommen. Mit diesem detaillierterem Wissen sind dann genauere Aussagen über kritische Lebensstadien verschiedener Fischarten möglich.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Forschungsbedarf über die ökologischen Wirkungen von Schwallbetrieb noch nicht gedeckt ist. Um allgemeingültige Aussagen für verschiedene Fließgewässer treffen zu können, sind weitere zahlreiche Studien und Untersuchungen notwendig. Wenn die ökologischen Wirkungszusammenhänge ausreichend untersucht und quantitative Aussagen möglich sind, können diese als Grundlage für Sanierungsmaßnahmen von schwallbeeinflussten Fließstrecken herangezogen werden. Schlussendlich sollen Regelungen für ein ökologisch verträgliches Produzieren von Wasserkraft mittels Schwallbetrieb erstellt werden.

Literaturverzeichnis

- Apostolopoulos, N., 2007. Korrelationskoeffizient. Berlin: CeDiS – Center für Digitale Systeme. Verfügbar in: http://web.neuestatistik.de/inhalte_web/content/mod_23196/html/comp_23414.html [Abfrage am 25. September 2013].
- Auer, S., 2010. Die Auswirkungen von Schwallbetrieb auf juvenile Äschen hinsichtlich Wachstum und Dichte in Abhängigkeit unterschiedlicher Habitattypen. Masterarbeit. Universität für Bodenkultur Wien.
- Baumann, P. und Klaus, I., 2003. Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebs. Ergebnisse einer Literaturstudie. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern.
- BMLFUW, 2010. Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 – NGP 2009. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW). Wien.
- Crisp, D. T. und Hurley, M. A., 1991. Stream channel experiments on downstream movement of recently emerged trout, *Salmo trutta* L. and salmon, *Salmo salar* L. – I. Effect of four different water velocity treatments upon dispersal rate. *Journal of Fish Biology*, 39 (3), 347-361.
- Crisp, D. T. und Hurley, M. A., 1991a. Stream channel experiments on downstream movement of recently emerged trout, *Salmo trutta* L. and salmon, *Salmo salar* L. – II. Effects of constant and changing velocities and of day and night upon dispersal rate. *Journal of Fish Biology*, 39 (3), 363–370.
- Dujmic, A., 1997. Der vernachlässigte Edelfisch: die Äsche. Wien: Facultas Universitätsverlag.
- E-Control, 2009. Wasserkraft. Wien: Energie-Control Austria für die Regulierung der Elektrizitäts- und Erdgaswirtschaft. Verfügbar in: <http://www.e-control.at/de/konsumenten/oeko-energie/basiswissen/oekostrom-arten/wasserkraft> [Abgerufen am 22. September 2013].

- Esteve, M., 2011. Grayling, *Thymallus thymallus*. s.l.: Manu Esteve Copyright 2011. Verfügbar in: <http://individual.utoronto.ca/manuesteve/UTEuropeangraylings.html> [Abfrage am 7. Juli 2013].
- Europäische Kommission, 2000. Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. European Commission PECONS 3639/1/100 Rev. 1. Luxemburg.
- Europäische Kommission, 2009. Richtlinie 2009/28/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 2001/77/EG und 2003/30/EG. European Commission PECONS 3736/08 Rev. 1. Luxemburg.
- Fischereiforschungsstelle Baden-Württemberg, 2006. Mindestabflüsse in Ausleitungsstrecken – Anforderungsprofile von Indikator-Fischarten. s.l.
- Fohler, N., 2013. Experimente zu Drift und Strandung von Äschenlarven (*Thymallus thymallus* L.) in Schwallversuchsrinnen. Masterarbeit. Universität für Bodenkultur Wien.
- Fulton, T.W., 1904. The rate of growth of fishes. 22nd Annual Report of the Fishery Board of Scotland, 3, 141-241.
- Gassner, H., Zick, D. und Jagsch, A., 2002. Fischökologische Basisuntersuchung vorderer Langbathsee. Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Gewässerökologie, Fischereibiologie und Seenkunde (BAW-IGF). Mondsee/Scharfling.
- Gerstmeier, R. und Romig, T., 2003. Die Süßwasserfische Europas: für Naturfreunde und Angler. 2. Auflage. Stuttgart: Frankh-Kosmos Verlags-GmbH & Co.
- Gönczi, A.P., 1989. A study of physical parameters at the spawning sites of the European Grayling (*Thymallus thymallus* L.). Regulated Rivers: Research & Management, 3, 221-224.
- Halleraker, J.H., Saltveit, S.J., Harby, A., Arnekleiv, J.V., Fjeldstad, H.P., und Kohler, B., 2003. Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. River Research and Applications, 19 (5-6), 589-603.

- Hamackova, J., Kouril, J., Kozak, P. und Stupka, Z., 2006. Clove Oil as an Anaesthetic for Different Freshwater Fish Species. *Bulgarian Journal of Agriculture Scien*, 12, 185-194.
- Heger, D., 2011. Verbreitung von Äsche, Elritze und Aitel in Österreich auf Basis von historischen Fischdaten. Masterarbeit. Universität für Bodenkultur Wien.
- Heggenes, J., 1988. Effects of short-term flow fluctuations on displacement of, and habitat use by, brown trout in a small stream. *Transactions of the American Fisheries Society*, 117(4), 336-344.
- Hunter, M., 1992. Hydropower flow fluctuations and salmonids: A review of the biological effects, mechanical causes, and options for mitigation. Washington.
- Jungwirth, M., Haidvogel, G., Moog, O., Muhar, S. und Schmutz, S., 2003. *Angewandte Fischökologie an Fließgewässern*. Wien: Facultas Universitätsverlag.
- Kirchhofer, A., Breitenstein, M. und Guthruf, J., 2002. Äschenpopulation von nationaler Bedeutung. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern.
- Limnex, 2004. Auswirkungen des Schwallbetriebs auf das Ökosystem der Fließgewässer: Grundlagen zur Beurteilung. Zürich.
- Linnaeus, C., 1758. *Systeme Naturae*. 10. Auflage. Stockholm: Lars Salvius.
- medistat GmbH, 2013. Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman. Kiel: medistat GmbH. Verfügbar in: http://medistat.de/statistikberatung-glossar-artikel.php?id=Rangkorrelationskoeffizient_nach_Spearman [Abfrage am 25. September 2013].
- Needham, P.R., 1928. A net for capture of stream drift organism. *Ecology*, 9, 339-342.
- Nykänen, M. und Huusko, A., 2002. Suitability criteria for spawning habitat of riverine European grayling. *Journal of Fish Biology*, 60 (5), 1351-1354.
- Prinz, H., Lahnsteiner, F., Haunschmid, R., Jagsch, A., Sasano, B. und Schay, G., 2009. Reaktion ausgewählter Fischarten auf verschiedene Wassertemperaturen in ÖÖ Fließgewässern. Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für

Gewässerökologie, Fischereibiologie und Seenkunde (BAW-IGF). Mondsee/Scharfling.

Saltveit S.J., Halleraker, J.H., Arnekleiv, J.V. und Harby A., 2001. Field experiments on stranding in juvenile atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropeaking. Regulated Rivers: Research & Management, 17 (4-5), 609-622.

Schmutz, S., Fohler, N., Friedrich, T., Fuhrmann, M., Graf, W., Greimel, F., Höller, N., Jungwirth, M., Leitner, P., Moog, O., Melcher, A., Müllner, K., Ochsenhofer, G., Salcher, G., Steidl, C. und Zeiringer, B., 2013. Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmaßnahmen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW). Wien.

Schweizer, S., Neuner, J. und Heuberger, N., 2009. Bewertung von Schwall/Sunk – Herleitung eines ökologisch abgestützten Bewertungskonzepts. Wasser Energie Luft. 101. Jahrgang. Heft 3. Baden.

Sempeski, P. und Gaudin, P., 1995a. Size-related changes in diel distribution of young grayling (*Thymallus thymallus*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 52 (9), 1842-1848.

Sempeski, P. und Gaudin, P., 1995b. Habitat selection and habitat use by young stages of rheophilic fish species: the grayling model (*Thymallus thymallus*, L.). Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 337-338-339, 215-220.

Sempeski, P. und Gaudin, P., 1995c. Construction of habitat preference curves for spawning sites and young stages of grayling (*Thymallus thymallus*, L.). Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 337-338-339, 277-282.

Sempeski, P. und Gaudin, P., 1995d. Habitat selection by grayling – I. Spawning habitats. Journal of Fish Biology, 47 (2), 256-265.

Steffler, P., 2002. R2D_Bed. Bed topography file editor. User's manual. University of Alberta. Canada.

Steffler, P. und Blackburn, J., 2002. River2D. Two-dimensional depth averaged model of river hydraulics and fish habitat. Introduction to depth averaged modelling and user's manual. University of Alberta. Canada.

- Thompson, L.C., Cocherell, S.A., Chun, S.N., Cech, Jr. J.J. und Klimley, A.P., 2011. Longitudinal movement of fish in response to a single-day flow pulse. *Environmental Biology of Fishes*, 90 (3), 253-261.
- Unfer, G., Leitner, P., Graf, W. und Auer, S., 2011. Der Einfluss von Schwallbetrieb auf den Fischbestand der Oberen Drau. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW). Wien.
- Vehanen, T., Bjerke, P.L., Heggenes, J., Huusko, A. und Mäki-Petäys A., 2000. Effect of fluctuating flow and temperature on cover type selection and behaviour by juvenile brown trout in artificial flumes. *Journal of Fish Biology*, 56 (4), 923-937.
- Waddle, T. und Steffler, P., 2002. R2D_Mesh. Mesh generation program for River2D two dimensional depth averaged finite element. Introduction to mesh generation and user's manual. U.S. Geological Survey.
- Waters, T.F., 1972. The drift of stream insects. *Annual Review of Entomology*, 17, 253-272.
- Young, P. S., Cech, J.J. und Thompson, L. C., 2011: Hydropower-related pulsed – flow impacts on stream fishes: a brief review, conceptual model, knowledge gaps, and research needs. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 21(4):713-731.
- Zeiringer, B., Fohler, N. und Auer, S., in prep. Experimentelle Untersuchungen zur Schwallproblematik. Stranden und Drift von juvenilen Äschen und Bachforellen. Zwischenbericht. Universität für Bodenkultur. Wien.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: männliche und weibliche Äsche (<i>Thymallus thymallus</i>) (Esteve 2011).....	17
Abbildung 1-2: Lebenszyklus der Äsche (<i>Thymallus thymallus</i>) (in: Jungwirth et al. 2003; verändert nach: Sempeski und Gaudin 1995a,b,c,d)	18
Abbildung 2-1: Schemaskizze der HyTEC-Versuchsanlage (verändert nach: Schmutz et al. 2013)	25
Abbildung 2-2: Sohlhöhe in 10 cm Höhenschichtlinien von Schwallrinne (Rinne 1) und Referenzrinne (Rinne 2) (Zeiringer et al. in prep.).....	27
Abbildung 2-3: Detailskizze von Schwallrinne (Rinne 1) und Referenzrinne (Rinne 2) (Zeiringer et al. in prep.)	29
Abbildung 2-4: Schwallrinne (links) und Referenzrinne (rechts) während eines Schwallereignisses (eigene Aufnahme 2012)	30
Abbildung 2-5: Wasseranschlag und wechselfeuchte Zone bei Sunk (25 l/s) und Schwall (400 l/s) (eigene Aufnahme 2012)	31
Abbildung 2-6: Fließgeschwindigkeiten in m/s für die Sunkdotaton von 25 l/s (oben) und bei Schwall von 400 l/s (unten).....	32
Abbildung 2-7: programmierter und tatsächlicher Anstieg der Schwallganglinie	33
Abbildung 2-8: programmierte und tatsächliche Schwallganglinie	34
Abbildung 2-9: programmierter und tatsächlicher Abstieg der Schwallganglinie	34
Abbildung 2-10: spezifische Anstiegsgeschwindigkeit Drucksonde 1.....	35
Abbildung 2-11: spezifische Anstiegsgeschwindigkeit Drucksonde 2.....	35
Abbildung 2-12: spezifische Anstiegsgeschwindigkeit Drucksonde 3.....	35
Abbildung 2-13: spezifische Abstiegsgeschwindigkeit Drucksonde 1.....	36
Abbildung 2-14: spezifische Abstiegsgeschwindigkeit Drucksonde 2.....	36
Abbildung 2-15: spezifische Abstiegsgeschwindigkeit Drucksonde 3.....	37
Abbildung 2-16: Jungäsche auf Längenmessschale (eigene Aufnahme 2012)	38
Abbildung 2-17: Anzahl der erhobenen Vermessungsdaten nach Versuchszeiträumen, Versuchsstandorten und Messzeitpunkten	40
Abbildung 2-18: Installation des Futterautomaten über der Schwallrinne (links) und Befüllung mit Kunstfutter (rechts) (eigene Aufnahme 2012)	46
Abbildung 2-19: gemittelte Wassertemperatur-Tageswerte für November 2012 (hellblau) und Februar 2013 (dunkelblau)	47

Abbildung 2-20: Schritte bei der Erstellung eines Simulationsmodells (in: Zeiringer 2012; verändert nach Hardy 1996 und Parasiewicz 2007).....	53
Abbildung 3-1: durchschnittliche Länge der vermessenen Jungäschen in der Schwallrinne .	60
Abbildung 3-2: durchschnittliches Gewicht der vermessenen Jungäschen in der Schwallrinne	61
Abbildung 3-3: durchschnittlicher Konditionsfaktor der vermessenen Jungäschen in der Schwallrinne	62
Abbildung 3-4: durchschnittliche Länge der vermessenen Jungäschen in der Referenzrinne	63
Abbildung 3-5: durchschnittliches Gewicht der vermessenen Jungäschen in der Referenzrinne	64
Abbildung 3-6: durchschnittlicher Konditionsfaktor der vermessenen Jungäschen in der Referenzrinne	65
Abbildung 3-7: Anzahl gedrifteter Jungäschen nach Versuchstagen für November 2012	67
Abbildung 3-8: Anzahl gedrifteter Jungäschen nach Versuchstagen für Februar 2013	67
Abbildung 3-9: Anzahl der in Drift gegangenen Individuen nach Versuchszeitraum und Woche	68
Abbildung 3-10: Anzahl der in Drift gegangenen Individuen nach Tageszeit und Versuchszeitraum	71
Abbildung 3-11: Anzahl der in Drift gegangenen Jungäschen nach Phase und Versuchszeitraum	71
Abbildung 3-12: Anzahl gestrandeter Jungäschen für November 2012 und Februar 2013 ...	73
Abbildung 3-13: Darstellung des Konfidenzintervalls (95% CI) der Länge (arithmetisches Mittel)	77
Abbildung 3-14: Box-Plots der Länge (Median; Interquartil; Extremwerte ^{“o“} ; Ausreißer ^{“*“}) ...	79
Abbildung 3-15: Darstellung des Konfidenzintervalls (95% CI) des Gewichts (arithmetisches Mittel)	82
Abbildung 3-16: Box-Plots des Gewichts (Median; Interquartil; Extremwerte ^{“o“} ; Ausreißer ^{“*“})	83
Abbildung 3-17: Darstellung des Konfidenzintervalls (95% CI) des Konditionsfaktors (arithmetisches Mittel)	86
Abbildung 3-18: Box-Plots des Konditionsfaktors (Median; Interquartil; Extremwerte ^{“o“} ; Ausreißer ^{“*“})	88
Abbildung 3-19: Darstellung des Konfidenzintervalls (95% CI) der Länge (arithmetisches Mittel)	91
Abbildung 3-20: Box-Plots der Länge (Median; Interquartil; Extremwerte ^{“o“} ; Ausreißer ^{“*“}) ...	93

Abbildung 3-21: Darstellung des Konfidenzintervalls (95% CI) des Gewichts (arithmetisches Mittel)	96
Abbildung 3-22: Box-Plots des Gewichts (Median; Interquartil; Extremwerte ^{“o“} ; Ausreißer ^{“*“})	97
Abbildung 3-23: Darstellung des Konfidenzintervalls (95% CI) des Konditionsfaktors (arithmetisches Mittel)	100
Abbildung 3-24: Box-Plots des Konditionsfaktor (Median; Interquartil; Extremwerte ^{“o“} ; Ausreißer ^{“*“}).....	102
Abbildung 3-25: summierte gewichtete nutzbare Fläche (WUA) für verschiedene Altersstadien der Jungäsche bei unterschiedlichen Dotationen	106

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Beschreibung der aufgenommenen Variablen	47
Tabelle 2-2: Beschreibung der Profilvariable Profil_LOC_MZP_num	50
Tabelle 2-3: Interpretationsrichtlinien nach Pearson (nach Apostolopoulos 2007)	51
Tabelle 2-4: Interpretationsrichtlinien nach Spearman (nach medistat GmbH 2013)	51
Tabelle 2-5: Werte des Habitateignungsindex (CbSI = Combined Suitability Index) und deren Bedeutung	56
Tabelle 3-1: durchschnittlichen Mittelwerte von Länge, Gewicht und Konditionsfaktor, aufgeteilt nach Versuchszeitraum, Location und Messzeitpunkt	58
Tabelle 3-2: statistische Parameter (arithmetisches Mittel (AM), Median (MD), Standardabweichung (STD)) von Länge, Gewicht und Konditionsfaktor	69
Tabelle 3-3: statistische Parameter (arithmetisches Mittel (AM), Median (MD), Standardabweichung (STD)) der Länge [mm]	74
Tabelle 3-4: Testergebnisse (ANOVA) zur Überprüfung von Längenunterschieden des arithmetischen Mittels	75
Tabelle 3-5: Post-hoc Mittelwertvergleich (Bonferroni-Test; p=empirische Wahrscheinlichkeiten) der Länge	75
Tabelle 3-6: Testergebnisse (Kruskal-Wallis-Test) zur Überprüfung von Längenunterschieden des mittleren Niveaus	77
Tabelle 3-7: Testergebnisse (Mediantest) zur Überprüfung von Längenunterschieden des mittleren Niveaus	78
Tabelle 3-8: statistische Parameter (arithmetisches Mittel (AM), Median (MD), Standardabweichung (STD)) des Gewichts [g]	79
Tabelle 3-9: Testergebnisse (ANOVA) zur Überprüfung von Gewichtsunterschieden des arithmetischen Mittels	80
Tabelle 3-10: Post-hoc Mittelwertvergleich (Bonferroni-Test; p=empirische Wahrscheinlichkeiten) des Gewichts	80
Tabelle 3-11: Testergebnisse (Kruskal-Wallis-Test) zur Überprüfung von Gewichtsunterschieden des mittleren Niveaus	82
Tabelle 3-12: Testergebnisse (Mediantest) zur Überprüfung von Gewichtsunterschieden des mittleren Niveaus	82

Tabelle 3-13: statistische Parameter (arithmetisches Mittel (AM), Median (MD), Standardabweichung (STD)) des Konditionsfaktors.....	83
Tabelle 3-14: Testergebnisse (ANOVA) zur Überprüfung von Konditionsfaktorunterschieden des arithmetischen Mittels	84
Tabelle 3-15: Post-hoc Mittelwertvergleich (Bonferroni-Test; p =empirische Wahrscheinlichkeit) des Konditionsfaktors.....	85
Tabelle 3-16: Testergebnisse (Kruskal-Wallis-Test) zur Überprüfung von Konditionsfaktorunterschieden des mittleren Niveaus.....	86
Tabelle 3-17: Testergebnisse (Mediantest) zur Überprüfung von Konditionsfaktorunterschieden des mittleren Niveaus.....	87
Tabelle 3-18: statistische Parameter (arithmetisches Mittel (AM), Median (MD), Standardabweichung (STD)) der Länge [mm].....	88
Tabelle 3-19: Testergebnisse (ANOVA) zur Überprüfung von Längenunterschieden des arithmetischen Mittels.....	89
Tabelle 3-20: Testergebnisse (Kruskal-Wallis-Test) zur Überprüfung von Längenunterschieden des mittleren Niveaus	91
Tabelle 3-21: Testergebnisse (Mediantest) zur Überprüfung von Längenunterschieden des mittleren Niveaus.....	92
Tabelle 3-22: statistische Parameter (arithmetisches Mittel (AM), Median (MD), Standardabweichung (STD)) des Gewichts [g]	93
Tabelle 3-23: Testergebnisse (ANOVA) zur Überprüfung von Gewichtsunterschieden des arithmetischen Mittels	94
Tabelle 3-24: Testergebnisse (Kruskal-Wallis-Test) zur Überprüfung von Gewichtsunterschieden des mittleren Niveaus	96
Tabelle 3-25: Testergebnisse (Mediantest) zur Überprüfung von Gewichtsunterschieden des mittleren Niveaus.....	96
Tabelle 3-26: statistische Parameter (arithmetisches Mittel (AM), Median (MD), Standardabweichung (STD)) des Konditionsfaktors.....	98
Tabelle 3-27: Testergebnisse (ANOVA) zur Überprüfung von Konditionsfaktorunterschieden des arithmetischen Mittels	98
Tabelle 3-28: Testergebnisse (Kruskal-Wallis-Test) zur Überprüfung von Konditionsfaktorunterschieden des mittleren Niveaus.....	100
Tabelle 3-29: Testergebnisse (Mediantest) zur Überprüfung von Konditionsfaktorunterschieden des mittleren Niveaus.....	101

Tabelle 3-30: Korrelation nach Pearson für Länge, Gewicht, Konditionsfaktor und Wassertemperatur, aufgeteilt nach Versuchszeitraum (November 2012, Februar 2013)	103
Tabelle 3-31: Korrelation nach Spearman für Länge, Gewicht, Konditionsfaktor und Wassertemperatur, aufgeteilt nach Versuchszeitraum (November 2012, Februar 2013)	104
Tabelle 3-32: Übersicht über Wassertiefen [m] (a, b, c) und Fließgeschwindigkeiten [m/s] (d, e, f) in der Experimentierrinne bei 25 l/s, 125 l/s und 400 l/s	107
Tabelle 3-33: Combined Suitability Indices (CbSI) für die Stadien „Larven“, „Juvenil im Sommer“ und „Juvenil im Herbst“ bei 25 l/s (A, B, C), 125 l/s (D, E, F) und 400 l/s (G, H, I,)	108
Tabelle 3-34: Werte des Habitateignungsindex (CbSI = Combined Suitability Index) und deren Bedeutung	110
Tabelle 3-35: benetzte Fläche je klassifiziertem CbSI bei einer Dotation von 25 l/s für drei Altersstadien	111
Tabelle 3-36: benetzte Fläche je klassifiziertem CbSI bei einer Dotation von 125 l/s für drei Altersstadien	112
Tabelle 3-37: benetzte Fläche je klassifiziertem CbSI bei einer Dotation von 400 l/s für drei Altersstadien	113

Appendix

Tabelle A- 1: Korrelation nach Pearson und Spearman für Länge und Wassertemperatur, aufgeteilt nach Versuchszeitraum und Wochen

Wassertemperatur [C°]				
			Korrelation nach Pearson	Korrelation nach Spearman
Nov. 12 / 1. Woche	Länge [mm]	Korrelationskoeffizient	-,140	-,167
		Signifikanz (2-seitig)	,228	,149
		N	76	76
Nov. 12 / 2. Woche	Länge [mm]	Korrelationskoeffizient	-,280	-,404
		Signifikanz (2-seitig)	,332	,152
		N	14	14
Feb. 13 / 1. Woche	Länge [mm]	Korrelationskoeffizient	-,061	-,090
		Signifikanz (2-seitig)	,660	,513
		N	55	55
Feb. 13 / 2. Woche	Länge [mm]	Korrelationskoeffizient	-,179	-,225
		Signifikanz (2-seitig)	,425	,315
		N	22	22

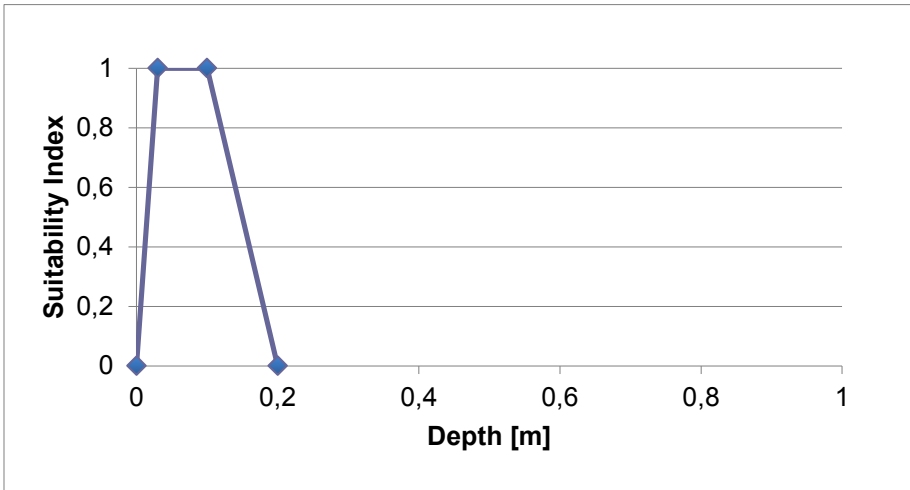
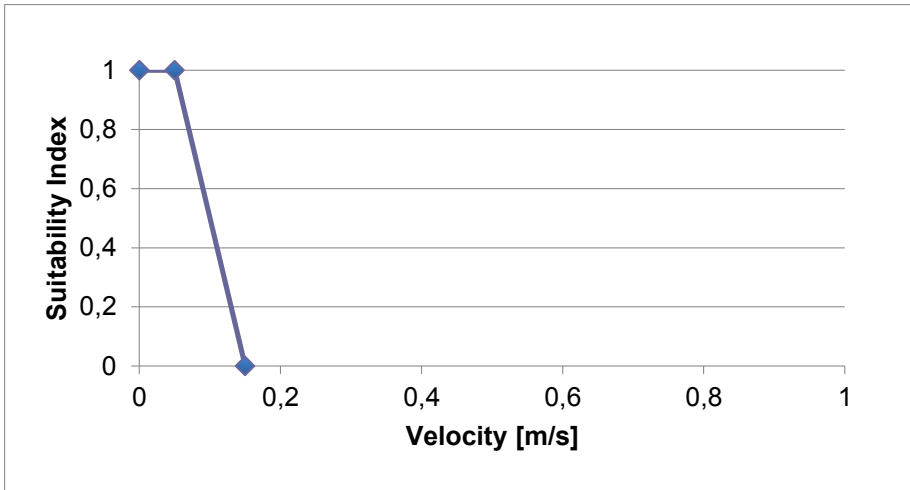
Tabelle A- 2: Korrelation nach Pearson und Spearman für Gewicht und Wassertemperatur, aufgeteilt nach Versuchszeitraum und Wochen

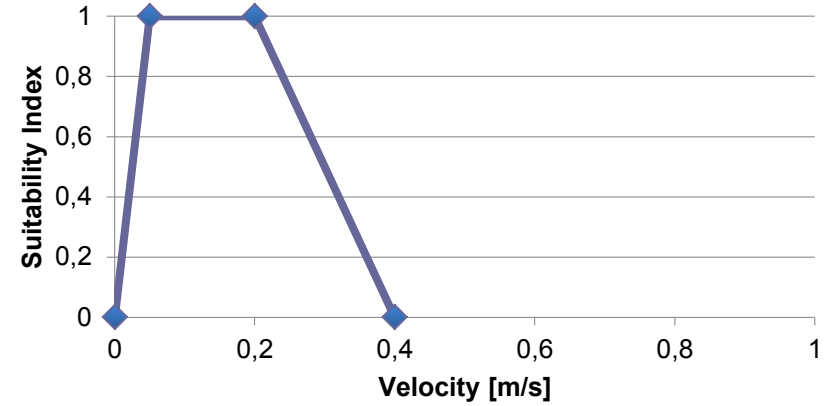
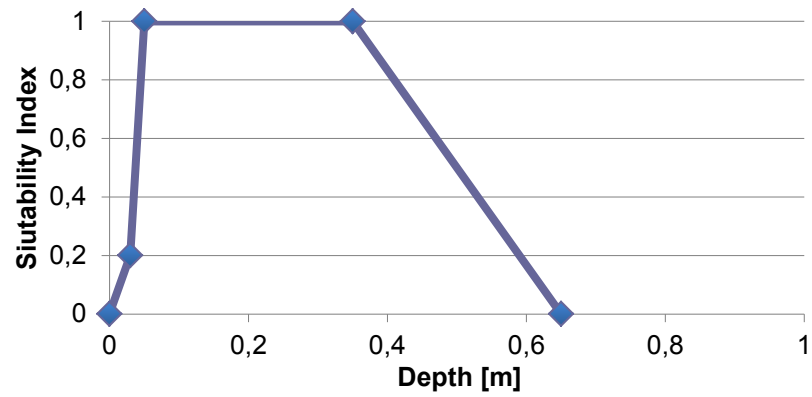
Wassertemperatur [C°]				
			Korrelation nach Pearson	Korrelation nach Spearman
Nov. 12 / 1. Woche	Gewicht [g]	Korrelationskoeffizient	-,062	-,113
		Signifikanz (2-seitig)	,595	,331
		N	76	76
Nov. 12 / 2. Woche	Gewicht [g]	Korrelationskoeffizient	-,156	-,250
		Signifikanz (2-seitig)	,595	,389
		N	14	14
Feb. 13 / 1. Woche	Gewicht [g]	Korrelationskoeffizient	-,188	-,180
		Signifikanz (2-seitig)	,170	,190
		N	55	55
Feb. 13 / 2. Woche	Gewicht [g]	Korrelationskoeffizient	-,119	-,086
		Signifikanz (2-seitig)	,599	,703
		N	22	22

Tabelle A- 3: Korrelation nach Pearson und Spearman für Konditionsfaktor und Wassertemperatur aufgeteilt nach Versuchszeitraum und Wochen

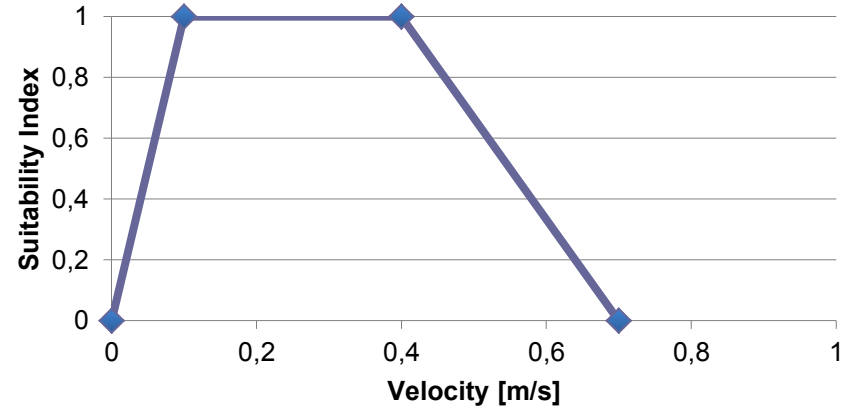
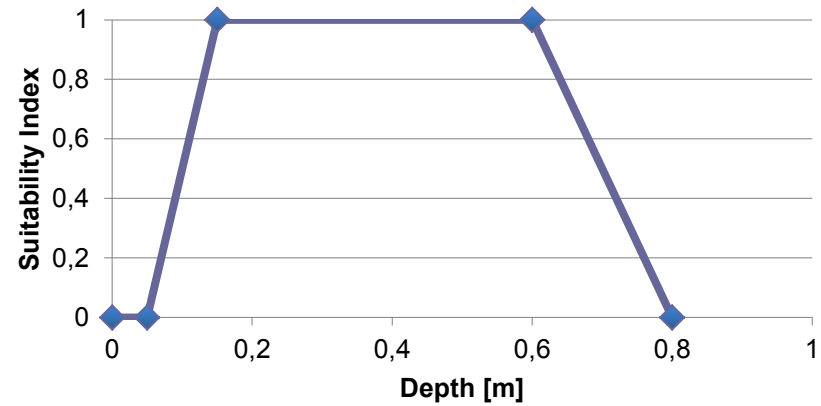
Wassertemperatur [C°]				
			Korrelation nach Pearson	Korrelation nach Spearman
Nov. 12 / 1. Woche	Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1)³]	Korrelationskoeffizient	,137	,165
		Signifikanz (2-seitig)	,239	,153
		N	76	76
Nov. 12 / 2. Woche	Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1)³]	Korrelationskoeffizient	,410	,428
		Signifikanz (2-seitig)	,146	,127
		N	14	14
Feb. 13 / 1. Woche	Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1)³]	Korrelationskoeffizient	-,324*	-,254
		Signifikanz (2-seitig)	,016	,062
		N	55	55
Feb. 13 / 2. Woche	Konditionsfaktor [100*g/(mm*0,1)³]	Korrelationskoeffizient	,141	,120
		Signifikanz (2-seitig)	,531	,593
		N	22	22
*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.				

Tabelle A- 4: Tiefen-Präferenzkurven [m] (links) und Fließgeschwindigkeits-Präferenzkurven [m/s] (rechts) für Larven, juvenile Äschen im Sommer und juvenile Äschen im Herbst

Tiefen-Präferenz [m]	Fließgeschwindigkeits-Präferenz [m/s]																		
Larvenstadium																			
 The graph shows the suitability index for larvae across different depths. The suitability is 0 at 0m, increases to 1 at 0.05m, remains at 1 until 0.1m, and then decreases to 0 at 0.2m. <table border="1"> <thead> <tr> <th>Depth [m]</th> <th>Suitability Index</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.05</td><td>1</td></tr> <tr><td>0.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Depth [m]	Suitability Index	0	0	0.05	1	0.1	1	0.2	0	 The graph shows the suitability index for larvae across different flow velocities. The suitability is 1 at 0 m/s, remains at 1 until 0.05 m/s, and then decreases to 0 at 0.15 m/s. <table border="1"> <thead> <tr> <th>Velocity [m/s]</th> <th>Suitability Index</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0.05</td><td>1</td></tr> <tr><td>0.15</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Velocity [m/s]	Suitability Index	0	1	0.05	1	0.15	0
Depth [m]	Suitability Index																		
0	0																		
0.05	1																		
0.1	1																		
0.2	0																		
Velocity [m/s]	Suitability Index																		
0	1																		
0.05	1																		
0.15	0																		
Juvenile Äschen im Sommer																			



Juvenile Äschen im Herbst



Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbständig angefertigt habe, Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt, Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht,

Ort, Datum

Unterschrift