



universität
wien

MASTERARBEIT

Titel der Masterarbeit

Auswirkung von Schwallbetrieb auf Drift und Strandung
juveniler Äschen (*Thymallus thymallus*) – experimentelle
Untersuchungen in naturnahen Versuchsrinnen und
Mesokosmen an der HyTEC-Versuchsanlage.

Verfasser

Mag.phil. Franz Paul Horn, BA, BSc

Angestrebter akademischer Grad

Master of Science (MSc)

Wien, 05.2015

Studienkennzahl
Studienrichtung
Betreuer

A 066 833
Masterstudium Ökologie
Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Stefan Schmutz

Danksagung

Diese Arbeit stellt den Abschluss langer und schöner Studienjahre dar. Ich freue mich darüber und blicke gern auf die Zeit zurück. Als erstes gilt mein Dank meinen Eltern, Franz und Irmtraud Horn, die mich jahrelang durchs Studium gefüttert haben und selbst nach einem Studienwechsel meinen Weg weiter unterstützten. Danke Euch beiden! Mein ganz besonderer Dank gilt daneben meiner Oma, die zu jedem Zeitpunkt mehr als jeder andere (mich selbst eingeschlossen) an den Erfolg und die Sinnhaftigkeit meines Studiums glaubte. Danke für die vorbehaltlose Unterstützung (auch finanzieller Natur) und den guten Zuspruch.

Die schöne und manchmal auch anstrengende Arbeit in Lunz habe ich vor allem mit Lisa Schülting geteilt, bei der ich mich für die ausgezeichnete Zusammenarbeit, die Unterstützung, ihre Kochkünste, die Tipps zum Handstand und für viele lustige Momente bedanken möchte. Daneben war auch Maria Wächter ein sehr hilfreicher und fröhlicher Teil des Teams. Ohne ihren Einsatz und ihre Arbeit wäre die Versuchsdurchführung so nicht möglich gewesen – Danke.

Den wesentlichsten Teil meiner Betreuung und eine außerordentlich detaillierte Erstkorrektur verdanke ich Stefan Auer. Er war für all meine Fragen da und mir stets wohl gesonnen. Das konstruktive Feedback hat mir in vielen Situationen sehr weitergeholfen. Danke auch für ein eindrucksvolles Cup-Finale von Sturm Graz mitten im Fansektor. War cool!

Ich bedanke mich ganz herzlich bei meinem Betreuer an der Boku, Stefan Schmutz, sowie bei meinem Mentor an der Uni Wien, Johann Waringer. Dank Beider war es möglich, meine Arbeit an einer externen Universität (der BOKU) zu absolvieren.

Weiters bedanke ich mich bei Christoph Laaber für kurzweilige Wochen und Monate an der TU-Bibliothek, bei denen neben fachlichen Aspekten auch das weibliche Rahmenprogramm der TU-Bib unsere Tage versüßte.

Danke Bernhard Zeiringer für jedwede Unterstützung: für die Planung der Mesokosmen, den Einbau bei Regenwetter und Kälte und für viele wertvolle Inputs im Laufe der Forschungsarbeit.

Danke Simon Vitec für Tipps, statistische Inputs und die Beantwortung einiger Fragen.

Helena Hudek, danke für die Auszählung der Proben unter Berücksichtigung der Fische.

Florian Ott, danke für die Einführung in Final Cut Pro!

Steffi Wagner, guter Geist und Spritzer-General jener Wohnung, wo ich am Schreibtisch viel Zeit verbracht habe – danke für alles. Besonderen Dank für dein Korrekturlesen: Die Stelze und das Bier - gehören dir!

Sebastian Hable und Thomas Kühmayr, danke für das verlockende Reiseziel, das ich während meiner Arbeit stets vor Augen hatte.

Zusammenfassung

Schwallbetrieb, zur Energieerzeugung aus Wasserkraft, ist in den österreichischen Fließgewässern des Hyporhithrals weit verbreitet. Diese Form der Abflussschwankung hat ökologische Auswirkungen auf ganze Biozönosen, wobei aus fischökologischer Sicht, kleine (frühe) Lebensstadien von Fischen als besonders anfällig gelten. Diese Arbeit erforscht die Auswirkungen des Schwallbetriebes auf Larven und juvenile Stadien der Europäischen Äsche (*Thymallus thymallus*). In zwei Studiendesigns werden die Auswirkungen von Schwallbetrieb auf das Strandungsrisiko, die Drift und das Verhalten juveniler Äschen bzw. Larven getestet. Alle Versuche wurden an der Schwallversuchsanlage HyTEC (**H**ydromorphological and **T**emperature **E**xperimental **C**hannel) in Lunz durchgeführt. Zur Simulation passiver Drift und für Verhaltensstudien wurden neue Mesokosmen entworfen und im Rahmen einer Pilotstudie getestet.

Die Strandungsversuche zeigen, dass die Schotterbank-Querneigung sowie die Tageszeit, signifikante Auswirkungen auf das Strandungsrisiko juveniler Äschen aufweisen. Auf flachen Schotterbänken und nachts weisen die Versuchsfische dabei besonders hohe Strandungsraten von > 50 % auf. Versuche in Mesokosmen zeigen, dass Schwallbetrieb zu signifikant höheren Driftraten unter Larven und juvenilen Äschen führt. Erhöhte Drift ist vor allem auf hohe Fließgeschwindigkeiten beim Schwallbedingungen zurückzuführen. Es konnten signifikanten Effekte der Körpergröße gezeigt werden, wobei kleinere Fische ein höheres Driftrisiko aufweisen als etwas größere Stadien.

Hinsichtlich des Verhaltens der Äschen kann, aufgrund von Videoanalysen, deutlich zwischen Sunk- und Schwall-Bedingungen unterschieden werden. Schwallbetrieb zeigt einen deutlichen (qualitativen) Einfluss auf das Verhalten der Fische. Die Studie zeigt darüberhinaus, dass die entwickelten Mesokosmen für Versuche mit frühen Äschen-Stadien effizient anwendbar sind. Die Mesokosmen werden als Habitat angenommen und liefern im entwickelten Studiendesign Daten, die mit solchen aus größer-skalierten Experimenten vergleichbar sind.

Abstract

Hydropeaking is a major form of hydropower use in Austrian and especially pronounced in alpine rivers. Discontinuous discharge impacts the whole river biocenosis. This piece of work discusses the ecological impact on fish, in particular the effect on larval and juvenile stages of European grayling (*Thymallus thymallus*). Former studies show that small and young life stages of fish are especially vulnerable to such flow fluctuations. Two experimental settings are implemented to explore first the stranding of juvenile grayling on gravel banks of varying lateral inclination and secondly passive drift phenomena under hydropeaking conditions. The latter will be investigated within a pilot study. Therefore the team implemented newly designed mesocosms, which allow drift studies that provide qualitative data (video analysis) as well as quantitative data (count of drift). All experiments took place at the experimental facility HyTEC (**H**ydromorphological and **T**emperature **E**xperimental **C**hannel), close to Lake Lunz in Austria.

Stranding experiments yield significant results, showing that time of day (day/night) and lateral bank inclination have strong effects upon the stranding risk of juvenile grayling under flow fluctuation. High stranding rates could be observed at low bank inclination. At night time these already high stranding rates were further increased (rates of > 50 %). The pilot study in the mesocosms showed that young grayling exhibit significantly higher drift risk under hydropeaking condition. Elevated drift rates are most likely caused by high flow velocities, which typically occur during peakflow regime. The study shows significant effects of fish size: smaller fish are more likely to drift than slightly bigger ones. However, both size classes showed high susceptible for high flow velocities. A qualitative video analysis showed major differences in terms of behaviour between baseflow and peakflow conditions. These results strongly indicate that hydropeaking impacts the behaviour of young fish. Finally, this pilot study showed that mesocosm studies for drift and drift behaviour can be performed efficiently and successfully. The developed design yielded a suitable habitat for young grayling and was able to produce results comparable to prior studies.

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung.....	I
Abstract	II
1 Einleitung.....	1
1.1 Begriffserklärung: Schwallbetrieb	1
1.2 Schwallbetrieb in Österreich	2
1.3 Ökologische Auswirkungen des Schwallbetriebs auf Fische.....	3
1.4 Schwallbetrieb und Gewässer-Morphologie: Schotterbänke.....	4
2 Fragestellung und Zielsetzung	6
3 Ortsbeschreibung: HyTEC	10
4 Beschreibung der Versuchsorganismen	15
4.1 Die Europäische Äsche (<i>Thymallus thymallus</i>)	15
4.2 Drift und Strandung junger Äschen	19
4.3 Haltung und Herkunft der Versuchsfische.....	21
4.4 Einteilung der Fisch-Altersklassen	22
5 Versuchsanordnung 1: Schotterbank-Querneigung	25
5.1 Kurzcharakteristik VAO1.....	25
5.2 Beschreibung der VAO1.....	26
5.3 Hydrologische Beschreibung der Versuchsgerinne	30
5.4 Ermittlung der Strandungsraten.....	32
5.5 Statistische Auswertung	33
6 Versuchsanordnung 2: Driftversuche in Mesokosmen.....	35
6.1 Mesokosmen	35
6.1.1 Beschreibung der Mesokosmen	35
6.1.2 Funktionsweise der Mesokosmen	35
6.1.3 Hydrologische Beschreibung der Mesokosmen	38
6.2 Kurzcharakteristik VAO2.....	42
6.3 Beschreibung der VAO2.....	42
6.3.1 Aufbau und Ablauf der Driftexperimente.....	42
6.3.2 Auswertung der Driftexperimente	46
6.3.2.1 Quantitative Auswertung und statistische Herangehensweise	46
6.3.2.2 Qualitative Auswertung: Videoanalyse	47
7 Ergebnisse	50
7.1 Versuchsanordnung 1: Strandung	50
7.1.1 Ergebnisse zur Validierung der VAO1	50
7.1.2 Strandung	53
7.2 Versuchsanordnung 2: Mesokosmen-Experimente zu Drift.....	55
7.2.1 Ergebnisse zur Validierung der Mesokosmen.....	55
7.2.2 Drift in Mesokosmen (quantitativ)	61
7.2.3 Videoanalyse der Drift (qualitativ).....	71
8 Diskussion	77
8.1 Versuchsanordnung 1: Strandung	77
8.1.1 Diskussion der Validierung	77
8.1.2 Diskussion der Strandungsversuche	77
8.2 Versuchsanordnung 2: Mesokosmen-Experimente zu Drift.....	80
8.2.1 Diskussion der Validierung	80

1.1.1 Diskussion der Driftexperiment (quantitativ)	84
8.2.2 Diskussion Videoanalyse (qualitativ)	88
Tabellenverzeichnis	92
Abbildungsverzeichnis	93
Literaturverzeichnis	96
Anhang	100

1 Einleitung

1.1 Begriffserklärung: Schwallbetrieb

Schwallbetrieb ist eine Form der Energieerzeugung durch Wasserkraft, die sich besonders gut zur Abdeckung fluktuierender Energiebedürfnisse eignet. Schwallbetrieb ist definiert, als das Ablassen von Wasser aus Speicherkapazitäten (z.B. Stauanlagen, Pumpspeicher etc.) zur Produktion von Elektrizität. Dieses (teilweise) Entleeren von Wasserspeichern führt stromabwärts zu fluktuierenden Abflüssen, Fließgeschwindigkeiten und Wasserspiegeln, mit Auswirkungen auf die Biozönosen. Es entstehen praktisch zwei unterschiedliche Abflussszenarien: ein Szenario bei hohem und eines bei niedrigem Abfluss, mit den entsprechenden Übergangsphasen. Der Vorteil von Schwallbetrieb besteht darin, dass Wasser gespeichert werden kann, um dann zu Zeiten von Spitzenverbrauch abgelassen zu werden. Das ermöglicht eine flexible Stromproduktion, genau in den Phasen in denen auch der Verbrauch hoch ist. Das bedeutet aber, dass Abflussschwankungen häufig, bis zu mehrmals täglich auftreten können (Charmasson and Zinke, 2011; Moog, 1993).

Im englischen Sprachgebrauch und in vielen Veröffentlichungen spricht man von Hydropeaking, im Deutschen hat sich das Wort Schwallbetrieb durchgesetzt. Man bezeichnet dabei den künstlich erhöhten Abfluss als Schwall (Peakflow), die darauffolgende Phase des Wasserrückganges als Abstieg (Down-ramping) und die Phase des niedrigen Abflusses als Sunk (Baseflow). Der Anstieg des Durchflusses vom Sunk zum Schwallabfluss wird als Anstieg (Up-ramping) bezeichnet. Wie schnell der Abfluss ansteigt bzw. absinkt kann von Kraftwerksbetreibern, innerhalb physikalischer Grenzen, gesteuert werden und unterscheidet sich je nach Gewässer, Kraftwerk und Bedarf.

Grundsätzlich sind in der wissenschaftlichen Diskussion auch die englischen Termini gebräuchlich, darum werden sie hier angeführt und auch in der Arbeit verwendet. Weiters bieten die englischen Begriffe den Vorteil sehr präzise zu sein. Im Folgenden eine kurzer Überblick zu den in der Arbeit gebräuchlichen Begriffen:

Deutsch	Englisch	Abkürzungen	Erklärung
Sunk	Baseflow	BF	Phase des Basisabflusses, Wassertiefststand
Schwallanstieg	Up-ramping	UR	Anstieg des Abflusses von Baseflow auf Peakflow
Schwall	Peakflow	P	Phase des höchsten Abflusses, Wasserhöchststand
Schwallabstieg	Down-ramping	DR	Phase der Absenkung des Wasserspiegels von Peakflow auf Baseflow
Schwallbetrieb	Hydropeaking		Abfolge von Baseflow- und Peakflowphasen für die Elektrizitätserzeugung durch Wasserkraft

Tabelle 1: Begriffserklärung Hydropeaking.

Die jeweiligen Abflüsse können saisonal und je nach Wasserverfügbarkeit schwanken. Dieser Umstand spielt aber für die Experimente, die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurden, keine Rolle und wurde daher außen vor gelassen.

1.2 Schwallbetrieb in Österreich

Der nationale Gewässerbewirtschaftungsplan stellt fest, dass 63 % der heimischen Fließgewässer das Umweltziel der EU-Wasserrahmenrichtlinie verfehlen. Das ist zum Großteil auf die Beeinträchtigung der Gewässerstrukturen sowie auf menschliche Veränderungen der Abfluss- und Kontinuumsverhältnisse zurückzuführen. Die energiewirtschaftliche Nutzung der Wasserkraft zählt mit den Eingriffen „Stau“, „Restwasser“ und „Schwallbetrieb“ zu den ganz wesentlichen Belastungsfaktoren. In Österreich sind derzeit 960 km der Gewässerfließstrecken durch Schwallbetrieb, 1270 km durch Stauhaltung und 3385 km durch Restwasser beeinflusst. Bei großen Fließgewässern (Einzugsgebiet > 1000 km²) ist die Belastung durch Energienutzung besonders hoch. 56% der Fließgewässerstrecken dieser großen Gewässer sind von Wasserkraftnutzung betroffen. Die Nutzungsform Schwallbetrieb beeinflusst dabei 23 % der Fließstrecken solch großer Fließgewässer (Schmutz et al., 2010). In absoluten Zahlen (km Fließstrecke) sind Fließgewässer des Hyporhithral generell von anthropogenen Veränderungen am stärksten betroffen. Diese morphologischen und hydrologischen Veränderungen sind auf Begradigungen, Uferbefestigungen, Hochwasserschutzmaßnahmen sowie auf Wasserkraftnutzung zurückzuführen (Muhar

et al., 2000). Weiters sieht die Energiestrategie Österreichs (Stand 2010) einen weiteren Ausbau der Wasserkraft in Österreich um 3,5 TWh/a vor (Schmutz et al., 2010).

1.3 Ökologische Auswirkungen des Schwallbetriebs auf Fische

In einer Zusammenfassung von verschiedenen Autoren stellen Schmutz et al. (2014) die wesentlichen Implikationen des Schwallbetriebes und die Konsequenzen für Fische dar. Die folgende Tabelle ist eine Übersetzung des Autors und soll einen Überblick über die möglichen ökologischen Auswirkungen von Schwallbetrieb geben.

Betriebs-Operation	Implikationen	Konsequenzen für Fische
Anstieg des Durchflusses	Anstieg der Fließgeschwindigkeit Drift von Makroinvertebraten Auswaschen von Fisch Nestern Auswaschen von Algen Flussbett Clogging (Verstopfung der Poren und Kieslückenräume)	Drift kleiner Fische und Larven Verringeres Nahrungsangebot Geringeres Recruitment Verringeres Nahrungsangebot Verringeres Nahrungsangebot
Abfall des Wasserspiegels (Down-ramping)	Trockenfallen der Flussufer und Schotterbänke Trockenfallen von Laichgebieten Trockenfallen von Seitenkanälen und Überschwemmungsgebieten Schlechtere Sichtverhältnisse	Strandung kleiner Fische und Larven Geringeres Recruitment Strandung von Fischen bzw. Fallen-Effekt Verringerte Nahrungsaufnahme
Zunehmende Trübung des Wassers	Verringerte Algenproduktion	Verringeres Nahrungsangebot
Abflussschwankungen	Habitat-Treue oder Habitatshifts Laichverhalten Beginn von Migration & Schlupf	Physiologischer Stress, geringeres Wachstum Unterbrechung bzw. vorzeitige Beendigung des Laichvorganges Verändertes oder vorzeitig beendete Migrations- und Schlupfmustern
Temperaturschwankung	Einsatz von Migration & Schlupf Drift von Makroinvertebraten	Verringeres Recruitment Verringeres Nahrungsangebot

Tabelle 2: Haupt-Effekte von Schwallbetrieb auf Fische. Ein Zusammenstellung aus mehreren Quellen nach Schmutz et al. 2014.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen vor allem die Konsequenzen der Durchflusssteigerung (Schwall) und des Abfalls des Wasserspiegels (Down-ramping) behandelt werden. Ersteres führt zu höheren Fließgeschwindigkeiten im Fluss und damit zu erhöhten Driftraten bei kleinen Fischen. Down-ramping führt auf Schotterbänken und Ufern zu einem (schnellen) Rückzug der Wasseranschlagslinie. Da sich Jungfische hauptsächlich in flachen, langsam durchströmten, ufernahen Habitaten aufhalten, birgt dieser Rückzug der Wasseranschlagslinie für sie ein großes Strandungsrisiko, denn ihr

Habitat fällt trocken. Jungfische müssen ihren Aufenthaltsort ausreichend schnell wechseln, um nicht zu stranden.

1.4 Schwallbetrieb und Gewässer-Morphologie: Schotterbänke

Hauer et al. (2013) zeigen, dass die Schwall-Belastung hinsichtlich hydrologischer Faktoren, wie Fließgeschwindigkeit und Sohlschubspannung, stark mit der Morphologie eines Gewässers in Verbindung steht. Sind Gewässer schon stark degradiert und durch Regulierungsmaßnahmen in ihrer Ausbreitung eingeengt, dann wird die ohnehin schon schlechte Habitatsituation durch Schwallbetrieb kaum verschlechtert (Hauer et al., 2013; Schmutz et al., 2014). Steile befestigte Ufer und begradigte Rinnen (Habitate mit sehr hohen Fließgeschwindigkeiten) dominieren das Gewässer. Dementsprechend kommt es bei Schwall nur zu geringen Veränderungen der Fließgeschwindigkeit und der benetzten Breite, die Habitatverteilung ändert sich kaum (Hauer et al. 2013). Auch aus fischökologischer Sicht konnte gezeigt werden, dass stark degradierte, kanalisierte Gewässerabschnitte bereits einen schlechten ökologischen Status aufweisen, der durch Schwallbetrieb kaum mehr verschlechtert wird. In naturnahen Gewässern konnte jedoch ein starker negativer Einfluss von Schwallbetrieb auf die Fischlebensgemeinschaften nachgewiesen werden (Schmutz et al., 2014).

In konzeptionellen Strandungs-Risiko-Modellen (SRM) wurde errechnet, dass das Strandungsrisiko für Jungfische (hier für juvenile Bachforellen) neben hydrologischen auch von morphologischen Parametern beeinflusst wird. Grundsätzlich gilt, je größer die Notwendigkeit für Habitatshifts, umso größer ist auch das Strandungsrisiko. Dabei wird das Ausmaß der trocken-fallenden Gewässerflächen, das Verhältnis geeigneter Lebensräume bei Schwall und Sunk sowie ein Korngrößen-Koeffizient als Parameter in die Berechnung des SRM miteinbezogen. Die Betrachtung morphologischer Aspekte und der mikrotopographischen Rauigkeit zeigen, dass unterschiedliche Schotterbank-Typen und -Formen, bzw. spezielle Formen fluvialer Depositionen signifikant unterschiedliche Sensitivität gegenüber fluktuierenden Abflüssen aufweisen. Auch Verbauungen, mangelnder Sedimenttransport durch Stauwerke und damit verbundener Mangel an selbst formierenden Schotterbänken im Flussbett (channel bars) wirken sich in Strandungs-Risiko-Modellen negativ auf das Strandungsrisiko aus. Zusätzlich muss auch

Einleitung

die mikrotopographische Rauigkeit in die Beurteilung des Strandrungsrisikos mit einbezogen werden (Hauer et al., 2014). Generell müssen in der Betrachtung der Auswirkungen von Schwallbetrieb einerseits die hydrologischen Komponenten, aber gleichzeitig auch die Habitateignung des jeweiligen Fließgewässers miteinbezogen werden.

Aus fischökologischer Sicht sind Schotterbänke genau jene Habitate, die Salmoniden als Laichhabitat sowie als Larven- und Jungfischhabitat zur natürlichen Verjüngung benötigen (Nykanen, 2002; Sempeski and Gaudin, 1995a). Das bedeutet, dass ohne derartige Schotterbänke die natürliche Reproduktion und damit das Recruitment nicht stattfinden können. Darüberhinaus sind natürliche Schotterbänke, im Vergleich zu artifiziellen Buhnen, durch höhere Biomassen an aquatischen Evertebraten, Tiere die die wesentliche Nahrungsgrundlage für junge Salmoniden darstellen, gekennzeichnet (Jungwirth et al., 2003). Schotterbänke sind also unverzichtbare Habitate für Biozöosen des Meso- bis Hyporhithal.

2 Fragestellung und Zielsetzung

Das Forschungsinteresse dieser Arbeit dreht sich um zwei Fragenkomplexe, die zwar thematisch verwandt sind, aber getrennt behandelt werden. Die beiden Fragenkomplexe werden mit zwei getrennten Versuchsanordnungen (VAO1 & 2) an der HyTEC-Forschungsanlage untersucht und auch in der Arbeit in getrennten Kapiteln behandelt. Prinzipiell liegt das Forschungsinteresse dieser Arbeit auf den ökologischen Auswirkungen von Sunk und Schwall (Hydropeaking) auf Fische. Im Besondern sollen die Auswirkungen auf frühe Stadien der Äsche, auf Larven und juvenile Fische, erforscht werden. Dem zugrunde liegt die bereits mehrfach untermauerte These, dass die frühen Lebensstadien der Fische durch Hydropeaking besonders stark beeinflusst werden, da ihre Lebensweise und ihre physische Entwicklung sie verwundbar macht (Auer et al., 2014; Fohler, 2013; Rauch, 2014; Schmutz et al., 2013, 2014). Für die Experimente im Rahmen dieser Arbeit wird die Europäische Äsche (*Thymallus thymallus*) als Versuchsorganismus verwendet, sie stellt die Leitfischart der in Österreich besonders von Schwallbetrieb betroffenen Fließgewässer des Hyporhithrals dar (Schmutz et al., 2013). In vorangegangenen Arbeiten an der HyTEC-Versuchsanlage wurde sowohl mit Äschen (*Thymallus thymallus*) also auch mit Bachforellen (*Salmo trutta*) experimentiert (Auer et al., 2014; Fohler, 2013; Rauch, 2014).

- Themenkomplex 1 – Strandung: beschäftigt sich mit der Strandung juveniler Äschen auf Schotterbänken mit unterschiedlicher Querneigung.
- Themenkomplex 2 – Drift: beschäftigt sich mit der Drift juveniler Äschen und Äschenlarven in Mesokosmen sowie dem Verhalten der Tiere in unterschiedlichen Phasen des Schwallbetriebs.

Themenkomplex	Hypothese
STRANDUNG	Die Schotterbank-Querneigung hat Einfluss auf die Strandungsrate. Auf flachen Schotterbänken sind Äschen einem erhöhten Strandungsrisiko ausgesetzt. Die Tageszeit hat Einfluss auf die Strandungsrate. Das Strandungsrisiko ist bei Nacht höher als tagsüber.
DRIFT - PILOTSTUDIE	Mesokosmen eignen sich als Habitat für Jungäschen.

Mesokosmen eignen sich zur experimentellen Simulation von Schwallbetrieb.
Driftmuster in Mesokosmen sind vergleichbar mit jenen in größer skalierten, naturnahen Rinnen.
Schwallbetrieb führt körpergrößenabhängig zu höheren Driftraten.
Kleinere Äschen weisen bei Schwallbetrieb höhere Driftraten auf als größere.
Die Anstiegsgeschwindigkeit zeigt einen Effekt auf die Driftraten.
Eine höhere Anstiegsgeschwindigkeit führt zu höheren Driftraten.
Zwischen Schwall und Sunk zeigen Versuchsorganismen deutlich beobachtbare und definierbare Verhaltensunterschiede.

Tabelle 3: Forschungshypothesen.

Strandung: Im Rahmen dieser Arbeit soll geklärt werden ob die Schotterbank-Querneigung einen Einfluss auf die Strandung juveniler Äschen zeigt. Da in vorangegangenen Versuchen auch starke diurnale Einflüsse auf die Driftraten festgestellt werden konnten (Auer et al., 2014; Fohler, 2013), wird neben der Schotterbank-Querneigung die Tageszeit (Tag/Nacht) als Faktor in die Analyse miteinbezogen. Die Hypothese lautet, dass juvenile Äschen bei konstanten Abstiegsgeschwindigkeiten auf flacheren Schotterbänken einem höheren Strandrungsrisiko ausgesetzt sind als auf steileren. Weiters sind die Strandrungsraten bei Hydropeaking, laut Hypothese dieser Arbeit, nachts höher als unter Tags. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind Teil des MARS-Projekts (Managing Aquatic ecosystems and water Resources under multiple Stress), einem europäischen Forschungsprojekt an dem das Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement der BOKU Wien beteiligt ist. Die Forschung im Rahmen dieser Arbeit dient dazu, um auf Basis fundierter wissenschaftlicher Daten die ökologischen Auswirkungen von Schwallbetrieb zu erfassen. Die Forschung soll zu einem breiteren und tieferen Verständnis der Problematik Schwallbetrieb beitragen. Weiterführend sollen von diesen Ergebnissen Handlungsanweisungen abgeleitet werden, die zu einem sinnvollen und verbesserten Kraftwerksmanagement führen. Im Idealfall können dann durch Adaptionen im heutigen Kraftwerksmanagement die negativen ökologischen Auswirkungen von Schwallbetrieb reduziert werden.

Drift: Im Rahmen des zweiten Fragenkomplexes soll das Thema Jungfischdrift mit einem neuen methodischen Ansatz bearbeitet werden. In diesem Sinn ist diese Arbeit als Pilotstudie zur Erprobung von völlig neuen Mesokosmen in der angewandten Hydropeaking-Forschung zu betrachten. Es wurden für dieses Forschungsdesign eigene

Fragestellung und Zielsetzung

Mesokosmen entworfen, die sich für Driftexperimente von Fischen sowie von Makrozoobenthos eignen und auch mit beiden Organismengruppen gleichzeitig betrieben werden können. Im Wesentlichen sollen dabei einerseits quantitative Driftdaten erhoben werden, andererseits soll das Verhalten der Fische durch Videoaufnahmen dokumentiert und später analysiert werden.

Die Pilotstudie soll zeigen, ob sich die speziell entwickelten Mesokosmen als Habitat für frühe Entwicklungsstadien der Äsche eignen und ob damit die Drift und Driftverhalten junger Äschen erforscht werden kann. Es soll geklärt werden, ob mit dieser Versuchsanordnung ähnliche Driftmuster wie in vorangegangenen Versuchen in großskalierten, naturnahen Rinnen erzielt werden können. Im Speziellen soll gezeigt werden, dass Schwallbetrieb zu signifikant höheren Driftraten, in Abhängigkeit der Körpergröße, führt. Weiters soll die Rolle der Anstiegsgeschwindigkeit geklärt werden, die Hypothese lautet, dass eine schnelle Anstiegsgeschwindigkeit zu erhöhten Driftraten führt. Diese Forschungsfragen sollen durch quantitative Driftdaten (absolut auszählbare Driftzahlen für verschiedene Phasen des Hydropeaking Ereignisses) beantwortet werden.

Ein gut durchdachtes Design der Boxen ermöglicht es, die Versuche auf Video aufzuzeichnen. Durch transparente Acrylglasscheiben kann direkt in die Wassersäule gefilmt werden. Eine qualitative Videoanalyse soll zeigen, ob die unterschiedlichen Phasen im Schwall/Sunk-Betrieb auch am Verhalten von Fischen festgemacht werden können. Dazu werden Verhaltens-Kategorien gebildet, die den jeweiligen Phasen des Experiments gewichtet zugewiesen werden können. Die Hypothese dazu lautet, dass es große, deutlich beobachtbare und definierbare Verhaltensunterschiede zwischen Schwall und Sunk gibt. Weiters soll gezeigt werden, dass die Mesokosmen von den Versuchsorganismen als Habitat angenommen werden. Die Hypothese lautet, dass sich die Fische bei Sunk-Abfluss in den Mesokosmen natürlich verhalten und nicht in großen Mengen aktiv ausdriften.

Da diese Versuche dezidiert als Pilotversuche geführt werden, soll im Rahmen dieser Arbeit ein funktionierendes Forschungsdesign für die Boxen entwickelt werden. Das umfasst umfangreiche Vorversuche (die nicht in die Ergebnisse dieser Arbeit einbezogen wurden), um die Mesokosmen kennen zu lernen und um das richtige experimentelle Setting festlegen zu können. Am Ende der Arbeit soll klar sein, welche Fragestellungen mit Mesokosmos-Versuchen abdeckbar sind bzw. wo die Limitationen dieser neuen

Fragestellung und Zielsetzung

Methode liegen. Ein Großteil der Vorversuche und die Implementierung der Mesokosmen passiert dabei in enger Zusammenarbeit mit einer Forscherin der Makrozoobenthos-Gruppe der Universität für Bodenkultur.

3 Ortsbeschreibung: HyTEC

Sämtlich Experimente, die im Rahmen dieser Arbeit präsentiert werden, wurden an der HyTEC-Versuchsanlage (**H**ydromorphological and **T**emperature **E**xperimental **C**hannel) in Lunz am See (Niederösterreich) durchgeführt. Die HyTEC-Anlage wird vom Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement (IHG) der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) betrieben. Bei der Anlage handelt es sich um zwei Freiland-Versuchsrinnen, die ca. 400 m stromabwärts des Ausrinns des Lunzer Sees gebaut wurden. Die Rinnen werden über zwei Rohrleitungen mit Seewasser gespeist. Beim Lunzer See handelt es sich um einen oligotrophen See der Bioregion der Kalkvoralpen, der hinsichtlich seiner Durchmischung dem holomiktisch, dimiktischen Seentyp zuzuordnen ist. D.h. der See wird während zweier Zirkulationsphasen im Frühjahr und Herbst vollständig durchmischt. Dazwischen herrschen zwei Stagnationsphasen (im Sommer und Winter), während derer der See hinsichtlich seines Temperaturprofils stratifiziert (geschichtet) vorliegt. In den Stagnationsphasen weist der Lunzer See in tiefen Schichten niedrigere Wassertemperaturen, in oberflächennahen Schichten jedoch höhere Wassertemperaturen auf (Beiwl et al., 2008). Dieses Phänomen wurde für die HyTEC-Anlage genutzt. Die Rohrleitungen entnehmen das Wasser für die Rinnen in zwei verschiedenen Tiefen. Die oberflächennahe Leitung entnimmt wärmeres Wasser am Seeausrinn, die Tiefenleitung entnimmt kälteres Wasser aus rund 10 m Tiefe (Schmutz et al., 2013).

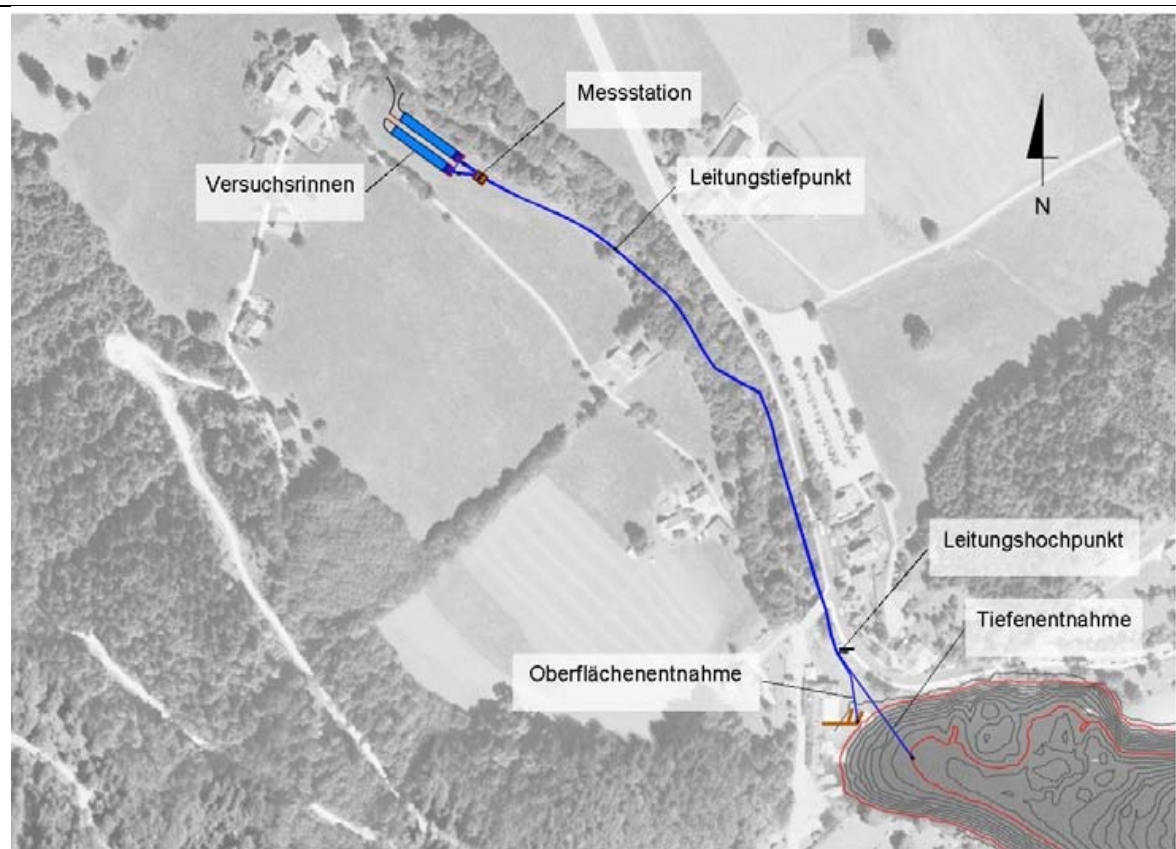


Abbildung 1: Lage der HyTEC-Versuchsanlage (mit Zuleitung und Lunzer See). (Zeiringer, B. 2013).

Den beiden Versuchsrinnen ist jeweils ein baugleiches, großes Mischbecken (6,0 m x 4,0 m) vorgeschaltet. Im Mischbecken wird das Wasser der beiden Rohrleitungen vermischt, so kann die Wassertemperatur für die Dotation der Rinnen geregelt werden. Weiters garantiert eine Durchmischung eine homogene Temperaturverteilung im Wasserkörper. In beiden Mischbecken ist direkt nach den Rohreinlässen eine Prallwand angebracht, um das Wasser aus den Rohren vor dem Einfließen in die Rinnen zu beruhigen. Beide Rinnen sind sowohl was die Temperaturregelung als auch den Durchfluss angeht völlig separat ansteuerbar. Der Durchfluss kann zwischen 0 – 600 l/s variiert werden. Die Regelung der Durchflüsse bzw. der Wassertemperatur erfolgt mittels Touchscreen entweder manuell oder anhand vordefinierter Programme. Die gesamte Steuer- und Messtechnik befindet sich direkt an der Versuchsanlage und ist dem Forschungspersonal immer zugänglich.

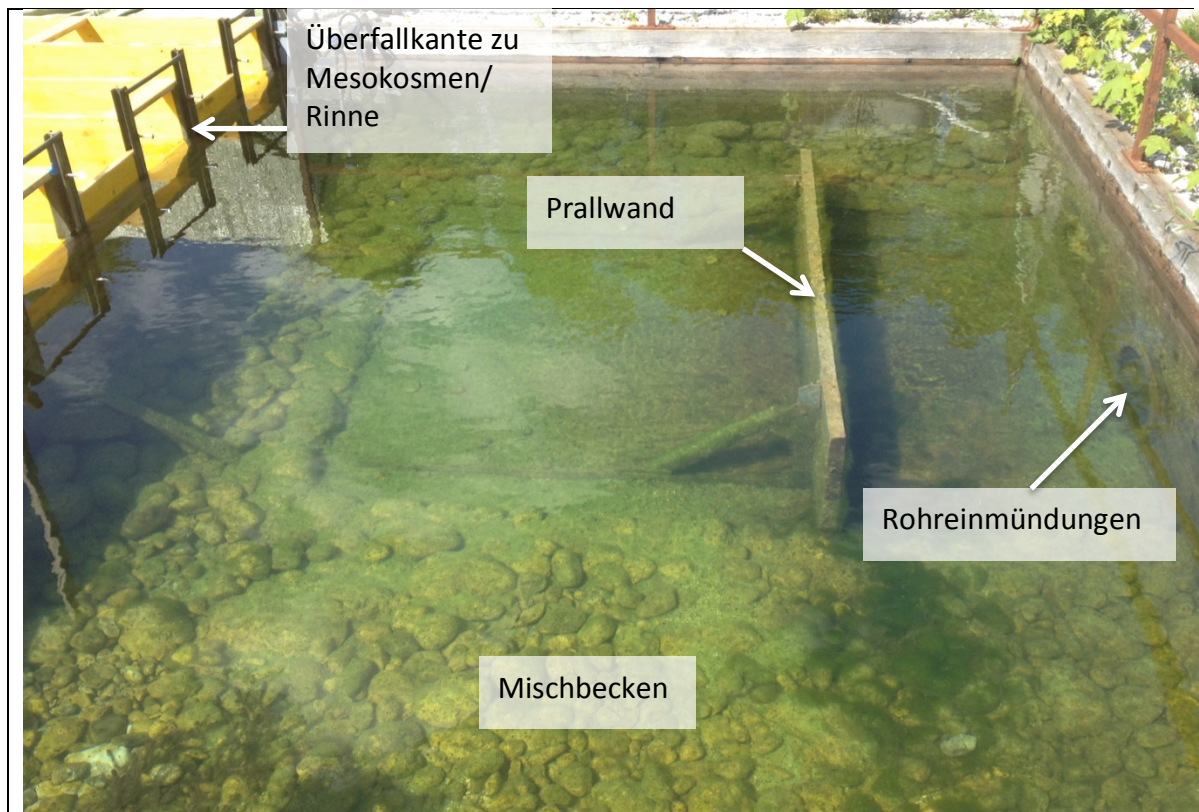


Abbildung 2: Ansicht Mischbecken der Rinne 1.

Das Wasser fällt über eine für Fische unpassierbare Überfallkante in die Rinnen. Die tatsächlichen Versuchsrinnen sind jeweils 40 m lang und haben eine maximale benetzte Breite von 6 m. Die Rinnen verlaufen parallel zueinander und sind voneinander durch einen erhöhten Weg, der mit einer senkrechten Holzwand begrenzt ist, getrennt. Die Außenufer beider Rinnen verlaufen flacher, bestehen aus Schotter und können je nach Anforderung beliebig modelliert werden (z.B. hinsichtlich ihrer Querneigung). Die Rinnen sind 1,4 m tief und nach unten zur Sohle hin mit Betonitmatten abgedichtet. Am flussabwärts gelegenen Ende sind in beiden Rinnen Holzbalken auf Sohlniveau eingebaut. An diesen Holzbalken sind Driftnetze mit einer Maschenweite von 1 mm eingelassen, die die Rinnen stromabwärts begrenzen und zu einem für Fische geschlossenen System machen. Das Wasser, das über die Rohrleitungen dem Lunzer See entnommen wurde, fließt am Ende der Anlage durch die Driftnetze, über einen Auslaufbereich zurück in den Lunzer Seebach (Schmutz et al., 2013).

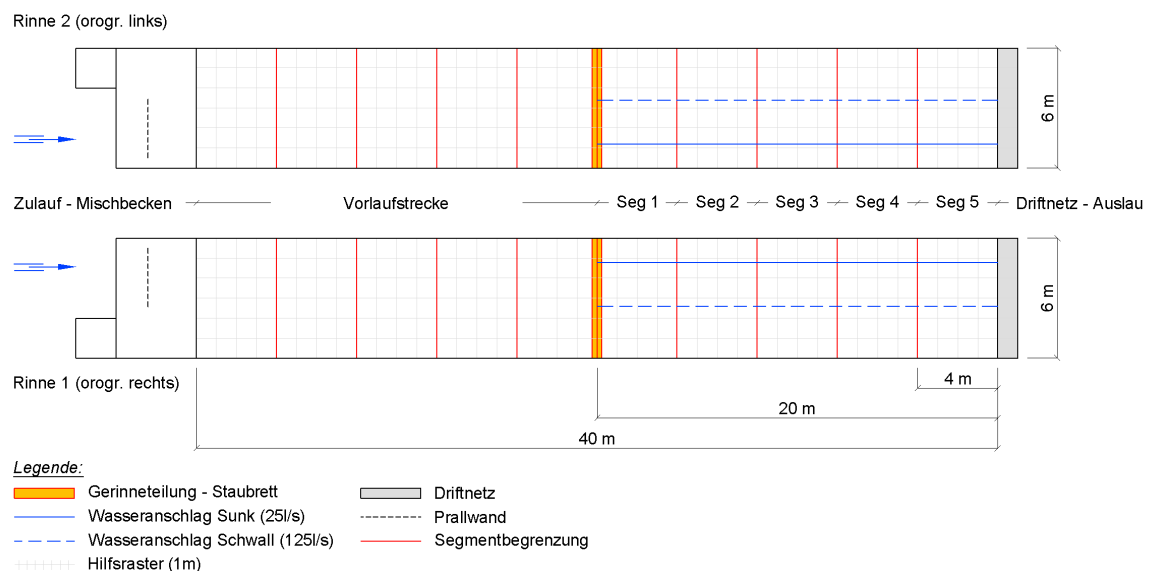
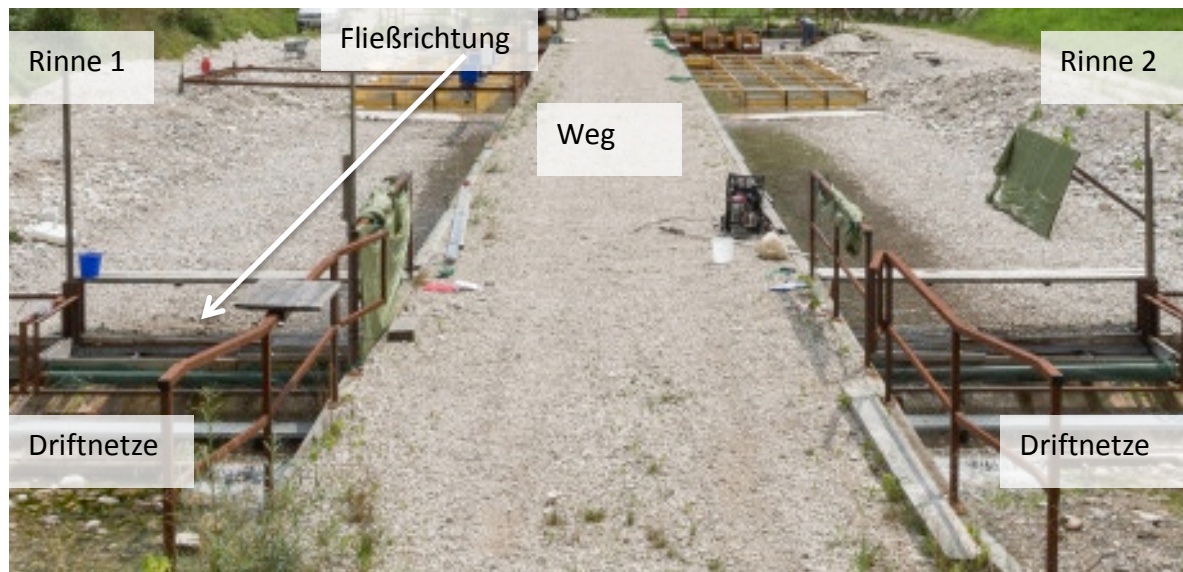


Abbildung 3: Ansicht Versuchsrinnen und Schemaskizze der Rinnengeometrie. (Schemaskizze: Zeiringer, B. 2013)

Für die Versuche der VAO1 wurden die Rinnen mit einer Holzabspernung (Gerinneteilung – Staubrett) auf 20 m verkürzt, wobei die letzten, flussab gelegenen 20 m für die Versuche verwendet wurden, die flussaufwärts gelegene Strecke diente nur als Vorlaufstrecke und wurde nie mit Fischen besetzt. Diese Verkürzung wurde auch schon bei vorangegangenen Versuchsdesigns erfolgreich durchgeführt (Fohler, 2013). Das geschlossene System erstreckt sich also nur auf einer Strecke von 20 m und nicht über die gesamte Versuchsrinne. Die letzten 20 m beider Versuchsrinnen wurden mit einem

gedachten Raster in 5 Segmente à 4 m Länge geteilt. Dies war einerseits für die Beobachtungsversuche wichtig, andererseits konnte so sichergestellt werden, dass die Fische immer am gleichen Ort, in den gleichen Untersegmenten besetzt wurden. Beide Rinnen-Außenufer sind flache Schotterbänke, allerdings mit unterschiedlicher Querneigung. Rinnen 1 verfügte mit einer Schotterbank-Querneigung von 2 % über einen flachere Neigung als Rinne 2 mit einer Schotterbank-Querneigung von 5 %. Die Längsneigung war mit 0,25 % für beide Rinnen ident. Die Rinnensohle besteht bei beiden Rinnen aus dem Choriototyp Mikrolithal, d.h. es handelt sich um Schotter mit Korngrößen von 2 – 6,3 cm (Schmutz et al., 2013).

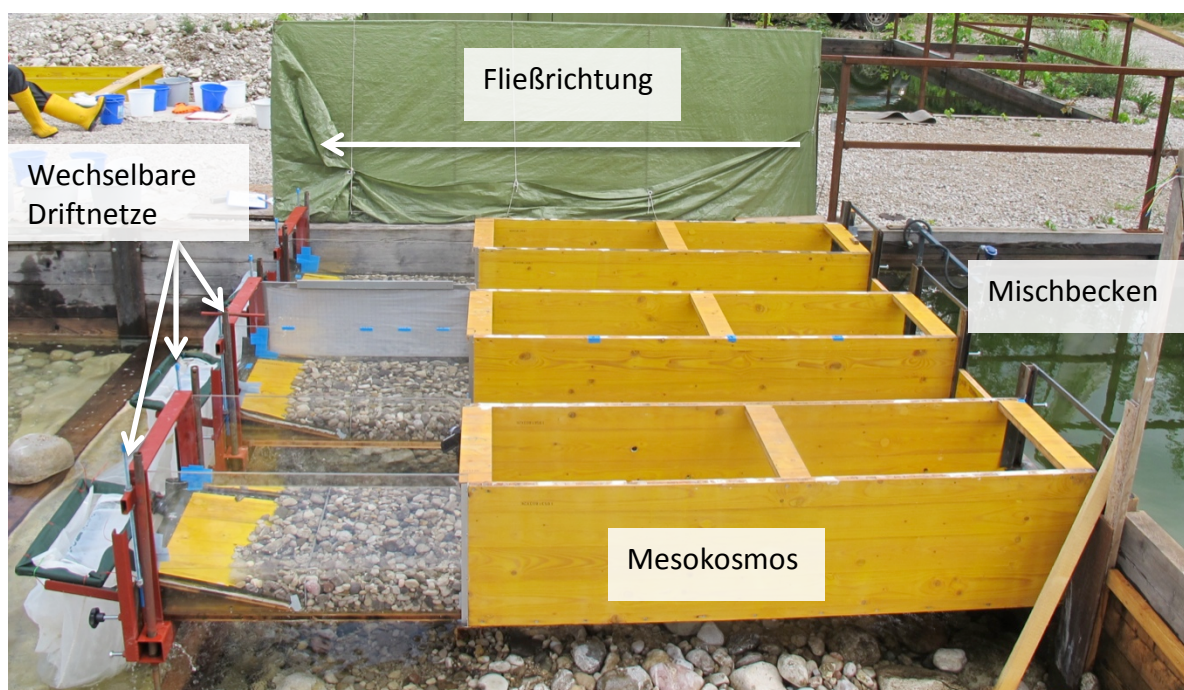


Abbildung 4: Mesokosmen der Versuchsrinne 2.

Für VAO2 wurden im ersten Segment der Vorlaufstrecke insgesamt 6 Mesokosmen montiert, jeweils 3 Mesokosmen pro Rinne. Die Mesokosmen schließen dabei direkt an die Holzwand des Mischbeckens an und werden über eine Überfallkante direkt aus dem Mischbecken mit Wasser dotiert. Am stromabwärts gelegenen Ende der Mesokosmen befinden sich auswechselbare Driftnetze mit einer Maschenweite von 500 µm. D.h. auch die Mesokosmen stellen ein abgeschlossenes System dar.

4 Beschreibung der Versuchsorganismen

4.1 Die Europäische Äsche (*Thymallus thymallus*)

Die Europäische Äsche (*Thymallus thymallus*) ist ein Knochenfisch aus der Familie der Salmonidae. Sie ist in Europa die einzige Vertreterin der Unterfamilie Thymallinae sowie der Gattung Thymallus (Jungwirth et al., 2003). Adulte Exemplare zeichnen sich durch relativ große, festsitzende Schuppen, ein kleines Maul, eine Fettflosse, einen langgestreckten Körper und eine auffällig lange, fahnenartige Rückenflosse (Fahne) aus, wobei Milchner eine deutlich längere und auffälligere Fahne tragen als Rogner. Die Färbung der Fische variiert je nach Gewässer. Die Schwanzflosse ist deutlich eingebuchtet, ein weiteres Merkmal ist die tropfenförmige Pupille. Jungäschen zeigen zahlreiche dunkle Flecken, die sich mit zunehmendem Alter verlieren. Flossenformel: RF 4-7 Hartstrahlen, 13-18 gefiederte Weichstrahlen; AF 2-4 Hartstrahlen, 8-11 gefiederte Weichstrahlen. Bei ihrer Emergenz sind Äschenlarven im Durchschnitt 15 mm lang (Nykanen and Huusko, 2003) und oft sehr transparent. Bei adulten Fischen liegt die durchschnittliche Körperlänge bei rund 35 cm (Hauer, 2007; Jungwirth et al., 2003).

Die Europäische Äsche ist eine strömungsliebende, rheophile Fischart, sie hält sich meist frei stehend im Fluss aufhält. Äschen sind, im Gegensatz zu Bachforellen, weniger stark an sichtsutzgebende Strukturen gebunden. Larven zeigen stark ausgeprägtes Schwarmverhalten. Adulte leben solitär, antagonistisch und zeigen territoriales Verhalten (Jungwirth et al., 2003). Andere Autoren geben jedoch an, dass Äschen in geringer gegenseitiger Entfernung und in Gruppen anzutreffen sind (Greenberg et al., 1996; Hauer, 2007). Die Europäische Äsche hat ihr Hauptverbreitungsgebiet in Flüssen und Bächen des Hyporhithral, wo sie die Leitart darstellt (Äschenregion) (Hauer, 2007; Jungwirth et al., 2003).



Abbildung 5: Foto einer ausgewachsenen Äsche mit typischer Rückenflosse, der sogenannten Fahne.

Äschen sind Frühjahrslaicher, in Österreich ziehen sie je nach Wassertemperatur zwischen März und Mai zu ihren Laichplätzen. Seichte, stark überströmte Kiesbänke sind ideale Laichplätze für die Europäische Äsche. Die Eier und Dottersackbrut entwickeln sich danach im geschützten und reichlich durchströmten Hyporheus (dem Kieslückensystem des Flusses). Nach dem Verzehr des Dottersackes benötigen die nunmehrigen Jungfische Nahrung, die meist aus der Wassersäule aufgenommen wird. Junge Äschen ernähren sich hauptsächlich von kleinen Evertebraten. Unter den Wirbellosen stellen Chironomiden die bedeutendste Nahrungsquelle der Larven dar (Jungwirth et al., 2003). Mit zunehmendem Alter wird die Ernährung der Fische räuberischer. Große Adulte fressen fallweise Jungfische, Koppen und den Laich anderer Fische (Hauer, 2007).



Abbildung 6: Äschenlarven 10 Tage nach Schlupf.

Junge Äschen weisen laut Baars (2001) diurnale Habitatswechsel auf. Während sie tagsüber pelagisch leben, verbringen sie die Nacht ruhend am Grund. Dafür werden nachts flache Uferbereiche oder Stillwasserzonen aufgesucht, diese Zonen stehen tagsüber unter starkem Räuberdruck durch Vögel (Baars, 2001; Fohler, 2013). Wichtig im Bezug auf die Habitatwahl der Äsche ist auch das Wissen um ontogenetische Habitatshifts. Im Laufe der Entwicklung einer Äsche vom Larvenstadium bis zum adulten Fisch kommt es mehrmals zu Habitatswechseln. Welche Nischen stadienspezifisch gewählt werden, hängt vor allem von den Faktoren Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit und Sedimentzusammensetzung ab (Bardonnnet et al., 1991; Jungwirth et al., 2003; Nykanen and Huusko, 2003; Sempeski and Gaudin, 1995b). Dieser Umstand muss unbedingt berücksichtigt werden, möchte man die ökologischen Auswirkungen von Schwall und Sunk oder auch Auswirkungen von Uferverbauung oder Flussbegradigungen bewerten. Weiters ist bekannt, dass juvenile Äschen hauptsächlich nachts flussabwärts

migrieren (Jungwirth et al., 2003), auch das könnte für die Bewertung von Schwall von Bedeutung sein.

Mehrere Studien zeigen die Habitatpräferenzen der Äsche über unterschiedliche (frühe) Altersstufen (Bardonnnet et al., 1991; Nykanen and Huusko, 2003; Sempeski and Gaudin, 1995b). Larven bevorzugen nach dem Schlüpfen aus der Eihülle und dem Verlassen des Lückenraumsystems strömungsberuhigte Habitate von geringer Wassertiefe. Solche Lebensräume stellen Totwasserbereich dar, die in intakten Gewässerökosystemen entlang des Hauptkanals vorhanden sind. Aufgrund ihrer geringen Körpergröße und der damit verbundenen geringen Schwimmleistung bevorzugen Äschen-Larven, kurz nach ihrer Emergenz, Habitate mit sehr geringen Fließgeschwindigkeiten (60 % der Larven im Bereich von 0-10 cm s^{-1} , 95 % im Bereich bis maximal 20 cm s^{-1}). In diesen geschützten Bereichen sind die Scherkräfte und die bodennahe Strömung minimal, die Deckschicht besteht aufgrund der hydraulischen Situation hauptsächlich aus Sedimenten der Silt- und Ton-Fraktion. In der Studie von Sempeski und Gaudin (1995b) wiesen Larvenhabitate nie größere Wassertiefen als 50 cm auf, mehr als 50 % der Larven besetzten Habitate mit Wassertiefen <20 cm.

Juvenile Äschen halten sich in Schulen auf und besetzen Habitate mit mittleren durchschnittlichen Fließgeschwindigkeiten an den Schotterbänken des Hauptkanals: bevorzugt wurden mittlere Fließgeschwindigkeiten von 20-30 cm s^{-1} (>50 %) und bodennahen Fließgeschwindigkeiten von 20-30 cm s^{-1} (90 %). Das dominierende Substrat waren feiner und grober Kies (Micro- bis Mesolithal) (Sempeski and Gaudin, 1995b). Adulte Tiere bevorzugen Habitate in der Flussmitte, in größeren Fließgewässern konzentrieren sie sich ab Herbstmitte an Tiefstellen (Greenberg et al., 1996).

	Larve		Juvenil (0+)		Adult	
	Optimum	Maximum	Optimum	Maximum	Präferenz	
Mittlere v	0-10 cm s^{-1}	20 cm s^{-1}	20-30 cm s^{-1}	15-50 cm s^{-1}	<10 cm/s	-
Bodennahe v	0-20 cm s^{-1}	20 cm s^{-1}	20-30 cm s^{-1}	20-40 cm s^{-1}	-	-
Wassertiefe	<20 cm	50 cm	40-60 cm	40-70 cm	75-165 cm	-
Sediment	Sand, Silt, feiner Schotter		Micro- /Mesolithal		Blöcke/Steine	
Habitat	Totwasserbereiche		Schotterbänke/Hauptkanal		Flussmitte/Tiefstellen	

Tabelle 4.: Habitatwahl und ontogenetischer Shift bei der *Thymallus thymallus*. Grafik nach Sempeski und Gaudin, 1995. Optimum(>50 %); Maximum(>95 %). Die Angaben für Adulte (20-50 cm Körpergröße) nach (Greenberg et al., 1996).

Die besprochenen Habitate sind, aufgrund ihrer physikalischen Spezifikationen, wichtig für das Überleben der Fische während bestimmter Lebensphasen. Die Veränderung und Verringerung solcher Habitate durch menschliche Einflüsse (harte Uferverbauung, Schwall & Sunk-Stressoren, Flussregulierungen etc.) beeinflussen die ökologische Carrying-Capacity sowie die Überlebensrate in frühen Lebensphasen (Sempeski and Gaudin, 1995b).

4.2 Drift und Strandung junger Äschen

Drift: In der Literatur sind mehrere Formen der Drift für junge Äschen beschrieben. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte eine Trennung in aktive und passive Drift. Aktive Drift umfasst Driftmuster im Zusammenhang mit ontogenetischen Habitatshifts: Kurz nach der Emergenz aus dem Schotterkörper, also in sehr jungen Larvenstadien, driften Äschenlarven um geeignete Larvenhabitate zu erreichen (Baars, 2001; Bardonnnet et al., 1991). Diese Form der Drift nimmt mit zunehmendem Alter ab. Weiters bemerken einige Autoren, dass junge Äschen dichteabhängiges Driftverhalten aufweisen. Bei zu hoher Fischdichte kommt es dabei zu aktiver Drift (Fohler, 2013; Greenberg et al., 1996; Sempeski and Gaudin, 1995b). Aktive Drift wird dabei gewissermaßen als „freiwillige“, nicht physikalisch erzwungene Drift definiert. Neben diesen natürlichen Driftphänomenen können anthropogene Einflüsse als weitere Driftfaktoren angeführt werden: Hydropeaking mit schwankenden Abflüssen und Fließgeschwindigkeiten (Fohler, 2013; Schmutz et al., 2013) sowie uferbauliche Maßnahmen, wie die Kanalisierung von Fließgewässern, die zum Verlust von Totwasserbereichen und strömungsberuhigten Zonen führen, begünstigen solch erzwungene Drift (Schmutz et al., 2014; Sempeski and Gaudin, 1995b). Dabei können aus ökologischer Sicht grundsätzlich zwei Aspekte unterschieden werden: einerseits die generelle Habitatverfügbarkeit und andererseits die Persistenz verfügbarer Habitat, also die Stabilität der Habitatbedingungen im zeitlichen Verlauf (Freeman et al., 2001). Hydropeaking führt, durch die häufige Änderung der Abflussmenge zu geringer Persistenz der Habitatbedingungen. Drift aufgrund zu hoher Fließgeschwindigkeiten oder mangelnder Refugialräume, also Drift aufgrund physikalischer Limitationen der Fische, werden hier als passive Drift bezeichnet. Junge Fische sind besonders anfällig für diese passive Drift, da ihre Schwimmleistung noch nicht groß genug ist, um den starken Fließgeschwindigkeiten widerstehen zu können

(Eberstaller et al., 2001). Passive Drift steigert das Prädationsrisiko, da die Fische in tiefere Wasserbereiche kommen und so für Raubfische, die sich von driftenden Organismen ernähren, erreichbar sind. Durch höhere Fließgeschwindigkeiten werden vermehrt Partikel transportiert, dies kann bei jungen Fischen zu Kiemenverletzungen führen. Erhöhter Migrationsdruck, durch häufige Veränderung der Habitatbedingungen, bedeutet auch einen erhöhten Energieverbrauch. Bei häufigen Schwall-Ereignissen sind Migrationsbewegung einerseits zur Vermeidung hoher Fließgeschwindigkeiten nötig und andererseits um beim Rückgang des Wasserstandes einer Strandung zu entgehen. Schließlich können die Fische durch starke Turbulenzen und Orientierungsverlust (in Verbindung mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten) mechanischen Schaden durch Kollisionen mit dem Substrat nehmen (Johnston et al., 1995; Mion et al., 1998). Ein weiterer Aspekt ist die Entfernung/ Auswaschung der Fische aus günstigen Jungfischhabitaten (z.B. Schotterbänken). Passive Drift führt so zu einer Dichtereduktion der Jungfische in den Schwall-betroffenen Fließgewässerabschnitten.

Strandung: Bei einer schwallbedingten Verlagerung der Wasseranschlagslinie sind Fische zum Wandern gezwungen. Jungfische die sich im Uferbereich (typisches Jungfischhabitat) aufhalten, müssen dabei besonders weite Strecken zurücklegen (Eberstaller et al., 2001). Dabei können Fische bereits in kleinen Mulden (Fallen-Effekt) zurückbleiben bzw. sie schlüpfen ins Interstitial oder fallen, durch den Drainage-Effekt des Substrates, direkt am Substrat trocken (Hunter, 1992). Bei einer weiteren Absenkung des Wasserspiegels fallen auch diese Mulden trocken bzw. der Wasserspiegel im Interstitial sinkt und die Fische fallen trocken. In wassergefüllten Mulden reicht auch eine Temperaturerhöhung für letale Effekte. Zusätzlich sind die in Mulden gefangenen Fische terrestrischen Räubern und Vögeln ausgeliefert. Ein großer Ausfall an Jungfischen in frühen Stadien, wie das bei Strandung zu erwarten ist, bedeutet negative Auswirkungen auf die gesamte Population (Young et al., 2011).

Das Ausmaß der Strandung wird, für junge Äsche sowie für andere Fischarten, durch eine Reihe biotischer und abiotischer Faktoren beeinflusst. Im Bezug auf physikalische Bedingungen spielen die Abstiegsgeschwindigkeit, die Amplitude von Schwall und Sunk, das Substrat, die Flussmorphologie sowie die Ufer-Querneigung eine wesentliche Rolle. Dazu kommen kritische Minimalabflüsse, die Häufigkeit der Abflussschwankungen, der

Zeitpunkt und die Dauer der Abflussschwankungen (saisonale Effekt bzw. Tag/Nacht Effekte) (Schmutz et al., 2014). Generell sind Fische in frühen Entwicklungsstadien wesentlich anfälliger als adulte bzw. größere Fische (Harby and Noack, 2013; Nagrodski et al., 2012; Young et al., 2011).

4.3 Haltung und Herkunft der Versuchsfische

Für die Versuche (VAO1 & VAO2) wurden Äschenlarven von lokalen Fischzüchtern verwendet. Die Muttertiere entstammten Wildfängen aus der Ybbs. Die abgestreiften Äschen-Eier wurden in einer lokalen Fischzucht betreut und wenige Tage vor dem Schlupf in die HyTEC-Versuchsanlage überstellt. Die Fische schlüpften in der Anlage und wurden fortan vom Forschungspersonal, in Kooperation mit einem lokalen Fischzüchter, betreut. Ab dem Zeitpunkt der Emergenz wurden die Fische mit Plankton aus dem Lunzer See gefüttert. Das Plankton wurde eigens für die Versuchsfische direkt an der Anlage gefangen und lebend verfüttert. Die Fische waren in Rundstrombecken in einem abgetrennten, schattigen, überdachten Bereich der Versuchsanlage untergebracht. Dieser Teil der Anlage war nach außen hin vergittert, zusätzlich wurden nachts die Becken mit engmaschigen Gittern verschlossen, um die Fische vor etwaigen Fressfeinden zu schützen. Die Becken wurden mit kaltem Seewasser gespeist, um die Entwicklung der Fische möglichst zu verzögern. Die Becken wurden täglich gereinigt, tote und kranke Fische wurden entfernt, einmal wöchentlich wurden die Körperlängen gemessen (siehe 4.4 Einteilung der Fisch-Altersklassen). Generell wurden Fische verschiedenen Alters in verschiedenen Rundbecken gehalten, auch Fische die bereits für Versuche verwendet wurden, wurden getrennt gehalten, um sicherzustellen, dass die Versuchstiere nur einmal zum Einsatz kamen. Außerdem wurde der Gesundheitszustand aller Fische regelmäßig überwacht.



Abbildung 7: Rundstrombecken zur Aufzucht der Äschenlarven in der HyTEC-Versuchsanlage.



Abbildung 8: Äschenlarven in der Wassersäule des Aufzuchtbeckens, 10 Tage nach dem Schlupf.

4.4 Einteilung der Fisch-Altersklassen

In den zwei Versuchsanordnungen wurde mit unterschiedlichen Größen- und Altersklassen gearbeitet. Die Körperlänge von Äschen-Larven ist eine entscheidende Variable hinsichtlich der Drift einerseits, andererseits weisen Larven mit geringer

Beschreibung der Versuchsorganismen

Körperlänge (18-20 mm) auch ein größeres Strandungsrisiko im Vergleich zu größeren (30-40 mm) Artgenossen auf (Hunter, 1992; Schmutz et al., 2013). In der Versuchsanordnung 1, den Strandungs-Versuchen, wurde eine einheitliche Altersklasse (S) verwendet. In Versuchsanordnung 2, den Mesokosmos-Versuchen, wurden zwei unterschiedliche Klassen (Larven / Juvenile) verwendet, die sich sowohl hinsichtlich ihres Alter als auch ihrer Körperlänge unterscheiden. Die Fische der unterschiedlichen Altersklassen wurden in getrennten Rundbecken gehalten, zur Feststellung der Entwicklung wurden wöchentlich Körperlängenmessungen durchgeführt. Dafür wurden 25 – 30 Tiere mit schnellen Netzzügen entnommen, die Fische wurden mit Nelkenöl beruhigt und vermessen. Gemessen wurde die Körperlänge [mm] von Maul bis Schwanzflossenspitze. Die so vermessenen Tiere werden als repräsentative Stichprobe der Gesamtpopulation des Rundbeckens betrachtet. Nach dem Vermessen wurden die Tiere in ein anderes Becken zurückgegeben und nicht mehr für Versuche verwendet. Fische aller Altersklassen hatten zu Versuchsbeginn bereits das frühe Larvenstadium überschritten, den Dottersack resorbiert, waren in die Wassersäule aufgestiegen und ernährten sich bereits aktiv von Plankton. Folgend, ein Überblick über die Altersklassen der Versuchsfische:

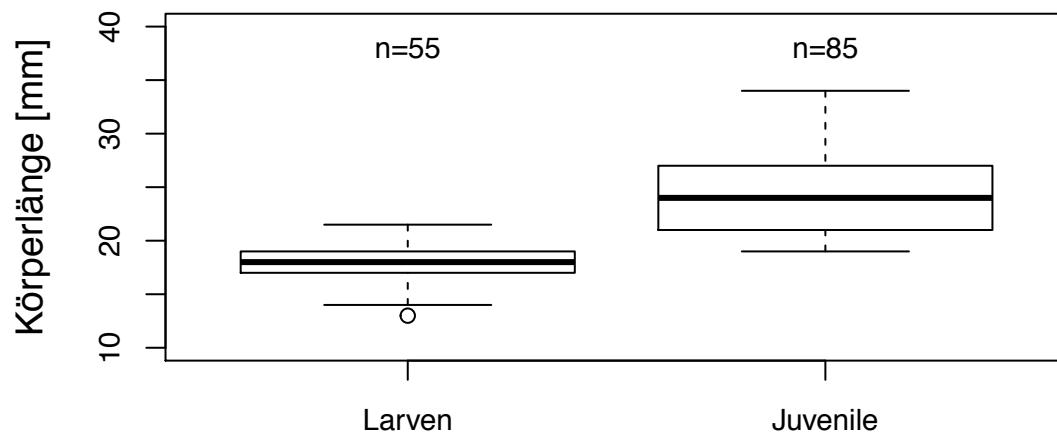
Versuchsanordnung 1 (VAO1)	Altersklasse_S
Körperlänge = Mittelwert (Stabw.)	25,5 ($\pm 2,7$) mm
Minimum/ Maximum	19 mm/30 mm
Alter = Tage nach Schlupf	28-59 Tage
Bezeichnung in der Arbeit	Juvenile Äschen (Altersklasse S)

Tabelle 5: Größe und Alter der Versuchsfische für Versuchsanordnung 1.

Versuchsanordnung 2 (VAO2)	Altersklasse: Larven	Altersklasse: Juvenile
Körperlänge = Mittelwert (Stabw.)	17,81 ($\pm 1,89$) mm	24,41 ($\pm 3,32$) mm
Minimum/ Maximum	15 mm/21,5 mm	19 mm/30 mm
Alter = Tage nach Schlupf	11-22 Tage	51-63 Tage
Bezeichnung in der Arbeit	Larven	Juvenile (Äschen)

Tabelle 6: Größe und Alter der Versuchsfische für Versuchsanordnung 2.

Um sicherzustellen, dass sich die Populationen der beiden Äschen-Altersklassen hinsichtlich ihrer Körperlängen auch tatsächlich statistisch signifikant unterscheiden wurde dies getestet.



Größenklassen für Versuchsanordnung_2

Abbildung 9: Fisch-Größenklassen im Vergleich: Äschenlarven und juvenile Äschen.

Die beiden Versuchsfisch-Größenklassen unterscheiden sich hinsichtlich ihres Hauptmerkmals Körperlänge signifikant (t-Test, $T=60,80$, d.f.=139, $p<0,001$). Die Körperlänge ist, neben vielen anderen Faktoren (z.B. Körperform, Temperatur, Flossenform etc.), der dominierende Proxy zur Schwimmleistung eines Fisches. Die Schwimmleistung ist temperaturabhängig und die absolute Schwimmgeschwindigkeit nimmt mit der Körperlänge zu (Arlinghaus and Wolter, 2003). Es muss also davon ausgegangen werden, dass sich die Schwimmleistung und Schwimmgeschwindigkeit in der ontogenetischen Entwicklung verbessern. Daher ist es sinnvoll die Larven in unterschiedliche Größenklassen einzuteilen, um diesem Größen-Effekt Rechnung zu tragen. Vor allem beim Versuchsaufbau zu Drift und Driftverhalten, in dem die Schwimmleistung bei zunehmender Strömungsgeschwindigkeit eine gewichtige Rolle spielt.

5 Versuchsanordnung 1: Schotterbank-Querneigung

5.1 Kurzcharakteristik VAO1

Im Folgenden ein kurzer Überblick über die Versuchsanordnung 1 zur Schotterbank-Querneigung.

VERSUCHSANORDNUNG 1	
Anzahl der besetzten Äschen	100 pro Rinne
Schwallrinne/Referenzrinne	Ja/Ja
Mittlere Wassertemperatur	13,5 ($\pm 1,47$) °C
Fischalter	28-59 Tage nach Schlupf
Mittlere Fischlänge	25,5 ($\pm 2,7$) mm
Zeitlicher Ablauf:	
Adaptionszeit (im Schwall)	30 min
Abstieg	1 min
Clearing	3 Durchgänge
Dotation:	
Schwall	125 l/s
Sunk	25 l/s

Tabelle 7: Kurzcharakteristik der Versuchsanordnung 1.

Die schematische Darstellung der Abbildung 10 zeigt den Versuchsablauf der Strandungs-Versuche. Die Adaptionszeit (AZ) in der Treatment-Rinne wird bei Schwall-Bedingungen, einem Durchfluss von 125 l/s, durchgeführt. Die Adaptionszeit wurde für die Messung der Drift in zwei gleiche Abschnitte geteilt AZ_1 und AZ_2. So kann der zeitliche Verlauf der Drift in der Adaptionszeit ermittelt werden. Die kritische Phase für Strandungen ist das Down-ramping (DR): eine plötzliche Verringerung des Durchflusses, das Absinken des Wasserspiegels und damit der schnelle Rückzug der Wasseranschlagslinien auf der Schotterbank.

Versuchsanordnung 1: Schotterbank-Querneigung

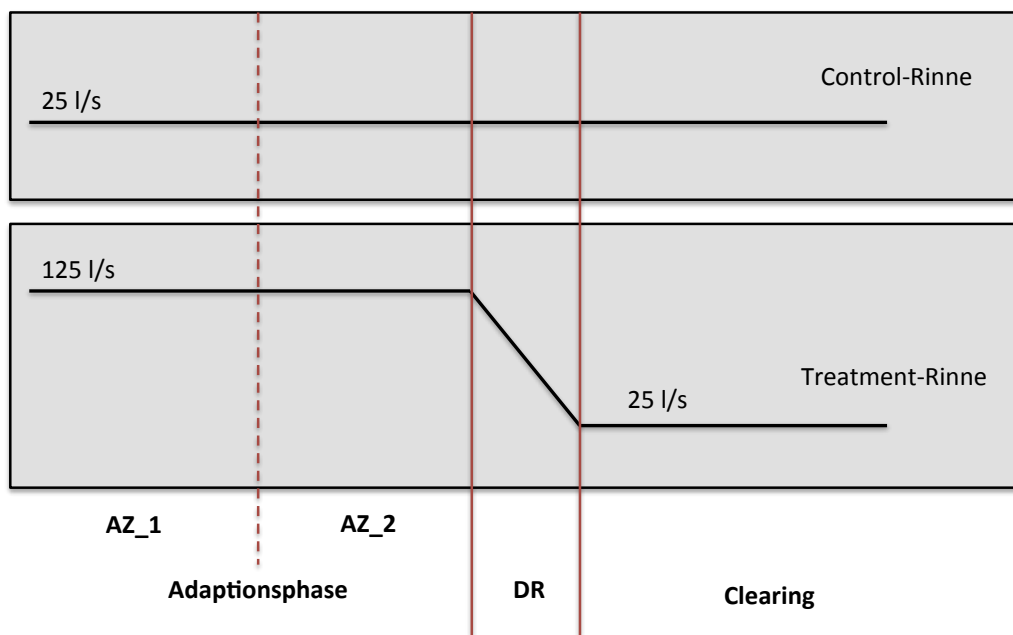


Abbildung 10: Versuchsablaufschemata der Versuchsanordnung 1, Strandung.

5.2 Beschreibung der VAO1

Das Versuchsdesign war darauf ausgelegt, das Stranden juveniler Äschen bei plötzlich sinkendem Wasserspiegel zu untersuchen. Eine Situation, die im klassischen Schwall-Sunk-Betrieb nach einem Schwall eintritt, wodurch flache Ufer (z.B. Schotterbänke) relativ schnell trocken fallen. Durch den Versuchsaufbau sollte geprüft werden, ob Unterschiede in der Ufer-Querneigung zu unterschiedlichen Strandungsraten führen. Weiters wurden tageszeitliche Effekte miteinbezogen.

In Anlehnung an bereits erfolgreiche Versuche mit Bachforellenlarven und Jungfischen (Schmutz et al., 2013) wurde ein ähnliches Versuchsdesign für die Experimente mit Äschenlarven angewandt. Dazu wurden die Schotterbänke in den beiden Untersuchungsabschnitten (Länge = 20 m) in die gewünschte Neigung gebracht: Rinne 1 mit einer geringeren Querneigung von 2 %, sowie Rinne 2 mit einer etwas steileren Querneigung von 5 %. Die morphologischen und hydrologischen Parameter sind Tabelle 8 sowie Tabelle 9 zu entnehmen, die hydrologische Charakteristika des Abflussgeschehens sind im folgenden Abschnitt 5.4 angeführt. In beiden Versuchserinnen, jeweils mit unterschiedlicher Ufer-Querneigung, wurden typische

Versuchsanordnung 1: Schotterbank-Querneigung

Strandungsszenarien (plötzliche Absenkung des Wasserspiegels nach einem Schwall-Ereignis) mit Äschenlarven durchgeführt. Um den Parameter Tageszeit zu testen, wurde die gesamte Versuchsanordnung bei Tageslicht und auch in der Nacht durchgeführt.

Gerinne	Beschreibung	Neigung SB
Rinne 1	Schotterbank am hydrologisch rechten Ufer Korngröße Deckschicht	2% d_{90} [mm] = 38 - 49
Rinne 2	Schotterbank am hydrologisch linken Ufer Korngröße Deckschicht	5% d_{90} [mm] = 36- 48

Tabelle 8: Beschreibung der Versuchsgerinne der HyTEC-Anlage. Ausführliche Informationen zur Korngrößenverteilung beider Rinnen befinden sich im Anhang.

Die juvenilen Äschen für VAO1 wurden kurz vor den Versuchen dem Becken entnommen, durch zufällige Auswahl mit schnellen Netz-Zügen im Rundbecken. Die Fische wurden genau abgezählt und in Kübeln zu je 25 Individuen aufgeteilt. Anschließend wurden die Fische zu den Versuchsrinnen gebracht und vorsichtig in die Rinnen besetzt. Die Kübel mit jeweils 25 Individuen wurden dabei gleichmäßig entlang der Längsachse des Gerinnes verteilt. Beim Besatz wurde darauf geachtet die Fische sehr schonend zu behandeln. Die Tiere wurden sehr langsam besetzt, um spontane Drift zu vermeiden. Alle beteiligten Personen hielten sich geduckt und ruhig, um beim Besatz Scheuch-Effekte zu vermeiden. Nach dem Besatz wurden die Kübel entfernt und alle Mitarbeiter zogen sich hinter einen Sichtschutz zurück, um das Experiment nicht zu stören. Weiters wurde stets darauf geachtet, dass während dem Experiment keine bewegten Schatten auf die Rinnen fallen, was zu Beunruhigung und Fluchtverhalten führen kann. In den Nachtversuchen wurden die juvenilen Äschen unter schwachem Rotlicht ausgezählt und besetzt. Durch den Einsatz von Rotlicht konnte eine unnötige Störung und Stress der Versuchsfische vermieden werden. Während dem Experiment wurden sämtliche Lichtquellen abgeschirmt: Zu diesem Zweck wurden Laternen und Straßenränder (Lichtkegel vorbeifahrender Autos) mit lichtundurchlässigen Planen verdeckt. Die juvenilen Äschen wurden bei Wasserhöchststand (Schwall) auf der Schotterbank besetzt. Während einer Adaptionszeit von 30 min konnten sich die Fische an die Verhältnisse im Gerinne gewöhnen, darauf folgte der 60-sekündige Abstieg, die Verringerung der Schwalldotation auf die Sunkdotation. Während des Abstieges kommt es zu einer schnellen Verlagerung der Wasseranschlagslinie, die Schotterbank fällt zu großen Teilen trocken. Dieser Zeitraum ist für die Untersuchung besonders interessant,

Versuchsanordnung 1: Schotterbank-Querneigung

da ab dem Beginn der Absenkung des Wasserspiegels mit Strandungsereignissen gerechnet werden kann. Die Dotation wurde in diesen 60 Sekunden von 125 l/s auf 25 l/s reduziert. Obwohl die Dotation innerhalb einer Minute reduziert wurde, tritt dieser Effekt in den Rinnen erst nach etwa 3 Minuten zu Tage. Grund dafür sind Rinnenmorphologie und Retentions-Effekte. Am Ende des Experiments wurden alle Versuchsfische durch ein standardisiertes Clearing aus der Rinne entfernt.

Wichtig für das Verständnis der späteren Berechnungen ist, dass bei jedem Versuch die Drift für definierte Zeiträume quantifiziert wurde. Das konnte sehr einfach über eine pünktliche Auszählung der Driftnetze am Ende der Rinne bewerkstelligt werden. So konnten absolute Driftwerte für die Adaptionzeit (30 min), den Zeitraum des Abstiegs (~ 3 min), sowie für das Clearing ermittelt werden. Das erlaubt für jeden Zeitraum die Berechnung der aktuellen Zahl der Individuen im Gerinne (z.B. kann so genau quantifiziert werden, wie viele Individuen sich zu Beginn der Abstiegsphase noch in der Rinne befinden). Kurz nach dem Abstieg, am Ende des Versuchs, wurde ein Clearing mithilfe eines Elektrofischgerätes (Impulsfischgerätes SAMUS 725MS) durchgeführt. Clearing bedeutet in diesem Zusammenhang, das Entfernen aller im Gerinne befindlichen Fische. Das Entfernen aller nicht-gestrandeten Fische aus der Rinne erlaubt, über eine Bilanzierung, die Berechnung der gestrandeten Individuen. Die Verlässlichkeit der berechneten Strandungsraten (S_{rel}), hängt ganz wesentlich von einer guten Clearing-Quote ab. Fische, die durch das abschließende Clearing nicht aus der Rinne entfernt werden konnten, führen zu einer höheren berechneten Strandungsrate. Tote Fische aus vorhergegangenen Experimenten werden so gut wie nie aus dem Sediment ausgespült. War dies dennoch der Fall, so waren sie anhand ihrer Färbung und ihres gesamten Zustandes leicht von den Versuchsfischen des aktuellen Versuches zu unterscheiden. Das Clearing liefert praktisch nur lebende, unverletzte Fische. Das Clearing wurde standardisiert durchgeführt, nach jedem Versuch wurde die Rinne in 3 aufeinanderfolgenden Durchgängen befischt, jeweils mit einer ausreichenden Pause zwischen den Versuchsdurchgängen. Eine Pause zwischen den Clearing-Durchgängen ist notwendig, damit Jungfische, die sich in den Schotterkörper geflüchtet hatten, wieder in die Wassersäule zurückkehren können. In einer Reihe von Referenz-Versuchen, die in beiden Versuchsgerinnen durchgeführt wurden, wurde der Fehler für das Clearing ermittelt.

Versuchsanordnung 1: Schotterbank-Querneigung

Die direkte Zählung aller gestrandeten Fische ist nicht möglich, da sich die 100 Individuen über eine relativ große Fläche verteilen und damit, mit vertretbarem Aufwand nicht mehr beobachtbar sind. Dazu kommt die geringe Körpergröße und eine unauffällige Färbung der Fische, was Beobachtungen erschwert. In der Nacht waren Beobachtungen nicht möglich. Sehr gute Arbeit beim Clearing ist also eine wesentliche Voraussetzung für verlässliche Strandung-Berechnungen. Um die Genauigkeit des Clearings zu quantifizieren wurden Referenzversuche in beiden Rinnen, sowohl bei Tag als auch bei Nacht durchgeführt. So lässt sich der Fehler für die Strandungsberechnungen quantifizieren (siehe 7.1.1 Ergebnisse zur Validierung der VAO1).

Bei Tag wurden jedoch, trotz der beschriebenen Schwierigkeiten, Strandungsbeobachtungen durchgeführt. Die Beobachtungen beschränkten sich allerdings auf einen kleinen Abschnitt des Versuchsgerinnen – ein repräsentativer Ausschnitt. Ziel war es, die Beobachtungsergebnisse den Strandungsberechnungen gegenüberstellen zu können. Dafür wurden auf einem 2 m langen Abschnitt 4-5 Beobachter platziert. Jeder Beobachter war dabei einem kleinen, genau definierten und farblich markierten Korridor zugeordnet, der unablässig beobachtet wurde. Während der Adaptionszeit wurden die Fische und ihre Bewegungen beobachtet. Mit Beginn des Abstiegs wurden die Strandungsereignisse für den jeweiligen Abschnitt quantifiziert. Jeder Beobachter zählte wie viele Jungfische in seinem Abschnitt gestrandet waren. Die Beobachter verbargen sich während des gesamten Versuches hinter einem Sichtschutz, um den Versuchsablauf und das Verhalten der Fische nicht zu beeinflussen. Weiters trugen die Beobachter polarisierte Sonnenbrillen, was die Fisch-Beobachtung durch die Wasseroberfläche erleichterte. Nach Ende des Abstiegs wurde versucht die gestrandeten Fische auf der Schotterbank aufzuspüren. Letzteres gestaltete sich aber sehr schwierig, da sich die juvenilen Fische bei der Absenkung des Wasserspiegels ins Sediment „flüchteten“ bzw. in selbiges gezogen wurden und dort praktisch nicht mehr auszumachen waren. Auch wenn sich die Fische nicht ins Sediment flüchten sind die gut getarnten Tiere auf der nassen Schotterbank schwer auszumachen. Trotzdem wurde nach jedem Abstieg die Schotterbank abgesucht, um so viele gestrandete Jungfische wie möglich direkt zu zählen.

5.3 Hydrologische Beschreibung der Versuchsgerinne

Im Folgenden ein Überblick zu den wesentlichen hydrologischen Parametern der Versuchsgerinne, sowie eine Darstellung des Abflussgeschehens bei Schwall und Sunk, für beide Rinnen.

	Rinne 1	Rinne 2
Abfluss Sunk	25 l/s	25 l/s
Abfluss Schwall	125 l/s	125 l/s
Abstiegsgeschw. -dauer	3 cm/min ~ 3 min	3 cm/min ~ 3 min
Δ WSP	7,8 cm	7,7 cm
Wechselfeuchte Zone	2,55 m	1,56 m

Tabelle 9: Hydrologische Beschreibung der Versuchsgerinne 1 und 2

Die Abstiegsgeschwindigkeit (Abstiegsgeschw.) ist eine vertikale Änderung der Wasserspiegellage im Profil über die Zeit [cm/min]. Die Abstiegsdauer entspricht der Zeit vom Maximalabfluss bis zum Sunkabfluss. Es muss beachtet werden, dass die Abstiegszeit auch von der Retention im Schotterkörper beeinflusst wird und darum nur näherungsweise angegeben werden kann. Die Wasserspiegeländerung (Δ WSP) wird in [cm] angegeben und beschreibt die Veränderung des Wasserspiegels von Schwall zu Sunk. Die wechselfeuchte Zone ist jener Uferbereich, der bei Schwall benetzt ist und während des Abstiegs hin zum Sunk-Abfluss trocken fällt, dieser Wert beschreibt das Ausmaß der Verlagerung der Wasseranschlagslinie bei Schwallbetrieb (Schmutz et al., 2013).

Beschreibung: Versuchsgerinne 1	
Profillängsstationierung	10 m (Versuchsabschnitt)
Profillängsstationierung	30 m (Gesamtrinne)
OK Holzschlacht	600,77 m ü.A.
Gerinne Längsneigung	0,25 %
Gerinne Querneigung	2 %
Dotation Sunk	25 l/s
Δ WSP	7,8 cm
Wechselfeuchte Zone	2,55 m

Tabelle 10: Beschreibung Versuchsgerinne 1

Versuchsanordnung 1: Schotterbank-Querneigung

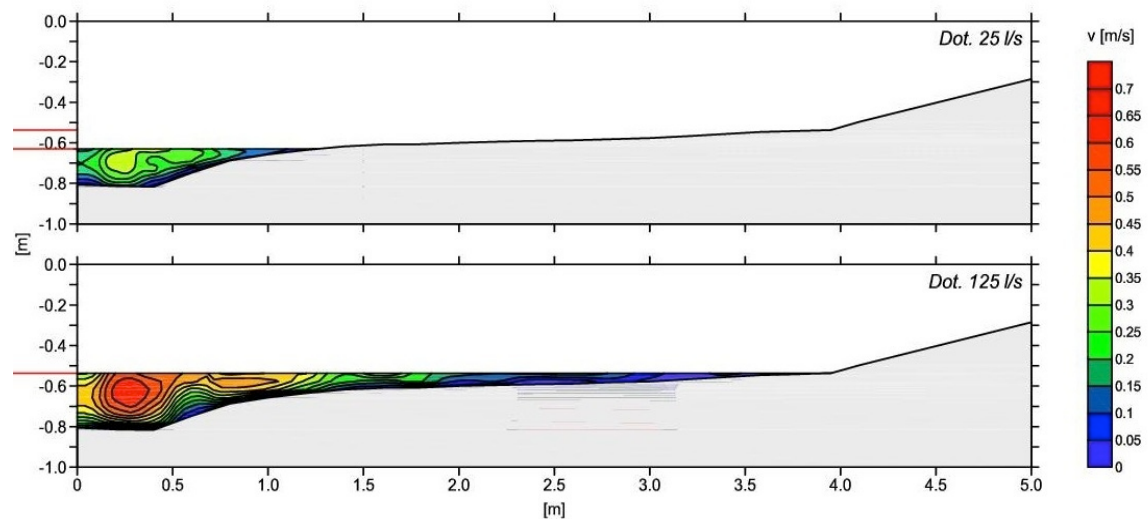


Abbildung 11: Fließgeschwindigkeitsverteilung in Versuchsrinne 1 (Schotterbank-Querneigung von 2%) bei einem Abfluss von 25 l/s (Sunk) bzw. 125 l/s (Schwall). Wassertiefen beziehen sich auf Abstieg von OK Holzschlacht. Einheiten Distanz [m], Fließgeschwindigkeit in [m/s].

Beschreibung: Versuchsgerinne 2

Profillängsstationierung	10 m (Versuchsabschnitt)
Profillängsstationierung	30 m (Gesamtrinne)
OK Holzschlacht	600,77 m ü.A.
Gerinne Längsneigung	0,25 %
Gerinne Querneigung	5 %
Dotation Sunk	25 l/s
WSP	7,7 cm
Wechselfeuchte Zone	1,56 m

Tabelle 11: Beschreibung Versuchsgerinne 2

Versuchsanordnung 1: Schotterbank-Querneigung

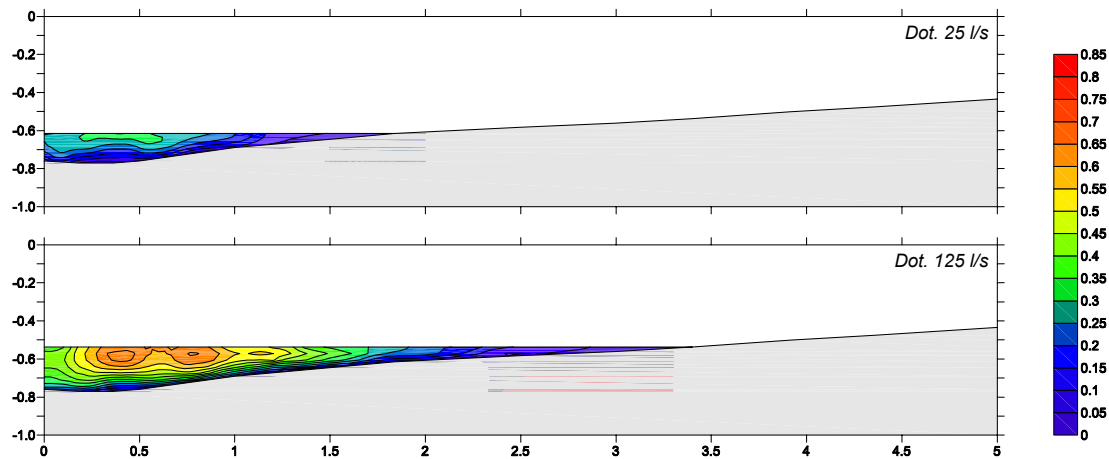


Abbildung 12: Fließgeschwindigkeitsverteilung in Versuchsrinne 2 (Schotterbank-Querneigung von 5%) bei einem Abfluss von 25 l/s (Sunk) bzw. 125 l/s (Schwall). Wassertiefen beziehen sich auf Abstich von OK Holzschlacht. Einheiten Distanz [m], Fließgeschwindigkeit in [m/s].

5.4 Ermittlung der Strandungsraten

Die Ermittlung der Strandungsraten bei juvenilen Äschen ist schwierig. Direkte Beobachtungen sind zwar möglich und wurden auch durchgeführt (wie oben beschrieben), diese Methode ist aber aufgrund der geringen Körpergröße der Fische mit großen Unsicherheiten behaftet. Die juvenilen Fische sind im Wasser schwer zu beobachten, sie verschwinden bei sinkendem Wasserspiegel leicht im Schotterkörper und können nach einer Strandung nur schwer aufgespürt werden. Daher wurden die Strandungsraten berechnet: die Rinnen sind ein geschlossenes System, Stromaufwärtswanderung ist nur bis zu einem Staubrett möglich, stromabwärts schließen Driftnetze die Rinnen perfekt ab, sodass kein Fisch die Rinne verlassen kann. Am Ende eines Versuchs können die Äschen mithilfe des Elektrofischgeräts SAMUS gefangen bzw. in die Driftnetze getrieben werden. Durch dieses standardisierte Clearing konnten beinahe alle Fische aus der Versuchsrinne entfernt werden, mit nur einem kleinen Fehler (siehe 7.1.1 Ergebnisse zur Validierung der VAO1). Das heißt, dass Strandungsraten aus einer Bilanz errechnet werden können. Vereinfacht gesagt ergibt die Differenz zwischen besetzten Fischen ($100 \text{ Individuen} = n_1$) und der Gesamtheit aller Fische die während dem Versuch (d_{Abstieg}) und nach dem Versuch aus der Rinne entfernt wurden (n_{Clearing}) die Zahl der gestrandeten Individuen. Die relativen Strandungsraten (S_{rel}) wurden dann jeweils für die, nach der Adaptionzeit noch vorhandenen Individuen (n_2) berechnet. Am Ende der Adaptionzeit werden die Driftnetze der Versuchsrinne

Versuchsanordnung 1: Schotterbank-Querneigung

ausgezählt. So kann ermittelt werden, wie viele Fische sich nach der Adaptionzeit, also zu Beginn des eigentlichen Versuches, noch in der Rinne befinden (n_2). Die Drift während dieser Adaptionzeit wird als d_{AZ} angegeben.

$$n_1 - d_{AZ} = n_2$$

$$S_{rel} [\%] = (n_2 - n_{clearing} - d_{Abstieg})/n_2 * 100$$

n_1	<i>Zahl der besetzten Individuen (100 juvenile Äschen).</i>
n_2	<i>Fische die sich nach Ende der Adaptionzeit noch in der Rinne befanden.</i>
d_{AZ}	<i>Fische die während der Adaptionzeit ausdriften.</i>
$d_{Abstieg}$	<i>Fische die während des Versuchs (Abstiegs) ausdrifteten</i>
$n_{clearing}$	<i>Alle Fische bzw. dann mittels elektrofischen gefangen wurden.</i>
S_{rel}	<i>Relative Strandungsrate für den jeweiligen Versuch.</i>

Da die Fehlerquellen bei der Berechnung der Strandungsrate relativ genau kontrolliert werden können, wird diese Methode als sehr verlässlich betrachtet. Sie liefert genauere Ergebnisse als die Beobachtung von Strandung. Eine lineare Regression zwischen den beobachteten Strandungen und der berechneten relativen Strandungsraten ist nicht signifikant ($F_{1,11}=2,172$, $r^2=0,165$, $P=0,169$). Damit werden für die weiteren Auswertungen die beobachteten Strandungszahlen verworfen und die berechnete relative Strandung (S_{rel}) als Variable verwendet.

5.5 Statistische Auswertung

Zur Auswertung und Erstellung der Grafiken wurden das lizenzfreie Statistikprogramme R (Version 0.98.1083 © 2009-2014 RStudio) und SPSS verwendet. Die Datenaufbereitung und einfache Berechnungen wurden in Microsoft® Excel® für Mac 2011 (Version 14.3.9) durchgeführt. Aufgrund der beschränkten Stichprobenanzahl war die statistische Auswertung hauptsächlich auf den Median-Tests, bzw. auf paarweise Vergleiche limitiert. Ein Median-Test ist ein nicht-parametrischer Test für den keine spezielle Verteilung und auch keine Varianzhomogenität gegeben sein muss, was bei geringen Stichprobengrößen von Vorteil ist. Bei ausreichender Stichprobengröße, Varianzhomogenität und Normalverteilung wurde ein t-Test angewandt. Ansonsten

Versuchsanordnung 1: Schotterbank-Querneigung

wurde bei nicht normalverteilten Daten und unabhängigen Samples der Mann-Whitney U-Test (auch Wilcoxon-Test) verwendet.

Zur Bestimmung des Einflusses der Schotterbank-Querneigung auf das Strandungsrisiko wurden die relativen Strandungsraten beider Rinnen miteinander verglichen. Weiters wurde getestet, ob die Tageszeit einen signifikanten Einfluss auf die Strandungsrate hat. Abschließend wurden die vier Gruppen, die sich aus den Faktoren Tageszeit und Schotterbank-Querneigung ergeben, paarweise verglichen.

6 Versuchsanordnung 2: Driftversuche in Mesokosmen

6.1 Mesokosmen

6.1.1 Beschreibung der Mesokosmen

Das Ziel dieser Versuche ist es, mit Mesokosmen (einfachen Versuchs-Boxen) einen Habitats-Ausschnitt zu schaffen, der klar von der Umwelt abgegrenzt, ein geschlossenes System darstellt. Der Vorteil solcher geschlossener Systeme besteht darin, dass die experimentellen Bedingungen, wie etwa Wassertemperatur, Durchfluss, Fischanzahl/ -größe, Sedimentzusammensetzung, etc. genau kontrolliert und gemessen werden können. Des Weiteren erlauben geschlossene Systeme sehr genaue Zählungen, was hier für die quantitativen Driftdaten ausschlaggebend war. Zusätzlich können bei diesen Mesokosmen auch qualitative Daten, in Form von Videomaterial und Beobachtungen, erhoben werden.

Die Mesokosmen, die für diese Versuche eingesetzt wurden, sind im Vergleich zu den Versuchsrinnen der HyTEC-Anlage relativ klein und einfach zu bedienen. Verglichen mit den Rinnen können mit geringerem Aufwand statt 2, nun 6 Replikate pro Versuchsdurchgang erzeugt werden. Die Mesokosmen der HyTEC-Anlage ermöglichen darüberhinaus auch fachübergreifende Arbeiten. So können bei gutem Forschungsdesign Versuche mit Fischen und Evertebraten gleichzeitig durchgeführt werden. Es bietet sich also die Möglichkeit, Auswirkungen von Schwall und Drift auf unterschiedliche Gruppen sowohl kombiniert als auch einzeln zu testen. Allerdings sind die Möglichkeiten der Mesokosmen durch ihre Größe beschränkt. Einerseits kann also nicht das ganze Habitat (hier: nicht die ganze Schotterbank) abgebildet werden, andererseits ist die Größe der Versuchstiere nach oben hin limitiert. Für Versuche mit Äschenlarven und juvenilen Äschen ist die Versuchsanordnung aber ideal.

6.1.2 Funktionsweise der Mesokosmen

Bei den Mesokosmen der Lunzer HyTEC-Anlage handelt es sich um 3 m lange, 0,5 m breite und 0,5 m hohe Boxen (Beschreibung in Tabelle 12). Da die Mesokosmen im Prinzip modifizierte Holzboxen sind, wird in weiterer Folge auch von (Versuchs-)Boxen

Versuchsanordnung 2: Drift- & Videoversuche

die Rede sein. Die Begriffe Mesokosmos und Versuchsbox werden für die Beschreibung dieser Versuchsanordnung synonym verwendet. Die Boxen sind an die HyTEC-Anlage angeschlossen und können so mit Wasser dotiert werden, dass die Bedingungen eines Schwall/Sunk-Betriebes nachgestellt werden können. In jedem Versuchsgerinne sind 3 Boxen montiert, aufgrund dieser Anordnung können jeweils 3 Boxen separat angesteuert werden. In diesen Versuchen wurden immer 3 Boxen einem Treatment ausgesetzt, im Nebenkanal wurden 3 Boxen ohne Treatment als Kontroll-Versuche geführt. So können mit einem Versuchsdurchlauf 3 unabhängige Treatment-Replikate und drei Control-Replikate generiert werden.

Beschreibung: Mesokosmen	
Boxen-Länge	3 m
Boxen-Breite	0,5 m
Boxen-Höhe	0,5 m
Länge Plexiglaswand	1 m
Höhe Plexiglaswand	0,5 m
Gerinne Längsneigung	0 %
Gerinne Querneigung	0 %
Dotation Sunk	3 l/s
Dotation Schwall	15 l/s
ΔWSP	4,1 cm
Wechselfeuchte Zone	0 m

Tabelle 12: Beschreibung der Mesokosmen.

Die Mesokosmen bestehen aus verschraubt und verleimten Schaltafelelementen samt tragender Stahlrohrunterkonstruktion. Die Boxen sind an ihrem eingeströmten Anfang mit der Holzschlacht des Mischbeckens gelenkig verbunden und abgedichtet. Das ausgeströmte Ende besitzt pro Box zwei höhenverstellbare Füße, mit denen das Gefälle der Boxen exakt eingestellt werden kann. (Abbildung 13 D). Für die Versuche wurden die Boxen in die Waagerechte gebracht, da ein zusätzliches Gefälle aufgrund der bereits hohen Fließgeschwindigkeiten nicht notwendig war. Die Boxen wurden ca. 10 cm hoch mit Sediment befüllt, die Deckschicht besteht aus Sediment der Microlithal-Fraktion. Das Sediment entstammt den HyTEC-Versuchsrinnen und wurde vor den Versuchen getrocknet und mehrmals gewaschen. Es wurde auch darauf geachtet, dass das Sediment horizontal gleich verteilt ist und kein Gefälle aufweist.

Abbildung 13 A-D zeigen wie die Boxen vom Wasser durchströmt werden, die weißen Pfeile stellen die Fließrichtung des Wassers durch die Mesokosmen dar. Das

Versuchsanordnung 2: Drift- & Videoversuche

Wasser kommt aus den Mischbecken der jeweiligen Rinne und fällt über einen Überfall in ein kleines, 40 cm langes, separates Mischbecken am Anfang der Boxen (siehe Abbildung 13 A). Das schießende Wasser wird dort von einer kleinen Prallwand gebremst und durchströmt anschließend die Box. Dieses kleine Mischbecken ist durch ein Lochblech von den restlichen Boxen getrennt und ist daher für die Versuchsfische nicht erreichbar. Das verfügbare Habitat für die Versuchsorganismen ist ausschließlich stromabwärts des Mischbeckens bis zu den Driftnetzen. Die Box endet stromabwärts mit einer Rampe, die mit einem höhenverstellbaren Schubser bündig und spaltfrei abschließt. Diese Konstruktion der Rampe war einerseits nötig, um die Boxen bestmöglich abzudichten, andererseits konnte so verhindert werden, dass die Fließgeschwindigkeit am Ende der Box zu stark ansteigt. Die Überfallkante ist am Übergang zur Rampe und seitlich mit Gummilippen versehen. Diese Maßnahme stellt sicher, dass sowohl bei Schwall als auch bei Sunk das gesamte Wasser in die Driftnetze fällt (Abbildung 13 C, D). Somit konnte sichergestellt werden, dass keine driftenden Organismen verloren gehen. Zwischen den Versuchen konnten die Boxen so verschlossen werden, dass sie nicht mehr von Wasser durchströmt wurden. So wurde einerseits verhindert, dass neue Organismen in die Boxen einwandern, andererseits konnten so die Boxen auch recht einfach ausgetrocknet werden.

Die Driftnetze befinden sich nur wenige Zentimeter unter der Überfallkante. Die Netze sind auf Metall-Rahmen befestigt, welche in Führungsschienen eingehängt werden können. So sind die Rahmen nie fest montiert und können einfach gewechselt werden (Abbildung 13 D). Zum Wechseln wurde das neue Netz über das alte gelegt, dann wurde das alte Netz aus der nach hinten offenen Schiene gezogen. So gingen auch beim Netz-Wechsel keine Versuchsorganismen verloren.

Das letzte Drittel jeder Box (die letzten 100 cm) war beidseitig mit Acrylglas ausgestattet (Abbildung 13 D). Dies ermöglichte es, die Versuchsfische zu beobachten und in der Wassersäule zu filmen. Die Versuchsboxen sollten für die Äschen das Habitat einer Schotterbank darstellen, ein typisches Larvenhabitat in dieser Altersstufe (Sempeski and Gaudin, 1995b). Wichtiger Unterschied zu natürlichen Schotterbänken ist aber, dass solche Schotterbänke normalerweise eine laterale Neigung aufweisen. Das führt dazu, dass bei Schwall neue, vorher trockene Schotterbank-Bereiche mit niedrigem Wasserspiegel und niedriger Strömungsgeschwindigkeit als Refugialräume zur

Versuchsanordnung 2: Drift- & Videoversuche

Verfügung stehen. In diesen Experimenten hatten die Äschenlarven keine Refugialräume, sie konnten dem Schwall nicht durch laterale Flucht ausweichen. In dieser experimentellen Anordnung blieb die benetzte Breite gleich, es handelt sich um kanal-ähnliche Bedingungen. Abgesehen von der mangelnden Fluchtmöglichkeit und der mangelnden lateralen Schotterbank-Neigung ist die Box jedoch dem natürlichen Habitat Schotterbank sehr ähnlich.

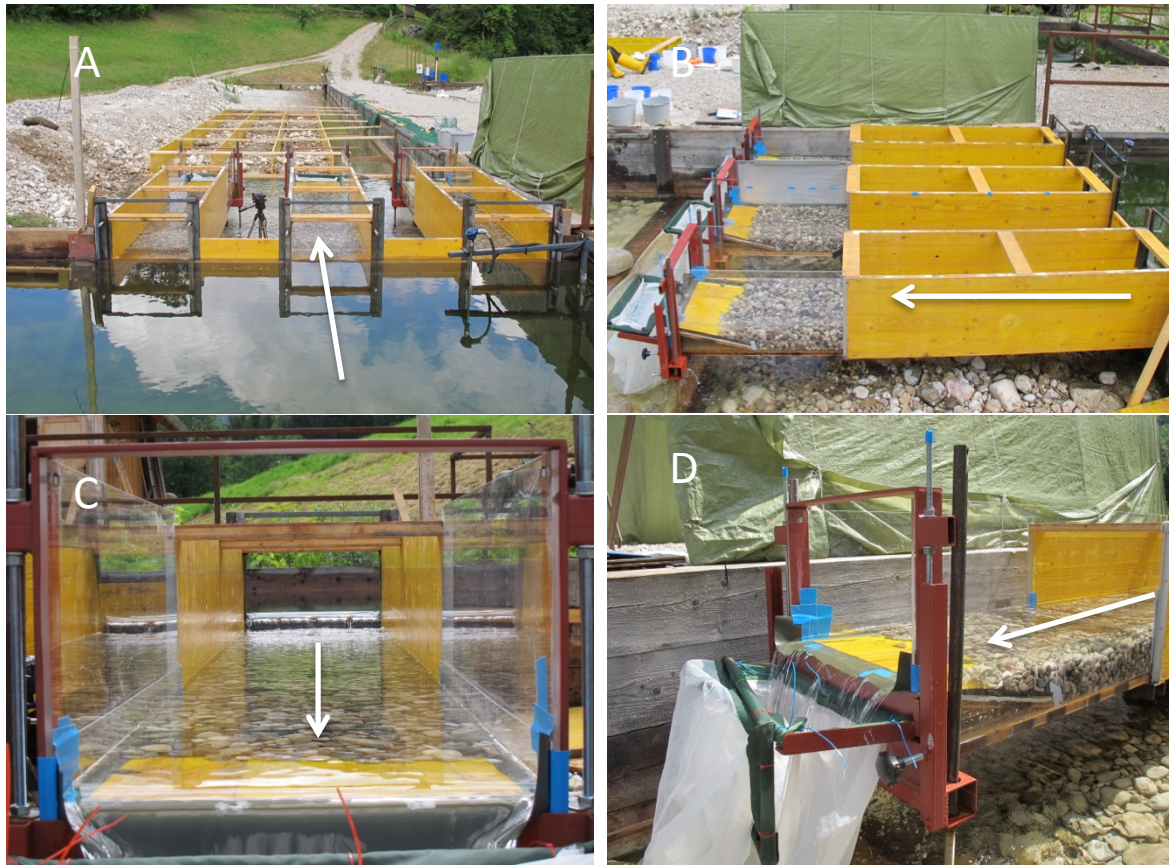


Abbildung 13 A-D: Die Mesokosmen aus verschiedenen Perspektiven. Die Pfeile geben die Fließrichtung des Wassers in den Mesokosmen an. Bei Abbildung D ist die rote Führungsschiene ist gut zu sehen. Das zweite Driftnetz hängt seitlich am ersten Driftnetz, das gerade im Einsatz ist.

6.1.3 Hydrologische Beschreibung der Mesokosmen

Zur Bestimmung des tatsächlichen Durchflusses jeder einzelnen Box wurden Durchflussmessungen vorgenommen. So wurde der Abfluss für jede einzelne Box bei unterschiedlicher Dotation berechnet. Die Messungen zeigen, dass sich die Boxen hinsichtlich ihres tatsächlichen Durchflusses nicht voneinander unterscheiden. Da das Mischbecken der HyTEC-Anlage nicht 100 % dicht an die Boxen anschließt, wurden nur

die tatsächlich gemessenen Durchflusswerte verwendet. Alle Werte entsprechen dem Durchfluss (l/s) in einer Box und basieren auf tatsächlichen Durchflussmessungen.

Als zweiter hydrologischer Parameter wurde die Fließgeschwindigkeit bei verschiedenen Abflüssen ermittelt. Die Messungen erfolgten mit einem hochpräzisen Flügelrad-Strömungssensor (Microflügel) der Firma Höntzsch (Gerätbezeichnung: Flügelrad Strömungssensor FT25GFE-mn20/100/p6). Dieses Messinstrument erlaubt genaue Fließgeschwindigkeitsmessungen auch bei geringen Wassertiefen. Das war wichtig, da die Wassertiefen in den Boxen bei unter 10 cm liegen konnten. Durch das kleine Flügelrad konnte trotzdem in 3 verschiedenen Wassertiefen gemessen werden. Für die Messungen wurde eine Box in einem engen Raster von vorne bis hinten komplett vermessen. Um verlässliche Messwerte zu erlangen, wurde jeder Messpunkt über 20 Sekunden gemessen und dessen Ergebnisse gemittelt (Automatik: Langzeitmessung). Um ein Geschwindigkeitsprofil über die ganze Wassersäule zu erhalten, wurde die Fließgeschwindigkeit bodennahe, in 40% Wassertiefe und an der Wasseroberfläche gemessen. Das Raster umfasste 5 Abschnitte in Längsrichtung und 3 Messpunkte im Querprofil (zwei Punkte nahe dem Boxenrand und einen in der Mitte der Boxen). Für die Erstellung des Querprofils wurden die Messwerte in Längsrichtung gemittelt. Grundsätzlich zeigt sich, dass die Fließgeschwindigkeit in der Wassersäule nach oben hin zunimmt. Am Gewässergrund herrschen die geringsten Fließgeschwindigkeiten, während an der Wasseroberfläche durchschnittlich die höchsten Geschwindigkeiten herrschen. Von Baseflow- zu Peakflow-Bedingungen kommt es zu einer deutlichen Zunahme der Fließgeschwindigkeiten über alle Wassertiefen hinweg (siehe Tabelle 13).

Mittlere Fließgeschwindigkeiten [m/s] im Tiefenprofil				
	Abfluss: 3 l/s		Abfluss: 15 l/s	
	Mittelwert	Stabw.	Mittelwert	Stabw.
Bodennahe	0.01	±0.01	0.17	±0.11
40% Wassertiefe	0.06	±0.02	0.32	±0.11
Oberflächennahe	0.12	±0.04	0.32	±0.12
Mittel: alle Tiefen	0.06	±0.05	0.27	±0.13

Tabelle 13: Mittlere Fließgeschwindigkeiten [m/s] für drei Wassertiefen und die gesamte Wassersäule.

Abbildung 16 und Abbildung 15 zeigen detaillierter, wie sich die Fließgeschwindigkeitszonierung in den Mesokosmen bei Peak- und Baseflow-Bedingungen unterscheidet. Bei einem Abfluss von 10 l/s (Baseflow) herrschte eine

gleichmäßige Schichtung, mit zur Gewässersohle hin abnehmenden Fließgeschwindigkeiten. Es herrschen beinahe gleiche Bedingungen in der Mitte wie am Rand der Boxen. Einzig in der obersten Schicht sind in der Mitte der Boxen etwas höhere Fließgeschwindigkeiten zu verzeichnen als am Rand.

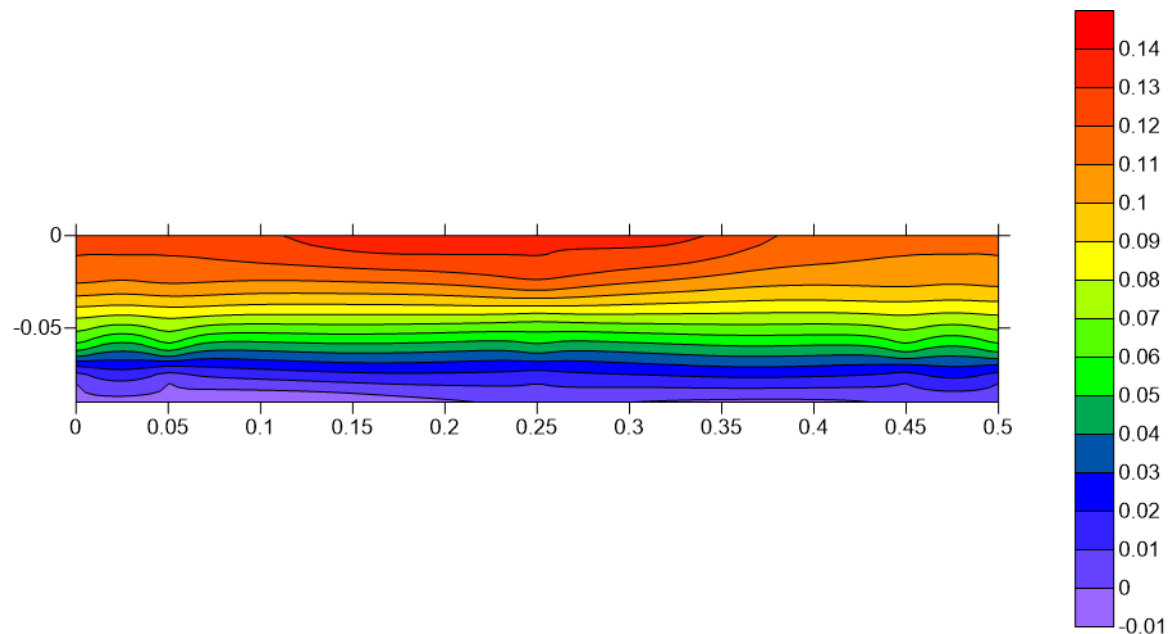


Abbildung 14: Fließgeschwindigkeits-Querprofil der Mesokosmen bei einem Abfluss von 10 l/s (Baseflow-Bedingungen). Y-Achse = Tiefe der Wassersäule [m], X-Achse = Position im Querprofil der Mesokosmen [m].

Auch bei einem Abfluss von 50 l/s nimmt die Fließgeschwindigkeit Richtung Sohle ab. Im Gegensatz zum Baseflow herrschen hier aber in der Mitte der Boxen deutlich höhere Geschwindigkeiten als an den Rändern. Beide Grafiken veranschaulichen, dass zwischen Peak- und Baseflow große Unterschiede hinsichtlich der Fließgeschwindigkeit herrschen.

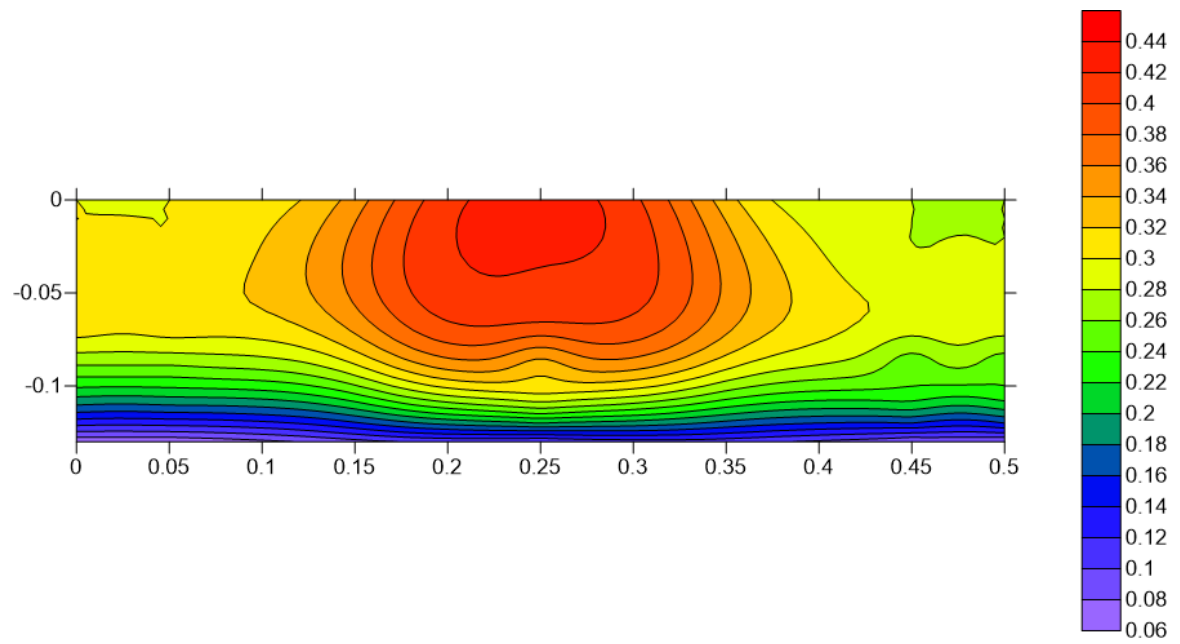


Abbildung 15: Fließgeschwindigkeits-Querprofil der Mesokosmen bei einem Abfluss von 50 l/s (Peakflow-Bedingungen). Y-Achse = Tiefe der Wassersäule [m], X-Achse = Position im Querprofil der Mesokosmen [m].

6.2 Kurzcharakteristik VAO2

Im Folgenden ein kurzer Überblick zum Aufbau der Driftexperimente in Mesokosmen (Versuchsanordnung 2). Im Rahmen der Versuche wurden immer 2 Szenarien durchgeführt. Das Schwall-Szenario wird als Treatment bezeichnet, die Referenzversuche, also ein Szenario ohne Schwall, werden hier als Control bezeichnet.

VERSUCHSANORDNUNG 2	
Anzahl der Mesokosmen (Boxen)	6
Anzahl der besetzten Äschen	50 pro Box
Anzahl der Treatment-Box/Control-Box	3/3
Anzahl der Boxen mit Kamera	1 Box pro Versuchsdurchlauf
Wassertemperatur	Konstant; Mittelwert= 13,95 ($\pm 1,12$) °C
Sedimentkorngröße der Deckschicht	Microlithal
Fischalter	Larven: 11-22 Tage nach Schlupf Juvenile: 51-63 Tage nach Schlupf
Fischlänge	Larven: 17,81 ($\pm 1,89$) mm Juvenile: 24,41 ($\pm 3,32$) mm
Zeitlicher Ablauf:	
Adaptionszeit (AZ)	30 min
Up-ramping (UR)	0,1 cm/min: Dauer = 37,66 min (2260 s) 0,5 cm/min: Dauer= 7,53 min (452 s)
Peak (P)	20 min
Down-ramping (DR)	0,376 cm/min: Dauer = 10 min (600 s)
Clearing	1 Durchgang
Dotation pro Box:	
Peak (Schwall)	15 l/s
Baseflow (Sunk)	3 l/s

Tabelle 14: Kurzcharakteristik der Versuchsanordnung 2

6.3 Beschreibung der VAO2

6.3.1 Aufbau und Ablauf der Driftexperimente

Um eine präzise Ausdrucksweise zu garantieren werden in der VAO2 zur Beschreibung der einzelnen Phasen des Schwall-Ereignisses die englischen Begriffe verwendet: Baseflow (BF) für den Sunkabfluss, Up-ramping (UR) für die Phase des Wasseranstiegs, Peakflow (P) für die Phase der Schwall-Spitze, Down-ramping (DR) für den Abstieg des Durchflusses. In den Grafiken werden die dementsprechenden Abkürzungen verwendet.

Versuchsanordnung 2: Drift- & Videoversuche

Die Versuchsanordnung 2 umfasst zwei unterschiedliche Forschungsinteressen, denen mit einer formal getrennten Auswertung Rechnung getragen wird. Die beiden Auswertungsansätze werden getrennt behandelt, sind aber trotzdem durch das gemeinsame Versuchsdesign und die übergreifende Fragestellung miteinander verbunden. Mit einer quantitativen Auswertung werden die Driftraten aus den Mesokosmos-Versuchen ermittelt. Im Rahmen des zweiten Ansatzes wird Videomaterial, das die Driftexperimente dokumentiert, qualitativ ausgewertet. Ziel dieses qualitativen Ansatzes ist es, Erkenntnisse über das Verhalten der Versuchsfische bei Schwallbetrieb zu erlangen. Es handelt sich also um die gleichen Experimente, die Auswertung erfolgt aber einmal in qualitativer und einmal in quantitativer Art und Weise.

In der Versuchsanordnung 2 wurden Äschen verschiedener Größenklassen einem Schwall-Ereignis ausgesetzt (siehe Abbildung 16), Ziel war es die Drift bei Schwallbetrieb und vor allem bei verschiedenen Phasen des Schwallbetriebes, zu quantifizieren.

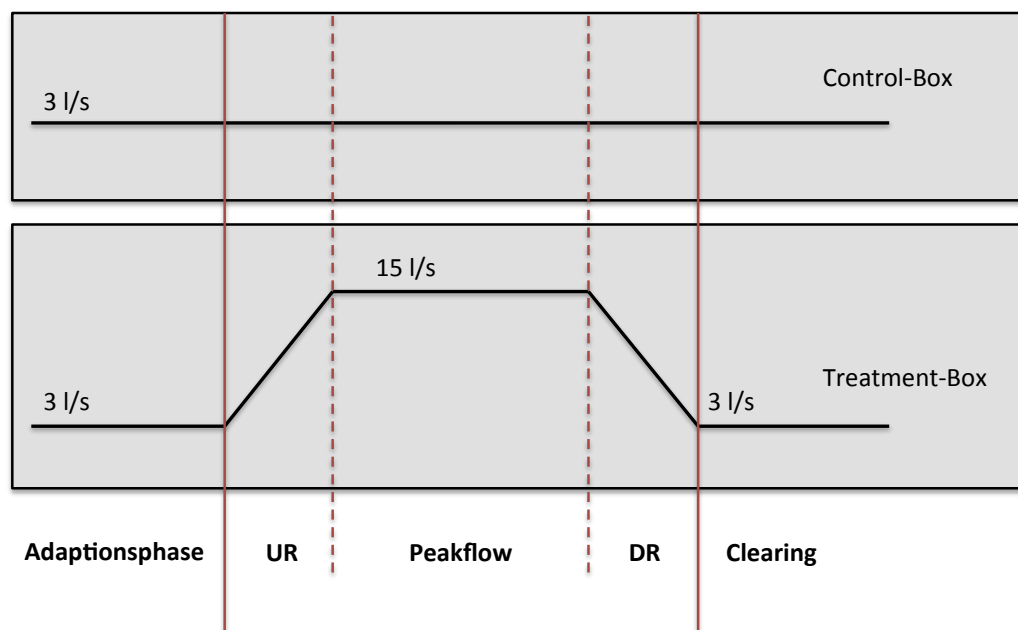


Abbildung 16: Versuchsablaufschema der Versuchsanordnung 2, Drift.

Am Beginn jedes Experiments wurden die Mesokosmen gespült, um einheitliche Wassertemperaturen zu garantieren und eventuell verbliebene Organismen von vorherigen Experimenten aus den Mesokosmen zu entfernen. Für die jeweiligen Experimente wurden alle 6 Mesokosmen gleichzeitig, je nach Versuch, mit juvenilen

Äschen bzw. Larven besetzt. Die Äschen (50 Exemplare) wurden aus kleinen Besatz-Behältern vorsichtig in das fließende Wasser entlassen. Der Besatz erfolgte immer bei Baseflow-Bedingungen (3 l/s pro Box). Während sowie nach dem Besatz wurde genau darauf geachtet, die Fische nicht durch hektische Bewegungen zu scheuchen. Weiters wurden Sichtschutztafeln aufgestellt, um eventuell vorbeigehende Personen abzuschirmen. Dem Besatz bei Baseflow-Bedingungen folgte immer eine 30-minütige Adaptionszeit. Die Habitategnung für die Versuchsfische wurde auch durch stetig niedrige Driftraten im Control-Szenario, also durch niedrige Hintergrunddrift bestätigt.

Nach Beendigung der Adaptionszeit wurden die Versuchsorganismen dreier Boxen einem Schwall-Ereignis (Treatment) ausgesetzt, die übrigen 3 Boxen wurden bei Baseflow-Bedingungen (Control) belassen. Regelmäßig nach jeder einzelnen Phase des Experiments, also nach Ende der Adaptionszeit, des Up-rampings, des Peakflows, sowie nach Ende des Down-rampings wurden die Driftnetzte gewechselt und die gedrifteten Fische für diesen Zeitabschnitt ausgezählt. Um die Datendichte zu erhöhen, wurden weitere Netzwechsel zur halben Adaptionszeit, nach halber Up-ramping-Dauer und nach der Hälfte der Peak-Dauer eingeführt. Zum Überblick dient mit Abbildung 17 eine schematische Darstellung aller Messpunkt im Experiment. Es soll in diesem Zusammenhang nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass die einzelnen Phasen für das Treatment „Control“ angeführt werden, aber nur dem Zeitäquivalent des „Treatments“ entsprechen. Es werden also in beiden Szenarien immer zur gleichen Zeit die Driftnetzte gewechselt aber nur in einem Szenario ändert sich der Abfluss.

Versuchsanordnung 2: Drift- & Videoversuche

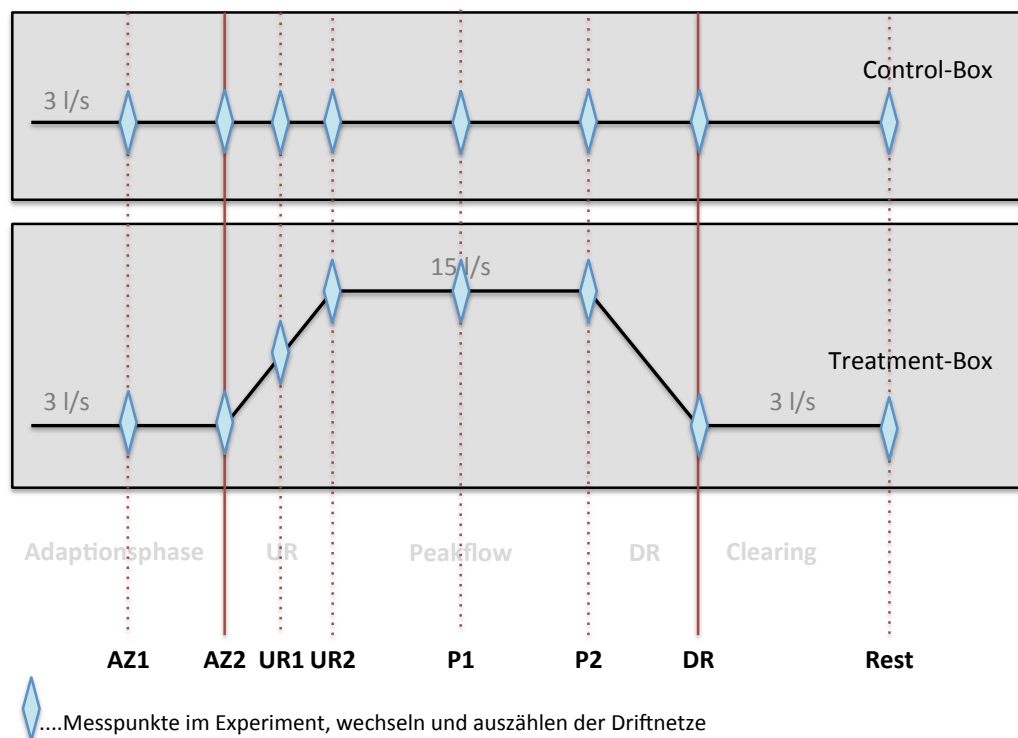


Abbildung 17: Versuchsablaufschema der Versuchsanordnung 2. Alle Messpunkt im Experimentverlauf sind mit einem hellblauen Karo dargestellt. AZ1 = Adaptionzeit 1 | AZ2 = Adaptionzeit 2 | UR1 = Up-ramping 1 | UR2 = Up-ramping 2 | P1 = Peak 1 | P2 = Peak 2 | DR = Down-ramping | Rest = Rest.

Es wurde darauf geachtet, dass die Netze aller 6 Boxen zeitgleich gewechselt wurden, um Vergleichbarkeit sicher zu stellen. Am Ende des Versuches wurden die verbliebenen Fische im Zuge des sogenannten Clearings aus den Mesokosmen entfernt. Dabei wurden die Fische mit einem schnellen Anstieg des Durchflusses ausgewaschen (ein Anstieg von 3 l/s -> auf 18 l/s). Zusätzlich wurde währenddessen das Sediment per Hand durchwühlt, um verbliebene Fische aus dem Sediment zu treiben. So sollte eine möglichst hohe Wiederfangrate erzielt werden. Die Fische, die durch das Clearing drifteten, wurden als Rest in die Bilanz mit aufgenommen. Die Summe aller wiedergefangenen Fische wurde als Grundgesamtheit (100 %) angenommen. Das heißt die Grundgesamtheit beträgt nicht automatisch 50 Individuen, sie kann, je nach Wiederfang auch leicht darunter liegen. Die Wiederfangrate ist der prozentuelle Anteil der wiedergefangenen Fische im Verhältnis zum Besatz (50 Individuen).

6.3.2 Auswertung der Driftexperimente

6.3.2.1 Quantitative Auswertung und statistische Herangehensweise

Die Berechnung der Driftraten ist ein relativ einfacher aber doch wichtiger Punkt in Versuchsanordnung 2. Die Drift wurde im Experiment als Individuen pro Versuchsphase quantifiziert. Es handelt sich also um absolute Zählwerte, die beim Austauschen der Driftnetze ermittelt wurden. Für die Auswertung war es sinnvoll, relative Driftwerte zu berechnen. So konnte für jede Phase genau angegeben werden, welcher Prozentsatz, der aktuell im Mesokosmos befindlichen Fische, in dieser Phase gedriftet ist. In der Adaptionszeit driften praktisch immer Fische aus. Da diese Drift nicht immer gleich verläuft, können die Fischanzahlen in den 6 Boxen zu Beginn des Experiments (am Ende der Adaptionszeit) unterschiedlich sein. Diesem Umstand wird mit der Verwendung relativer Driftwerte Rechnung getragen. Auch in vorangegangenen Driftstudien, die an der HyTEC-Anlage durchgeführt wurden, wurden die Driftwerte prinzipiell als Relativwerte angegeben (Auer et al., 2014; Schmutz et al., 2013).

Für die Auswertung der Versuchsanordnung 2 wurden zwei verschiedene Driftraten berechnet. Erstens die $Driftrate_{EXP}$, sie gibt die Driftrate über das ganze Experiment wieder. Die $Driftrate_{PHASE}$ drückt die Driftrate einer einzelnen Phase oder Subphase aus, also z.B. die Driftrate des Up-rampings (UR) oder des ersten Teils des Up-rampings (UR1). Da alle Driftraten immer als Verhältnis zu den noch in der Box befindlichen Fischen (100%) berechnet werden, ergibt die Summe aller $Driftrate_{PHASE}$ nicht die Driftrate für das gesamte Experiment ($Driftrate_{EXP}$). Folgend, eine simple Übersicht zur Berechnung der Driftraten.

$$Driftrate_{EXP} = Drift_{EXP} / (n^{\circ} \text{ Fische im Exp.}) * 100$$

$Driftrate_{EXP}$	<i>Driftrate des jeweiligen Experiments in [%].</i>
$Drift_{EXP}$	<i>Anzahl der gedrifteten Fische über das ganze Experiment (UR, P, DR).</i>
$n^{\circ} \text{ Fische im Exp.}$	<i>Anzahl der Fische, die sich zu Beginn des Experiments (nach Ende der Adaptionszeit) noch in der Box befinden = (Bilanz_{Wiederfang} - Drift_{AZ}).</i>
$Bilanz_{Wiederfang}$	<i>Anzahl der wiedergefangenen Fische, die gesamte Drift und Clearing.</i>
$Drift_{AZ}$	<i>Anzahl gedrifteter Fische während der Adaptionszeit (AZ)</i>

$$\text{Driftrate}_{\text{PHASE}} = \text{Drift}_{\text{PHASE}} / (n^{\circ} \text{ Fische in Phase}) * 100$$

$\text{Driftrate}_{\text{PHASE}}$	Driftrate der jeweiligen Phase in [%].
$\text{Drift}_{\text{PHASE}}$	Anzahl der gedrifteten Fische in der jeweiligen Phase.
$n^{\circ} \text{ Fische in Phase}$	Anzahl der Fische die sich zu Beginn der Phase noch in den Boxen befinden = Anzahl der wiedergefangenen Fische nach einem Experiment ($\text{Bilanz}_{\text{Wiederfang}}$) – Drift in den vorangegangenen Phasen.

$$\text{Driftrate pro Minute (DPM)} = \text{Driftrate}_{\text{PHASE}} [\%] / \text{Dauer}_{\text{PHASE}} [\text{min}]$$

$\text{Dauer}_{\text{PHASE}}$	Exakte Zeitdauer der jeweiligen Phase im Experiment in [min].
-------------------------------	---

Für die statistische Auswertung wurde hauptsächlich das lizenzfreie Statistikprogramme R (Version 0.98.1083 © 2009-2014 RStudio) verwendet. Die Datenaufbereitung und Driftratenberechnung wurde in Microsoft® Excel® für Mac 2011 (Version 14.3.9) durchgeführt. Die Grafiken wurden sowohl mit R als auch mit MS Excel erstellt. Es muss beachtet werden, dass es Unterschiede in der Darstellungsform zwischen Excel- und R-Grafiken gibt. Die R-Boxplots wurden mit Standardeinstellungen erstellt: die durchgezogene Linie stellt im Boxplot den Median dar, die Boxenränder das erste und dritte Quartil, Whiskers zeigen den größten und kleinsten Datenpunkt der sich im Bereich von 1,5*Interquartil-Spanne der Box befindet. Kreise zeigen extreme Ausreißer. In den farbigen Excel-Grafiken sind die Datenpunkte Mittelwerte (aus z.B. Strandungsraten), als Fehlermaß wird die Standardabweichung verwendet. Aufgrund der Datenlage wurden hauptsächlich nicht-parametrische Tests durchgeführt (Mann-Whitney U-Test, Wilcoxon-Test). Im Falle von Zeitreihen wurden die Daten als abhängig betrachtet und dementsprechend getestet. Bei multiplen paarweisen Tests wurde, aufgrund der α -Fehler-Inflation, immer eine Bonferroni-Korrektur angewandt. Ausreißer wurden aus dem Datensatz eliminiert, daraus ergeben sich unterschiedliche n für die Boxen, bzw. für die beiden Szenarien.

6.3.2.2 Qualitative Auswertung: Videoanalyse

Die Versuchsanordnung 2 wurde, um das Verhalten der Versuchsfische beobachten zu können, mit Videoaufzeichnungen ergänzt. Die Versuchsboxen sind extra

für derartige Videoanalysen ausgelegt (6.1.2 Funktionsweise der Mesokosmen). Bei jedem Tages-Versuch wurde bei einer Versuchsbox eine Videokamera montiert. Die Kamera wurde außen auf einem Stativ angebracht (im Bereich zwischen den Versuchsboxen), sodass ein möglichst großer Bereich der Wassersäule gefilmt werden konnte (Abbildung 18 B). Es wurde in verschiedenen Blickwinkeln in die Wassersäule gefilmt, um Verhalten in einem möglichst großen Bereich der Versuchsboxen beobachten zu können. Die Kamera wurde vor dem Besatz der Boxen aktiviert und nach Ende des Versuchs entfernt. So wurden die Versuche zu keiner Zeit durch Hantieren an der Kamera gestört. Die Videoaufzeichnungen sind immer den jeweiligen Versuchs-Boxen zuordenbar. Die Qualität der Videoaufnahmen ist stark von der Wassertrübung abhängig. Bei starker Algenblüte im Lunzer See sind die Äschenlarven, ob der starken Trübung, nur schwer auszumachen. Ist das Wasser klar, sind ausgezeichnete Aufnahmen möglich. Ziel der Videoaufzeichnungen sind qualitative Ergebnisse und eine Bewertung der Pilotversuche in den Mesokosmen. Durch Videoanalyse sollen Einblicke in das Verhalten der Versuchsfische bei Schwallbetrieb gewonnen werden. Im Fokus steht dabei das Driftverhalten: für die Auswertung werden 2 Arten von Driftverhalten definiert (dazu auch 4.2 Drift und Strandung junger Äschen).

- Passive Drift: der Fisch wird aufgrund physikalischer Parameter (z.B. Fließgeschwindigkeit) aus dem Mesokosmos gespült. Der Fisch driftet sozusagen „unfreiwillig“. Das Verhalten wird dann als passiv betrachtet, wenn der Fisch während der Drift entgegen der Strömungsrichtung orientiert ist, der Kopf stromaufwärts zeigt.
- Aktive Drift: der Fisch verlässt den Meskosmos „freiwillig“ und ist nicht von physikalischen Parametern dazu gezwungen. Drift wird als aktiv bewertet, wenn der Fisch stromabwärts orientiert den Mesokosmos verlässt und dabei der Kopf stromabwärts zeigt.

Versuchsanordnung 2: Drift- & Videoversuche

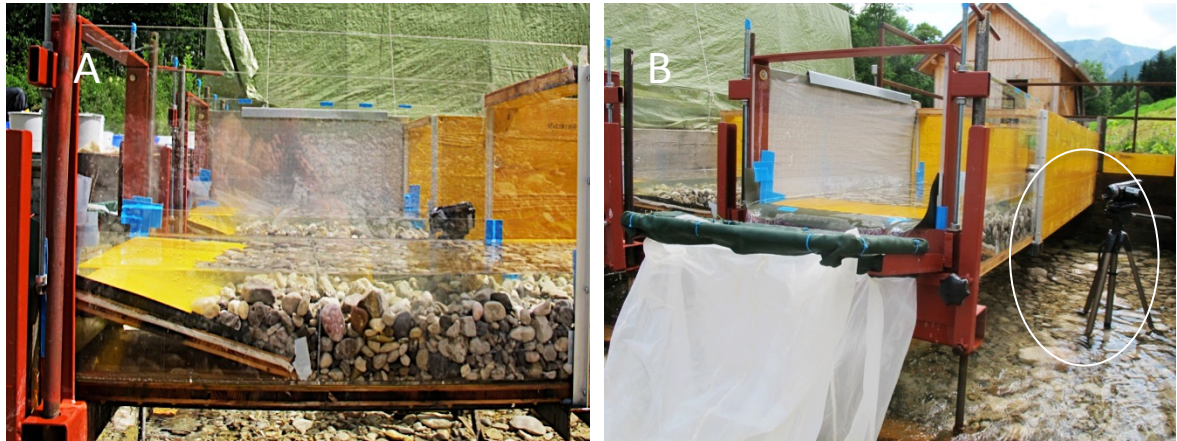


Abbildung 18 A,B: Links (A) Blick durch Plexiglaswand in die Wassersäule der Versuchsbox. | Rechts (B): Kameraposition bei Versuch (weißes Oval).

Die Auswertung der Videos erfolgte durch den Autor. Bei der Durchsicht wurde der Fokus einerseits auf die Adaptionszeit, andererseits vor allem auf die Anstiegssequenzen und die ersten Minuten des Schwallis gelegt, denn die quantitativen Ergebnisse aus VAO 2 indizieren, dass die passive Drift hauptsächlich in diesen Phasen passiert (UR2, P1). Es wurde stets versucht, typische Verhaltensformen mehrfach nachzuweisen, Einzelbeobachtungen spielen für die Auswertung also keine Rolle. Alle beobachteten Verhaltensmuster wurden zumindest bei 3 verschiedenen Videos, also im Rahmen von 3 verschiedenen Versuchen beobachtet.

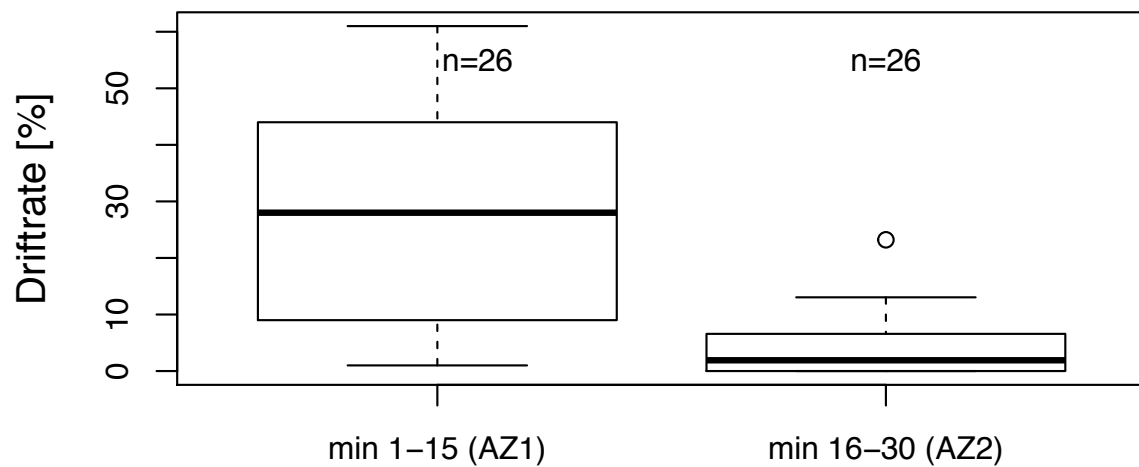
7 Ergebnisse

7.1 Versuchsanordnung 1: Strandung

7.1.1 Ergebnisse zur Validierung der VAO1

Die Validierung der VAO1 umfasst drei wichtige Parameter: erstens die Entwicklung der Driftraten in der Adaptionzeit, zweitens die Entwicklung der Wassertemperatur über den gesamten Versuchszeitraum und drittens die Verlässlichkeit des Clearings in beiden Rinnen (als Proxy für die Verlässlichkeit der berechneten Strandungsraten).

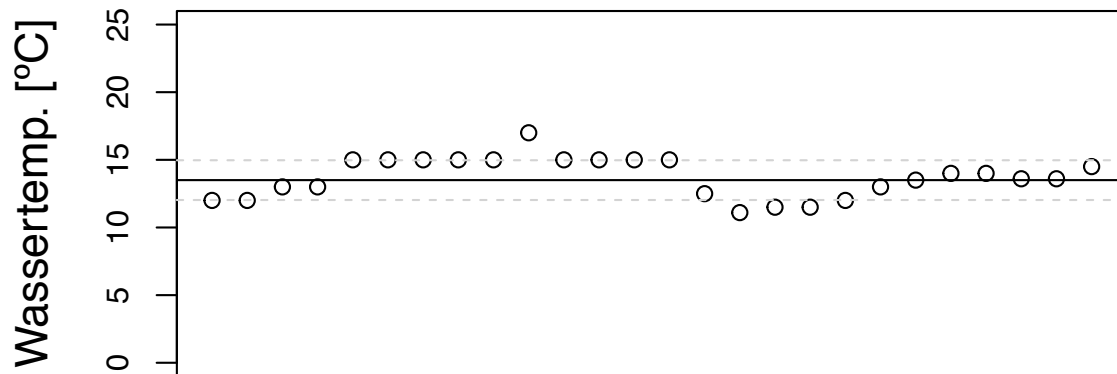
Ein Wilcoxon-Test für abhängige Samples zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen der relativen Drift in den ersten und zweiten 15 Minuten der Adaptionzeit (Wilcoxon-Test für abhängige Samples, d.f.=25, $p < 0,001$). Die relativen Driftraten gehen nach einem anfänglichen Hoch stark zurück und reduziert sich auf ein niedriges Niveau (Mittelwert = 4,54 %, Stabw. = $\pm 5,75$), das für die Versuche als Hintergrunddrift betrachtet wird. Das Konzept der Hintergrunddrift ist der Evertibraten-Driftforschung entliehen. Es wird davon ausgegangen, dass pro Zeiteinheit ein kleiner Teil der Population natürlicherweise, zufällig z.B. durch Verlust der Bodenhaftung driftet. Dieses Konzept ist auch für die hier durchgeführten Experimente mit jungen Äschen anwendbar, in diesem Fall driften die Organismen aufgrund zufälliger Parameter (z.B. individuelles Verhalten). Im Idealfall bleibt die Hintergrunddrift nach einer ausreichenden Adaptionzeit auf einem konstant niedrigen Niveau.



Entwicklung der Driftraten in der Adaptionphase

Abbildung 19: Entwicklung der Driftrate in der Adaptionzeit: die Adaptionzeit wurde in eine frühe Adaptionzeit (AZ_1) und eine späte Adaptionzeit (AZ_2) geteilt.

Die Wassertemperatur wurde für Schwall und Sunk, sowie über die ganze Versuchsreihe konstant gehalten (Mittelwert= 13,5 °C, Stabw.= ±1,47 °C). Die Änderung des Mischungsverhältnisses zwischen Oberflächen- und Tiefenleitung ermöglicht es über einen längeren Versuchszeitraum hinweg eine mittlere Temperatur von 13,5 °C zu halten. Der erste Versuch wurde am 11.07.14, der letzte am 12.08.14 durchgeführt.



Versuche in chronologischer Reihenfolge

Abbildung 20: Entwicklung der Wassertemperatur über den gesamten Versuchsablauf. Punkte stellen Messtemperatur zum Zeitpunkt eines Einzelversuchs dar. Durchgezogene Linie = Mittelwert, Unterbrochene Linie = Standardabweichung.

Die Verlässlichkeit der berechneten Strandungsraten (S_{rel}) hängt ganz wesentlich von einer hohen Genauigkeit des Clearings ab. Darum ist eine Validierung des Clearings durch Referenz-Versuche unumgänglich. Bei einem Besatz mit 100 Fischen werden im Mittel über 98 % der Fische mithilfe der gewählten Clearingmethode wiedergefangen (Mittelwert = 98,35 %, Stabw. = $\pm 2,76$ %). Dies ist ein sehr hoher Wert, der auf eine hohe Verlässlichkeit der berechneten Strandungsrate (S_{rel}) schließen lässt.

Weiters wurde getestet, ob sich die beiden Versuchsgerinne bei identen Versuchsbedingungen hinsichtlich ihrer Clearingraten signifikant unterscheiden. Im Einzelvergleich der beiden Rinnen (Abbildung 21) konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass sich beide Rinnen hinsichtlich der Wiederfangrate nicht signifikant unterscheiden (Mann-Whitney Test, $n=17$, $p=0,79$).

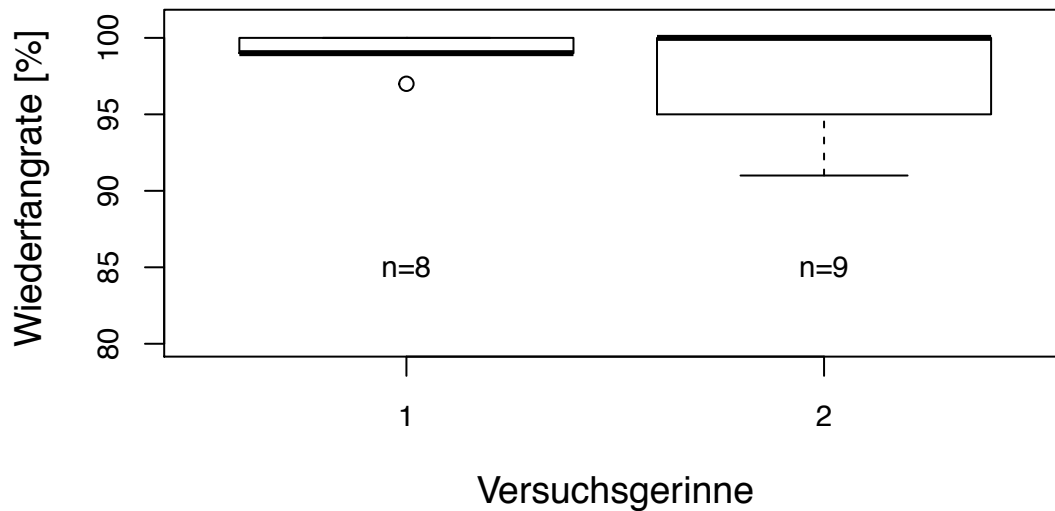


Abbildung 21: Validierung des Versuchsdesigns: Vergleich der beiden Versuchsgerinne hinsichtlich der erzielten Wiederfangraten. Beachte: die y-Achse zeigt nur den Bereich zwischen 80 -100 % Wiederfangrate.

7.1.2 Strandung

Es wurden die relativen Strandungsraten zweier Gruppen, die in 2 Gerinnen mit unterschiedlicher Schotterbank-Querneigung (2 % und 5 %) demselben Abstiegsszenario ausgesetzt wurden, getestet. Der Faktor Schotterbank-Querneigung hatte einen signifikanten Effekt auf die relative Strandungsrate der Fische (Median-Test, $n=26$, $p<0,05$). Weiters wurde die relative Strandungsrate für Tag- und Nachtversuche getestet, die Schotterbank-Querneigung wurde dabei außer Acht gelassen: (Faktor: Tageszeit, 2 Levels: Tag/Nacht). Obwohl die durchschnittliche Strandungsrate in der Nacht höher liegt, konnten über alle Stichproben keine signifikanten Unterschiede zwischen Tag und Nachtversuchen festgestellt werden (Median-Test, $n=26$, $p=0,14$).

Um beide Faktoren, Tageszeit und Schotterbank-Neigung, simultan zu testen, wurden die einzelnen Gruppen untereinander mit einem paarweisen Test mit korrigiertem α -Fehler verglichen (siehe Tabelle 15 sowie Abbildung 22). In Abbildung 22 ist zu erkennen, dass auf der flacheren Schotterbank (Querneigung 2 %) im Mittel eine deutlich höhere Strandungsrate zu verzeichnen ist als auf der etwas steileren Schotterbank (Querneigung 5 %). Für die steilere Schotterbank gibt es im tageszeitlichen Verlauf keine signifikanten Unterschiede in der Strandungsrate, obwohl

Ergebnisse

die mittlere Strandungsrate in der Nacht etwas erhöht ist. Auf der flacheren Schotterbank sind die Strandungsraten bei Nacht wesentlich höher als bei Tag, damit sind die Strandungsraten nachts bei 2 % auch generell höher als in allen anderen Gruppen.

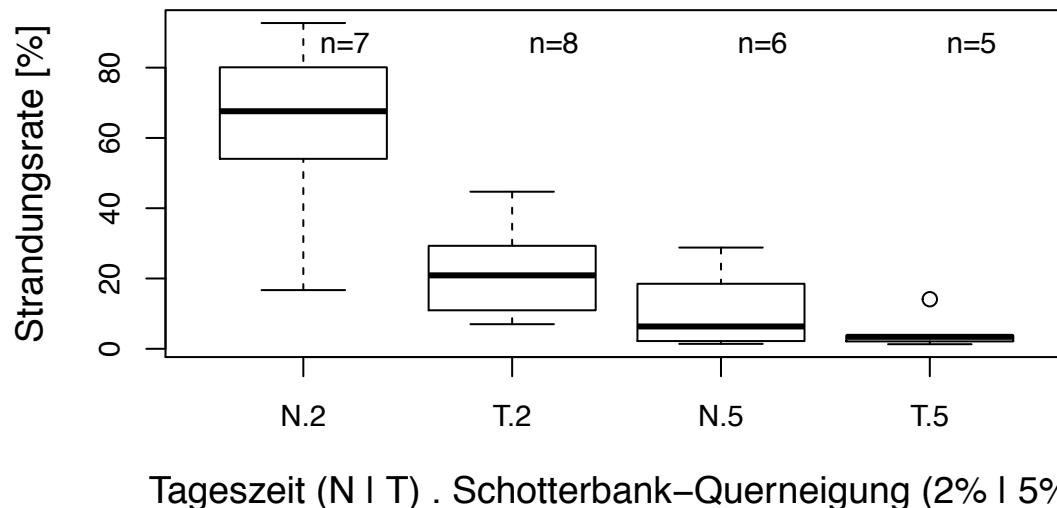


Abbildung 22: Paarweiser Vergleich. Faktoren: Tageszeit und Schotterbank-Querneigung. Die x-Achse zeigt die Gruppen, wobei der Buchstabe N/T die Tageszeit (N=Nacht, T=Tag) angibt und die Zahl 2/5 die Schotterbank-Neigung in [%]. Die Signifikanz der paarweisen Vergleiche ist in der obigen Tabelle 14 dargestellt.

Die Ergebnisse des paarweisen Vergleiches zeigen, dass sich von allen Paarungen drei Paare hinsichtlich ihres Medians signifikant voneinander unterscheiden. Alle anderen Gruppenvergleiche lieferten mit diesem Test nicht-signifikante Ergebnisse.

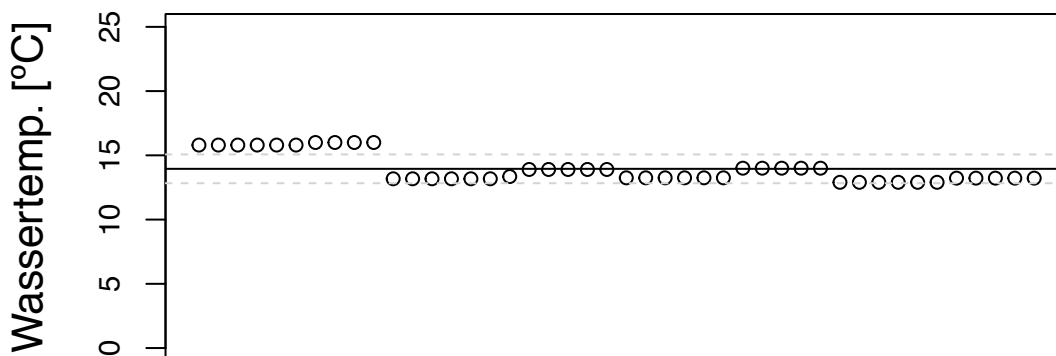
Gruppe 1		Gruppe 2	Angepasste Signifikanz
2% Tag	vs.	2% Nacht	$p < 0,05$
2% Nacht	vs.	5% Tag	$p < 0,05$
2% Nacht	vs.	5% Nacht	$p < 0,05$

Tabelle 15: Signifikante Gruppenvergleiche durch paarweise Tests. Faktoren: Tageszeit und Schotterbank-Querneigung. Es wurden nur die signifikanten Ergebnisse der paarweisen Vergleiche angegeben.

7.2 Versuchsanordnung 2: Mesokosmen-Experimente zu Drift

7.2.1 Ergebnisse zur Validierung der Mesokosmen

Die Experimente der Versuchsanordnung 2 wurden im Zeitraum vom 20.06.2014 - 02.07.2014 an der HyTEC-Anlage in Lunz am See durchgeführt. Um die Versuche vergleichbar zu machen, musste die Wassertemperatur sowohl in den Mesokosmen als auch in den Rundstrombecken zur Aufzucht der Äschen konstant gehalten werden. Sowohl Mesokosmen als auch Rundbecken wurden mit Seewasser aus den gleichen Rohren dotiert. Trotz großer Schwankungen der mittleren Lufttemperatur konnte ein mittlere Wassertemperatur von 13,95 °C gehalten werden (Mittelwert = 13,95 °C, Stabw. = $\pm 1,12$ °C). Abbildung 23 zeigt, dass es keine bedeutenden Abweichungen der Wassertemperatur im Versuchsverlauf gab.



Versuche in chronologischer Reihenfolge

Abbildung 23: Entwicklung der Wassertemperatur in den Mesokosmen über den gesamten Versuchszeitraum. Kreise sind die einzelnen Versuche, durchgezogene Linie ist der Mittelwert (13,95 °C), grau unterbrochene Linie zeigt die Standardabweichung ($\pm 1,12$ °C).

Wichtig für die Validierung der Mesokosmos-Versuche ist, dass alle Boxen einheitlich funktionieren. Im Folgenden kann gezeigt werden, dass sich die Mesokosmen hinsichtlich der wesentlichsten Eigenschaften kaum unterscheiden. Die beiden wichtigsten Voraussetzungen sind dabei, dass in beiden Szenarien ähnliche Wiederfangraten erzielt werden und dass sich die Drift in der Adaptionszeit nicht signifikant unterscheidet.

Ergebnisse

Abbildung 24 zeigt, dass sowohl in den Control- als auch den Treatment-Szenarien ausgesprochen hohe Wiederfangraten erzielt werden konnten (Mittelwert = 96,18 %, Stabw. = ± 3.80 %). Diese hohen Wiederfangraten erlauben somit eine verlässliche Berechnung der Drift. Die mittlere Wiederfangrate unterscheidet sich hinsichtlich des Faktors Szenario nicht signifikant (Mann-Whitney U-Test, $n=44$, $p=0,99$). Verluste in den Mesokosmen können sich dadurch ergeben, dass Fische beim Clearing nicht aus dem Sediment gewaschen werden konnten bzw. dass sie beim Durchwaschen des Sediments verloren wurden und dadurch nicht mehr auffindbar waren. Im Allgemeinen können die Mesokosmen aber als geschlossenes System betrachtet werden - mit einem kleinen Fehler, der sich aber für Control und Treatment nicht signifikant unterscheidet.

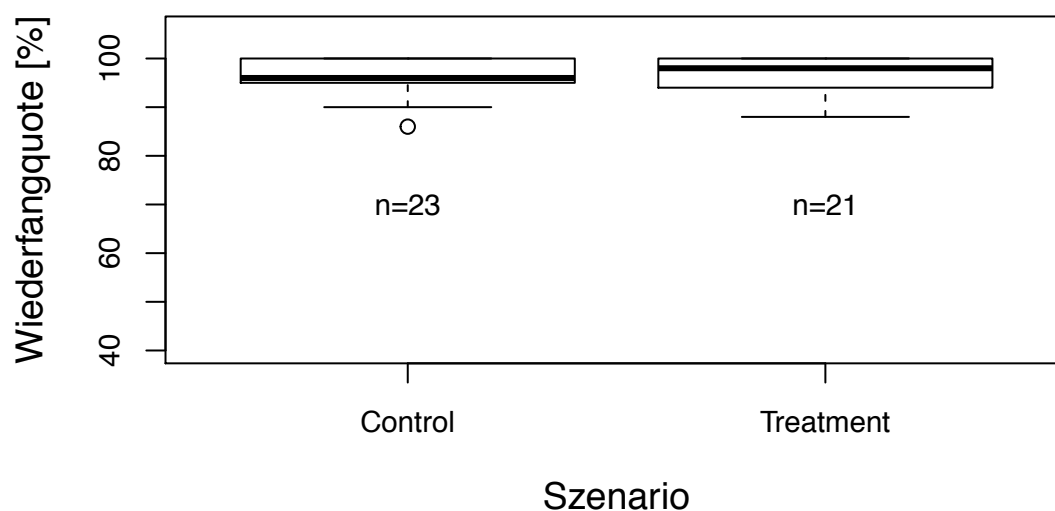


Abbildung 24: Wiederfangrate für beide Szenarien: Control & Treatment.

Es soll darauf hingewiesen werden, dass die Adaptionszeit für beide Szenarien ident verläuft, da auch die Versuchsboxen immer getauscht wurden; somit sind für die Adaptionszeit keine Unterschiede zu erwarten. Das kann auch statistisch mit einem Mann-Whitney U-Test gezeigt werden: Driftraten in der Adaptionszeit unterscheiden sich zwischen den beiden Szenarien nicht signifikant (Mann-Whitney U-Test, $n=44$, $p=0.29$). Kurz nach dem Besatz herrschen in den ersten 15 Minuten der Adaptionszeit (AZ1) über beide Szenarien hinweg verhältnismäßig hohe Driftraten (Mittelwert = 15,1 %, Stabw. = $\pm 7,83$ %). In den letzten 15 min der Adaptionszeit (AZ2)

Ergebnisse

verringert sich die Driftrate für beide Szenarien auf durchschnittlich 5,70 % (Mittelwert = 5,70 %, Stabw. = $\pm 5,83$ %).

Abbildung 25 zeigt die Driftraten in den Mesokosmen über den ganzen Versuchsverlauf für das Szenario Control. Die Abbildung stellt die Entwicklung der Drift dar und soll zeigen, dass die Hintergrunddrift im Laufe des Experiments konstant auf niedrigem Niveau bleibt. Es wird davon ausgegangen, dass dieses niedrige Hintergrunddrift-Niveau für beide Szenarien gilt. Einzelne Ausreißer über alle Phasen könnten individuellen Verhaltensunterschieden bei Versuchsfischen oder äußeren Einflüssen (z.B. einem einmaligen Scheuch-Effekt) geschuldet und sein.

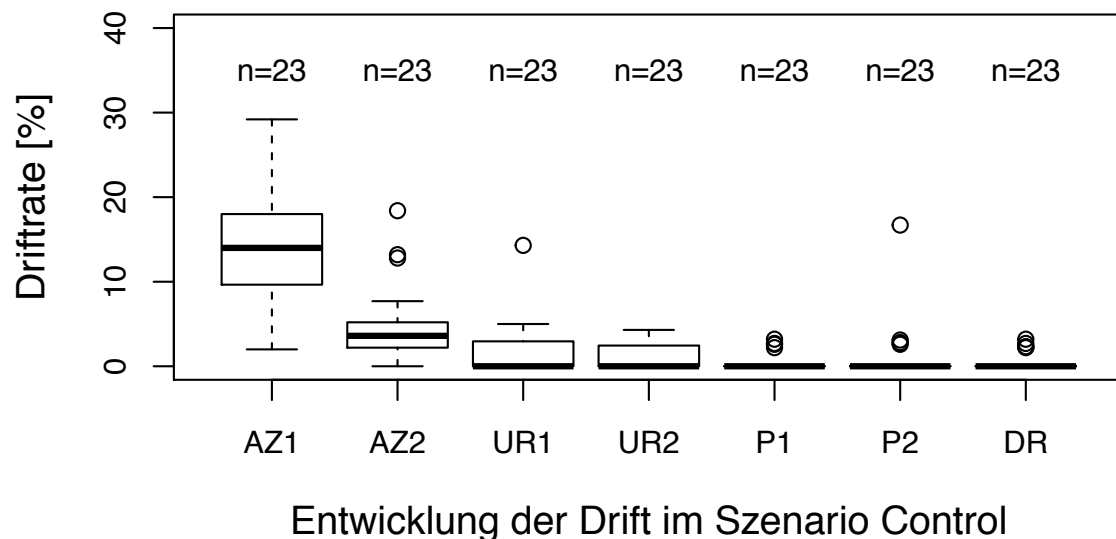


Abbildung 25: Entwicklung der Driftraten über den gesamten Experimentverlauf für das Szenario Control.

Als nächstes soll gezeigt werden, dass die Boxen für beide Fischgrößenklassen ein geeignetes Habitat darstellen. Abbildung 26 demonstriert, dass nach der Adaptionszeit die Driftraten beider Größenklassen nahezu ident sind. Die Mesokosmen in dieser Versuchsanordnung funktionieren also für Larven und Juvenile in der gleichen Art und Weise. Unterschiede in der Driftrate der Größenklassen können also aufs Treatment zurückgeführt werden und beruhen nicht am Versuchsaufbau. Ein Wilcoxon-Test mit korrigiertem P-Wert (nach Bonferroni) liefert für keine der Phasen signifikante Unterschiede in der Driftrate (Wilcoxon-Test, $n=23$, $p_{AZ1}=0,85$, $p_{AZ2}=1$, $p_{UR1}=1$, $p_{UR2}=1$,

Ergebnisse

$p_{P1}=1$, $p_{P2}=1$, $p_{DR}=1$, alle p-Werte sind Bonferroni-korrigiert). Obwohl nicht signifikant, zeigt sich die deutliche Tendenz, dass in der Adaptionzeit im Mittel die kleinere Größenklasse (Larven) höhere Driftraten aufweist. Die Grafik zeigt einen deutlichen Rückgang der Driftrate nach AZ1, die Tiere akklimatisieren sich nach den ersten 15 Minuten. Danach gehen die Driftraten weiter zurück und pendeln sich im Experiment auf einem sehr niedrigen Niveau zwischen 0 und 5 % ein.

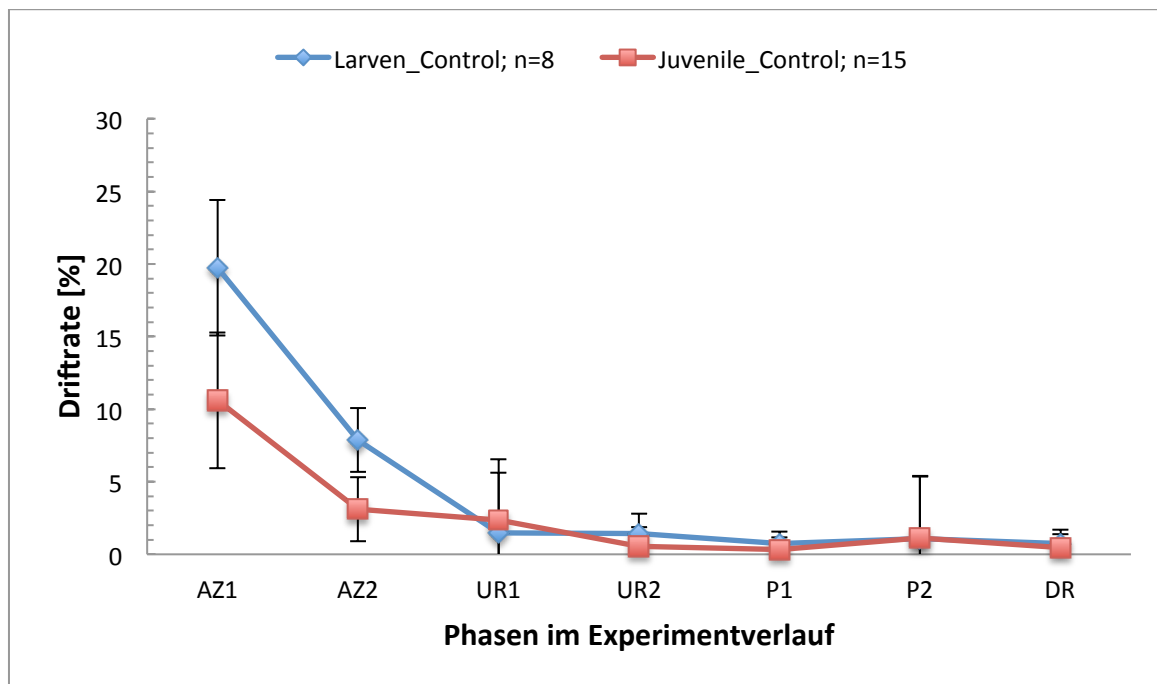


Abbildung 26: Driftraten für die beiden Fisch-Größenklassen im Szenario Control: Äschenlarven und juvenile Äschen.

Testet man allerdings die gesamte Adaptionzeit (AZ) über beide Szenarien (da die Adaptionzeit ja ident verläuft) so weisen Larven während der Adaptionzeit signifikant höhere Driftraten auf als juvenile Äschen (Mann-Whitney U-Test, $n=44$, $p<0,01$).

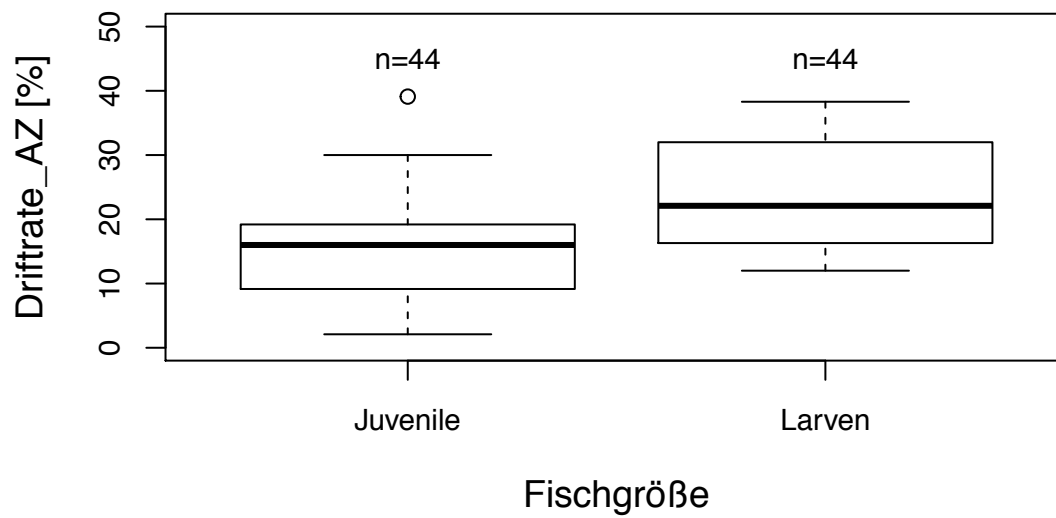


Abbildung 27: Driftrate der Adaptionszeit für beide Größenklassen.

Ein signifikanter Effekt der Körpergröße auf die Driftrate zeigt sich aber nur während der Adaptionszeit. Für den Experimentverlauf (Driftrate_{EXP}) im Szenario Control können keine signifikanten Unterschiede in der Driftrate hinsichtlich der Körpergröße nachgewiesen werden (Mann-Whitney U-Test, $n=23$, $p=0,103$).

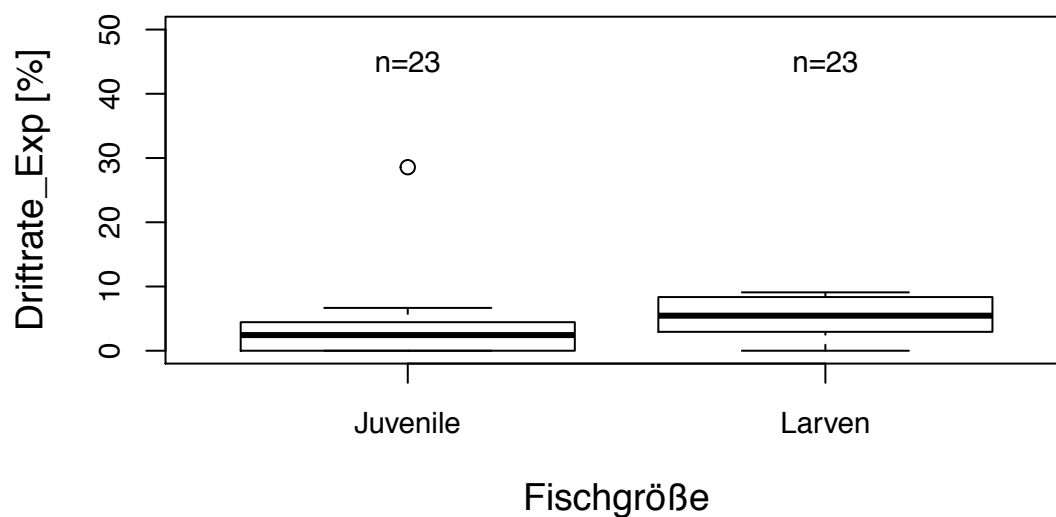


Abbildung 28: Driftrate während des gesamten Experiments (exklusive der Adaptionszeit) im Szenario Control für beide Größenklassen.

Ergebnisse

Nun werden noch die einzelnen Mesokosmen einander gegenüber gestellt. Es soll gezeigt werden, dass die einzelnen Boxen vergleichbar sind. Um systematische Fehler im Design des Experiments zu vermeiden, wurden für die Szenarien regelmäßig die Rinnen gewechselt. Waren im ersten Durchlauf Box 1-3 Treatment und Box 4-6 Control, so wurde die Anordnung für den zweiten Durchlauf umgekehrt. Das heißt, im zweiten Durchlaufen waren Box 4-6 Treatment und 1-3 Control. Damit wurde vermieden, dass eventuell bauweisebedingte Unterschiede der Boxen bzw. der Anlage an sich Einfluss auf das Experiment haben. Die Ergebnisse zur Validierung der Boxen zeigen eine ausgesprochen hohe Wiederfangquote über alle Boxen, eine Quote im Bereich zwischen 90 und 100 Prozent. Ein Kruskal-Wallis Test zeigt jedoch, dass die Boxen einen signifikanten Effekt auf die Wiederfangquote haben (Kruskal-Wallis Rangsummentest, d.f.=5, $p < 0,05$). Da für die Versuche die Boxen aber immer gewechselt wurden, spielt dieser Effekt nur eine untergeordnete Rolle.

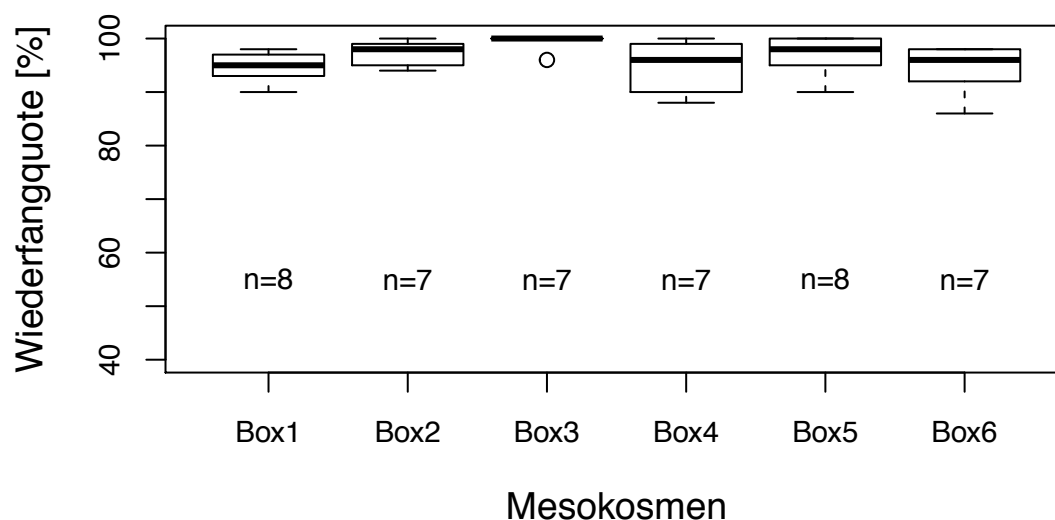


Abbildung 29: Wiederfangquoten über alle Versuche für die einzelnen Versuchsboxen.

Abbildung 30 zeigt, dass die Driftraten in der Adaptionszeit in allen Boxen ähnlich sind. Ein Kruskal-Wallis Test bestätigt, dass zwischen den Boxen keine signifikanten Unterschiede in den Driftraten der AZ nachgewiesen werden können. Daraus folgt, dass die Boxen in ihrer Habitateigenschaft für die Versuchsfische vergleichbar sind (Kruskal-Wallis Rangsummentest, d.f.= 5, $p=0,704$).

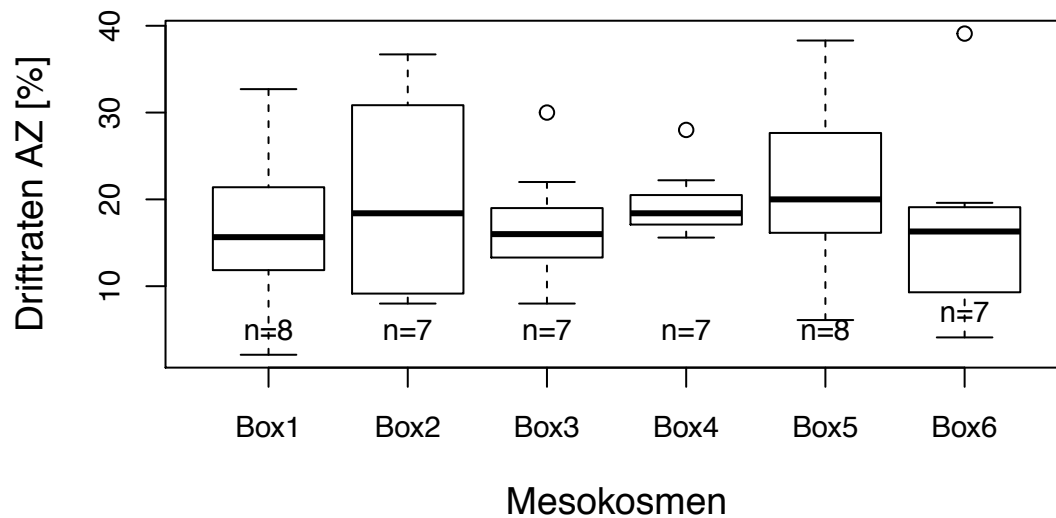


Abbildung 30: Driftrate der Adaptionszeit für die einzelnen Versuchsboxen über alle Szenarien.

7.2.2 Drift in Mesokosmen (quantitativ)

Die quantitativen Ergebnisse der Versuchsanordnung 2 (Drift bei Simulation von Schwallbetrieb) können in drei Themenbereiche aufgegliedert werden:

- 1) Szenario:** Gibt es signifikante Unterschiede zwischen dem Szenario Treatment und Control?
- 2) Fischgröße:** können unterschiedliche Driftraten für unterschiedliche Fisch-Größenklassen nachgewiesen werden?
- 3) Anstieg:** Welchen Einfluss spielt die Anstiegsgeschwindigkeit bzw. die Anstiegsdauer, gibt es signifikante Unterschiede in der Drift der UR-Phase im Bezug auf die Anstiegsgeschwindigkeit /-dauer?

Szenario: Zu Beginn soll überprüft werden, ob sich die zwei Szenarien hinsichtlich der Driftraten über alle Phasen hinweg signifikant unterscheiden (Abbildung 31). Die Driftrate_{EXP} unterscheidet sich signifikant zwischen den beiden Szenarien Treatment und Control (Mann-Whitney U-Test, $n = 44$, $p < 0,001$). Wie zu erwarten war, weist das Szenario Treatment eine signifikant höhere Driftrate_{EXP} auf als Szenario Control auf.

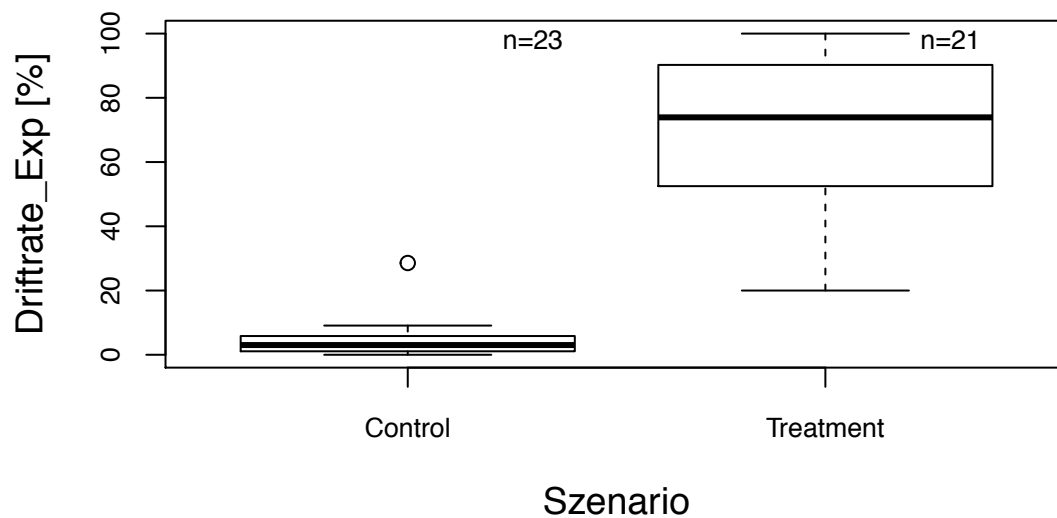


Abbildung 31: Driftraten über den gesamten Experimentverlauf (UR,P,DR) im Vergleich zwischen Treatment und Control.

Neben den Driftraten über den gesamten Experimentverlauf ($\text{Driftrate}_{\text{EXP}}$) erlaubt die Datenlage eine Aufschlüsselung der Driftraten für jede einzelne Phase ($\text{Driftrate}_{\text{PHASE}}$) des Experiments. Diese Zahlen spiegeln die zeitliche Entwicklung der Driftraten im Laufe des Experiments wieder (Abbildung 32 für Control, Abbildung 33 für Treatment). Die Driftraten in beiden Szenarien sinken nach den ersten 15 Minuten der Adaptionszeit (AZ1) stark ab. Im Szenario Control pendeln sich die Driftraten nach der Adaptionszeit und mit Beginn des Up-rampings in einem Bereich zwischen 0 und 5 % ein.

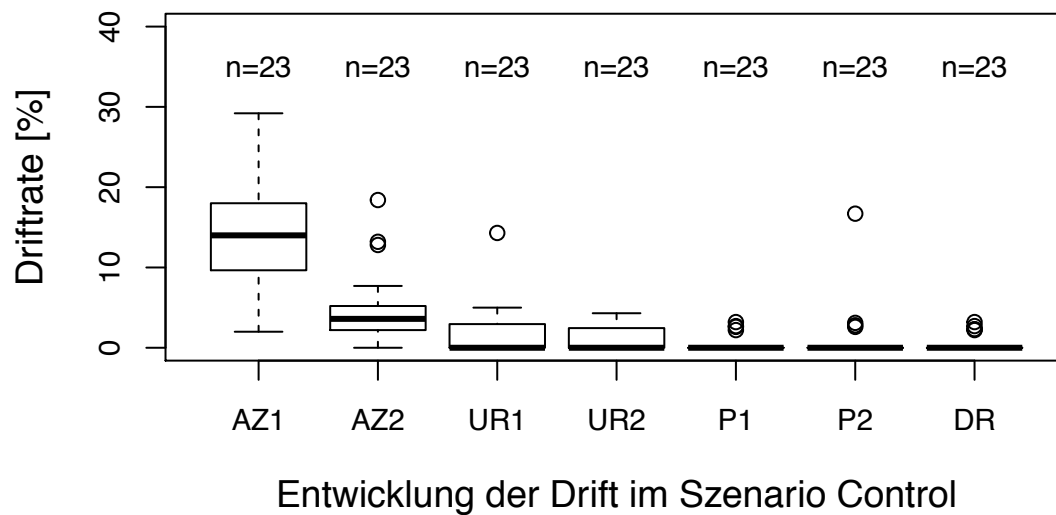


Abbildung 32: Entwicklung der Driftrate im Szenario Control.

Das Driftmuster im Schwall-Szenario sieht völlig anders aus. Zwar kommt es auch hier zu Beginn zu einer Abnahme der Driftraten im Laufe der Adaptionzeit, allerdings steigt dann die Driftrate mit zunehmendem Durchfluss (zur Experimentübersicht siehe Abbildung 17) in der Phase UR2 und in P1 stark an. Im zweiten Teil der Up-ramping-Phase (UR2), im frühen Peak (P1) sowie in der zweiten Peak-Phase (P2) sind die Driftraten am höchsten, das sind auch jene Phasen mit den höchsten Fließgeschwindigkeiten und mit dem höchsten Durchfluss. In Phasen mit hohen mittleren Driftraten ist jedoch auch die Standardabweichung sehr groß (z.B. UR2: Mittelwert = 39,6 % $\pm$ 24,75, P1: Mittelwert = 30,0 % $\pm$ 23,56).

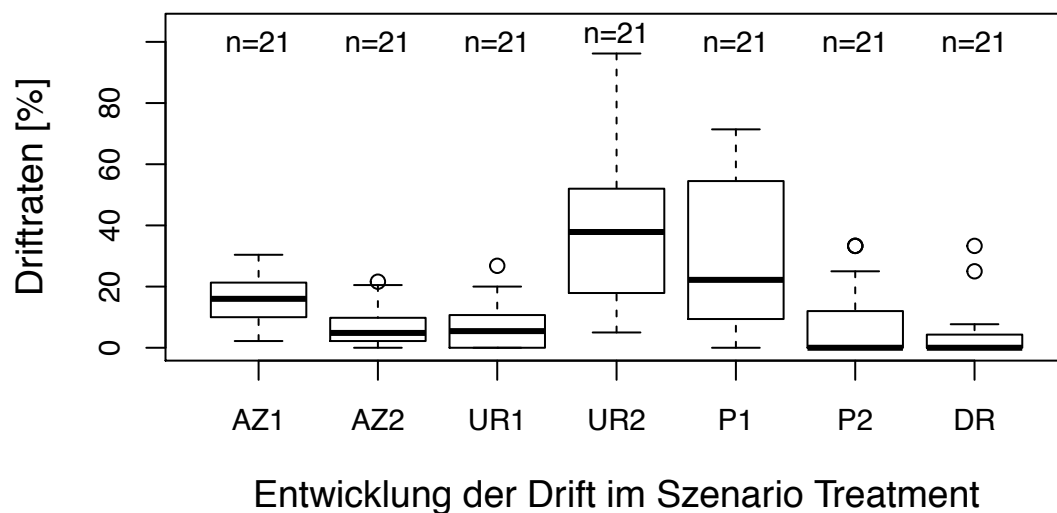


Abbildung 33: Entwicklung der Drift im Szenario Treatment. $\text{Driftrate}_{\text{PHASE}}$

Im Folgenden soll genauer untersucht werden, in welchen Phasen des Experiments sich die Driftraten im Treatment signifikant vom Control-Szenario unterscheiden. Abbildung 34 zeigt die Entwicklung der Driftraten über beide Szenarien. Nach der Adaptionszeit weist das Szenario Treatment über alle Phasen höhere mittlere Driftraten auf, die Maxima in den Driftraten liegen dabei im UR2 und P1. Ein konsekutiver Wilcoxon-Test mit korrigierten P-Wert (nach Bonferroni) zeigt signifikante Unterschiede für UR2, P1 und P2 zwischen Control und Treatment (Wilcoxon-Test, $n=44$, $p_{\text{UR2}} < 0,001$, $p_{\text{P1}} < 0,001$, $p_{\text{P2}} < 0,05$).

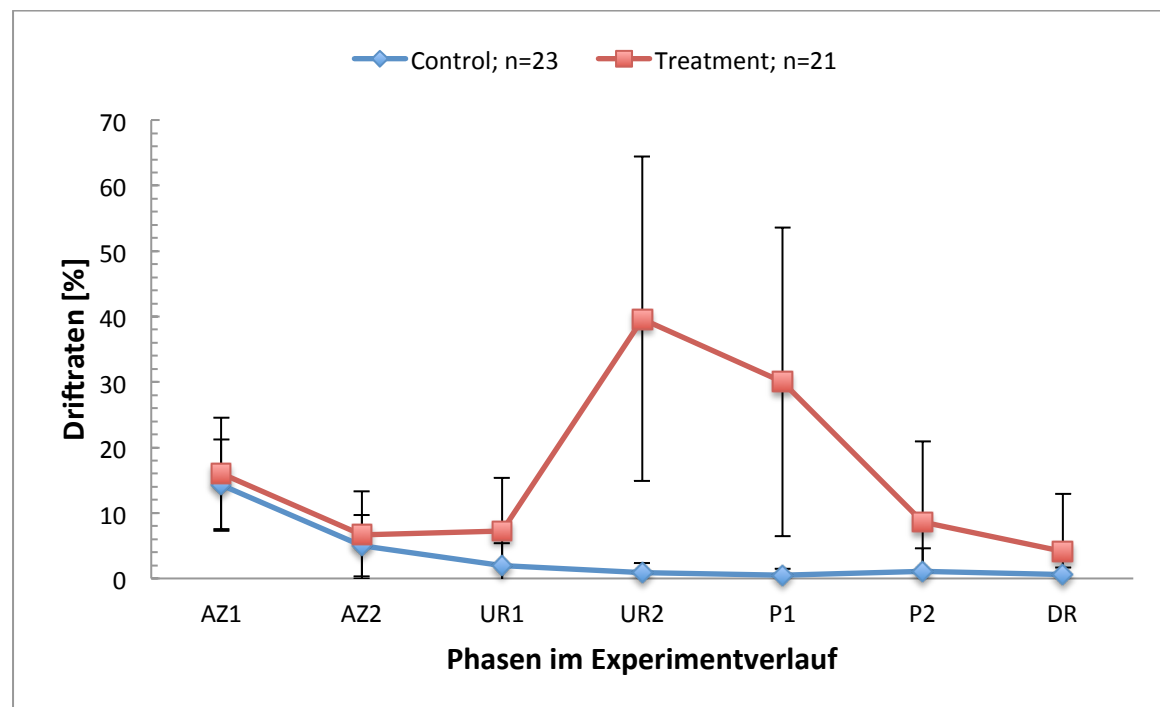


Abbildung 34: Driftrate_{PHASE} der beiden Szenarien im Vergleich über alle Phasen des Experiments.

Fischgröße: Neben dem Szenario könnte auch die Größe der Versuchsfische in Zusammenhang mit der Driftrate stehen, da unter anderem die Schwimmleistung von Fischen größenabhängig ist. Für diese Fragestellung wurden Gruppen paarweise verglichen. Die Faktoren waren einerseits das Szenario (Treatment | Control) und andererseits die Fischgröße (Äschen Larven | Juvenile Äschen). Für diesen Test wurden die relativen Driftraten über das ganze Experiment (Driftrate_{EXP}), also die gesamte relative Drift von Up-ramping bis Down-ramping, verwendet. Die Tests zeigen, dass sich alle Control Gruppen signifikant von Treatment Gruppen unterscheiden (siehe Tabelle 16). Bedeutend ist, dass für das Szenario Treatment signifikante Unterschiede in der Driftrate_{EXP} in Abhängigkeit der Fischgröße nachgewiesen werden konnten.

Szenario und Fischgröße im Vergleich			Angepasste Signifikanz (Bonferroni)
Control_Juvenil	vs.	Treatment_Juvenil	p<0,001
Control_Juvenil	vs.	Treatment_Larve	p<0,001
Control_Larve	vs.	Treatment_Juvenil	p<0,001
Control_Larve	vs.	Treatment_Larve	p<0,001
Treatment_Larve	vs.	Treatment_Juvenil	p<0,05

Tabelle 16: Signifikante Gruppenvergleiche durch paarweise Tests. Faktoren: Szenario und Fischgröße. Mann-Whitney U-Test mit angepassten Signifikanzen nach Bonferroni. Der Vollständigkeit halber werden alle signifikanten Ergebnisse angeführt.

Die visuelle Darstellung der Gruppenvergleiche (Abbildung 35) zeigt, dass im Szenario Treatment Äschenlarven im Mittel höhere Driftraten aufweisen als die etwas

Ergebnisse

größeren juvenilen Äschen. Dieser Effekt ist im Szenario Control nicht zu beobachten. Unter Control-Bedingungen gibt es keine signifikant größenabhängigen Unterschiede in der $\text{Drift}_{\text{EXP}}$.

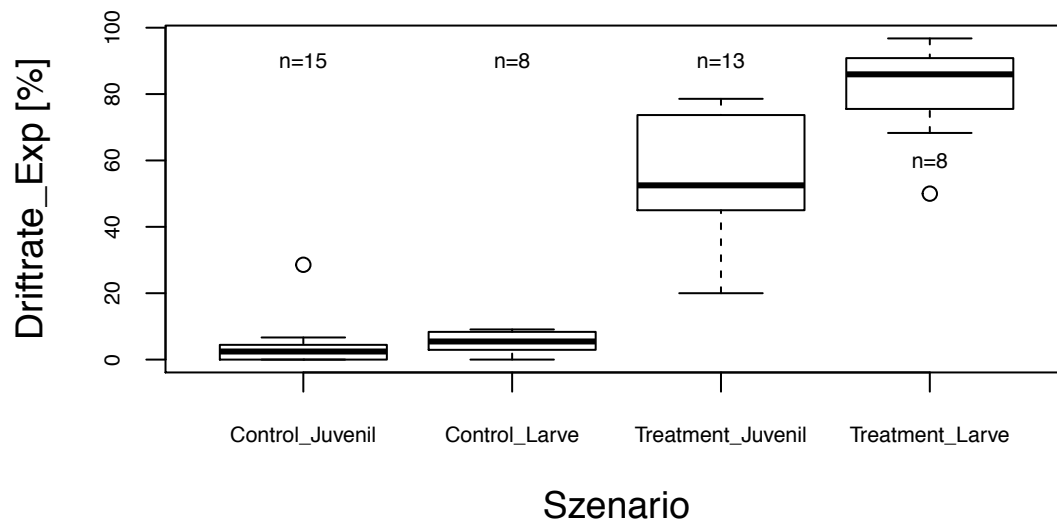


Abbildung 35: $\text{Drift}_{\text{EXP}}$ für die beiden Fisch-Größenklassen für beide Szenarien.

Um eine bessere Auflösung zu erzielen, zeigt Abbildung 36 die Driftraten der beiden Größenklassen für alle Phasen des Experiments, sowie für die Adaptionszeit. Der Grafik ist zu entnehmen, dass Äschenlarven in jenen Phasen in denen es zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit kommt (UR1, UR2) im Mittel stärker driften, als juvenile Äschen. Dieser Trend ist auch zu Beginn des Peaks feststellbar. In der Phase des UR2, also in jener Phase an deren Ende die maximale Fließgeschwindigkeit erreicht wird, erreichen auch die relativen Driftraten der Larven ihr Maximum (Mittelwert= 59,4 %, Stabw= 19,2). Danach fallen die Driftraten der Larven ab (P1: Mittelwert = 36,2, Stabw.= 28,1). Die Driftraten der juvenilen Äschen erreichen ihr Maximum erst in der Phase P1 (Mittelwert= 26,2 %, Stabw.=), allerdings herrschen auch schon im UR2 ähnlich hohe Driftraten (Mittelwert= 23,8 %, Stabw.= 15,6). Es soll weiters angemerkt werden, dass in Phasen hoher mittlerer Drift die Driftraten eine hohe Streuung aufweisen. Wichtig ist, dass diese Ergebnisse nur als Tendenz verstanden werden dürfen, denn ein konsekutiver Wilcoxon-Test mit korrigiertem P-Wert (nach Bonferroni) konnte keine signifikanten Unterschiede nachweisen (Wilcoxon-Test, $n=21$, für alle Phasen nicht signifikant).

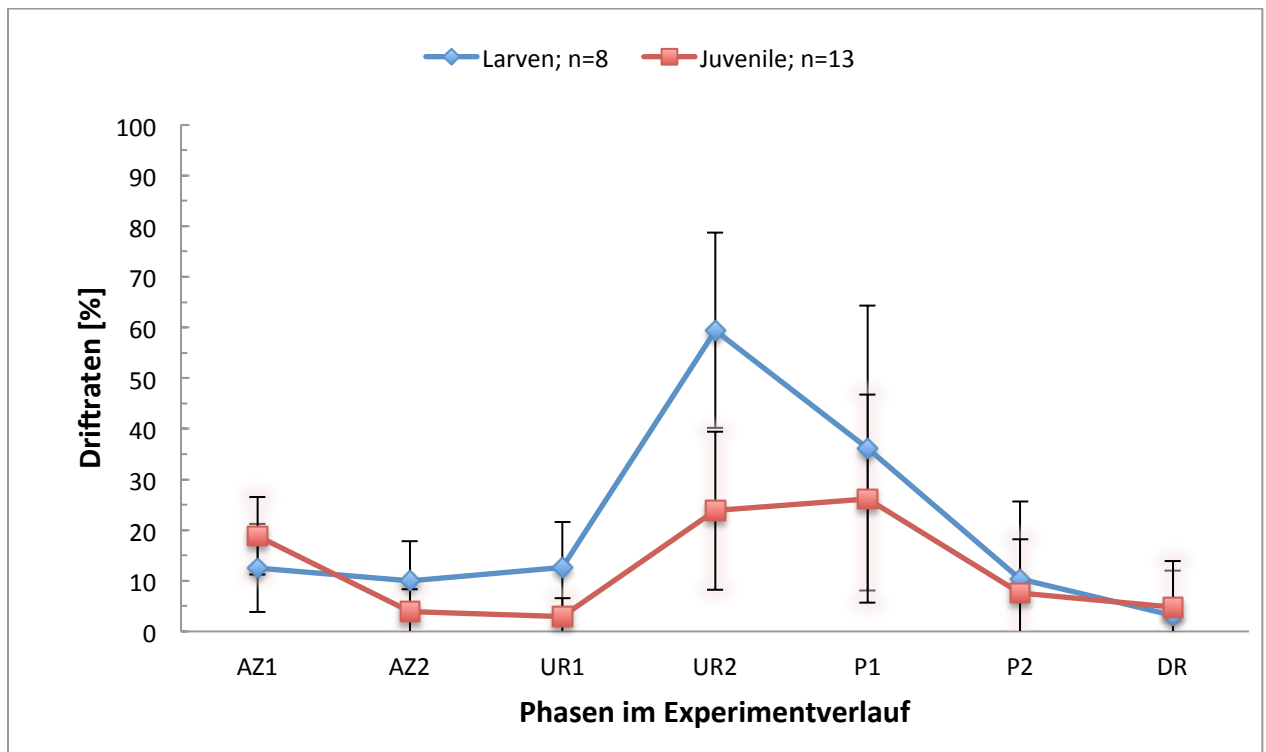


Abbildung 36: Driftraten im Szenario Treatment für alle Phasen ($\text{Driftraten}_{\text{PHASE}}$). Aufgeschlüsselt für den Faktor Körpergröße (Larven | Juvenile). Die Fehlerbalken der Gruppe „Juvenile“ sind rot hinterlegt.

Anstiegsgeschwindigkeit: Abschließend soll gezeigt werden, welche Rolle die Anstiegsgeschwindigkeit für die Driftraten in der Versuchsanordnung Treatment spielt. Vergleiche mit dem Szenario Control sind in diesem Abschnitt nicht notwendig, da die Anstiegsgeschwindigkeit nur im Treatment variiert werden konnte. Für die Phase des Up-rampings (UR) zeigt sich, dass bei einem langsameren Anstieg des Wasserspiegels (0,1 cm/min) die mittlere Driftrate signifikant höher ist, als das bei schnellerer Anstiegsgeschwindigkeit (0,5 cm/min) der Fall ist (Mann-Whitney U-Test, $n=21$, $p<0,05$).

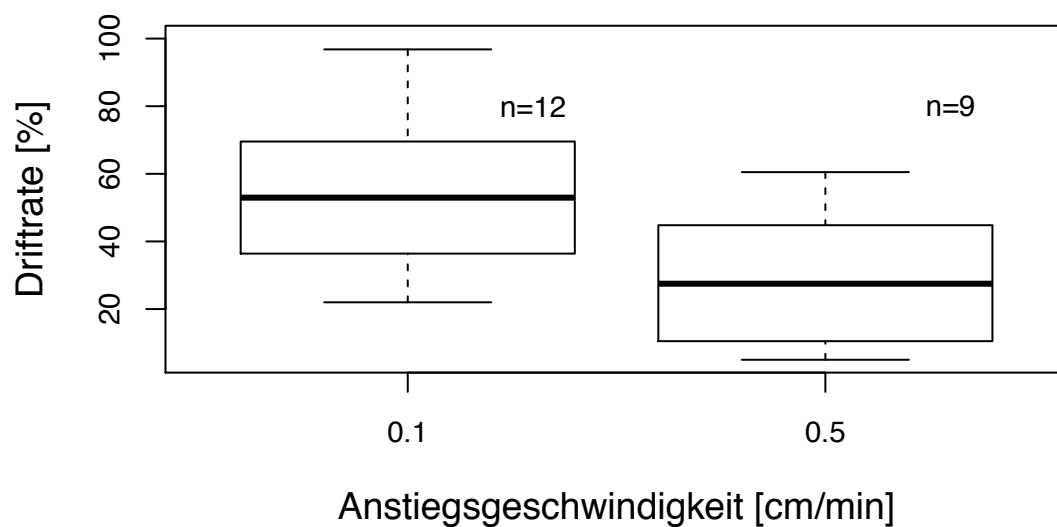


Abbildung 37: Driftrate_{PHASE} bei langsamer und schneller Anstiegsgeschwindigkeit für die Phase UR in Treatment-Versuchen.

Es muss aber berücksichtigt werden, dass eine schnellere Anstiegsgeschwindigkeit auch eine kürzere Anstiegsdauer bedeutet. Das heißt, dass das Up-ramping bei langsamem Anstieg (0,1 cm/min) mit 37,6 min wesentlich länger dauert als bei schnellem Anstieg (0,5 cm/min), bei dem die Phase des Up-rampings nur 7,53 min beträgt. Um zwischen den Faktoren Anstiegsdauer und Anstiegsgeschwindigkeit unterscheiden zu können, wurden die Driftraten zeitnormalisiert. Im Folgenden wird mit die Driftrate pro Minute (DPM) für die Darstellung der Drift verwendet, damit können schnelle und langsame Anstiegsgeschwindigkeiten verglichen werden.

Die Driftraten können noch detaillierter aufgelöst werden und zwar für die erste (UR1) und zweite Hälfte (UR2) des Up-rampings sowie die erste Hälfte des Schwalls (P1). Es ist aus methodischen Gründen sinnvoll, auch die Subphase P1 in die Auswertung der Anstiegsgeschwindigkeit miteinzubeziehen (siehe 1.1.1 Diskussion der Validierung). Während des UR1 herrschen moderate Fließgeschwindigkeiten, während des UR2 herrschen höhere Fließgeschwindigkeiten, die als ähnlich den Bedingungen zu Peakflow (P1) zu bewerten sind. Während UR1 unterscheiden sich die Driftraten beider Gruppen beinahe nicht, in den Phasen UR2 bzw. P1 weist die Gruppe, die einer schnelleren Anstiegsgeschwindigkeit (0,5 cm/s) ausgesetzt ist, höhere Driftraten pro Minute auf (Abbildung 38). Diese Resultate dürfen allerdings nur als Tendenz angesehen werden,

Ergebnisse

denn ein Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben mit korrigiertem P-Wert (Bonferroni Korrektur) zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen für UR1, UR2 und P1, die Grafik zeigt nur eine Tendenz (Wilcoxon-Test, $n=18$, $p_{UR1}=1$, $p_{UR2}=1$, $p_{P1}=0,75$).

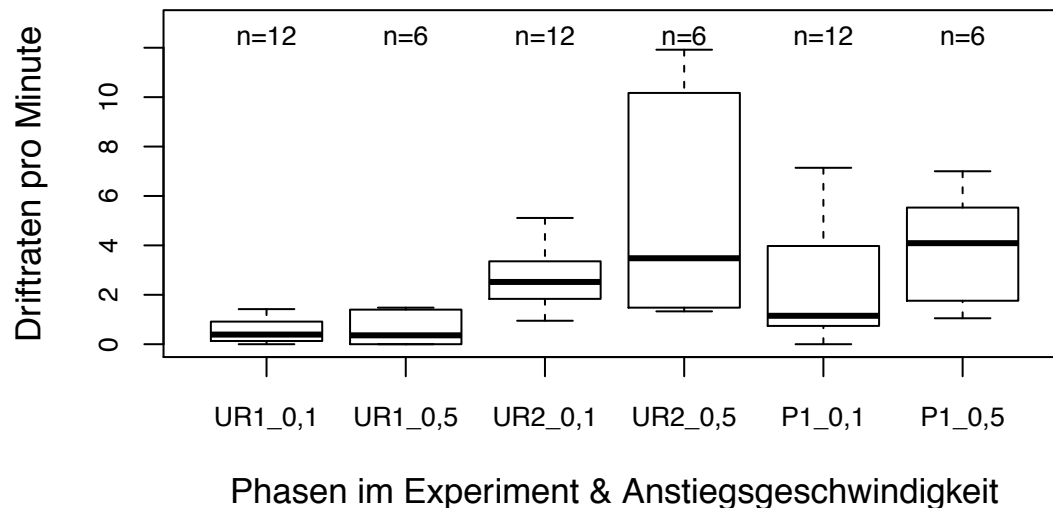


Abbildung 38: Driftraten_{PHASE} pro Minute bei unterschiedlicher Anstiegsgeschwindigkeit (0,1 bzw. 0,5 cm/min) für die erste (UR1) und die zweite Hälfte des Up-rampings (UR2) sowie die erste Hälfte des Schwall's (P1).

Abbildung 39 zeigt den zeitlichen Verlauf der Driftraten pro Minute über das gesamte Szenario Treatment für die beiden Gruppen mit unterschiedlicher Anstiegsgeschwindigkeit. Zu beachten sind die erhöhten relativen Driftraten pro Minute in UR1 und P1 sowie eine hohe Standardabweichung in diesen beiden Phasen.

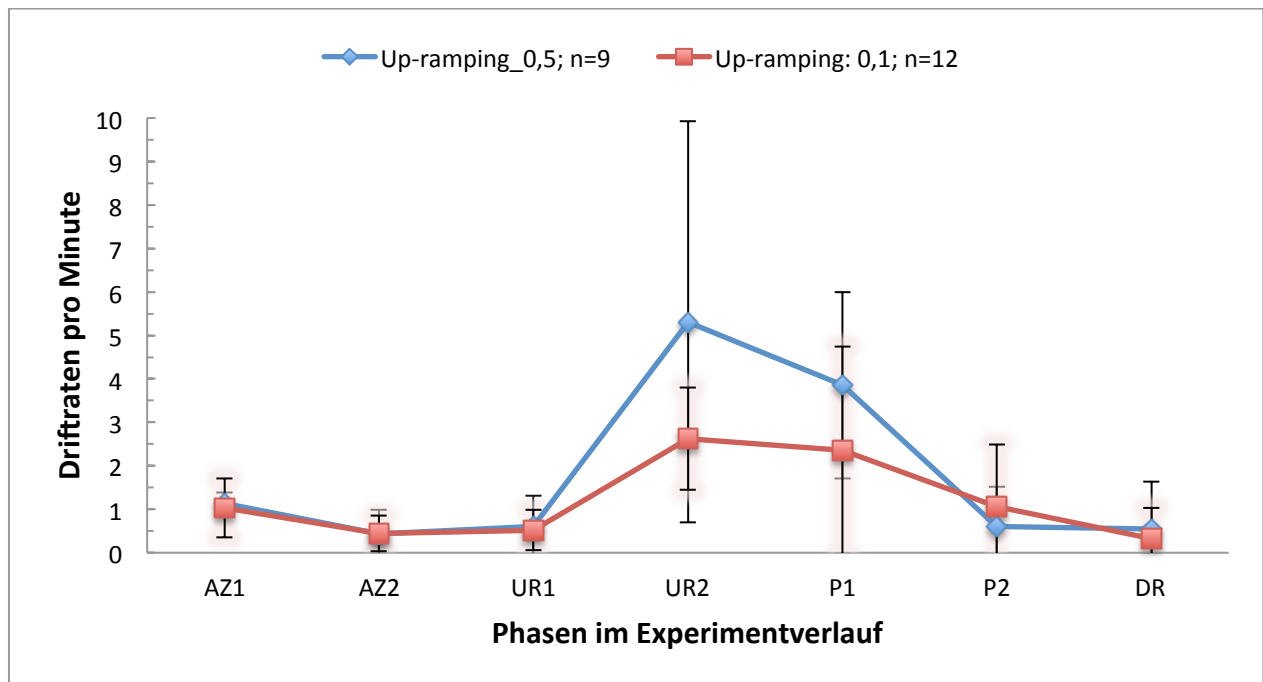


Abbildung 39: Driftraten_{PHASE} pro Minute im Verlauf des Experiments: Für zwei Treatment Gruppen mit unterschiedlicher Anstiegsgeschwindigkeit (0,1 | 0,5 cm/min). Die Fehlerindikatoren der Gruppe „Up-Ramping_0,1“ sind rot hinterlegt.

Abbildung 40 zeigt, dass sowohl bei schneller als auch bei langsamer Anstiegsgeschwindigkeit die Driftraten bei den kleineren, weniger schwimmstarken Larven während UR2 erhöht sind. Diese Grafik zeigt aber nur eine Tendenz, da ein seriöser Test bei dieser Stichprobengröße nicht anwendbar ist. Tendenziell zeigt sich aber, dass während der letzten Phase des Anstiegs (bei hohen Fließgeschwindigkeiten) die Driftrate bei Larven höher ist als bei etwas größeren Juvenilen – unabhängig von Anstiegsdauer und Anstiegsgeschwindigkeit.

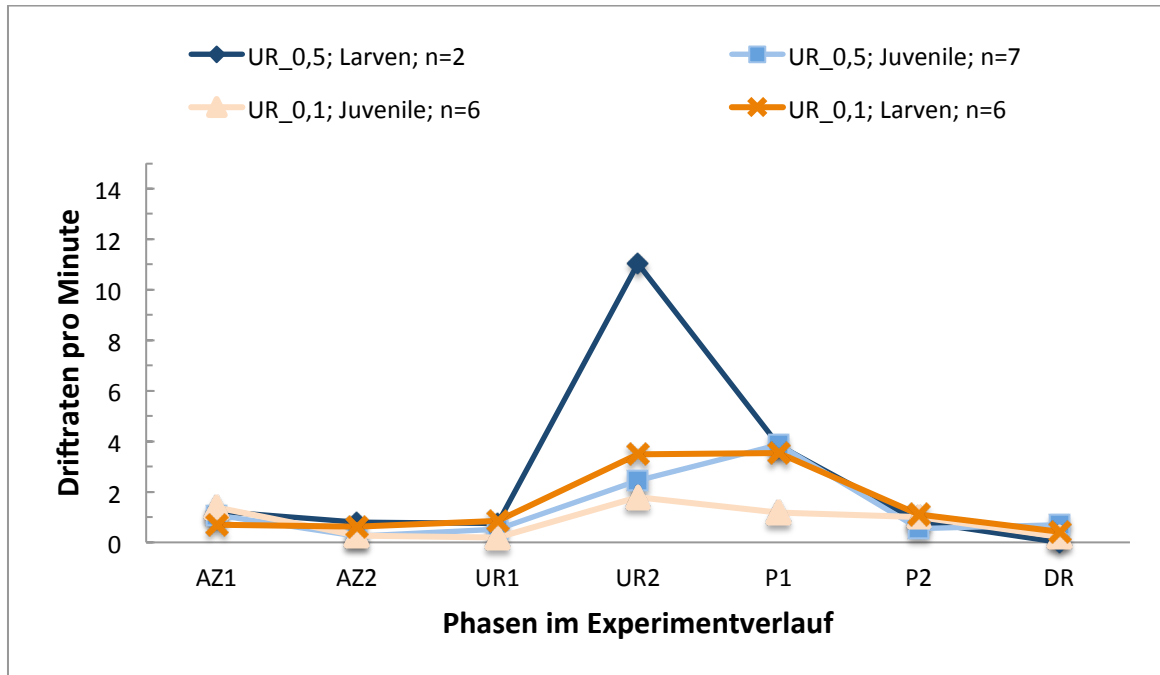


Abbildung 40: Driftraten_{PHASE} pro Minute im Experimentverlauf: Gruppenbildung nach Faktoren Anstiegsgeschwindigkeit (0,1 | 0,5 [cm/min]) und Körpergröße (Larven | Juvenile).

7.2.3 Videoanalyse der Drift (qualitativ)

Die Ergebnisse der Videoanalyse stellen einerseits eine Kontrolle zu den Driftversuchen dar, andererseits sollen bestimmte Verhaltensmuster aufgezeigt werden, die während verschiedener Phasen des Versuchs beobachtbar waren (Tabelle 17).

Adaptionszeit (AZ): Während der Adaptionszeit verhalten sich die Fische ruhig: es gibt von Anfang an kaum hektisches oder fluchtartiges Verhalten. Die jungen Äschen schwimmen über die ganze Wassersäule hinweg verteilt (Abbildung 41 B), mit und gegen die Strömung (Abbildung 41 F). Das Habitat in den Versuchsboxen scheint als solches angenommen zu werden, obwohl es zu Beginn der Adaptionszeit (AZ2) zu quantitativ bedeutsamen Migrationsbewegungen stromabwärts kommt (siehe 7.2.1 Ergebnisse zur Validierung der Mesokosmen). Es kann während der Adaptionszeit durchaus beobachtet werden, dass einzelne Fische stromabwärts, Kopf voran (aktiv) die Boxen verlassen, der Großteil der Fische verbleibt jedoch in den Mesokosmen. Auf den Videos sind keine plötzlichen Schreck- oder Fluchtereignisse zu erkennen. Die Fische „stehen“ während der Adaptionszeit in der Wassersäule und können bei der gezielten Nahrungsaufnahme beobachtet werden (Abbildung 41 B, D, E). Dazu stoßen die Fische

Ergebnisse

immer wieder zur Wasseroberfläche, um dort nach Plankton zu schnappen und ziehen sich anschließend zu ihrem Ausgangsort zurück. Sie gruppieren sich, schwimmen aber auch einzeln die Versuchsboxen auf und ab (Abbildung 41 F). Drift in diesem Zeitraum passiert, soweit beobachtbar, ausschließlich aktiv. Die Fische schwimmen kopfvoran (Abbildung 41 F) über die Überfallkante und landen somit im Driftnetz. Die Strömungsgeschwindigkeit bereitet ihnen, dem Anschein nach, keine Probleme. Sie sind ohne weiteres in der Lage gegen die leichte Strömung anzuschwimmen und tun dies auch.



Abbildung 41 A-F: Fische in der Adaptionszeit. Weiße Ovale weisen auf Fische in der Wassersäule hin.

Für die Adaptionszeit sind die folgenden Verhaltensmuster kennzeichnend: Nahrungssuche, Nahrungsaufnahme, Schwimmen in der ganzen Wassersäule (sowohl

nahe der Oberfläche als auch nahe dem Grund), Schwimmen stromabwärts mit dem Kopf Richtung stromab, langsame ruhige Schwimmbewegungen.

Up-ramping (UR): Es ist kein geändertes Verhalten zu Beginn des Anstiegs zu beobachten. Es ist jedoch zu beobachten, dass die Fische zu Beginn des Anstiegs leicht stromabwärts gedrängt und damit einige Körperlängen abgetrieben werden. Dies könnte der Effekt einer ersten kleinen Welle sein, die den Anstieg einleitet. Dieses Abdriften ist aber nicht immer zu beobachten. Oft verhalten sich die Fische zu Beginn des Anstiegs ähnlich wie zur Adaptionszeit. Anfänglich schwimmen die Fische sowohl stromauf- als auch stromabwärts. Die Fische sind auch an der Wasseroberfläche zu beobachten, welche sich mit ansteigendem Wasserspiegel zunehmend vom Gewässergrund entfernt. Mit ansteigendem Durchfluss suchen die Fische aber zunehmend Schutz nahe dem Sediment und versuchen strömungsberuhigte Habitate zu finden. Mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit und Annäherung an Peak-Verhältnisse sind kaum mehr Fische zu beobachten, die mit dem Kopf stromabwärtsgewandt schwimmen. Die Analyse zeigt, dass die Fische mit (für den Beobachter) merklich größerem Aufwand gegen die Strömung anschwimmen müssen, der Flossenschlag intensiviert sich und wird schneller. Es macht den Anschein, dass einzelne Fisch trotz Schwimmaufwandes (passiv) stromabwärts gedriftet werden. Solche Situationen waren in der Adaptionszeit nicht zu beobachten. Auf den Videos ist auch gut ersichtlich, dass mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit immer wieder kleinere und größere Detritus-Pakete durch die Wassersäule getrieben werden. Ob die Fische durch diese Detritus-Pakete, in welcher Weise auch immer, beeinflusst werden, kann aber nicht festgestellt werden.

Es ist generell zu beobachten, dass nur wenige Fische während der ersten Hälfte des Up-rampings (UR1) ausdriften. Allerdings driften während des UR2 sowie während des Übergangs von Phase UR2 zu P1 sehr wohl einige Fische aus den Boxen aus. Auf den Videos macht es den Anschein, als ob diese Fische der Strömungsgeschwindigkeit nicht mehr standhalten könnten.

Peak (P): Die Fische legen merklich anderes Verhalten als während der Adaptionszeit an den Tag. Nahrungssuche und -aufnahme kann nicht mehr beobachtet

Ergebnisse

werden. Die Fische orientieren sich ausnahmslos mit dem Kopf entgegen der Strömungsrichtung (stromaufwärts). Die Fische halten sich nun sehr nahe am Sediment auf und suchen den Strömungsschatten hinter etwas größeren Steinen und in Mulden. Es konnte in einigen Fällen Gruppenbildung beobachtet werden (an strömungsbedingt günstigen Plätzen). Weitere Fische versuchen sich dieser Gruppe anzuschließen. Viele Fische halten sich an den Seitenrändern der Box auf, es macht den Anschein, als ob sie versuchen, lateral auszuweichen, was in den kanalartigen Boxen aber unmöglich ist. Messungen zur Verteilung der Fließgeschwindigkeit zeigen, dass bei Peak-Verhältnissen an den Rändern und vor allem in Bodennähe geringere Fließgeschwindigkeiten herrschen (siehe Abbildung 15). Kommen Fische der Überfallkante näher, kann beobachtet werden, dass sie sich mit schnellem, sprintartigem Schwimmen zu Retten versuchen und wieder weiter stromaufwärts in die Box bzw. zu strömungsgeschützten Stellen zu schwimmen versuchen. Diese schnellen, vorwärtsschießenden, geradlinigen Bewegungen gehen über ca. 10-20 cm und können mehrmals hintereinander ausgeführt werden. Generell scheinen die Fische in der Schwall-Phase nicht mehr aktiv, mit dem Kopf stromabwärts gerichtet zu driften. Aktives Verlassen der Versuchsboxen ist hingegen in der Adaptionszeit und im frühen Anstieg zu beobachten.

Während des Schwalls sind die Fische kaum in der oberen Hälfte der Wassersäule zu beobachten. Wenn doch, so werden sie von Turbulenzen hochgerissen und versuchen wieder näher ans Sediment zu kommen. Messungen zeigen, dass mit zunehmender Entfernung vom Gewässergrund die Fließgeschwindigkeit zunimmt. In der Boxenmitte, nahe der Oberfläche, herrschen die höchsten Fließgeschwindigkeiten (siehe Abbildung 15). Die Fische sind bei Peakflow starken Turbulenzen ausgesetzt und können sich nicht ruhig waagrecht halten, wie das bei Baseflow problemlos der Fall ist. Sie werden vielmehr auf und ab geworfen, berühren oft fast und manchmal tatsächlich das Sediment (Kollision). Drift erfolgt meist in der oberen Hälfte der Wassersäule. Grundsätzlich schwimmen die Versuchsfische bei Peakflow immer mit ihrem Kopf in Strömungsrichtung, sie schwimmen gegen die Strömung an, werden jedoch stromabwärts getrieben.

Wenn sich der einzelne Fisch dabei an keiner bereits etablierten Gruppe orientieren kann, sucht das Tier allein nach passenden, geschützten Mikrohabitaten. Es konnte wiederholt beobachtet werden, dass Fische versuchen, in das Substrat

Ergebnisse

einzudringen. Gelingt es den Äschenlarven sich im Sediment zu verkriechen, können sie so den Schwall überdauern (siehe Abbildung 42). Die Äschen wandern in den Mesokosmen bis zu 10 cm tief ins Substrat (die Substrattiefe in den Mesokosmen beträgt ~10 cm). Nach Ende des Schwall kehren einige wieder in die Wassersäule zurück, andere verbleiben aber im Substrat. Flüchteten die Äschen an der Grenze zur Plexiglaswand ins Substrat, dann konnte dieses Verhalten fotografisch dokumentiert werden (siehe Abbildung 42). Zu beachten ist, dass diese Bilder von vier verschiedenen Versuchs-Durchläufen stammen, es handelt sich also um ein wiederholt beobachtetes Verhalten.



Abbildung 42 A-D: Äschen nutzen den Sedimentkörper als Refugium bei hohen Fließgeschwindigkeiten. Weiße Kreise zeigen Äschenlarven im Sediment.

Für die Mesokosmosversuche wurden unterschiedliche Fisch-Größenklassen verwendet (siehe Tabelle 6). Soweit aus den Videos ersichtlich, unterscheiden sich diese Klassen nicht in ihrem Verhalten. Es ist jedoch zu erkennen, dass die juvenilen Äschen

Ergebnisse

deutlich schwimmstärker sind als die kleineren Äschenlarven und dementsprechend mit höheren Strömungsgeschwindigkeiten weniger Probleme zu haben scheinen.

Die folgende Grafik gibt einen Überblick über beobachtete Verhaltensweisen und gewichtet diese Verhaltensweisen mit „x“ bzw. „xx“. „x“ bedeutet moderat ausgeprägt, „xx“ bedeutet sehr ausgeprägt und typisch für die jeweilige Phase. Wenn kein „x“ gesetzt wird konnte dieses Verhalten in der jeweiligen Phase nie beobachtet werden. Es zeigt sich, dass die Phase Up-ramping (UR) im Bezug auf das Verhalten der Fische den Übergang zwischen Peak und Adaptionszeit bildet. Das rührt daher, dass in der ersten Hälfte des Up-ramping (UR1) ähnliche Bedingungen wie während der Adaptionszeit herrschen, später dann (UR2) herrschen ähnliche Bedingungen wie in der Phase des Schwall (P).

VERHALTENSMUSTER	AZ	UR	P
SCHWIMMVERHALTEN & NAHRUNGS-AUFNAHME			
Fischverteilung über die gesamte Wassersäule	xx	x	
Nahrungssuche und -aufnahme	xx	x	
Schwimmen stromaufwärts UND stromabwärts (Kopf voran)	xx	x	
Dauerschwimmgeschwindigkeit	xx	x	
Gesteigerte Schwimmgeschwindigkeit		xx	xx
Sprintgeschwindigkeit (über kurze Strecken)		x	xx
Schwimmen ausschließlich stromaufwärts		x	xx
Schwimmen in Turbulenzen		x	xx
Beinahe oder tatsächliche Kollision mit Sediment		x	xx
DRIFTVERHALTEN			
Aktives driften aus Mesokosmen (Kopf voran)	xx	x	
Passives driften aus Mesokosmen (Schwanz voran)		x	xx
VERHALTEN & FLIEßGESCHWINDIGKEIT			
Such nach Refugien / strömungsberuhigten Zonen		xx	x
Schwimmen in unmittelbarer Nähe zum Sediment		xx	xx
Ausweichen in den Sedimentlückenraum (Hyporheus)		x	xx

Tabelle 17: Übersicht der Verhaltenskategorien für die drei Phasen: Adaptionszeit (AZ), Up-ramping (UR) und Peak (P).

8 Diskussion

8.1 Versuchsanordnung 1: Strandung

8.1.1 Diskussion der Validierung

Wie zu Beginn erwähnt, wurde das Versuchsdesign durch das erfahrene Versuchsteam bereits weitgehend optimiert. Die Adaptionszeit kann als ausreichend betrachtet werden, denn schon nach der Hälfte der AZ kommt es zu einer deutlichen Reduktion der relativen Driftraten. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Fische an die Bedingungen in den Rinne akklimatisiert haben. Weiters ist zu erwähnen, dass das standardisierte Clearing ausgereift ist und sehr verlässliche Resultate liefert. Die Clearingmethode erlaubt es im Mittel über 98 % der Fische wieder zu fangen. Mit solch hohen Wiederfangraten können die berechneten Strandungsraten als sehr verlässlich angesehen werden. Schließlich unterscheiden sich die Rinnen nicht signifikant hinsichtlich ihrer Clearingraten, auch das bedeutet, dass ein systematischer Fehler hinsichtlich der berechneten Strandungsraten weitgehend auszuschließen ist. Die Tatsache, dass die Wassertemperatur über den ganzen Versuchszeitraum hinweg konstant gehalten werden konnte, ist weitgehend dem Design der Anlage zu verdanken (Wasser aus Tiefen- und Oberflächenleitung kann gemischt werden). Konstante Temperaturen erlauben Versuchsreihen über mehrere Wochen und ermöglichen es die Experimente sehr flexibel durchzuführen.

8.1.2 Diskussion der Strandungsversuche

Strandung ist neben Drift eine der wesentlichsten negativen Folgen von Hydropeaking für Fische. Strandung bedeutet, dass die Fische vom Hauptwasserkörper abgeschnitten werden, sich im Sedimentlückenraum verkriechen (Irvine et al., 2009) oder am Sediment liegen bleiben und verenden, sofern sich der Wasserspiegel nicht schnell wieder hebt. Die letalen Auswirkungen von Strandung auf Jungfische sind dabei gut dokumentiert (Schmutz et al., 2014). Strandung, speziell die Strandung von Jungfischen, spielt generell in der Bewertung der Auswirkung von Schwallbetrieb eine

große Rolle (Auer et al., 2014; Bradford, 1997; Fohler, 2013; Hauer et al., 2014; Schmutz et al., 2013).

Die Hypothese dieser Arbeit bezieht einen morphologischen Aspekt in die Diskussion der Strandung mit ein. Juvenile Äschen leben in ihrem natürlichen Habitat, in Gewässern des Hyporhithral, oft an Schotterbänken. Sie nutzen die Flachwasserzonen über Schotterbänken, denn dort herrschen günstige Bedingungen und niedrige Fließgeschwindigkeiten (Riley et al., 2006; Sempeski and Gaudin, 1995b). Diese Schotterbank-Ufer können sehr geringe Neigungen aufweisen (Hauer et al., 2014). Bei steigendem Wasserspiegel folgen Larven und Juvenile der Wasseranschlagslinie um so konstant in Zonen mit geringer Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe zu bleiben. Zieht sich das Wasser danach schnell zurück (je nach Abstiegsgeschwindigkeit) können Fische auf der Schotterbank bzw. in deren Interstitial stranden. Je flacher die Schotterbank-Querneigung, umso schneller zieht sich, bei gleicher Abstiegsgeschwindigkeit, die Wasseranschlagslinie zurück. Dementsprechend kommt es bei geringerer Schotterbank-Neigung zu höherem Strandungsrisiko.

Die Ergebnisse zeigen einen deutlichen Effekt der Schotterbank-Neigung: beim Vergleich zweier Querneigungen haben flachere Schotterbänke signifikant höhere Strandungsraten. Das Strandungsrisiko auf flachen Schotterbänken ist bei Nacht noch ausgeprägter. Vor allem für die flache Schotterbank-Neigung von 2% konnte gezeigt werden, dass die Strandungsraten in der Nacht signifikant höher sind als bei Tag. Das kann einerseits mit der optischen Orientierung der Äschen im Gewässer als auch mit diurnalen Verhaltensunterschieden der Organismen erklärbar sein. Möglicherweise fällt Äschen die Orientierung bei Nacht schwerer, was in Stresssituationen, hervorgerufen durch einen plötzlich abfallenden Wasserspiegel, zu vermehrter Strandung führen kann. Die zweite Möglichkeit ist, dass sich Äschen nachts prinzipiell anders verhalten als tagsüber, beispielsweise sehr ufernahe am Gewässergrund ruhen. Dazu gibt es Hinweise in der Literatur bzw. konnte dieses Verhalten in Versuchen im Jahr 2013 beobachtet werden (Fohler, 2013). Allerdings wurden die meisten Habitat- und Verhaltensstudien zu diesem Thema bei Tageslichtbedingungen durchgeführt. Sichere Daten zum Verhalten in der Nacht gibt es also nicht. Ein solches Ruheverhalten könnte das Strandungsrisiko jedoch erheblich steigern, da die Tiere weit von der immer durchflossenen Tiefenrinne entfernt sind und durch ein geringeres Aktivitätsniveau möglicherweise später und

langsamer reagieren. Vorangegangene Experimente zur nächtlichen Strandung zeigen auch erhöhte Strandungsraten in der Nacht (Auer et al., 2014; Fohler, 2013; Schmutz et al., 2013). Eine endgültige Erklärung für die hohen nächtlichen Strandungsraten kann aber nicht geliefert werden.

Es kann resümiert werden, dass eine schnelle Absenkung des Wasserspiegels in der Nacht (wie z.B. durch Hydropeaking verursacht) eine besondere Gefahr für junge Äschenstadien darstellt. Bei einem einzigen Abstiegsereignis kommt es auf der flachen Schotterbank (2 %) in dieser Studie zu mittleren Strandungsraten von über 50 %, was dramatische Auswirkungen auf selbsterhaltende Populationen befürchten lässt. Die Ergebnisse legen nahe, dass Hydropeaking großen Schaden an der Fischpopulation anrichten kann. Natürliche Fließgewässer mit flachen Schotterufern sind ideale Jungäschen-Habitate, die dort lebenden Larven und Juvenile sind aber einem großen Strandungsrisiko ausgesetzt. Tuhtan et al. (2012) zeigen in einem Modell, analog zu den experimentellen Ergebnissen dieser Studie, deutlich erhöhte Strandungsrisiken an flachen geomorphologischen Strukturen.

Generell können SRM (Strandungs-Risiko-Modelle) das Strandungsrisiko auf einer größeren Skala modellieren. Es konnte in einer Studie für Bachforellen gezeigt werden, dass das Strandungsrisiko für unterschiedliche Schotterbank-Typen verschieden ausfällt, dass das Sunk/Schwall-Abflussverhältnis dieses Risiko beeinflusst, sowie die mikrotopographische Rauigkeit und die Korngrößenverteilung eine gewichtige Rolle spielen (Hauer et al., 2014). In vielen naturbelassenen Gewässern kommt noch hinzu, dass durch große Heterogenität auch Muldensituationen häufig sind, die weitere „Strandungsfallen“ für juvenile Äschen darstellen (Auer et al., 2014). In kanalisierten Gewässern mit steilen, verbauten Ufern stellt die Strandung ein wesentlich geringeres Risiko dar, allerdings sind solche Gewässer prinzipiell ungeeignete Lebensräume und bieten weniger geeignete Laichhabitate (Freeman et al., 2001; Nykanen, 2002; Sempeski and Gaudin, 1995a). Weiters wird die Brut durch hohe Fließgeschwindigkeiten im Schwall sehr schnell verdriftet (siehe 7.2.2 Drift in Mesokosmen (quantitativ)). Ergebnisse von Schmutz et al (2014) unterstützen die Ergebnisse anderer Studien, dass Abstiegs geschwindigkeiten >15 cm/h, bei einem Auftreten von mehr als 20 mal jährlich, sehr wahrscheinlich der Hauptgrund für die Verschlechterung von Fischgemeinschaften

darstellen. In naturnahen Fließgewässern verschlechtert sich der ökologische Status mit steigenden Abstiegsgeschwindigkeiten. Bei kanalisierten Flüssen sind die Fischgemeinschaften bereits stark degradiert, unabhängig von etwaigen Abstiegsgeschwindigkeiten und Schwallhäufigkeiten. Es muss also beachtet werden, dass die Effekte von Hydropeaking nur mit einem integrativen Ansatz gemildert werden können. Einerseits müssen die hydrologischen Effekte des Hydropeakings, andererseits aber auch flussmorphologische Aspekte für eine Verbesserung des ökologischen Zustands miteinbezogen werden (Schmutz et al., 2014).

8.2 Versuchsanordnung 2: Mesokosmen-Experimente zu Drift

8.2.1 Diskussion der Validierung

An der HyTEC-Versuchsanlage wurden bisher noch nie Mesokosmen in dieser Form für Driftexperimente eingesetzt. Die neu entwickelten Boxen bieten umfangreiche Vorteile für die Erforschung kleinskalierter Fragestellungen zum Thema Hydropeaking. Die Ergebnisse dieser Pilotversuche bilden eine Grundlage für nachfolgende Forschungsdesigns und geben einen ersten Einblick in die Funktionsweise der Mesokosmen.

Habitateigenschaften: Ein Habitat definiert sich einerseits über abiotische Parameter (Fließgeschwindigkeit, Sedimentzusammensetzung, Wassertiefe, Temperatur etc.) und andererseits über biotische Parameter (Nahrungsverfügbarkeit, Räuberdruck, Individuendichte etc.). In einem experimentellen Versuchsansatz, in dem ein solches Habitat künstlich geschaffen wird, müssten möglichst alle diese Parameter miteinbezogen werden. Obwohl die Mesokosmen eine künstliche Simulation einer Schotterbank darstellen, ist es doch gelungen, sehr naturnahe Verhältnisse herzustellen. Moderate Driftraten in der AZ (Mittelwert = 18 %, Stabw. = $\pm 9,1$ %) zeigen, dass die Versuchsorganismen grundsätzlich die Mesokosmen hinsichtlich ihrer biotischen und abiotischen Faktoren als Habitat annehmen (Abbildung 25). Weiters indizieren diese moderaten Driftraten, dass es ab Ende AZ1 höchstwahrscheinlich zu keiner dichteabhängigen Drift kommt. Für den ersten Teil der Adaptionszeit (die ersten 15 min)

kann dichteabhängige Drift jedoch nicht ausgeschlossen werden. Dichteabhängiges Driftverhalten wurde von einigen Autoren für junge Äschen beschrieben (Greenberg et al., 1996; Sempeski and Gaudin, 1995b). Bei vorangegangenen Versuchen in den Rinnen der HyTEC-Anlage wurde dichteabhängiges Driftverhalten vermutet, dort wurden bei zu hohen Fischdichten mittlere Driftraten von 50 % während der Adaptionszeit gemessen (Fohler, 2013). Die Driftraten in den Mesokosmen liegen deutlich niedriger. Die anfänglich hohen Driftraten in den Mesokosmen während der Phase AZ1 könnten auch auf den Vorgang des Besatzes und die Akklimatisierung im neuen Habitat zurückzuführen sein, sie müssen nicht zwangsläufig dichtebedingt sein.

Nach der Adaptionszeit sinken die Driftraten auf ein sehr niedriges Niveau von durchschnittlich unter 5 % (Abbildung 25), ein Niveau das auch aus anderen Driftexperimenten als Hintergrunddriftrate anzusehen ist (Fohler, 2013). Das Habitat wird also auch längerfristig, zumindest für die Dauer eines Versuches, angenommen. Es ist bekannt, dass sich Äschenhabitate neben Sedimentzusammensetzung und Fließgeschwindigkeit über die Tiefe der Wassersäule definieren lassen. Mit steigender Fischgröße benötigen Äschen eine tiefere Wassersäule (Nykanen and Huusko, 2003). Vorversuche im Rahmen dieser Arbeit in den Mesokosmen haben gezeigt, dass juvenile Äschen bei einer Wassersäule < 6 cm zu großen Zahlen aktiv ausdriften. Durch eine geringe Änderung der Wassertiefe auf rund 8 cm (Mittelwert = 7,89 cm, Stabw. = 1,23 cm) konnte diese Drift stark verringert werden und geeignete Habitatbedingungen hergestellt werden. Bei dieser Art von Mesokosmosversuchen ist also zu beachten, dass die Wassertiefe den Mindestanforderungen der größten Fischklasse entspricht. In diesem Fall konnten so für beide Altersklassen beinahe idente Driftraten erzielt werden, was die Ergebnisse sehr gut vergleichbar macht. Trotzdem muss angemerkt werden, dass die Größe der Versuchsfische in den Mesokosmen nach oben hin mit Sicherheit limitiert ist. Bei größeren Fischen können die Boxen kaum mehr als naturnahes Habitat betrachtet werden. Obwohl das obere Größenlimit im Rahmen dieser Versuche nicht abgeschätzt wurde, sind die Mesokosmen grundsätzlich eher für frühe (kleine) Fisch-Stadien geeignet.

Ein weiterer Aspekt ist die Futterverfügbarkeit: da das Wasser für die Versuche direkt aus dem Lunzer See entnommen wird, enthält es Seeplankton, was von den Fischen dieser Altersstadien als Nahrung angenommen wird. Es handelt sich um

dasselbe Plankton, das den Fischen auch während der Hälterung in den Aufzuchtbecken gefüttert wurde. Die Auswertung der Videoversuche untermauert, dass Fische beider Altersklassen Fressverhalten in dem Mesokosmen zeigen. Im Gegensatz zu vielen artifiziellen Habitaten herrschen in den Mesokosmen also Bedingungen mit Nahrungsverfügbarkeit. Fressverhalten kann auch als Zeichen der Akklimatisation interpretiert werden sowie als Zeichen dafür, dass die Versuchsorganismen keinem direkten Stress (unpassenden physikalischen Bedingungen etc.) ausgesetzt sind. Weiters konnte in den Videoversuchen gezeigt werden, dass sich die Äschen während der Adaptionszeit über die gesamte Wassersäule verteilen. Dies ist ein weiteres Anzeichen für natürliches Verhalten, das auch im Freiland bei jungen Äschen beobachtet wurde (Nykanen and Huusko, 2003).

Es muss allerdings immer angemerkt werden, dass die Mesokosmen nur den Ausschnitt eines Habitats darstellen, hier den Ausschnitt einer Schotterbank. Allerdings haben die Äschen hier keine laterale Ausweichmöglichkeit, wie das bei Uferschotterbänken normalerweise der Fall ist. Strandungsphänomene und laterale Migration bei steigendem Wasserspiegel können damit in diesen Boxen nicht simuliert werden (dafür gibt es in der HyTEC-Anlage aber die größer skalierten Rinnen). Studien mit dem Ansatz der Habitatmodellierung zeigen, dass sich die Habitateignung ein und desselben Standorts mit Veränderung der Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit ändert (Freeman et al., 2001; Friedl and Naesby, 2014; Vehanen et al., 2003). Das ist auch für diese Versuche von Bedeutung, da im Schwall sowohl die Wassertiefe als auch die Fließgeschwindigkeit steigt. Mittels Videoversuchen konnte aber gezeigt werden, dass die Äschen in Phasen steigender Fließgeschwindigkeiten die Mesokosmen nicht aktiv verlassen, sondern unter größerem Schwimmaufwand versuchen, im Habitat zu verbleiben.

Effizienz: Ein großer Vorteil dieses Studiendesigns ist die hohe Effizienz mittels einer großen Zahl an Replikaten. Versuche in den Mesokosmen lassen sich wesentlich schneller und einfacher durchführen, als das bei größer skalierten Rinnen der Fall ist (Fohler, 2013; Rauch, 2014). Der Nachteil ist allerdings, dass die Boxen eben nur einen kleinen Ausschnitt des Habitats darstellen. Die fertig installierten Mesokosmen lassen sich problemlos von 2-3 erfahrenen Wissenschaftlern bedienen. Pro Durchgang können

3 Control-Replikate und 3 Treatment-Replikate generiert werden. Die Vorbereitungszeit für ein Experiment beträgt etwa eine Stunde, die Auszählung erfolgt noch während der Experimentdurchführung. Das Clearing ist mit einer einmaligen Sediment-Durchspülung erledigt, das heißt, es ist kein Elektrofischen erforderlich. Die Mesokosmen liefern bei einem Durchgang sowohl quantitative (absolute Driftzahlen) also auch qualitative Daten (Videomaterial). Letzteres kann für Verhaltensstudien oder zur Validierung der Versuchsanordnung herangezogen werden. Das Versuchsdesign ist beliebig veränderbar, da Sediment, Neigung, Durchfluss und Anzahl der besetzten Individuen beliebig variiert werden können. Wichtig ist, dass ein durchdachtes Forschungsdesign vorliegt, sowie ausreichend viele Versuchsorganismen zur Verfügung stehen. Im Rahmen dieser Versuche stand sogar eine eigene Aufzuchtanlage zur Verfügung, ein großer Vorteil für die Versuchsdurchführung. Ein weiterer wichtiger Vorteil der Mesokosmen besteht darin, dass die Versuche (wetterunabhängig) innerhalb weniger Tage bis Wochen durchgeführt werden können. Das heißt, man kann das kurze Zeitfenster, in dem mit Larven experimentiert werden kann, optimal nutzen. Falls ein geeignetes Studiendesign gefunden wird, können in den Mesokosmen auch Experimente mit mehreren Organismengruppen gleichzeitig durchgeführt werden. Der prinzipielle Aufbau der im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Versuche erlaubt es, Fisch- und Makrozoobenthosversuche gleichzeitig durchzuführen, allerdings erschwert das die Auswertung der Fischversuche erheblich. Bei Versuchen mit Makrozoobenthos müssen die Organismen nach der Entnahme aus den Driftnetzen fixiert werden, was die Auszählung noch während dem Experimentdurchlauf verunmöglicht.

Validität: Die Mesokosmen erlauben es valide Ergebnisse zu erzielen und sind untereinander sehr gut vergleichbar. Die Bedingungen hinsichtlich der abiotischen Parameter sind für alle Mesokosmen ident. Die Szenarien Control und Treatment können immer gleichzeitig durchgeführt werden, damit wirken auf beide Szenarien die gleichen äußeren Einflüsse (Wetter, Wassertemperatur, Wasserchemismus, Planktonverfügbarkeit etc.). Nach jedem Versuch kann das Szenario zwischen den Rinnen gewechselt werden, was etwaige Ungenauigkeiten ausgleichen würde. Die Boxen funktionieren prinzipiell als geschlossenes System, es konnten zwar nicht 100 % der Fische wiedergefangen werden, allerdings liegt die Wiederfangrate bei deutlich über

95 % (Mittelwert = 96,18 %; Stabw. = 3,81 %). Die Boxen weisen die gleiche Abflusscharakteristik, sehr ähnliche Adaptionszeitdrift- und Wiederfangmuster auf.

Nicht-invasive Forschung: Das hier behandelte Studiendesign zeichnet sich dadurch aus, dass den Fischen prinzipiell kein Schaden zugefügt wird. Die Fische werden vorsichtig besetzt, werden in die Driftnetzte gespült, werden anschließend in Kübeln ausgezählt und kommen schließlich in ein eigenes Rundstrombecken zur weiteren Beobachtung. Der Großteil der Fische übersteht das unbeschadet, einige wenige Fische können durch mechanische Beanspruchung in den Driftnetzen oder beim Auswaschen zu Schaden kommen. Grundsätzlich zeichnet sich das Studiendesign der Mesokosmen aber durch einen vorsichtigen und nicht-invasiven Umgang mit den Versuchsorganismen aus.

1.1.1 Diskussion der Driftexperiment (quantitativ)

Drift: Mit Beginn des Experiments, mit der Erhöhung des Abflusses im Szenario Treatment kommt es dort zu höheren Driftraten. Die Driftraten sind dabei in allen Phasen des Schwall im Mittel höher als im Szenario Control. Diese erhöhten Driftraten bei Hydropeaking stehen in Einklang mit Ergebnissen aus vorangegangenen Experimenten. Versuche in den wesentlich größer skalierten HyTEC-Rinnen mit Bachforellen (*Salmo trutta*) (Fohler, 2013; Rauch, 2014) und Äschen (*Thymallus thymallus*) (Auer et al., 2014; Fohler, 2013) kamen zu vergleichbaren Ergebnissen. Weiters beschreibt (Young et al., 2011) erhöhte Driftraten vor allem bei frühen Stadien. Auch in künstlichen Gerinnen wurden, allerdings bei Bach- (*Salmo trutta*) und Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*), erhöhte Driftraten bei Abflussteigerungen reproduziert (Thompson et al., 2011; Vehanen et al., 2000). Driftraten im Szenario Treatment unterscheiden sich in den Phasen UR2, P1 und P2 signifikant von denen der Control. Da das genau jene Phasen mit den höchsten Fließgeschwindigkeiten sind, muss davon ausgegangen werden, dass die Fließgeschwindigkeit in diesem experimentellen Setting der wesentliche Faktor zur Erklärung der erhöhten Driftraten darstellt. Im DR herrschen zu Beginn ebenfalls hohe Fließgeschwindigkeiten, allerdings sind die Driftraten in dieser Phase sehr gering. Eine mögliche Erklärung ist, dass zu Beginn dieser

Phase jene Fische die hohen Fließgeschwindigkeiten nicht standhalten bereits ausgedriftet sind, andere haben ein geschütztes Refugium gefunden oder sind in der Lage gegen die Strömung anzuschwimmen. Die Mesokosmen bilden ein sehr einheitliches Habitat beinahe ohne strömungsberuhigte Zonen (das Hyporheal ausgenommen). Fehlende Struktur und mangelnde Refugialräume führen dazu, dass die Fließgeschwindigkeit, zumindest für kleine Fischgrößen, der dominierende Parameter für Drift darstellt (Schmutz et al., 2014; Young et al., 2011).

Körpergröße der Fische: Mehrere Studien zeigen, dass vor allem die Fischbrut (Larven und frühe juvenile Stadien) stark auf Hydropeaking reagieren. Die frühen Entwicklungsstadien werden leicht verdriftet und somit durch Hydropeaking geschädigt. Später, mit zunehmender Fischgröße und Schwimmleistung geht die Drift bei Abflusssteigerungen deutlich zurück (Auer et al., 2014; Schmutz et al., 2013; Thompson et al., 2011; Young et al., 2011). Im Rahmen dieser Experimente wurde mit zwei verschiedenen Größenklassen gearbeitet. Beide Größenklassen sind frühen Entwicklungsstadien zuzuordnen. Grundsätzlich weisen beide Gruppen im Treatment hohe Driftraten auf. Fische beider Größenklassen werden also unter den gewählten Hydropeaking-Bedingungen noch sehr leicht verdriftet. Dass sich die Größenklassen hinsichtlich ihrer Driftraten_{EXP} signifikant unterscheiden zeigt jedoch, dass die Körpergröße in der Bewertung des Driftrisikos von Bedeutung ist. Die Larven weisen, auch wenn der Größenunterschied nicht sehr ausgeprägt ist (im Mittel 6,6 mm), für alle Phasen des Experiments (mit Ausnahme des DR) höhere mittlere Driftraten auf. Die Tatsache, dass im UR2 im Mittel mehr als die Hälfte aller sich in der Box befindlichen Larven ausdriften, kann ein Hinweis darauf sein, dass die Larven, im Gegensatz zu den etwas schwimmstärkeren Juvenilen, dem hydraulischen Stress nur relativ kurz standhalten können. Die hohe Streuung in dieser Phase (wie auch in P1) ist ein Hinweis darauf dass, trotz einheitlicher Versuchsbedingungen, neben dem hydraulischen Stress noch andere Parameter eine Rolle spielen. Dabei könnten sehr kleinskalierte strömungsberuhigte Zonen (kleine Mulden in den Mesokosmen, Strömungsschatten hinter einzelnen Steinen etc.), unterschiedliche Schwimmstärken innerhalb der Fisch-Größenklasse (bedingt durch Größen- bzw. Fitnessunterschiede innerhalb der Größenklasse) sowie individuelles Verhalten (rechtzeitige Migration in das hyporheische

Interstitial) eine Rolle spielen. Bei den Driftraten der etwas schwimmstärkeren Juvenilen ist ebenfalls eine hohe Streuung zu beobachten. Bei ihnen könnte neben den genannten Faktoren die Dauer der erhöhten Fließgeschwindigkeiten entscheidend für die Driftwahrscheinlichkeit sein. Die Drift steigt zwar mit der Erhöhung der Fließgeschwindigkeit an, das Maximum der relativen Driftraten wird aber erst nach einer Phase kontinuierlich hoher Fließgeschwindigkeit (P1) erreicht. Auf Videoaufnahmen ist zu erkennen, dass die Versuchsfische kurzfristig schnelle Strömungen tolerieren (z.B. im Up-ramping). Bei längeren ungünstigen Verhältnissen mit hoher Fließgeschwindigkeit kommt es jedoch zur Drift, wobei nicht alle Individuen zwangsläufig driften. Weiters zeigt sich, dass die Drift in den Phasen hoher Fließgeschwindigkeiten (z.B. UR2 bzw. P) passiv und nicht aktiv vonstattengeht. Die genannten Ergebnisse könnten darauf hindeuten, dass bei ungünstigen hydraulischen Bedingungen ein körpergrößenabhängiger Ausdauererfolg einen wesentlichen Parameter hinsichtlich der Driftwahrscheinlichkeit darstellt. Diese Interpretation kann mit Ergebnissen anderer Autoren gestützt werden, die zeigen, dass die Schwimmleistung ganz wesentlich von der Körperlänge eines Fisches abhängt (Arlinghaus and Wolter, 2003). Es soll darauf hingewiesen werden, dass statistische Tests nur für Gruppenvergleiche der Driftrate_{EXP} signifikante Ergebnisse liefern. Unterschiede in der Driftrate_{PHASE} sind trotz erheblicher unterschiedlicher Mittelwerte nicht signifikant. Wie erwähnt, weisen die Daten eine hohe Streuung auf und sind nicht normalverteilt, aufgrund der Datenlage war leider keine ANOVA möglich, so musste auf konservative paarweise Tests mit korrigiertem α -Fehler zurückgegriffen werden.

Anstiegsgeschwindigkeit: Der Faktor Anstiegsgeschwindigkeit umfasst eigentlich 2 Faktoren die entgegengesetzt wirken: 1) die Anstiegsgeschwindigkeit [cm/s] und 2) die Anstiegsdauer [min]. Da der Abfluss immer vom gleichen Baseflow (3 l/s) auf den gleichen Peakflow (15 l/s) erhöht wurde, bedeutet eine langsamere Anstiegsgeschwindigkeit immer eine längere Anstiegszeit. Die Ergebnisse zeigen, dass bei langsamerer Anstiegsgeschwindigkeit (längerer Anstiegsdauer) Driftraten signifikant höher sind als bei schneller Anstiegsgeschwindigkeit (kurzer Anstiegsdauer). Dies bedeutet, dass eine zeitnormalisierte Driftrate, eine Driftrate pro Minute (DPM) berechnet werden muss, um die Parameter getrennt betrachten zu können. Weiters

wurde P1 in die Betrachtung mit einbezogen: der Übergang von UR2 zu P1 ist eine kritische Phase, denn genau zu diesem Zeitpunkt werden der maximale Abfluss und damit die maximalen Fließgeschwindigkeiten erreicht. Obwohl die Driftnetze auf wenige Sekunden genau zum Ende des Up-rampings gewechselt wurden, könnten die Maximalgeschwindigkeiten möglicherweise kurz vor oder nach dem definierten Ende des Up-rampings eintreten. Grund dafür ist, dass die HyTEC-Anlage eher auf die Regelung großer Durchflüsse ausgelegt ist. Sollten Effekte bis in P1 reichen, so können diese auch erfasst werden.

Die Vergleiche der DPM zwischen den beiden Gruppen liefern keine signifikanten Ergebnisse. Aufgrund einer begrenzten Organismenverfügbarkeit während der Pilotstudie war die Stichprobengröße limitiert. Eine größere Anzahl an Versuchsdurchläufen könnte den Effekt wahrscheinlich deutlicher nachweisen. Für die erste Phase des Up-rampings herrscht in beiden Gruppen die beinahe selbe DPM. Erst im UR2 und im P1 sind für die Gruppe der schnellen Anstiegsgeschwindigkeit (0,5 cm/min) deutlich höhere DPM-Werte zu verzeichnen. Das legt den Schluss nahe, dass die Bedingungen im UR1 für die Versuchsorganismen annähernd gleich sind. Bei eher niedrigen Fließgeschwindigkeiten dürfte die Anstiegsgeschwindigkeit also kaum eine Rolle spielen. Steigen die Fließgeschwindigkeiten jedoch weiter an (UR2, P1), so zeigt die Anstiegsgeschwindigkeit einen Effekt auf die DPM. Die Gründe dieser erhöhten Drift bei schnellen Anstiegsgeschwindigkeiten sind jedoch unklar. Möglicherweise bleibt den Fischen bei einem schnellen Anstieg weniger Zeit für die Suche nach Refugialräumen – während sie bei langsam ansteigendem Abfluss mehr Zeit haben, solche strömungsberuhigten Zonen zu finden. Weiters muss bemerkt werden, dass die DPM für die Phase UR2 bei schneller Anstiegsgeschwindigkeit (0,5 cm/min) eine sehr hohe Streuung aufweist. Auch eine vorangegangene Arbeit stellte eine hohe Streuung der Driftraten bei schneller Anstiegsgeschwindigkeit (0,6 cm/min) fest (Fohler, 2013). Möglicherweise spielen für die Driftrate bei schnellem Up-ramping auch zufällige Variablen eine Rolle (z.B. der Aufenthaltsort der Organismen zu Up-ramping-Beginn, individuelles Verhalten während des Up-rampings, Schwarmverhalten etc.). Die Resultate indizieren grundsätzlich, dass die Anstiegsgeschwindigkeit und nicht die Anstiegsdauer einen Effekt auf die DPM ausübt.

Abschließend soll noch auf die Tendenz hingewiesen werden, dass schnelle Anstiegsgeschwindigkeiten vor allem bei Larven zu hohen zeitnormalisierten Driftraten führen. In Rahmen zukünftiger Experimente könnte mit einer etwas größeren Stichprobe geklärt werden, inwiefern die Anstiegsgeschwindigkeit insbesondere Larvendrift beeinflusst.

8.2.2 Diskussion Videoanalyse (qualitativ)

Möglichkeiten einer Videoanalyse: Die Driftversuche in diesen speziellen Mesokosmen sind eine Premiere im Rahmen der HyTEC-Versuche und haben darum auch Pilot-Charakter. Es ist wichtig zu überprüfen, ob die getroffenen Annahmen, an denen die Rahmenbedingungen für die Experimente festgemacht wurden, der Realität entsprechen. Die Videoanalyse bietet die Möglichkeit einer qualitativen Bewertung des experimentellen Settings, einer Evaluierung des jeweiligen Versuchsaufbaus. Daraus können sich Vorschläge ergeben wie man folgende Experimente weiter verbessern kann. Generell bieten die Boxen, durch die Plexiglaswände an ihren Enden, hervorragende Beobachtungs-Bedingungen. Es können damit schon während der Versuche die Vorgänge beobachtet werden, notfalls können Korrekturen vorgenommen werden. Gerade für Pilot-Versuche ist so ein direktes Monitoring sehr hilfreich.

Die Videoanalyse hat jedoch auch ihre Limitationen: Es kann nur jeweils ein begrenzter Abschnitt der 3 m langen Versuchsbox beobachtet werden, die Beobachtung des ganzen Mesokosmos ist mit der hier verwendeten Ausrüstung nicht möglich. Das heißt, dass mit diesem Versuchsaufbau nur ein Teil des Verhaltensspektrums abgebildet wird und man keinen Überblick über die Gesamtsituation im Mesokosmos erlangen kann. Durch die turbulenten Strömungsbedingungen bei Anstieg und Schwall kann nur seitlich in die Wassersäule gefilmt werden, das limitiert den Blickwinkel. Alternativ kann in der Box selbst eine Kamera (z.B. eine wasserdichte GoPro) installiert werden. Letzteres gibt aber nicht viel mehr Aufschluss, sondern ist nur eine Perspektivenänderung. Bei starken Algenblüten und sonstiger Trübung verschlechtert sich die Qualität der Videos erheblich. Frühe Larvenstadien sind nur bei optimalen Bedingungen gut zu filmen, da sie in der Wassersäule aufgrund ihrer geringen Größe schwer auszumachen sind. Mit der zur Verfügung stehenden Ausrüstung waren darüber

hinaus nur Videoaufnahmen bei Tageslicht möglich. Es ist wichtig festzustellen, dass eine quantitative Auswertung solcher Videoaufzeichnungen bei diesem Studiendesign und dieser Ausrüstung nicht sinnvoll ist. Einerseits aus zeitökonomischen Gründen, andererseits da die Driftzählung über die Driftnetzte viel effizienter und vor allem korrekter durchführbar ist. Die Kamera ist aber eine sinnvolle Ergänzung und dient als Kontrolle für die parallel in 6 Versuchsboxen durchgeführten Experimente.

Mesokosmen als Habitat: Videoaufnahmen während der Adaptionszeit zeigen ruhiges Schwimmverhalten, Nahrungssuche und Fressverhalten. Dieses ruhige und natürliche Verhalten ist ein gutes Indiz dafür, dass das angebotene Habitat den Ansprüchen der Äschen gerecht wird und angenommen wird. In ihrem natürlichen Habitat leben und schwimmen junge Äschen über die gesamte Wassersäule verteilt (Degerman et al., 2000; Nykanen and Huusko, 2003), auch das ist in der Adaptionszeit in den Mesokosmen zu beobachten. Dazu kommt die Tatsache, dass die Versuchsfische zum Großteil in den Mesokosmen verbleiben. Falls das Habitat unpassend wäre, könnten sie ohne weiteres stromab driften.

Die Adaptionszeit ist ein zentraler Teil in den Versuchen. Die Äschen kommen aus den Aufzuchtbecken in eine völlig neue und fremde Umgebung. Sollten sie sich dort nicht zurechtfinden, kann das die Versuche beeinflussen. Die Videos zeigen aber, dass die Äschen natürliches Verhalten (Nykanen and Huusko, 2003) an den Tag legen. Die 30-minütige Adaptionszeit scheint ausreichend für die Versuchsfische, um sich in ihrer neuen Umgebung zur akklimatisieren. Die Analyse zeigt auch, dass die Versuchsfische während den Versuchen kaum durch äußere Reize (Menschen, Schatten, Lärm etc.) gestört wurden. Das heißt, dass die Sichtschutzvorkehrungen ausreichend waren und die sorgfältigen Arbeitsabläufe und das vorsichtige Besetzen der Fische in die Boxen umgesetzt wurden.

Verhalten im Hydropeaking: Durch die Videoanalyse können deutliche Verhaltensunterschiede zwischen Adaptionszeit (Baseflow) und Peak (Peakflow) nachgewiesen werden. Die Fische legen in diesen beiden Phasen klar differenzierbare Verhaltensmuster an den Tag. Es ist möglich Adaptionszeit- und Peak allein am Verhalten der Fische zu unterscheiden. Der wesentliche Faktor für unterschiedliches

Verhalten ist dabei die Fließgeschwindigkeit. Während der Adaptionszeit herrschen ähnliche Bedingungen wie in natürlichen Jungfischhabitaten, was natürliches Verhalten der Versuchsfische zur Folge hat. Während der Phase des Peaks sind die Organismen großem hydraulischen Stress ausgesetzt. Die Änderungen im Fischverhalten können als Reaktion auf die veränderten hydraulischen Bedingungen gesehen werden.

Die Phase des Up-rampings (UR) stellt in Bezug auf das Fischverhalten eine Übergangsphase dar. Es konnten während des Up-rampings Verhaltensweisen belegt werden, die im Peak nachgewiesen wurden als auch solche die als kennzeichnend für die Adaptionszeit gelten. Es ist auffällig, dass in den frühen Phasen des Anstiegs kaum passive Drift festzustellen ist. Möglicherweise sind zu Beginn des UR die Fließgeschwindigkeiten einfach zu gering, um passive Drift zu erzwingen. Grundsätzlich versuchen die Fische sowohl hydraulischen Stress zu vermeiden (Aufsuchen von Refugien) als auch im Habitat zu verbleiben. Sie kämpfen gegen hohe Fließgeschwindigkeiten an und gehen nicht aktiv in die Drift. Das macht es wahrscheinlich, dass die erhöhten Driftraten im Treatment auf hydraulischen Stress und damit auf das Treatment Hydropeaking zurückzuführen sind. Wie aus der Videoanalyse hervorgeht, müssen Fische im UR sowie im P ihre Schwimmgeschwindigkeit erhöhen. Sie schwimmen mit gesteigerter Schwimmgeschwindigkeit bzw. kurze Strecken mit Sprintgeschwindigkeit. Letztere scheint im Schwall dann zum Einsatz kommen, wenn der Fisch mit gesteigerter Schwimmgeschwindigkeit (Jens et al., 1997) nicht mehr gegen die Strömung anzukommen vermag. Aus den Untersuchungen von Jens et al. (1997), die bei Fischen zwischen vier Schwimmgeschwindigkeiten unterscheiden, geht hervor, dass Fische solch hohe Schwimmgeschwindigkeiten nur kurze Zeit durchhalten können (Sprintgeschwindigkeiten < 20 s) und vor allem nach Sprintphasen Erholung benötigen („Erholungsschwimmen“).

Höhere Schwimmgeschwindigkeiten führen zur Ermüdung der Muskeln. Durch Ermüdungserscheinungen überschreitet möglicherweise bei einzelnen (zuerst kleineren Individuen) die Strömungsgeschwindigkeit deren Schwimmleistung (Heggenes and Traaen, 1988), die Fische werden abgetrieben. Warum die Versuchsorganismen unter den Stressbedingungen des Schwalls nicht aktiv driften und passive Drift zu vermeiden suchen, kann nicht endgültig beantwortet werden. Es könnte aber mit den negativen

Diskussion

und letalen Auswirkung von Drift (wie in 4.2 Drift und Strandung junger Äschen beschrieben) zusammenhängen.

Ein Detail im Verhalten der Versuchsfische soll dabei nicht unerwähnt bleiben: es gelang immer wieder einzelnen Individuen im Lückenraumsystem der Mesokosmen den Schwall zu überdauern. Diese Strategie ist eher von Forellen (Fohler, 2013) und nicht von den kaum substratgebundenen Äschen bekannt. Dieses Verhalten wurde aber über viele Versuche hinweg beobachtet und stellt wahrscheinlich eine Form der Reaktion auf erhöhte Fließgeschwindigkeiten dar.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Begriffserklärung Hydropeaking.	2
Tabelle 2: Haupt-Effekte von Schwallbetrieb auf Fische. Ein Zusammenstellung aus mehreren Quellen nach Schmutz et al. 2014.	3
Tabelle 3: Forschungshypothesen.	7
Tabelle 4.: Habitatwahl und ontogenetischer Shif bei der <i>Thymallus thymallus</i> . Grafik nach Sempeski und Gaudin, 1995. Optimum(>50 %); Maximum(>95 %). Die Angaben für Adulte (20-50 cm Körpergröße) nach (Greenberg et al., 1996).	18
Tabelle 5: Größe und Alter der Versuchsfische für Versuchsanordnung 1.	23
Tabelle 6: Größe und Alter der Versuchsfische für Versuchsanordnung 2.	23
Tabelle 7: Kurzcharakteristik der Versuchsanordnung 1.	25
Tabelle 8: Beschreibung der Versuchsgerinne der HyTEC-Anlage. Ausführliche Informationen zur Korngrößenverteilung beider Rinnen befinden sich im Anhang.	27
Tabelle 9: Hydrologische Beschreibung der Versuchsgerinne 1 und 2.	30
Tabelle 10: Beschreibung Versuchsgerinne 1.	30
Tabelle 11: Beschreibung Versuchsgerinne 2.	31
Tabelle 12: Beschreibung der Mesokosmen.	36
Tabelle 13: Mittlere Fließgeschwindigkeiten [m/s] für drei Wassertiefen und die gesamte Wassersäule.	39
Tabelle 14: Kurzcharakteristik der Versuchsanordnung 2.	42
Tabelle 15: Signifikante Gruppenvergleiche durch paarweise Tests. Faktoren: Tageszeit und Schotterbank-Querneigung. Es wurden nur die signifikanten Ergebnisse der paarweisen Vergleiche angegeben.	54
Tabelle 16: Signifikante Gruppenvergleiche durch paarweise Tests. Faktoren: Szenario und Fischgröße. Mann-Whitney U-Test mit angepassten Signifikanzen nach Bonferroni. Der Vollständigkeit halber werden alle signifikanten Ergebnisse angeführt.	65
Tabelle 17: Übersicht der Verhaltenskategorien für die drei Phasen: Adaptionszeit (AZ), Up-ramping (UR) und Peak (P).	76

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der HyTEC-Versuchsanlage (mit Zuleitung und Lunzer See). (Zeiringer, B. 2013).....	11
Abbildung 2: Ansicht Mischbecken der Rinne 1.	12
Abbildung 3: Ansicht Versuchsrinnen und Schemaskizze der Rinnengeometrie. (Schemaskizze: Zeiringer, B. 2013)	13
Abbildung 4: Mesokosmen der Versuchsrinne 2.....	14
Abbildung 5: Foto einer ausgewachsenen Äsche mit typischer Rückenflosse, der sogenannten Fahne.	16
Abbildung 6: Äschenlarven 10 Tage nach Schlupf.	17
Abbildung 7: Rundstrombecken zur Aufzucht der Äschenlarven in der HyTEC- Versuchsanlage.....	22
Abbildung 8: Äschenlarven in der Wassersäule des Aufzuchtbeckens, 10 Tage nach dem Schlupf.	22
Abbildung 9: Fisch-Größenklassen im Vergleich: Äschenlarven und juvenile Äschen.....	24
Abbildung 10: Versuchsablaufschemata der Versuchsanordnung 1, Strandung.....	26
Abbildung 11: Fließgeschwindigkeitsverteilung in Versuchsrinne 1 (Schotterbank- Querneigung von 2%) bei einem Abfluss von 25 l/s (Sunk) bzw. 125 l/s (Schwall). Wassertiefen beziehen sich auf Abstich von OK Holzschlacht. Einheiten Distanz [m], Fließgeschwindigkeit in [m/s].....	31
Abbildung 12: Fließgeschwindigkeitsverteilung in Versuchsrinne 2 (Schotterbank- Querneigung von 5%) bei einem Abfluss von 25 l/s (Sunk) bzw. 125 l/s (Schwall). Wassertiefen beziehen sich auf Abstich von OK Holzschlacht. Einheiten Distanz [m], Fließgeschwindigkeit in [m/s].....	32
Abbildung 13 A-D: Die Mesokosmen aus verschiedenen Perspektiven. Die Pfeile geben die Fließrichtung des Wassers in den Mesokosmen an. Bei Abbildung D ist die rote Führungsschiene ist gut zu sehen. Das zweite Driftnetz hängt seitlich am ersten Driftnetz, das gerade im Einsatz ist.	38
Abbildung 14: Fließgeschwindigkeits-Querprofil der Mesokosmen bei einem Abfluss von 10 l/s (Baseflow-Bedingungen). Y-Achse = Tiefe der Wassersäule [m], X-Achse = Position im Querprofil der Mesokosmen [m].	40
Abbildung 15: Fließgeschwindigkeits-Querprofil der Mesokosmen bei einem Abfluss von 50 l/s (Peakflow-Bedingungen). Y-Achse = Tiefe der Wassersäule [m], X-Achse = Position im Querprofil der Mesokosmen [m].	41
Abbildung 16: Versuchsablaufschemata der Versuchsanordnung 2, Drift.	43
Abbildung 17: Versuchsablaufschemata der Versuchsanordnung 2. Alle Messpunkt im Experimentverlauf sind mit einem hellblauen Karo dargestellt. AZ1 = Adaptionszeit 1 AZ2 = Adaptionszeit 2 UR1 = Up-ramping 1 UR2 = Up-ramping 2 P1 = Peak 1 P2 = Peak 2 DR = Down-ramping Rest = Rest.	45
Abbildung 18 A,B: Links (A) Blick durch Plexiglaswand in die Wassersäule der Versuchsbox. Rechts (B): Kameraposition bei Versuch (weißes Oval).....	49
Abbildung 19: Entwicklung der Driftrate in der Adaptionszeit: die Adaptionszeit wurde in eine frühe Adaptionszeit (AZ_1) und eine späte Adaptionszeit (AZ_2) geteilt.....	51

Abbildung 20: Entwicklung der Wassertemperatur über den gesamten Versuchsablauf. Punkte stellen Messtemperatur zum Zeitpunkt eines Einzelversuchs dar. Durchgezogene Linie = Mittelwert, Unterbrochene Linie = Standardabweichung. . 52	52
Abbildung 21: Validierung des Versuchsdesigns: Vergleich der beiden Versuchsgerinne hinsichtlich der erzielten Wiederfangraten. Beachte: die y-Achse zeigt nur den Bereich zwischen 80 -100 % Wiederfangrate. 53	53
Abbildung 22: Paarweiser Vergleich. Faktoren: Tageszeit und Schotterbank-Querneigung. Die x-Achse zeigt die Gruppen, wobei der Buchstabe N/T die Tageszeit (N=Nacht, T=Tag) angibt und die Zahl 2/5 die Schotterbank-Neigung in [%]. Die Signifikanz der paarweisen Vergleiche ist in der obigen Tabelle 14 dargestellt. 54	54
Abbildung 23: Entwicklung der Wassertemperatur in den Mesokosmen über den gesamten Versuchszeitraum. Kreise sind die einzelnen Versuche, durchgezogene Linie ist der Mittelwert (13,95 °C), grau unterbrochene Linie zeigt die Standardabweichung ($\pm 1,12$ °C). 55	55
Abbildung 24: Wiederfangrate für beide Szenarien: Control & Treatment. 56	56
Abbildung 25: Entwicklung der Driftraten über den gesamten Experimentverlauf für das Szenario Control. 57	57
Abbildung 26: Driftraten für die beiden Fisch-Größenklassen im Szenario Control: Äschenlarven und juvenile Äschen. 58	58
Abbildung 27: Driftrate der Adaptionszeit für beide Größenklassen. 59	59
Abbildung 28: Driftrate während des gesamten Experiments (exklusive der Adaptionszeit) im Szenario Control für beide Größenklassen. 59	59
Abbildung 29: Wiederfangquoten über alle Versuche für die einzelnen Versuchsboxen. 60	60
Abbildung 30: Driftrate der Adaptionszeit für die einzelnen Versuchsboxen über alle Szenarien. 61	61
Abbildung 31: Driftraten über den gesamten Experimentverlauf (UR,P,DR) im Vergleich zwischen Treatment und Control. 62	62
Abbildung 32: Entwicklung der Driftrate im Szenario Control. 63	63
Abbildung 33: Entwicklung der Drift im Szenario Treatment. Driftrate _{PHASE} 64	64
Abbildung 34: Driftrate _{PHASE} der beiden Szenarien im Vergleich über alle Phasen des Experiments. 65	65
Abbildung 35: Driftrate _{EXP} für die beiden Fisch-Größenklassen für beide Szenarien. 66	66
Abbildung 36: Driftraten im Szenario Treatment für alle Phasen (Driftraten _{PHASE}). Aufgeschlüsselt für den Faktor Körpergröße (Larven Juvenile). Die Fehlerbalken der Gruppe „Juvenile“ sind rot hinterlegt. 67	67
Abbildung 37: Driftrate _{PHASE} bei langsamer und schneller Anstiegsgeschwindigkeit für die Phase UR in Treatment-Versuchen. 68	68
Abbildung 38: Driftraten _{PHASE} pro Minute bei unterschiedlicher Anstiegsgeschwindigkeit (0,1 bzw. 0,5 cm/min) für die erste (UR1) und die zweite Hälfte des Up-rampings (UR2) sowie die erste Hälfte des Schwall (P1). 69	69
Abbildung 39: Driftraten _{PHASE} pro Minute im Verlauf des Experiments: Für zwei Treatment Gruppen mit unterschiedlicher Anstiegsgeschwindigkeit (0,1 0,5 cm/min). Die Fehlerindikatoren der Gruppe „Up-Ramping_0,1“ sind rot hinterlegt. 70	70
Abbildung 40: Driftraten _{PHASE} pro Minute im Experimentverlauf: Gruppenbildung nach Faktoren Anstiegsgeschwindigkeit (0,1 0,5 [cm/min]) und Körpergröße (Larven Juvenile). 71	71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 41 A-F: Fische in der Adaptionzeit. Weiße Ovale weisen auf Fische in der Wassersäule hin.....	72
Abbildung 42 A-D: Äschen nützen den Sedimentkörper als Refugium bei hohen Fließgeschwindigkeiten. Weiße Kreise zeigen Äschenlarven im Sediment.	75

Literaturverzeichnis

[1]

R. Arlinghaus and C. Wolter, "Navigation impacts on freshwater fish assemblages: the ecological relevance of swimming performance," *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol. 13, no. 1, pp. 63–89, Mar. 2003.

[2]

S. Auer, N. Fohler, B. Zeiringer, S. Führer, and S. Schmutz, "Drift und Strandung von juvenilen Äschen und Bachforellen." Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern, 2014.

[3]

M. Baars, *Die Äsche: Thymallus thymallus*, 1. Aufl. Hohenwarsleben: Westarp Wissenschaften, 2001.

[4]

A. Bardonnnet, P. Gaudin, and H. Persat*, "Microhabitats and diel downstream migration of young grayling (*Thymallus thymallus* L.)," *Freshwater Biology*, vol. 26, no. 3, pp. 365–376, Dec. 1991.

[5]

C. Beiwl, H. Mühlmann, G. Ofenböck, F. Hasieberger, and W. Rodinger, "Atlas der natürlichen Seen Österreichs mit einer Fläche ≥ 50 ha Morphometrie - Typisierung - Trophie Stand 2005." Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 2008.

[6]

M. Bradford, "An experimental study of stranding of juvenile salmonids on gravel bars and in sidechannels during rapid flow decreases," *REGULATED RIVERS: RESEARCH & MANAGEMENT*, vol. 13, pp. 395–401, 1997.

[7]

J. Charmasson and P. Zinke, "Mitigation Measures Against Hydropeaking Effects." SINTEF Energy Research, 2011.

[8]

E. Degerman, I. Naslund, and B. Sers, "Stream habitat use and diet of juvenile (0+) brown trout and grayling in sympatry," *Ecology of Freshwater Fish*, vol. 9, no. 4, pp. 191–201, Dec. 2000.

[9]

J. Eberstaller, P. Pinka, S. Urbanek, F. Bebi, F. Fehr, R. Dreher, C. Moritz, A. Kaminitschek, and K. Lenz, "Trübung und Schwall Alpenrhein Einfluss auf Substrat, Benthos, Fische Teilbericht Fischökologie." Abteilung für Hydrobiologie, Fischereiwirtschaft und Aquakultur, 2001.

[10]

N. Fohler, "Experimente zu Drift und Strandung von Äschenlarven (*Thymallus thymallus* L.) in Schwallversuchsrinnen." Universität für Bodenkultur, 2013.

[11]

M. C. Freeman, Z. H. Bowen, K. D. Bovee, and E. R. Irwin, "Flow and Habitat Effects on Juvenile Fish Abundance in Natural and Altered Flow Regimes," *Ecological Applications*, vol. 11, no. 1, pp. 179–190, Feb. 2001.

[12]

J. Friedl and K. Naesby, "Habitateignung der HyTEC- Versuchsanlage sowie Einfluss von Schwall auf Wachstums- und Konditionsentwicklung von Jungäschen (*Thymallus thymallus*). " Universität für Bodenkultur, Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, 2014.

Literaturverzeichnis

[13]

L. Greenberg, P. Svendsen, and A. Harby, "Availability of microhabitats and their use by brown trout (*Salmo trutta*) and grayling (*Thymallus thymallus*) in the River Vojmån, Sweden," *Regulated Rivers: Research & Management*, vol. 12, no. 2–3, pp. 287–303, Mar. 1996.

[14]

A. Harby and M. Noack, "Rapid Flow Fluctuations and Impacts on Fish and the Aquatic Ecosystem," in *Ecohydraulics*, I. Maddock, A. Harby, P. Kemp, and P. Wood, Eds. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2013, pp. 323–335.

[15]

C. Hauer, G. Unfer, W. Graf, P. Holzappel, P. Leitner, and H. Habersack, "Grundlagenuntersuchung und Methodenentwicklung zur Bewertung des Wasserkraft-Schwalls bei unterschiedlichen Flusstypen," *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 2013.

[16]

C. Hauer, G. Unfer, P. Holzappel, M. Haimann, and H. Habersack, "Impact of channel bar form and grain size variability on estimated stranding risk of juvenile brown trout during hydropeaking," *EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS*, no. Earth Surf. Process. Landforms (2014), 2014.

[17]

W. Hauer, *Fische, Krebse, Muscheln in heimischen Seen und Flüssen: 115 Arten in über 350 Lebendabbildungen*. Graz; Stuttgart: Stocker, 2007.

[18]

J. Heggenes and T. Traaen, "Downstream migration and critical water velocities in stream channels for fry of four salmonid species," *Journal of Fish Biology*, vol. 32, no. 5, pp. 717–727, May 1988.

[19]

M. Hunter, "Hydropower flow fluctuations and salmonids: A review of the biological effects, mechanical causes, and options for mitigation.," *State Washington*, vol. Department of Fisheries, 1992.

[20]

R. L. Irvine, T. Oussoren, J. S. Baxter, and D. C. Schmidt, "The effects of flow reduction rates on fish stranding in British Columbia, Canada," *River Research and Applications*, vol. 25, no. 4, pp. 405–415, May 2009.

[21]

G. Jens, O. Born, P. Wondrak, K. Seifert, G. Mau, M. Kämmerer, P. Labatzki, R. Klupp, and R. Hohlstein, *Fischwanderhilfen: Notwendigkeit, Gestaltung, Rechtsgrundlagen*. Verb. Dt. Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler, 1997.

[22]

G. Jens, *Fischwanderhilfen: Notwendigkeit, Gestaltung, Rechtsgrundlagen*. Verb. Dt. Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler, 1997.

[23]

T. Johnston, M. Gaboury, R. Janusz, and L. Janusz, "Larval fish drift in the Valley River, Manitoba: influence of abiotic and biotic factors, and relationships with future year-class strengths," *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 52, no. 11, pp. 95–833, 1995.

[24]

M. Jungwirth, O. Moog, G. Haidvogel, S. Muhar, and S. Schmutz, *Angewandte Fischökologie an Fließgewässern*. Wien: Facultas, 2003.

Literaturverzeichnis

[25]

J. Mion, R. Stein, and E. Marschall, "River Discharge Drives Survival of Larval Walleye," *Ecological Applications*, vol. Vol. 8, no. 1, pp. pp. 88–103, Feb. 1998.

[26]

O. Moog, "Quantification of daily peak hydropower effects on aquatic fauna and management to minimize environmental impacts," *Regulated Rivers: Research & Management*, vol. 8, no. 1–2, pp. 5–14, May 1993.

[27]

S. Muhar, M. Schwarz, S. Schmutz, and M. Jungwirth, "Identification of rivers with high and good habitat quality: methodological approach and applications in Austria," *Hydrobiologia*, vol. Volume 422–423, no. Issue 0, p. pp 343–358, Apr. 2000.

[28]

A. Nagrodski, G. D. Raby, C. T. Hasler, M. K. Taylor, and S. J. Cooke, "Fish stranding in freshwater systems: Sources, consequences, and mitigation," *Journal of Environmental Management*, vol. 103, pp. 133–141, Jul. 2012.

[29]

M. Nykanen and A. Huusko, "Size-related changes in habitat selection by larval grayling (*Thymallus thymallus* L.)," *Ecology of Freshwater Fish*, vol. 12, no. 2, pp. 127–133, Jun. 2003.

[30]

M. Nykanen, "Suitability criteria for spawning habitat of riverine European grayling," *Journal of Fish Biology*, vol. 60, no. 5, pp. 1351–1354, May 2002.

[31]

B. Rauch, "Drift- und Strandungsversuche mit Bachforellenlarven (*Salmo trutta* f. *fario*).", Universität für Bodenkultur, 2014.

[32]

W. D. Riley, M. J. Ives, M. G. Pawson, and D. L. Maxwell, "Seasonal variation in habitat use by salmon, *Salmo salar*, trout, *Salmo trutta* and grayling, *Thymallus thymallus*, in a chalk stream," *Fisheries Management and Ecology*, vol. 13, no. 4, pp. 221–236, Aug. 2006.

[33]

S. Schmutz, T. H. Bakken, T. Friedrich, F. Greimel, A. Harby, M. Jungwirth, A. Melcher, G. Unfer, and B. Zeiringer, "Response of fish communities to hydrological and morphological alterations in hydropeaking rivers of Austria: Hydropeaking in alpine rivers," *River Research and Applications*, p. n/a–n/a, Aug. 2014.

[34]

S. Schmutz, R. Schinegger, S. Muhar, S. Preis, and M. Jungwirth, "Ökologischer Zustand der Fließgewässer Österreichs – Perspektiven bei unterschiedlichen Nutzungsszenarien der Wasserkraft," *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, vol. 62, no. 7–8, pp. 162–167, Aug. 2010.

[35]

S. Schmutz, N. Fohler, T. Friedrich, and W. Graf, "Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern: Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten." Wien: BMFLUW, 2013.

[36]

P. Sempeski and P. Gaudin, "Habitatselection by grayling -II. Preliminary results on larval and juvenile daytime habitats.," *Journal of Fish Biology*, no. 47, pp. 345–349, 1995.

[37]

P. Sempeski and P. Gaudin, "Habitat selection by grayling-I. Spawning habitats," *Journal of Fish Biology*, vol. 47, no. 2, pp. 256–265, Aug. 1995.

Literaturverzeichnis

[38]

L. C. Thompson, S. A. Cocherell, S. N. Chun, J. J. Cech, and A. P. Klimley, "Longitudinal movement of fish in response to a single-day flow pulse," *Environmental Biology of Fishes*, vol. 90, no. 3, pp. 253–261, Mar. 2011.

[39]

J. A. Tuhtan, M. Noack, and S. Wieprecht, "Estimating stranding risk due to hydropеaking for juvenile European grayling considering river morphology," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 16, no. 2, pp. 197–206, Feb. 2012.

[40]

T. Vehanen, P. L. Bjerke, J. Heggenes, A. Huusko, and A. Maki-Petays, "Effect of fluctuating flow and temperature on cover type selection and behaviour by juvenile brown trout in artificial flumes," *Journal of Fish Biology*, vol. 56, no. 4, pp. 923–937, Apr. 2000.

[41]

T. Vehanen, A. Huusko, T. Yrjana, M. Lahti, and A. Maki-Petays, "Habitat preference by grayling (*Thymallus thymallus*) in an artificially modified, hydropеaking riverbed: a contribution to understand the effectiveness of habitat enhancement measures," *Journal of Applied Ichthyology*, vol. 19, no. 1, pp. 15–20, Feb. 2003.

[42]

P. S. Young, J. J. Cech, and L. C. Thompson, "Hydropower-related pulsed-flow impacts on stream fishes: a brief review, conceptual model, knowledge gaps, and research needs," *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol. 21, no. 4, pp. 713–731, Dec. 2011.

[43]

"R." <http://www.r-project.org/>, 2014.

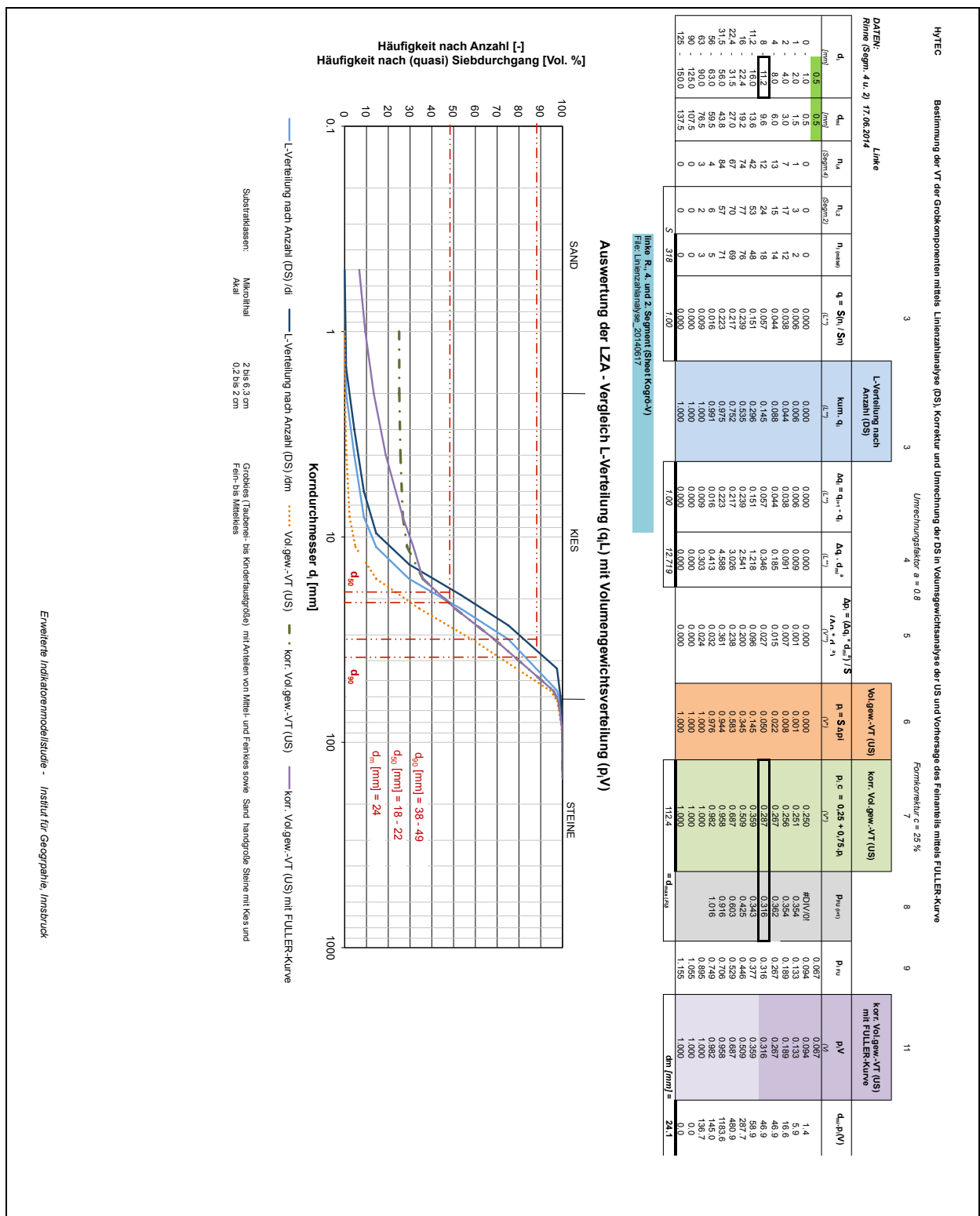
L-Verteilung nach Anzahl (DS)	Vol.gew. -VT (US)	korr. Vol.gew. -VT (US)	korr. Vol.gew. - VT (US) mit FULLER
0.00	0.00	25.00	6.442
0.00	0.00	25.00	9.110
1.23	0.23	25.17	12.883
3.68	1.02	25.76	18.220
11.96	4.90	28.67	25.766
27.61	14.58	35.94	30.487
49.08	32.10	49.08	35.938
76.69	61.64	71.23	49.077
98.16	95.50	96.63	71.234
98.77	96.74	97.55	96.626
99.69	99.01	99.26	97.554
100.00	100.00	100.00	99.255
100.00	100.00	100.00	100.000
100.00	100.00	100.00	100.000

1) Feinen Fraktionen werden wegen Potenzgesetz unterschätzt!

2) Daher Korrektur mit entsprechendem k-Wert aus Tabelle (FEHR 1987)

3) Ergänzung der Feinkomponenten mit Annäherung einer FULLER-Kurve

Rinne 2: Bestimmung der VT der Grobkomponenten mittels Linienzahlanalyse (DS), Korrektur und Umrechnung der DS in Volumsgewichtsanalyse der US und Vorhersage des Feinanteils mittels FULLER-Kurve.



L-Verteilung nach Anzahl (DS)	Vol.gew. -VT (US)	korr. Vol.gew. -VT (US)	korr. Vol.gew. - VT (US) mit FULLER
0.00	0.00	25.00	6.670
0.63	0.07	25.05	9.432
4.40	0.78	25.59	13.339
8.81	2.23	26.68	18.865
14.47	4.95	28.71	26.679
29.56	14.53	35.90	31.566
53.46	34.51	50.88	35.896
75.16	58.30	68.72	50.880
97.48	94.37	95.78	68.723
99.06	97.62	98.21	95.776
100.00	100.00	100.00	98.213
100.00	100.00	100.00	100.000
100.00	100.00	100.00	100.000
100.00	100.00	100.00	100.000

1) Feinen Fraktionen werden wegen Potenzgesetz unterschätzt!

2) Daher Korrektur mit entsprechendem k-Wert aus Tabelle (FEHR 1987)

3) Ergänzung der Feinkomponenten mit Annäherung einer FULLER-Kurve

Lebenslauf

Lebenslauf

Mag.phil. Franz Paul Horn, BA BSc

Zur Person

Geburtsdatum	18. Februar 1987 in Oberndorf (Salzburg)
Staatsbürgerschaft	österreichisch
Kontakt	franzpaulhorn@hotmail.com

Ausbildung

Sept. 2012 – 2015	Masterstudium der Biologie: Ökologie; Uni Wien
Sept. 2010 – 2014	Magisterstudium der Publizistik u. Kommunikationswissenschaft; Uni Wien
Sept. 2009 – 2012	Bachelorstudium Biologie; Uni Wien;
Sept. 2006 – Juni 2009	Bachelorstudium Medienmanagement; FH St. Pölten;
Feb. 2009 – Juli 2009	Auslandspraktikum (Robert Mitchell Plc. London)
Sept. 2007 – Dez. 2007	Auslandssemester (EBS European Business School, Paris)
Juni 2004	AHS-Matura: EB Privatgymnasium Borromäum (Salzburg)

Forschungserfahrung

2014/2015	Forschung zum Thema Schwallbetrieb an der HyTEC Versuchsanlage in Lunz am See (Masterarbeit)
2012	Forschung zum Thema Wiederbewaldung an der Tropenstation La Gamba in Costa Rica (Bachelorarbeit)

Kenntnisse

Deutsch – Muttersprache
Englisch – sehr gute Kenntnisse in Wort und Schrift
Französisch – gute Kenntnisse in Wort und Schrift
Norwegisch – fortgeschrittene Anfängerkenntnisse
Textverarbeitung, Internetkenntnisse, Microsoft Office,
Statistikkenntnisse

Praktika und Arbeitserfahrung

März – Juli 2014	Tutor an der Universität Wien
Juli / August 2010 & 2011	Østre gravlund; Oslo, Norwegen
Feb. 2009 – Juli 2009	Robert Mitchell Plc. Marketing Assistant; London, Großbritannien
Juli 2008 – Aug. 2008	Festspiele Salzburg
Okt. 2005 - Sept. 2006	Zivildienst als Sanitäter beim Arbeiter-Samariterbund-Salzburg