

Naturnahe Gestaltung der Haltungsumgebung in der Aufzucht juveniler Salmoniden zur Erzeugung leistungsstarker und robuster Setzlinge für die heimische Aquakultur

Projektabschlussbericht

FKZ: 2813MDT902

Berichtszeitraum: 01.10.2014-31.07.2017

Zuweisungsempfänger:

Johann Heinrich von Thünen-Institut

Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei

Institut für Fischereiökologie

Palmaille 9

22767 Hamburg



Dipl.-Biol. Niko Sähn
Dipl.agr.biol. Dominique Marie Pohlmann
Marc Willenberg
Dr. Stefan Reiser

Thünen-Institut für Fischereiökologie

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
Palmaille 9
22767 Hamburg

Tel.: 040 38905 290
Fax: 040 38905 261
E-Mail: fi@thuenen.de

Hamburg, 2018

Inhalt

Zusammenfassung	1
Summary	2
1 Aufgabenstellung und Ziele des MuD-Vorhabens	3
2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde (Status quo)	3
3 Planung und Ablauf	6
4 Umgesetzte Methoden und Verfahren	7
5 Eingehende Darstellung über	10
5.1 erzielte Ergebnisse und den Erfolg des Vorhabens	10
5.2 Zusätzlich gewonnene Erkenntnisse	16
5.3 Fortführung der umgesetzten Maßnahmen nach der Laufzeit des MuD-Vorhabens (Konsequenzen, notwendige Anpassungen etc.)	18
6 Erzielte tierschutzrelevante Verbesserungen auf den Testbetrieben	18
7 Evaluation des Verbundvorhabens	19
Literatur	22

Zusammenfassung

Lachsartige Fische, wie Forellen und Saiblinge, wachsen während der Aufzucht in Aquakultur zumeist in reizarmen Haltungseinrichtungen ohne jegliche Strukturen auf. Dies erleichtert die Handhabung sowie die täglichen anfallenden Arbeitsroutinen. Die Haltungsumgebung ist aber monoton und wenig naturnah. Nicht zuletzt im Zuge der öffentlichen Diskussion um tiergerechte Haltungsformen wurde im Rahmen eines Modell- und Demonstrationsvorhabens in Zusammenarbeit mit Fischzuchtbetrieben untersucht, wie eine natürlichere Haltung von lachsartigen Fischen aussehen könnte. Hierzu wurden charakteristische Elemente des natürlichen Lebensraums in die Haltungsumgebung integriert und Forellen und Saiblinge auf konventionelle und auf naturnahe Weise erbrütet und aufgezogen. Zur naturnahen Erbrütung wurden die Bruteinsätze auf den Betrieben mit einer Lage aus feinkörnigem Kies versehen. In die zur weiteren Aufzucht verwendeten Rinnen und Becken wurde eine dünne Schicht aus gewaschenem Sand eingebracht. In den anschließend verwendeten Naturteichen wurden unterschiedliche Strömungsbedingungen geschaffen, um die Fische zu einem moderaten Dauerschwimmen zu animieren. Es zeigte sich, dass die naturnahe Aufzucht auf Kies und Sand gut in der Praxis anwendbar ist, allerdings mit etwas höherem Arbeitsaufwand als in der konventionellen Aufzucht verbunden ist. Forellen wuchsen unter den modifizierten Bedingungen ebenso gut wie unter konventionellen Bedingungen. Saiblinge wuchsen signifikant besser, wenn sie in einer naturnahen Umgebung erbrütet und aufgezogen wurden. Durch Strömung zum Dauerschwimmen animierte Forellen unterschieden sich nicht in ihrem Wachstum von Fischen aus nicht-durchströmten Teichen. Die Körperzusammensetzung von Fische aus durchströmten Teichen war allerdings signifikant unterschiedlich im Vergleich zu Fischen, die ohne Strömung aufgezogen wurden. Die Ergebnisse des Projekts haben gezeigt, dass die Naturnähe in der Aufzucht von lachsartigen Fischen mittels einfacher Modifikationen erhöht werden kann.

Summary

In aquaculture, salmonid species like trout and charr commonly grow up in barren and stimulus-deprived rearing environments. The use of barren tanks and troughs facilitates daily maintenance, like cleaning, of the rearing units. In barren rearing units, however, the fish are confronted with a monotonous and artificial environment quite unlike their natural habitat. Within the framework of a pilot and demonstration project, and due to the ongoing debate on fish welfare in aquaculture production, scientists and hatchery managers investigated measures for increasing environmental complexity of aquaculture rearing units. For this purpose, features common to the natural habitat of salmonids were incorporated into the rearing environment. For hatching eggs and alevins, hatching trays were provided with a single layer of small gravel. The troughs for rearing fingerlings were enriched with a layer of washed sand. Inside earthen ponds variable flow conditions were established, inducing moderate sustained swimming. The adopted enrichment measures proved to work well under conditions of aquaculture practice. Effort for daily maintenance, however, was slightly higher when compared to maintaining a barren environment without enrichment. Trout grew equally well in enriched and barren rearing units, indeed, charr grew significantly better when reared in units provided with enrichment. Continuous flow conditions did not affect growth in trout when compared to fish reared without flow. Body composition of fish reared at flow, however, was different. Based on the results of the project, only minor modifications are needed to increase structural complexity in aquaculture rearing units. Environmental enrichment is straightforward and can be easily applied under conditions of aquaculture practice.

1 Aufgabenstellung und Ziele des MuD-Vorhabens

In dem Modell- und Demonstrationsvorhaben „Naturnahe Gestaltung der Haltungsumgebung in der Aufzucht juveniler Salmoniden zur Erzeugung leistungsstarker und robuster Setzlinge für die heimische Aquakultur“ sollte erprobt werden, wie aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse zur naturnahen Gestaltung von Haltungseinrichtungen (engl. „environmental enrichment“) in der Aquakulturpraxis implementiert werden können. Des Weiteren sollten die Effekte einer naturnahen Gestaltung im Vergleich zur konventionellen Aufzucht auf Praxisbetrieben erhoben und eine Aussage über die generelle Machbarkeit der Modifikationen unter praktischen Bedingungen getroffen werden. Die Maßnahmen zur naturnahen Gestaltung sollten hierbei in den auf den Betrieben üblicherweise verwendeten Haltungssystemen (Bruteinsätze, Rinnen, Becken, Teiche) durchgeführt werden, um eine Übertragbarkeit zu gewährleisten.

Das Projekt unterteilte sich in vier Arbeitspakete:

Im Arbeitspaket (AP) 1 sollte die wissenschaftliche Literatur aufbereitet und ein Leitfaden zur naturnahen Gestaltung der Haltungsumgebung in der Aufzucht lachsartiger Fische erstellt werden. Im AP 2 sollten Maßnahmen zur naturnahen Gestaltung der Haltungsumwelt während der Erbrütung und Aufzucht im Brauthaus angewendet und die Effekte im Vergleich zur konventionellen Erbrütung und Aufzucht untersucht werden. Im AP 3 sollten Maßnahmen zur naturnahen Gestaltung der Haltungsumgebung im Freiland angewendet und die Effekte im Vergleich zur konventionellen Aufzucht untersucht werden. Das AP 4 hatte die Organisation, Koordination und Ausrichtung eines Fachsymposiums zu den „Modell- und Demonstrationsvorhaben Tierschutz in der Aquakultur“ zum Ziel. Im Rahmen des Fachsymposiums sollten die Ergebnisse der MuD-Tierschutz im Bereich Aquakultur sowie aktuelle Ergebnisse aus Forschung und Beratung zum Thema „Tierschutz in der Aquakultur“ einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt werden.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde (Status quo)

Die Erzeugung und Aufzucht qualitativ hochwertiger und robuster Setzlinge stellt den bedeutendsten Produktionsschritt in der Kultivierung aquatischer Organismen und die Grundlage für ein erfolgreiches Aquakulturunternehmen dar. Die künstliche Erbrütung sowie die erste Phase der Aufzucht lachsartiger Fische erfolgt nach standardisierten Verfahren und in einer artifiziellen Haltungsumgebung. Dies ist laut EG 710/2009 auch in der ökologischen Aquakultur zulässig. Die weitergehende Aufzucht der Fingerlinge zum Setzling geschieht in unterschiedlichen Haltungssystemen, wie zum Beispiel Rinnen, Teichen- und Erdteichen im Außenbereich. Ziel einer nachhaltigen und ökologischen Aquakultur sollte es sein, die Haltungsbedingungen so früh als

möglich naturnah zu gestalten und, wenn möglich, charakteristische Elemente des natürlichen Habitats in die Haltung zu integrieren. Einen Ansatz dies in der Praxis umzusetzen bietet das sog. „environmental enrichment“ (im Folgenden EE), das auf der Anreicherung der künstlichen Haltungsumgebung mit natürlichen oder künstlichen strukturierenden Komponenten und habitattypischen Charakteristika beruht (Young, 2003; Johnsson et al., 2014; Näslund & Johnsson, 2016). Mittels EE besteht die Möglichkeit die Monotonie in der Haltungsumgebung aufzubrechen und naturnahe Bedingungen zu schaffen.

Nach Bloomsmith et al. (1991) und Young (2003) unterscheidet man fünf Formen des EE. Neben der Anreicherung der (1) sozialen Umwelt (z.B. Einzelhaltung vs. Gruppenhaltung, unterschiedliche Gruppengröße) besteht die Möglichkeit die Haltungsumgebung (2) physikalisch und (3) sensorisch anzureichern. Des Weiteren kann eine Anreicherung über die (4) Art und Darbietungsform des Futters oder mittels (5) Beschäftigungsmöglichkeiten geschehen.

EE und hier vor allem das physikalische und sensorische enrichment, wurde bisher u.a. während der Erbrütung und Aufzucht von juvenilen lachsartigen Fischen angewandt, die als Besatzmaterial in natürliche Gewässersysteme eingesetzt werden sollten (Bams, 1967). Die so erzeugten Jungfische wurden zur Wiederansiedlung verschwundener oder zur Stützung gefährdeter Bestände, wie etwa lokaler Bestände lachsartiger Fischarten in den USA und Skandinavien, ausgewildert (Hyvärinen & Rodewald, 2013). In einer Reihe von Studien konnten bereits Hinweise auf positive Effekte durch EE gesammelt werden (rezensiert in Näslund & Johnsson, 2016). So wurde bei Dottersackbrut von Bachforellen, atlantischem Lachs (*Salmo salar*, L.) und auch bei Bachsaiblingen ein gesteigertes Wachstum beobachtet (Brännäs, 1989; Peterson & Martin-Robichaud, 1995; Benhaim et al., 2009; Sternecker & Geist, 2010). Der Effekt hing dabei allerdings von der Art des Substrats sowie der Korngröße des Kieses ab (Brännäs, 1989; Sternecker & Geist, 2010; Rollinson & Hutchings, 2011). Außerdem wirkte sich EE während der Aufzucht positiv auf die Gesundheit lachsartiger Fische aus (Arndt et al., 2001; Berejikian & Tezak, 2005; Näslund et al., 2013). Atlantische Lachse waren zudem weniger aggressiv (Mork et al., 1999), zeigten eine geringere Anfälligkeit gegenüber Stress (Näslund et al., 2013) und gingen verstärkt natürlichen Verhaltensweisen, wie zum Beispiel Schwarmbildung (Salvanes et al., 2013), nach. Des Weiteren zeigte sich eine gesteigerte Expression des Transkriptionsfaktors NeuroD1, der an der Bildung von Nervenzellen beteiligt ist. Salvanes et al. (2013) sahen hierin eine Begründung für das bei Lachsen gesteigerte Lernverhalten durch EE. Bei Lachsen wurden durch EE außerdem morphologische Effekte in der Entwicklung des Gehirns nachgewiesen (Kihlslinger & Nevitt, 2006; Näslund et al., 2012; Salvanes et al., 2013). Den durch das EE induzierten Effekten wird zugeschrieben, dass Fische aus einer naturnahen Haltungsumgebung eine höhere Überlebenschance in freier Wildbahn aufweisen als Fische aus konventioneller nicht-angereicherter Haltung (Hyvärinen & Rodewald, 2013; Roberts et al., 2014).

Die bislang beobachteten positiven Effekte des EE sind neben der Aufzucht von Besatzmaterial für natürliche Gewässer auch für die Erzeugung von Setzlingen für die Aquakultur lachsartiger Fische, wie Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum), Bachforellen (*Salmo trutta fario*, L.) und Saiblingen (*Salvelinus fontinalis*, Mitchill; bzw. Hybriden) von großem Interesse. Eine naturnahe Gestaltung der Haltungsumgebung würde die Tiergerechtigkeit während der Erbrütung

und Aufzucht verbessern. Außerdem sind positive Einflüsse auf Wachstum und Widerstandsfähigkeit und somit auf die Fischgesundheit zu erwarten.

Anders als bei der Erbrütung sowie in der ersten Phase der Aufzucht zum Fingerling, findet die Aufzucht der zum Setzlinge bereits häufig in naturnahen Systemen wie Erdteichen und Fließbrinnen mit einer natürlichen Bodensohle statt. Auch sind laut EG 710/2009 strukturierende Komponenten, wie natürlicher Bewuchs, in dieser Phase der Aufzucht für die ökologische Erzeugung vorgeschrieben. Gerade in Erdteichen fehlt aber aufgrund der Abwesenheit von Strömung bzw. unterschiedlichen Strömungsbedingungen zumeist ein zentrales Charakteristikum des natürlichen Habitats von lachsartigen Fischen. Die Hinzugabe von Strömung kann ebenfalls als eine Form des EE bewertet werden, da dem Fisch hierdurch eine Beschäftigungsmöglichkeit angeboten bzw. die Haltungsumgebung diversifiziert wird (Bloomsmith et al., 1991; Young, 2003). In einem kontrollierten Versuch mit atlantischen Lachsen, in dem die Haltungsumgebung mit unterschiedlichen Formen des EE angereichert wurden, suchten die Fische regelmäßig einen durchströmten Bereich der Haltungseinrichtung auf (Nordgreen et al., 2013). Die Anwesenheit von Strömung animiert die Fische dazu, sich in die Strömung einzustellen und aktiv gegen die Strömung anzuschwimmen. In einer durchströmten Umgebung zeigten z.B. arktische Saiblinge Schwarmverhalten, was unter nicht-durchströmten Bedingungen nicht beobachtet wurde. Gleichzeitig reduzierte sich bei zum Schwimmen animierten Saiblingen aggressives Verhalten gegenüber Artgenossen und es kam nicht zur Ausbildung von Hierarchien, was sich in einem homogeneren Wachstum der Fische widerspiegelte (Brännas, 2009). Anhand mehrerer Studien konnte zudem gezeigt werden, dass sich eine moderate Schwimmaktivität generell positiv auf das Wachstum von lachsartigen Fischen auswirken kann (Davison & Goldspink, 1977; East & Magnan, 1987; Totland et al., 1987). Entscheidend hierbei ist allerdings eine angepasste Strömungsgeschwindigkeit. Bei lachsartigen Fischen zeigte sich eine relative Schwimmgeschwindigkeit von einer Körperlänge pro Sekunde als förderlich für das Wachstum (Davison & Herbert, 2013). Bei dieser Schwimmgeschwindigkeit wird der verhältnismäßig geringste Energieaufwand benötigt, um eine bestimmte Strecke zurückzulegen. Diese Schwimmgeschwindigkeit wird deshalb auch als optimalen Schwimmgeschwindigkeit (U_{opt}) bezeichnet (Tucker, 1970). Bei U_{opt} kommt es zu einer Aktivierung der Skelettmuskulatur (Palstra & Planas, 2011), was zu strukturellen, morphometrischen und biochemischen Änderungen im Muskelgewebe führt (Davison, 1997; Johnston, 1999; Johnston & Moon, 1980; Bugeon et al., 2003).

Maßnahmen des EE gewinnen in der Aquakultur zunehmend an Bedeutung. In der Erbrütung und Aufzucht von lachsartigen Fischen geht das EE in der deutschen Aquakultur bislang allerdings nicht wesentlich über die Anwendung von Schlupfmatten hinaus (Reiter, 2004). Eine Anreicherung der Haltungsumgebung während der ersten Phase der Aufzucht mit natürlichen Substraten erfolgt, wenn überhaupt, nur sehr vereinzelt und wurde bislang nicht beschrieben. Aus diesem Grund mangelt es an Informationen hinsichtlich der Machbarkeit des EE in der Salmonidenaufzucht unter praktischen Bedingungen, v.a. während der Erbrütung und Aufzucht. Im Zuge der Aufzucht von Setzlinge wie auch in der Mast von lachsartigen Fischen, werden Maßnahmen zum EE bereits teilweise in der deutschen Aquakultur angewandt. Dies gilt v.a. für das physikalische und das sensorische EE, welche für die ökologische Produktion nach Richtlinien

unterschiedlicher Verbände vorgeschrieben sind, bzw. muss die Erzeugung in naturnahen und natürlichen Haltungseinrichtungen stattfinden. Naturnahe bzw. variable Strömungsverhältnisse sind nicht Gegenstand der Richtlinien, bzw. schließt ein Verbot von Belüftung zur Zuwachserhöhung Geräte wie Schaufelradbelüfter oder Impellerpumpen zur Erzeugung von Strömung aus. In der konventionellen Erzeugung von Salmoniden finden Schaufelradbelüfter bereits regen Einsatz. Allerdings werden diese Geräte zumeist nur zur Ent- und Belüftung des Wassers verwendet und nicht, um gleichzeitig eine gerichtete Strömung zu erzeugen.

3 Planung und Ablauf

Das Vorhaben wurde als Verbundprojekt durchgeführt. Der Projektverbund bestand aus dem Thünen-Institut für Fischereiökologie (TI-FI) sowie insgesamt drei Teichwirtschaftsbetrieben (Betrieb A-C) aus Schleswig-Holstein und Niedersachsen. Bei den drei teilnehmenden Betrieben handelte es sich um klassische Fischzuchtbetriebe, die Bach- und/oder Regenbogenforellen sowie Elsässer Saiblinge bzw. Bachsaiblinge erzeugten. Die Betriebe wirtschafteten entweder konventionell und/oder ökologisch. Die Betriebe verfügten über einen eigenen Elterntierbestand und nahmen die Nach- und Aufzucht der Fische selbst vor. Zudem wurden Augenpunkteier und teilweise Fingerlinge oder Setzlinge von anderen Betrieben zugekauft. Die im Zuge des Vorhabens umgesetzten Maßnahmen und Methoden wurden von den Betrieben zuvor noch nicht angewendet.

Das Projekt untergliederte sich in vier getrennte AP. Die AP 1 und 4 wurden hierbei vom TI-FI er- und bearbeitet. Die AP 2 und 3 fanden auf den Praxisbetrieben und deren Betriebs- und Produktionsstätten statt. Die Betriebe stellten die für die zur Umsetzung der Maßnahmen notwendigen Fische. Umsetzung und Ablauf der AP 2 und 3 wurde durch den Projektverbund gemeinsam geplant. Die AP 2 und 3 wurden durch das TI-FI wissenschaftlich begleitet. Zudem erfolgten eine regelmäßige Beprobung sowie ein regelmäßiger Besuch der Betriebe vor Ort, eine Aufarbeitung der gewonnenen Proben sowie eine statistische Auswertung der erarbeiteten Daten. Die Bewertung der Maßnahmen hinsichtlich ihrer praktischen Machbarkeit sowie der dokumentierten Effekte erfolgte durch den Projektverbund.

Im AP 1 sollte die wissenschaftliche Literatur aufbereitet und ein Leitfaden zur naturnahen Gestaltung der Haltungsumgebung in der Aufzucht lachsartiger Fische erstellt werden. Im AP 2 sollten Maßnahmen zur naturnahen Gestaltung der Haltungsumwelt während der Erbrütung und Aufzucht im Brauthaus angewendet werden und die Effekte im Vergleich zur konventionellen Erbrütung und Aufzucht untersucht werden. Im AP 3 sollten Maßnahmen zur naturnahen Gestaltung der Haltungsumgebung im Freiland angewendet werden und die Effekte im Vergleich zur konventionellen Aufzucht untersucht werden. Das AP 4 hatte die Organisation, Koordination und Ausrichtung eines Fachsymposiums zu den „Modell- und Demonstrationsvorhaben Tierschutz in der Aquakultur“ zum Ziel. Im Rahmen des Fachsymposiums sollten die Ergebnisse der MuD-Tierschutz im Bereich Aquakultur sowie aktuelle Ergebnisse aus Forschung und

Beratung zum Thema „Tierschutz in der Aquakultur“ einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt werden.

4 Umgesetzte Methoden und Verfahren

AP 1: Zu Beginn des Vorhabens wurde eine eingehende Literaturrecherche mittels wissenschaftlicher Literaturdatenbanken durchgeführt. Ziel der Recherche war es, die relevante Literatur zur Anwendung des EE bei Fischen sowie des Einflusses von Strömung zur Induktion von Dauerschwimmen in der Aquakultur zu eruieren. Die Informationen zum EE bildeten die Grundlage für einen Leitfaden zur naturnahen Gestaltung der Haltungsumgebung in der Aufzucht juveniler Salmoniden, der im Zuge des AP 1 erarbeitet wurde. Der Leitfaden wurde anhand der in AP 2 erarbeiteten Erkenntnisse angepasst. Die Literaturrecherche wurde über den gesamten Verlauf des Vorhabens aktualisiert, um neue Erkenntnisse in das Vorhaben einfließen zu lassen.

AP 2: Im Zuge des AP 2 sollten Forellen (Bachforellen und Regenbogenforellen) sowie Saiblinge (Bachsaiblinge und Elsässer Saiblinge) in einer angereicherten Umgebung erbrütet und aufgezogen werden. Parallel dazu sollte eine Aufzucht mittels des konventionellen Verfahrens stattfinden, um eine vergleichende Aussage hinsichtlich des Effekts der Maßnahme treffen zu können.

Für die vergleichende Erbrütung und Aufzucht wurden die Erbrütungseinheiten in den Bruthäusern der Betriebe neu arrangiert. Basierend auf den Informationen aus der wissenschaftlichen Literatur und aus praktischen Aspekten bzgl. der Handhabbarkeit wurde durch den Projektverbund feiner Flusskies als Substrat zur Erbrütung ausgewählt. Bei dem Kies handelte es sich um getrommelten Flusskies aus dem Baustoffhandel mit einer Körnung von 2-8 mm. Der Kies wurde auf den Betrieben zusätzlich gesiebt und gründlich gespült, um Partikel < 2 mm und Feinsediment restlos zu entfernen. Die Entfernung von Partikel < 2 mm sollte verhindern, dass sich die Siebplatten der Bruteinsätze mit dem Substrat zusetzen, wodurch der Wasseraustausch behindert werden könnte. Von dem so vorbereiteten Kies wurde anschließend je ~ 1 l in die Bruteinsätze eingebracht, so dass eine einschichtige Kiesauflage in der Hälfte der verwendeten Einsätze vorlag. Die Bruteinsätze (angereichert wie nicht-angereichert) wurden anschließend mit Eiern besetzt. Hierbei wurden entweder Eier unmittelbar nach der Befruchtung oder Eier im Augenpunktstadium verwendet. Jeder Bruteinsatz wurde mit 4000-11600 Eiern besetzt. Auf diese Weise wurden Bachforellen (Betrieb A, Betrieb B, Betrieb C), Regenbogenforellen (Betrieb B), Bachsaiblinge (Betrieb A) und Elsässer Saiblinge (Betrieb B, Betrieb C) erbrütet.

Während der Erbrütung erfolgte eine tägliche Inaugenscheinnahme der Eier sowie der geschlüpften Larven. Unbefruchtete bzw. abgestorbene Eier und Larven wurden in regelmäßigen Abständen entfernt. Es erfolgte eine tägliche Kontrolle hinsichtlich des Auftretens von Verpilzungen. Temperatur, pH und Sauerstoffgehalt in den Unterstromkästen wurden regelmäßig durch die Betriebe erhoben. Nach dem Schlupf wurden im wöchentlichen Turnus Proben zur Bestimmung des Gewichtswachstums durch das TI-FI entnommen und im Labor aufgearbeitet. Hierzu wurden 10-20 Larven je Bruteinsatz entnommen, mit einer Überdosis aus 2-

Phenoxyethanol getötet und danach in Formol fixiert. Im Zuge der Bearbeitung wurden die Larven zunächst fotografiert und anschließend die ganze Larve, der abgetrennte Dottersack und die separierte Larve einzeln ausgewogen. Larve und Dottersack wurden dann für 48 Stunden bei 60°C getrocknet und erneut gewogen, um das Trockengewicht und den Wassergehalt zu bestimmen. Mit Hilfe der Bildbearbeitungssoftware ImageJ wurden Längenvermessungen der einzelnen Larven durchgeführt und aus den ermittelten Werten weitere Parameter, wie z.B. das Dottersackvolumen, berechnet.

Etwa sieben Tage nach der ersten Fütterung der Fingerlinge wurden die Fische aus den Bruteinsätzen in Brutrinnen oder Langstrombecken umgesetzt. Fingerlinge aus der konventionellen Erbrütung wurden mit einem Brutkescher abgekeschert. Die Fingerlinge aus den angereicherten Bruteinsätzen wurden ebenfalls mit einem Brutkescher abgekeschert bzw. abgesaugt, was sich im ersten Jahr als schwierig und sehr zeitaufwendig herausstellte.

Aus diesem Grund wurde vor der Wiederholung des AP 2 an der Außenstelle des TI-FI ein Versuch zur Optimierung des Umsetzungsvorganges durchgeführt. In diesem Versuch wurden Regenbogenforellen auf Kies (Körnung 2-8 mm) erbrütet und solange aufgezogen, bis die Brütlinge selbstständig Futter aufgenommen haben. Anstatt die Brütlinge mit einem Schlauch abzusaugen, wurde ein feines Netztuch (Maschenweite 1 mm) in ein angestautes Langstrombecken eingehängt, so dass sich ein abgeschlossener Netzbeutel gebildet hat. Die Bruteinsätze wurden aus der Brutrinne herausgenommen und waagrecht in den so entstandenen Netzbeutel eingebracht und vorsichtig untergetaucht. Durch langsames Drehen sowie leichte Schwenkbewegungen des Bruteinsatzes schwammen die Brütlinge entweder aktiv aus dem Unterstromkasten heraus bzw. wurden durch den entstehenden Sog aus dem Kasten herausgespült. Der Kies verblieb bei diesem Vorgehen vollständig in den Bruteinsätzen. Die Brütlinge konnten anschließend aus dem Netzbeutel abgekeschert werden. Nach dem Umsetzungsvorgang wurden die Brütlinge für eine Woche täglich mehrmals in Augenschein genommen. Die Anzahl verstorbener Individuen wurden aufgezeichnet. Hierbei ergab sich, dass lediglich 0,1-1,9 % der umgesetzten Individuen innerhalb der ersten sieben Tage nach dem Umsetzen gestorben waren.

Das beschriebene Verfahren wurde bei der Wiederholung des AP 2 auch durch die Betriebe angewandt und erwies sich, auch unter praktischen Bedingungen, als wesentliche Verbesserung im Vergleich zu der im Vorjahr eingesetzten Methodik.

Vor dem Umsetzen der Fingerlinge aus den Bruteinsätzen wurden Brutrinnen, Langstrombecken und Rundbecken angereichert. Die Fische aus den vier bzw. fünf Erbrütungseinsätzen je Rinne wurden hierbei gemeinsam in eine Brutrinne gesetzt. Entsprechend wurde für jeden Ansatz („Fischart“ x Behandlung) lediglich eine Brutrinne verwendet. Für die Anreicherung zu dieser Phase der Aufzucht wurde, basierend auf den Informationen aus der wissenschaftlichen Literatur und aufgrund der praktischen Handhabbarkeit, eine dünne Auflage aus gewaschenem Sand durch den Projektverbund ausgewählt. Der Sand wurde vor dem Einbringen gründlich gespült, um Feinsubstrate zu entfernen. In Brutrinnen und Langstrombecken wurde etwa 4-5 cm vor dem Aufsatzpunkt des Absperrsiebes ein L-Profil in die Rinnen eingeklebt, um zu verhindern, dass der Sand das Ablaufsieb verstopft. Rinnen und Becken wurden anschließend angestaut. Nachdem sich das Wasser aufgeklärt hatte, wurden die Fingerlinge in die Rinnen umgesetzt. Hierbei

wurden Fische aus den angereicherten Bruteinsätzen in angereicherte Rinnen und Becken eingesetzt. Fische aus der konventionellen Erbrütung wurden in nicht-angereicherte Rinnen und Becken eingesetzt. Im weiteren Verlauf der Aufzucht wurden regelmäßig Temperatur, Sauerstoffgehalt und pH-Wert durch die Betriebe ermittelt. In ein- bis zweiwöchigen Abständen wurden durch das TI-FI Proben entnommen, um das Wachstum der Fische zu dokumentieren. Bei den Beprobungen erfolgte auch ein Monitoring bzgl. des Gesundheitszustandes der Fische sowie eine Untersuchung auf mögl. Parasiten. Dies wurde auch seitens der Betriebe standartmäßig durchgeführt. Es gab keinerlei Anzeichen für einen Befall mit Parasiten bzw. dass sich der Gesundheitszustand zwischen Fischen aus angereicherten und nicht-angereicherten Systemen unterscheiden würde. In Abhängigkeit des Zeitpunkts der künstlichen Vermehrung sowie aufgrund betrieblichen Abläufe verblieben die Fische bis zum Juni im Bruthaus.

Nach Beendigung des AP wurde seitens des TI-FI Einzelinterviews mit den Verbundpartnern geführt. Im Zuge der Interviews wurden die Betriebe bzgl. ihrer Erfahrungen und Eindrücke hinsichtlich der Durchführung der Maßnahmen befragt. Die Betriebe sollten eine Einschätzung hinsichtlich des zeitlichen Mehraufwandes, der durch die Umsetzung der Maßnahme entstand, abgeben und zudem angeben, wie sie die praktische Machbarkeit der umgesetzten Maßnahme einschätzten.

AP 3: Zur Durchführung des AP 3 wurden die im AP 2 aufgezogenen Fische verwendet. Die Anzahl der zur Verfügung stehenden Teiche und Kanäle war zwischen den Betrieben unterschiedlich und teilweise begrenzt. Das AP 3 konnte aus diesem Grund nicht für alle Ansätze („Fischart“ x Behandlung) des AP 2 durchgeführt werden. Unerwartet hohe Verluste durch Prädatoren (Betrieb B), eine geringe Verfügbarkeit von Augenpunkteiern von Elsässer Saiblingen in 2016 (Betrieb B und C) sowie hohe Sommertemperaturen schränkten die Durchführung des AP 3 zudem erheblich ein und reduzierten die Anzahl der Ansätze. In Betrieb A konnten lediglich Bachsaiblinge in einem durchströmten Erdteich sowie in einem natürlichen Fließkanal aufgezogen werden. Eine Aufzucht unter nicht durchströmten Bedingungen konnte nicht erfolgen. In Betrieb B konnte eine vergleichende Aufzucht von Bachforellen und Regenbogenforellen in durchströmten und nicht-durchströmten Teichen realisiert werden. In Betrieb C wurden Bachforellen und Elsässer Saiblinge unter durchströmten und nicht-durchströmten Bedingungen aufgezogen.

Um eine Übertragung von Effekten aus dem AP 2 zu verhindern, wurden Fische aus der angereicherten sowie der nicht-angereicherten Aufzucht vor dem Besatz durchmischte. Vor dem Besatz wurden die Teiche vorbereitet und die technischen Geräte zur Schaffung eines Strömungsregimes installiert und entsprechend ausgerichtet. Zur Erzeugung einer leichten Strömung setzten die Betriebe A und C sog. Impellerpumpen ein. Betrieb B verwendete Schaufelradbelüfter, um Kohlendioxid aus dem Quellwasser auszutreiben, das Wasser mit Sauerstoff anzureichern und gleichzeitig eine Strömung zu erzeugen. Damit eine Aussage über die erzeugte Strömung getroffen werden konnte, sollten mittels eines magnetisch-induktiven Strömungsmessgeräts die Strömungsprofile in den verwendeten Haltungsanlagen aufgezeichnet werden. Die Messung der Strömungsprofile erfolgte zwischen den beiden Uferlinien in festen Abständen entlang eines festen Messrasters und wurde vom Grund bis zur Oberfläche

vorgenommen. Auf dem Betriebsgelände von Betrieb A wurde das Strömungsprofil innerhalb eines natürlichen Fließkanals sowie in einem Erdteich, in dem eine Impellerpumpe installiert wurde, aufgezeichnet. In den Teichen von Betrieb B wurden die Messungen in den durchströmten Teichen durchgeführt. In den nicht durchströmten Teichen, in denen, bedingt durch den Zulauf, zumindest eine leichte Strömung angenommen werden konnte, ergaben sich bei Messungen über eine Minute (gleitender Mittelwert) Standardabweichungen, die die mittlere Strömungsgeschwindigkeit um ein Vielfaches überstiegen. Eine zuverlässige Erfassung einer ggf. vorhandenen Strömung war aus diesem Grund nicht möglich. Die Ufer der Teiche von Betrieb C waren mit Planken und Bohlen befestigt. In diesen Teichen baute sich keine konstante Strömung auf, da es, evtl. aufgrund der Art der Uferbefestigung, zu sich ständig ändernden Verwirbelungen kam. Hierdurch kam es entlang des festen Messrasters zu starken Abweichungen innerhalb sowie zwischen den Messungen, was eine Aufzeichnung von Strömungsquerschnitten verunmöglichte. Bedingt durch die betriebspezifischen Abläufe sowie aufgrund der unterschiedlichen Standortbedingungen zwischen den Betrieben wurden die Brütlinge zwischen Ende Februar und September in die Außenanlagen umgesetzt. Nach dem Besatz erfolgte eine regelmäßige Probenahme in vierwöchentlichem Turnus. Hierbei wurden jeweils 40 Individuen pro Teich entnommen und die Körperlänge und das Körpergewicht ermittelt. Über den gesamten Zeitraum des AP 3 wurden die Wasserparameter in den Teichen sowie die angebotene Futtermenge mindestens einmal wöchentlich durch die Betriebe aufgezeichnet. In Betrieb B wurden zum Abschluss der Maßnahme zusätzliche Fische für eine Untersuchung der Körperzusammensetzung beprobt. Die Laboranalyse wurde nach Aufbereitung der Fischproben (Homogenisierung der ganzen Fische, Gefriertrocknung) von einem externen Labor durchgeführt. Analysiert wurden Energiegehalt (kJ/g), Proteinanteil (g/100g), Kohlenhydrate (g/100g), der gesamte Rohfettanteil (g/100g), der Anteil an Rohasche (g/100g) sowie der Wassergehalt (g/100g).

5 Eingehende Darstellung über

5.1 erzielte Ergebnisse und den Erfolg des Vorhabens

AP 1: Die Recherche der wissenschaftlichen Literatur zur naturnahen Gestaltung der Haltungsumgebung in der Aufzucht juveniler Salmoniden wurde erfolgreich abgeschlossen. Anhand der Literaturrecherche sowie basierend auf den Erkenntnissen des AP 2 wurde ein Leitfaden zur naturnahen Gestaltung der Haltungsumgebung erstellt. Der Leitfaden wurde am 01.11.2016 veröffentlicht. Der Leitfaden steht auf der Webseite des Thünen-Instituts zum Download bereit. Parallel dazu wurde auf den Webseiten des Thünen-Instituts eine umfassende Zusammenfassung zu dem Projekt veröffentlicht:

<https://www.thuenen.de/de/fi/projekte/setzlinge-naturnah-produzieren/>.

AP 2: Die in dem Vorhaben erprobten Modifikationen zeigten sich unter praktischen Bedingungen als gut anwendbar. Die Ansätze konnten bei allen Verbundpartnern erfolgreich durchgeführt und

erfolgreich zum Abschluss gebracht werden. Kein Ansatz musste vorzeitig abgebrochen werden. Im Vergleich zur konventionellen Erbrütung traten keine erkennbar erhöhten Vermehrungsraten oder erkennbare Unterschiede in der Sterblichkeit auf. Es gab keinerlei Anzeichen für einen Befall mit Parasiten bzw. dass sich der Gesundheitszustand zwischen Fischen aus angereicherten und nicht-angereicherten Systemen unterscheiden würde. Die abiotischen Bedingungen zeigten sich ebenfalls unbeeinflusst, woraus geschlossen werden kann, dass die Einbringung der Substrate keinen negativen Einfluss auf z.B. Wasseraustausch- oder Durchflussraten in den Haltungssystemen hat.

Im Rahmen der geführten Interviews bewerteten die Verbundpartner die Maßnahmen generell als gut umsetzbar. Zudem wurden angegeben, dass die Maßnahmen leicht in die betrieblichen Abläufe zu integrieren waren. Die Anreicherung der Bruteinsätze war mit einem erhöhten Arbeitsaufwand verbunden. Die Anreicherung der Rinnen und Becken war hingegen nicht mit einem erhöhten Arbeitsaufwand verbunden. Der Aufwand zur Dokumentation der Maßnahmen wurde von allen Betrieben als hoch bewertet. Die im Zuge der Anreicherung entstandenen Kosten wurden von allen Betrieben als gering bis vernachlässigbar bewertet. Als Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung der Maßnahme wurde eine gute Hygiene im Bruthaus genannt. Seitens der Verbundpartner wurde zudem berichtet, dass die in einer angereicherten Haltung aufgezogenen Saiblinge schneller Futter aufnahmen. Bei den Forellen konnte dieser Effekt nicht beobachtet werden. Forellen und Saiblinge aus einer angereicherten Umgebung zeigten allerdings jeweils eine höhere Agilität als Fische aus konventioneller Erbrütung und Aufzucht.

Für die konventionelle Erbrütung von lachsartigen Fischen werden standardisierte Verfahren angewandt. Hierdurch lagen zur Durchführung des AP vergleichbare Voraussetzungen bei den Verbundpartnern vor. Auch die Modifikationen, mit denen eine naturnahe Haltungsumgebung erzeugt wurde, waren bei allen Verbundpartnern identisch. Für die Auswertung der Versuche kam deshalb ein allgemeines gemischtes Modell zur Anwendung, in dem das Gewichtswachstum als Funktion der Tagesgrade (Dauer der Inkubation und der dabei vorherrschenden Temperatur; Fixed-Effect) sowie dem Faktor angereichert/nicht-angereichert (Fixed-Effect) modelliert wurde. Die einzelnen Betriebe wurden als Random-Effect in das Modell aufgenommen. Die Modellierung wurde für Saiblinge und Forellen getrennt vorgenommen. Anhand der statistischen Auswertung ergab sich, dass die Dottersacklarven von Saiblingen in einer angereicherten Umgebung signifikant besser als in einer nicht-angereicherten Umgebung wuchsen (Abb. 1 a). Bei Forellen zeigte sich ein solcher Unterschied hingegen nicht und Dottersacklarven und Fingerlinge wuchsen unter beiden Bedingungen vergleichbar gut (Abb. 1 b). Bei Saiblingen und Forellen war die Variabilität im Gewichtswachstum innerhalb einer der Maßnahmen (angereichert oder nicht-angereichert) zwischen den einzelnen Betrieben größer als zwischen angereicherter und nicht-angereicherter Haltungsumgebung innerhalb eines Betriebes. Auch wenn bei Forellen kein signifikanter Effekt auf das Wachstum beobachtet wurde, konnte die Maßnahmen zur Schaffung einer naturnahen Haltungsumgebung erfolgreich umgesetzt werden.

Im Gegensatz zur Erbrütung in Unterstromkästen sowie während der ersten Phase der Aufzucht der Dottersacklarven und Fingerlinge, kamen für die weitere Aufzucht unterschiedliche Haltungssysteme zum Einsatz. In Abhängigkeit des Betriebes wurden unterschiedliche Typen von

Brutrinnen, Langstrom- sowie Rundbecken eingesetzt. Eine Vergleichbarkeit der Ansätze zwischen den Betrieben war hierdurch nicht mehr gegeben. Auch fehlte eine entsprechende Replikation der Ansätze, da je Betrieb und Ansatz („Fischart“ x Behandlung) nur jeweils eine Rinne zur Verfügung stand. Auch wenn an dieser Stelle keine statistisch gesicherte Aussage hinsichtlich des Wachstums getroffen werden kann, war auch die Anreicherung der Rinnen und Becken mit einer natürlichen Sandauflage gut in der Praxis anwendbar. Weder bei Saiblingen noch bei Forellen traten aber augenscheinliche Unterschiede beim Wachstum zwischen angereicherten und nicht-angereicherten Systemen zu Tage. Die Betriebe berichtete allerdings, dass sich die Fische in Haltungseinrichtungen, welche mit Sand angereichert wurde, homogener verteilten.

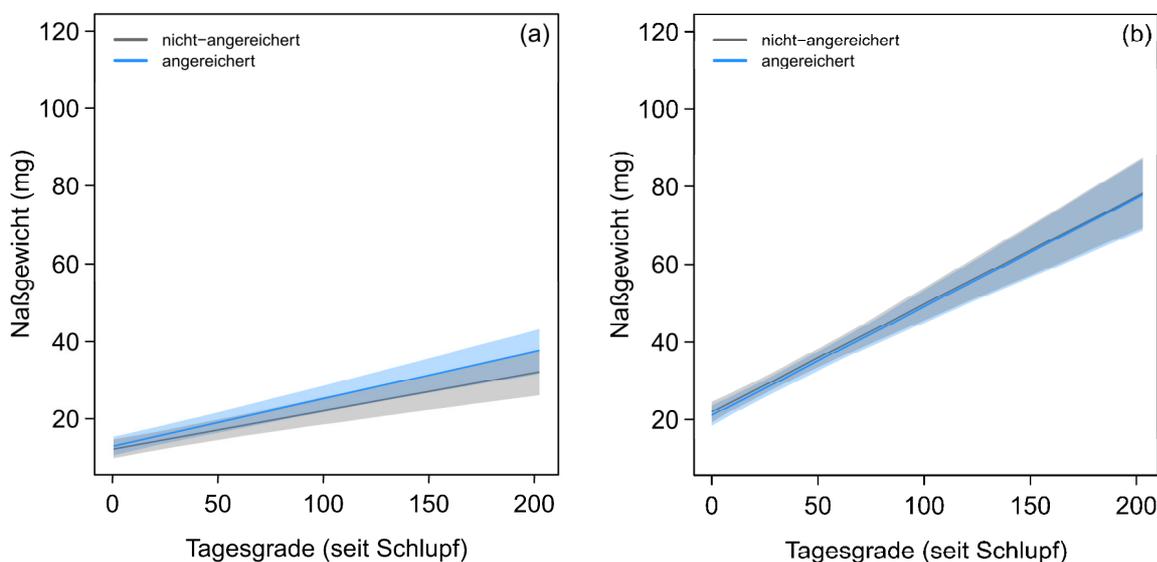


Abbildung 1: Entwicklung des Gewichtswachstums von (a) Saiblingen und (b) Bachforellen zwischen Schlupf und Anfütterung in angereicherten und nicht-angereicherten Erbrütungseinsätzen.

AP 3: Die Maßnahmen des AP 3 wurden in Erdteichen und Fließkanälen im Außengelände der teilnehmenden Betriebe durchgeführt. Eine Kontrolle der exogenen Faktoren war hierbei nicht möglich. Aufgrund der unterschiedlichen Bedingungen an den Standorten ergaben sich massive Unterschiede innerhalb der einzelnen Betriebe zwischen den Jahren sowie auch innerhalb eines Jahres zwischen den Betrieben. Exogene Faktoren (Sommertemperaturen, Verluste durch Prädatoren, nicht gegebene Verfügbarkeit von Ei- und Besatzmaterial, etc.) machten Änderungen in den Produktionsabläufen notwendig, wodurch auch die Durchführung der urspr. geplanten Ansätze teilweise massiv beeinflusst wurde. Entsprechend konnten die Ansätze nicht wie geplant durchgeführt werden.

In den Betrieben A und C sollten Impellerpumpen zur Erzeugung von Strömung eingesetzt werden. Des Weiteren sollte bei Betrieb A ein natürlicher Fließkanal besetzt werden. In dem mit einer Impellerpumpe ausgestatteten Erdteich von Betrieb A ergab die Messung der Strömungsgeschwindigkeit einen Medianwert von 0,013 m/s. In dem zur Verfügung stehenden Fließkanal von Betrieb A wurden als mittlere Strömungsgeschwindigkeit ein Medianwert von 0,063 m/s am Messtag ermittelt. Bei Betrieb C wurden Impellerpumpen in zwei Erdteichen

installiert. In den Teichen von Betrieb C baute sich jedoch keine konstante Strömung auf, da es, evtl. aufgrund der Befestigung des Ufers mit Holzbohlen, zu sich ständig ändernden Verwirbelungen und damit Strömungsgeschwindigkeiten kam. Hierdurch ergaben sich entlang des Messrasters mitunter starke Abweichungen innerhalb sowie zwischen den Messungen, was eine Erhebung von Strömungsquerschnitten verunmöglichte. Die Teiche der Betriebe A und C werden von Oberflächenwasser gespeist. In die Teiche wurde in unregelmäßigen Abständen Pflanzenmaterial eingetragen. Dies führte trotz eines automatischen Rückspülmechanismus der Impellerpumpe dazu, dass sich das Material am Pumpengehäuse anlagerte und so die Leistung

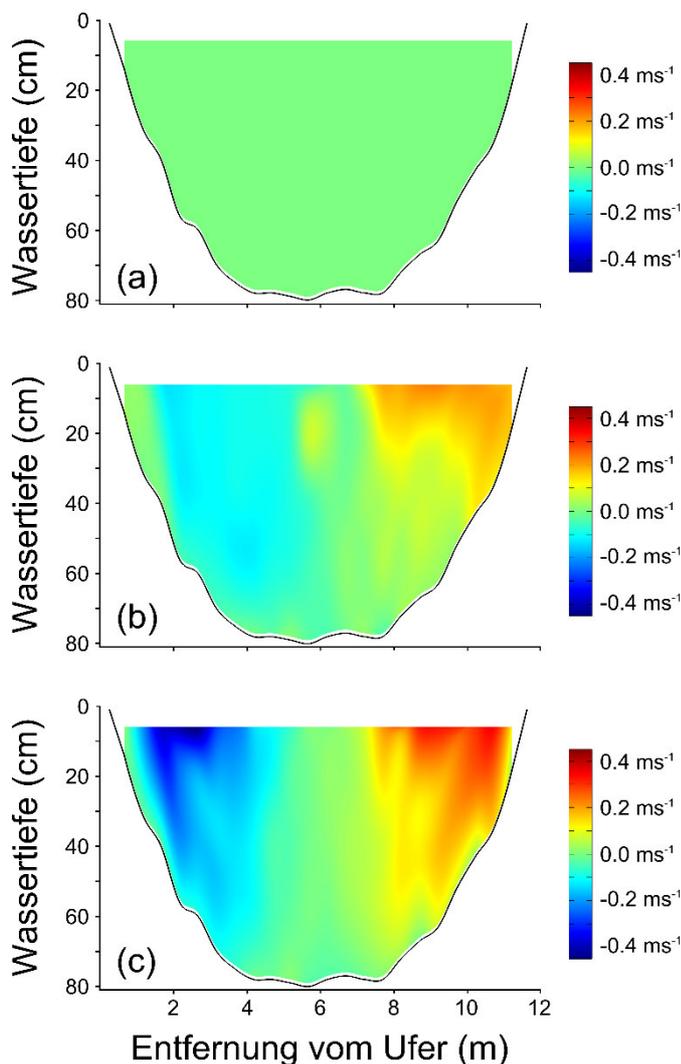


Abbildung 2: Strömungsprofile (m s^{-1}) in einem Erdteich (ca. 10×20 m), auf dessen Wasseroberfläche zwei Schaufelradbelüfter (Motorenleistung 0,25 kW) installiert wurden. Dargestellt sind die Strömungsprofile (a) ohne Lüfter, (b) mit einem Lüfter und (c) mit zwei Lüftern im Betrieb. Negative und positive Geschwindigkeiten ergeben sich durch die erzeugte Kreisströmung. Rote Farbtöne: Strömung zum Betrachter hin; blaue Farbtöne: Strömung vom Betrachter weg.

der Pumpe unvorhersehbar reduzierte. Die erzeugte Strömungsfahne riss hierdurch unregelmäßig ab, wodurch keine homogene Kreisströmung in dem Erdteich erzeugt werden konnte. Die an den Messtagen ermittelte mittlere Strömungsgeschwindigkeit konnte deshalb nicht als repräsentativ für den gesamten Versuchszeitraum angenommen werden. Auch die Strömungsgeschwindigkeit in dem Fließkanal unterlag natürlichen Schwankungen, die durch Variationen im Abfluss erzeugt wurden. Diese Variationen konnten ebenfalls nicht aufgenommen werden. Innerhalb der beiden Jahre bestand keine Möglichkeit für eine vergleichende Aufzucht unter durchströmten und nicht-durchströmten Bedingungen (Anzahl verfügbarer Fische, Anzahl verfügbarer und vergleichbarer Teiche). Ein Vergleich der Aufzuchten zwischen den Jahren erschien, aufgrund der unterschiedlichen abiotischen Bedingungen, als nicht sinnvoll. Für die Betriebe A und C konnte deshalb keine Aussage über den Effekt der Strömung getroffen werden.

Bei Betrieb B wurde die Strömung mittels Schaufelradbelüftern erzeugt. Die Naturteiche zur Aufzucht unter durchströmten Bedingungen wurde mit je zwei Schaufelradbelüftern ausgestattet. Nachdem die Belüfter entspr. ausgerichtet und mittels Seilen stationär befestigt wurden, konnte eine gerichtete Kreis-

strömung mit Strömungsgeschwindigkeiten von 0-0,4 m/s erzeugt werden (Abb. 2). Der Medianwert von zwei zusammengefassten Messstrecken lag bei 0,06-0,10 m/s. Über den Zeitraum der Versuchsdurchführung wurde die ermittelte Strömungsgeschwindigkeit mit den gemessenen Körperlängen (KL) der Fische in Relation gesetzt, so dass die vorherrschende Strömung als relative Strömungsgeschwindigkeit (Körperlänge pro Sekunde, KL/s) ausgedrückt werden konnte. In der Fachliteratur wird für verschiedene lachsartige Fische eine relative Schwimmgeschwindigkeit von etwa 1 Körperlänge pro Sekunde als optimal angesehen. Während des gesamten Versuchszeitraumes stand den Fischen somit diese optimale Strömungsgeschwindigkeit in den durchströmten Teichen zur Verfügung. Die Strömung in den Teichen war allerdings nicht homogen, sondern teilte sich in unterschiedliche Strömungsbereiche auf. Bei den Bachforellen erstreckte sich die ermittelten rel. Strömungsgeschwindigkeiten (0,25-0,75 Quantil) auf 0,6-3,2 KL/s zu Beginn und auf 0,2-1,3 KL/s zum Ende des Versuchs (Abb. 3 a). Bei den Regenbogenforellen lagen rel. Strömungsgeschwindigkeiten (0,25-0,75 Quantil) zwischen 0,8-4,3 KL/s zu Beginn und 0,3-1,8 KL/s zum Ende des Versuchs vor (Abb. 3 b).

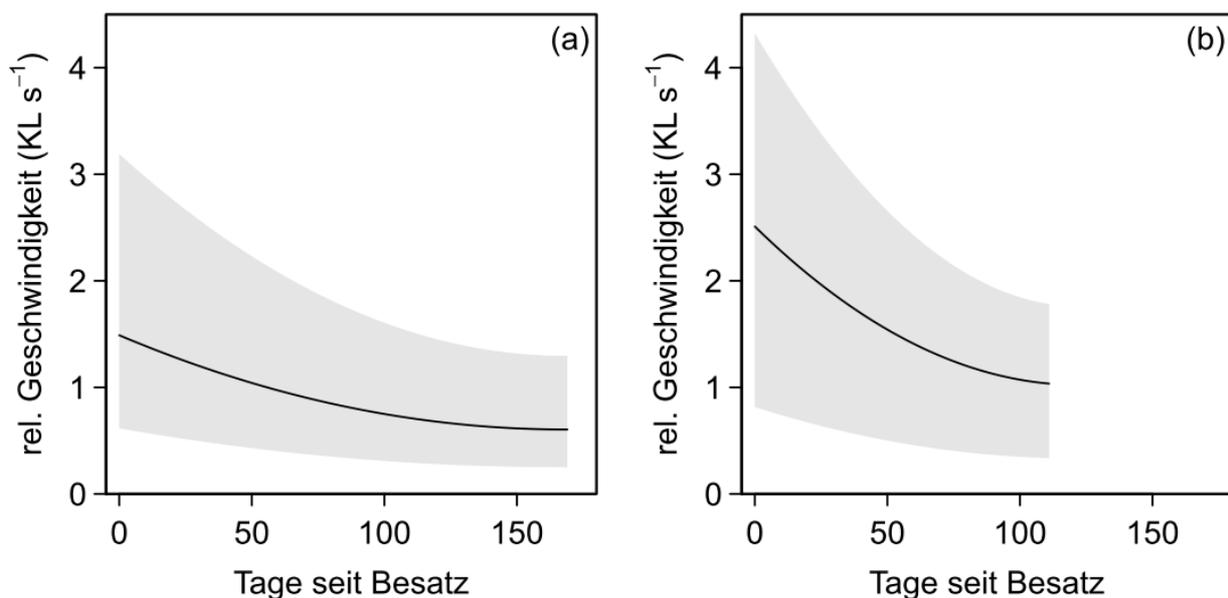


Abbildung 3: Relative Strömungsgeschwindigkeiten (angegeben als Körperlängen/Sekunde), welche durch Schaufelradbelüfter in Erdteichen erzeugt wurden. Die (a) Bachforellen wurden für 169 Tage, (b) Regenbogenforellen für 111 Tage in den Erdteichen gehalten. Die schwarze Linie stellt die mittlere Strömungsgeschwindigkeit dar, welche anhand des Median der Strömungsgeschwindigkeiten errechnet wurde. Der graue Bereich gibt die 25-75% Quantile der relativen Strömungsgeschwindigkeiten an und gibt den Bereich der zur Verfügung stehenden Geschwindigkeiten an.

Das Längen- und Gewichtswachstum der Bachforellen wurde über eine Versuchsdauer von 169 Tagen ermittelt. Die Startlänge betrug im Mittel $4,50 \pm 0,37$ cm, das Körpergewicht lag bei $1,08 \pm 0,28$ g. Bei Versuchsende lag die Körperlänge (Forklänge) bei $11,70 \pm 1,22$ cm und das Körpergewicht bei $20,19 \pm 6,21$ g ohne Strömung. Mit Strömung lag die Körperlänge bei $11,36 \pm 1,71$ cm und das Körpergewicht bei $18,63 \pm 8,58$ g bei Versuchsende. Das Längen- und Gewichtswachstum der Regenbogenforellen wurde über eine Versuchsdauer von 111 Tagen gemessen. Die Startlänge betrug im Mittel $4,09 \pm 0,52$ cm. Das Körpergewicht lag bei $0,76 \pm 0,31$ g.

g. Bei Versuchsende lag die Körperlänge (Forklänge) bei $9,73 \pm 0,96$ cm und das Körpergewicht bei $10,55 \pm 2,65$ g ohne Strömung. Mit Strömung lag die Körperlänge bei $10,03 \pm 0,97$ cm und das Körpergewicht bei $11,94 \pm 3,19$ g bei Versuchsende.

Wie anhand der Standardabweichungen ersichtlich, wuchsen die einzelnen Individuen innerhalb der unterschiedlichen Behandlungen deutlich auseinander. Diese individuellen Wachstumsunterschiede sind in der Fischzuchtpraxis bekannt und es findet daher in gewissen Abständen eine Sortierung nach verschiedenen Größenklassen statt. Eine Sortierung wurde im Rahmen der Versuchsdurchführung nicht vorgenommen, da die Strömungseffekte auf die Gesamtpopulation des Versuchsansatzes untersucht werden sollten. Die Anwesenheit von Strömung zeigte keine Effekte auf das Wachstum von Forellen und Saiblingen. Die in der wissenschaftlichen Literatur beschriebenen Effekte hinsichtlich eines verbesserten Wachstum unter durchströmten Bedingungen konnten in den durchgeführten Feldversuchen somit nicht bestätigt werden. Die Futtermittelverwertung, ausgedrückt durch den Futterquotienten, war unter Strömungsverhältnissen leicht verbessert.

Bei den Bachforellen konnte nach einer Versuchsdauer von 169 Tagen ein um 2,3 % signifikant niedriger Fettanteil unter Strömungsbedingungen festgestellt werden (Tab. 1). Der Proteinanteil war unter Strömungsbedingungen um 2,5 % signifikant erhöht. Dieser Unterschied deutet auf einen höheren Muskelanteil unter Strömungsbedingungen hin. Der Rohaschegehalt wies keine signifikanten Unterschiede zwischen Strömung und ohne Strömung auf. Der Kohlenhydratanteil war anhand des Probenumfangs tlw. nicht nachweisbar. Dieser ist bei Knochenfischen allerdings ohnehin gering und beträgt etwa 0,1-0,5 % des Nassgewichts (Craig 1977; Jonsson & Jonsson 1997). Bei den Regenbogenforellen konnte nach einer Versuchsdauer von 111 Tagen eine Tendenz zu niedrigeren Fettgehalten unter durchströmten Bedingungen nachgewiesen werden. Die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant zu den Fischen aus Teichen ohne Strömung. Der Proteinanteil wies ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen Strömungsbedingungen und ohne Strömung auf. Der Anteil an Rohasche war unter Strömungsbedingungen um 3,8 % erhöht. Der Kohlenhydratanteil war anhand des Probenumfangs nicht nachweisbar.

Tabelle 1: Körperzusammensetzung und Energiegehalt (\pm Standardabweichung) von Regenbogenforellen und Bachforellen, welche ohne und mit Strömung aufgezogen wurden. Angegeben sind die relativen Gehalte im Vergleich zur Frisch- (FM) bzw. Trockenmasse (DM). Statistisch signifikante Unterschiede innerhalb der beiden Arten sind mit (*) gekennzeichnet.

		Regenbogenforellen		Bachforellen	
		ohne Strömung	mit Strömung	ohne Strömung	mit Strömung
Wasser	% FM	78.79 ± 0.50	78.83 ± 1.07	75.17 ± 0.68	76.23 ± 0.97
Protein	% DM	60.05 ± 1.56	59.58 ± 2.13	$57.09^* \pm 1.06$	$59.63^* \pm 0.87$
Fett	% DM	24.89 ± 3.01	21.82 ± 2.02	$32.99^* \pm 1.61$	$30.71^* \pm 1.33$
Rohasche	% DM	$13.28^* \pm 2.29$	$17.06^* \pm 2.61$	9.04 ± 1.41	9.21 ± 0.78
Energie	kJ/g	$19.75^* \pm 0.99$	$18.45^* \pm 0.70$	22.03 ± 0.49	21.57 ± 0.38

5.2 Zusätzlich gewonnene Erkenntnisse

Die Anreicherung der Haltungsumgebung innerhalb des AP 2 sollte mit natürlichem Material erfolgen. Als Material wurde Flußkies ausgewählt. Art und Körnung des Kieses waren zum Beginn des Vorhabens nicht genauer spezifiziert. Vor der ersten Durchführung des AP 2 wurden innerhalb des Projektverbundes die Vor- und Nachteile unterschiedlichen Korngrößen eruiert. Anhand unterschiedlicher Gesichtspunkte hinsichtlich der praktischen Handhabbarkeit wurde ein Kies mit einer Korngröße von 2-8 mm ausgewählt. In einem zusätzlichen Versuch an der Außenstelle Ahrensburg des TI-FI sollte die ausgewählte Korngröße gegen zwei weitere Korngrößen (8-16 mm, 16-32 mm) sowie gegen eine Kontrolle (ohne Kies) getestet werden.

Für den Versuch wurden experimentelle Erbrütungssysteme konstruiert. Je Korngröße und Kontrolle wurden drei Erbrütungssysteme vorgesehen und mit einer einschichtigen Lage des Kieses befüllt bzw. nicht befüllt (Kontrolle). Am 05.01.2016 wurden Regenbogenforellen an der Außenstelle künstlich vermehrt und die experimentellen Erbrütungseinsätze mit jeweils 898 ± 45 ($MW \pm SD$) befruchteten Eiern besetzt. Abgestorbene Eier wurden regelmäßig entfernt sowie die Anzahl erfasst und aufgezeichnet. Die Erbrütungsansätze wurden regelmäßig bzgl. des Auftretens von Verpilzungen kontrolliert. Nach dem Schlupf der Larven wurde das tägliche Monitoring hinsichtlich Mortalität und Verpilzung fortgesetzt. Während der gesamten Dauer des Versuchs (~690 Tagesgrade) wurden täglich Sauerstoffgehalt und Temperatur in jedem der Erbrütungseinsätze gemessen. Ab dem Schlupf wurden in wöchentlichen Abständen Unterproben entnommen, um das Längen- und Gewichtswachstum der Dottersacklarven und Fingerlinge zu erheben.

Zwischen den unterschiedlichen Kiesen unterschieden sich der Zeitpunkt des Schlüpfens und des Aufstehens nicht signifikant voneinander. Die Anwesenheit von Kies wie auch die Art des Kieses zeigten keinen signifikanten Effekt auf das Wachstum. Die Mortalität der Regenbogenforellen war in Abhängigkeit des Kieses jedoch signifikant unterschiedlich (Abb. 4). Die niedrigsten Sterblichkeiten wurden in der Kontrolle sowie in der feinsten Körnung festgestellt. Im Gegensatz zur Kontrolle war die Sterblichkeit in der mittleren Korngröße erhöht. Der Unterschied zwischen der kleinsten sowie der mittleren Korngröße war nicht signifikant. Eine signifikant erhöhte Sterblichkeit wurde in der größten Körnung beobachtet. Die Verpilzungsrate zwischen den Behandlungen unterschied sich signifikant (Abb. 5). In der größten Körnung wurde eine signifikant erhöhte Verpilzungsrate festgestellt. Für eine Anreicherung der Erbrütungseinsätze erschien ein Kies mit feiner Körnung am geeignetsten. Der Versuch bestätigte die Auswahl des bei den Verbundpartnern zur Anreicherung verwendeten Kieses.

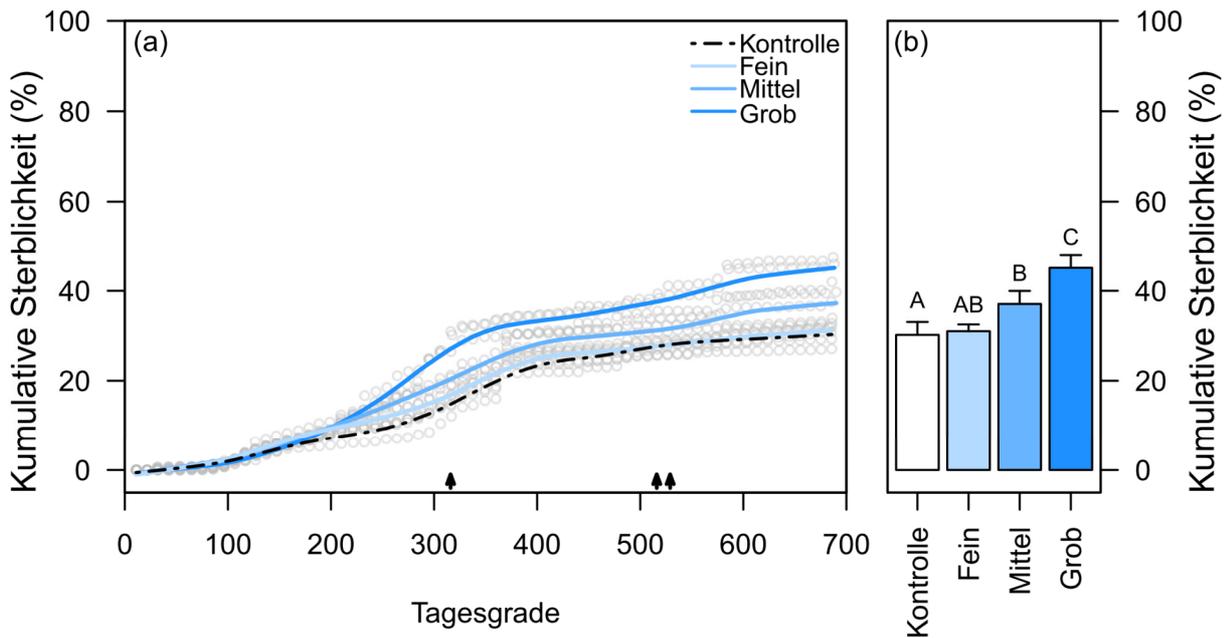


Abbildung 4: Kumulative Sterblichkeit während der Erbrütung von Eiern, Dottersacklarven und Fingerlingen von Regenbogenforellen. Die Erbrütung wurde auf einem Lochgitter (Kontrolle), feinem, mittlerem und grobem Kies durchgeführt. (a) Zeitlicher Verlauf der Sterblichkeit während der Erbrütung. Die Pfeile (von links nach rechts) zeigen Schlupf, Aufstehen und die Anfütterung. Die grauen Kreise zeigen die Rohdaten. (b) Mittlere kumulative Sterblichkeit innerhalb der Behandlungen sowie der Kontrolle zum Ende des Versuchs. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung an. Unterschiedliche Großbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen an.

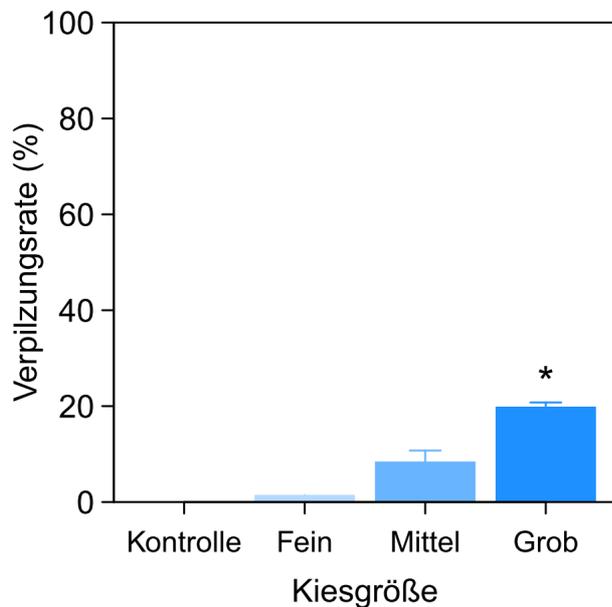


Abbildung 5: Mittlere Verpilzungsrate während der Erbrütung von Eiern, Dottersacklarven und Fingerlingen von Regenbogenforellen über einen Zeitraum von 67 Tagen. Die Erbrütung wurde auf einem Lochgitter (Kontrolle) sowie feinem, mittlerem und grobem Kies durchgeführt. In den Kontrollen wurden keine Verpilzungen festgestellt. Fehlerbalken geben die Standardabweichung an. Ein signifikanter Unterschied ist durch (*) gekennzeichnet. Signifikanzniveau $p < 0.05$.

5.3 Fortführung der umgesetzten Maßnahmen nach der Laufzeit des MuD-Vorhabens (Konsequenzen, notwendige Anpassungen etc.)

Bei den im Rahmen des AP 2 geführten Interviews gaben die Verbundpartner an, dass die Maßnahmen des AP 2 generell weiter auf den Betrieben eingesetzt werden könnten. Gerade aufgrund der positiven Effekte bzgl. Futteraufnahme, Agilität und Wachstum stellten sowohl die zur Erbrütung wie auch die zur weiteren Aufzucht angewandten Maßnahmen eine Verbesserung, gerade bei der Erzeugung von Saiblingen, dar. Da bei Forellen keine Effekte auf das Wachstum während der Erbrütung und Aufzucht der Dottersacklarven festgestellt wurden, erschien eine weitere Anwendung der während der Erbrütung zum Einsatz gekommenen Maßnahmen als unwahrscheinlich. Einige der Verbundpartner gaben jedoch an, dass die Maßnahmen zur weiteren Aufzucht der Fingerlinge auch bei Forellen künftig auf ihren Betrieben Anwendung finden würden. Dies ist nach Abschluss der praktischen Phase des Projekts geschehen.

Die Verbundpartner gaben an, dass die Maßnahmen des AP 3 auf allen Betrieben fortgeführt werden. Ein Verbundpartner experimentierte in 2017 bereits mit Strömungspumpen aus der Klärtechnik. Bei den Verbundpartnern werden unterschiedliche Geräte zur Belüftung und Umwälzung des Wasserkörpers eingesetzt. Eine entsprechende Ausrichtung der Geräte vorausgesetzt, kann so eine gerichtete Strömung erzeugt werden, die auch die Selbstreinigung der Naturteiche verbessert. Neben der Erzeugung von Speisefischen ist eine Aufzucht unter durchströmten Bedingungen v.a. für die Erzeugung von Besatzmaterial für Angelgewässer von Interesse.

6 Erzielte tierschutzrelevante Verbesserungen auf den Testbetrieben

Gegenstand des Verbundvorhabens war die praktische Implementierung sowie die Evaluierung hinsichtlich der Machbarkeit von Maßnahmen zur naturnahen Gestaltung der Haltungsumgebung in der Aufzucht juveniler Salmoniden. Tierschutzindikatoren, die bei Fischen bislang nur unzureichend entwickelt sind und deren Belastbarkeit bei Fischen generell noch nicht abschließend geklärt werden konnte, wurden im Zuge des Vorhabens nicht erhoben. Grundlage zur Umsetzung der Maßnahmen sowie die Relevanz der Maßnahmen hinsichtlich Tierschutz/Tiergerechtigkeit stellen die unter Punkt 2 (Status quo) dargelegten Erkenntnisse aus der Primärliteratur dar.

Lachsartige Fische gehören zu den sog. Kieslaichern. Im natürlichen Habitat legen Forellen, Saiblinge und auch Lachse ihre Eier in Laichgruben ab, welche von den Elterntieren in den Kies geschlagen werden. Die Eier entwickeln sich anschließend inmitten des Kiesbetts. Nach dem Schlupf halten sich auch die Dottersacklarven weiter im Kieslückensystem auf. Ist der Dottersack aufgebraucht, bewegen sich die Fische aus dem Kieslückensystem heraus. Die Jungfische halten sich während der nächsten Phase der Entwicklung aber immer noch in Bodennähe auf.

Die künstliche Vermehrung und Aufzucht von lachsartigen Fischen erfolgt nach standardisierten Verfahren und unterscheidet sich zwischen den einzelnen Arten nur geringfügig. Zur konventionellen Erbrütung und Aufzucht werden Systeme mit glatten Oberflächen und ohne jegliche Struktur verwendet. Mit Ausnahme der physikalischen und chemischen Wasserparameter, hat die künstliche Aufzucht unter konventionellen Bedingungen deshalb nur wenig mit natürlichen Aufwuchsbedingungen gemein. Die verwendeten Systeme erleichtern die praktische Handhabung und erlauben ein einfaches Hygienemanagement. Im AP 2 des Verbundhabens wurde demonstriert, wie die zur Erbrütung und Aufzucht üblicherweise verwendeten Systeme, ein gutes Hygienemanagement vorausgesetzt, mit natürlichen Substraten angereichert werden können. Durch die Anreicherung mit Kies und Sand wurden Kernelemente des natürlichen Aufwuchshabitats in die ansonsten monotone und reizarme Haltungsumgebung integriert und die Naturnähe der Haltungsumgebung erhöht. Die Umsetzung der Maßnahme greift frühere Bestrebungen hinsichtlich des Einsatzes von Erbrütungssubstrat auf und entwickelte diese weiter.

Lachsartige Fische sind strömungsliebende (rheophile) Fischarten, welche sich in ihrer natürlichen Umgebung oftmals in stark durchströmten Bereichen aufhalten und sich durch außergewöhnliche Schwimmleistungen auszeichnen (z.B. Migration von und zu den Laichhabitaten). Die Bedingungen in der Aquakultur weichen teils erheblich von den in der Natur vorherrschenden ab, wenngleich die Aufzucht in den Betrieben der Verbundpartner in Erdteichen und somit in bereits naturnahen Systemen erfolgte. Auf den Betrieben der Verbundpartner wurden bereits vor dem Vorhaben unterschiedliche technische Geräte zur Umwälzung, Belüftung und Entgasung des Wassers eingesetzt und auch Fließkanäle zur Aufzucht der Fische verwendet. Die Aufstellung und Ausrichtung der technischen Geräte war aber mitunter nicht dahingehend optimiert, um eine gerichtete Strömung zu erzeugen. In dem Vorhaben konnte gezeigt werden, dass es im Rahmen der Belüftung möglich ist, ein gerichtetes Strömungsregime in Naturteichen zu erzeugen.

Technische Geräte die auch zur Belüftung eingesetzt werden und einer Produktionssteigerung dienen, dürfen, zumindest nach den Richtlinien einiger Verbände, nicht kontinuierlich in der Aufzucht nach ökologischen Richtlinien verwendet werden. Die in dem Verbundvorhaben zum Einsatz gekommenen Impellerpumpen dienen nicht der Belüftung, sondern ausschließlich zur Erzeugung von Strömung. Die Verwendung von Impellerpumpen könnte deshalb auch in der Erzeugung nach ökologischen Richtlinien zur Verbesserung der Haltungsbedingungen eingesetzt werden. Die müsste aber ggf. gesondert geprüft werden. Zudem sind weitere Untersuchungen zum Einsatz von Impellerpumpen in Erdteichen notwendig. In dem gegenwärtigen Projekt konnte der reibungslose Betrieb der Pumpen nicht sichergestellt werden. Hierzu werden gesonderte Modifikationen an den Teichen und v.a. am Zulauf zu den Teichen notwendig.

7 Evaluation des Verbundvorhabens

Der Projektverbund setzte sich aus einem Bundesforschungsinstitut sowie drei Praxisbetrieben zusammen, welche sich auf die Aufzucht und Erzeugung von lachsartigen Fischen spezialisiert haben. Durch die Zusammensetzung des Projektverbundes war eine wissenschaftliche Begleitung

des Vorhabens sowie die Durchführung, Dokumentation und Auswertung der praktischen Maßnahmen nach Regeln der guten fachlichen und wissenschaftlichen Praxis sichergestellt. Die Beteiligung der Betriebe ermöglichte eine Erprobung und Anwendung der umgesetzten Maßnahmen unter Bedingungen der Aquakulturpraxis, wodurch Aussagen hinsichtlich der Machbarkeit unter realen Bedingungen ermöglicht wurden. Durch die Erprobung der Maßnahmen auf Praxisbetriebe ist zudem eine Übertragbarkeit der Ergebnisse sowie auch der Erkenntnisse, hinsichtlich der Machbarkeit der erprobten Maßnahmen, auf andere Teichwirtschaftsbetriebe gegeben.

Das Verbundvorhaben unterteilte sich in vier Arbeitspakete. Im Zuge des AP 1 wurde die wissenschaftliche Primärliteratur zu den umzusetzenden Maßnahmen recherchiert und aufgearbeitet. Hierdurch wurde sichergestellt, dass bislang erarbeitete Erkenntnisse zum EE bei der Durchführung des Verbundvorhabens berücksichtigt und die Maßnahmen auf der Basis des aktuellen Stands des Wissens durchgeführt wurden. Die gesammelten Erkenntnisse wurde in einen Leitfaden integriert, der mit den aus dem Vorhaben erarbeiteten praxisrelevanten Erkenntnissen ergänzt und vervollständigt wurde. Die Erstellung des Leitfadens wurde erfolgreich abgeschlossen. Durch eine Veröffentlichung des Leitfadens in gedruckter und digitale Form wurde sichergestellt, dass die erarbeiteten Informationen einer breiten interessierte Öffentlichkeit zugänglich gemacht wurden.

Innerhalb des AP 2 wurde Maßnahmen des EE zur Anreicherung der Haltungsumgebung während der Erbrütung und Aufzucht angewandt. Durch die Haltung und Aufzucht mehrerer Arten bzw. eines Hybriden pro teilnehmendem Praxisbetrieb wurde sichergestellt, dass die Machbarkeit des EE für nahezu die Gesamtheit der in der deutschen Aquakultur gehaltenen lachsartigen Fische erprobt werden konnte. Da lachsartige Fische nach standardisierten Verfahren reproduziert, erbrütet und aufgezogen und hierfür einheitliche Haltungssysteme verwendet werden, die, zumindest während der Erbrütung obendrein in Replikation vorlagen, war eine gute Vergleichbarkeit der Maßnahme innerhalb sowie auch zwischen den teilnehmenden Betrieben sichergestellt. Der im Zuge des AP 2 erarbeitete Datensatz ermöglichte deshalb fundierte und statistisch abgesicherte Aussagen über die Effekte und Machbarkeit des EE unter praktischen Bedingungen. Die innerhalb des AP 2 durchgeführte Aufzucht in Brutrinnen und Rundbecken erfolgte hingegen nicht in replizierter Form. Die für eine Replikation notwendige Fischmenge überstieg den Eigenbedarf der teilnehmenden Betriebe erheblich. Eine Reduktion des Fischbesatzes mit einer entsprechenden Aufteilung der Fische auf mehrere Systeme würde die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Bedingungen der Praxis jedoch verunmöglichen. Eine statistische Auswertung der zweiten Phase des AP 2 war aus diesem Grund nicht möglich.

Zur Umsetzung des AP 3 lagen, anders als für das AP 2, sehr unterschiedliche Bedingungen und Voraussetzungen vor. Bei den zur Verfügung stehenden Haltungsvorrichtungen handelte es sich um naturnahe Systeme im Freiland, wie Erdteiche oder eine Fließrinne mit natürlicher Sohle. Bedingt durch die unterschiedliche geografische Lage, die Lage der Teichanlagen am Wasserzubringer und hier die Entfernung zur Quelle, sowie die Art der Wasserversorgung der Teiche, ergaben sich sehr unterschiedliche abiotische Bedingungen, welche eine Vergleichbarkeit zwischen den Betrieben verunmöglichten. Dieser Umstand wurde durch Unterschiede in den Sommertemperaturen zwischen den Jahren noch verstärkt. Eine Betrachtung der Effekte der

Maßnahmen des AP 3 war deshalb nur auf einzelbetrieblicher Basis möglich. Hierbei zeigte sich, dass mittels entsprechend ausgerichteter und fixierter Schaufelradbelüfter ein stabiles Strömungsfeld in Erdteichen aufgebaut werden konnte. Die begleitend vorgenommenen und gut aufgelösten Messungen der Strömungsgeschwindigkeiten erlaubten eine fundierte Aussage über die Intensität und Heterogenität der induzierten Strömung in den Teichen. Mittels der vorgenommenen Erhebungen von Länge und Gewicht konnte das Wachstum über die Zeit nachvollzogen und mit den vorherrschenden Strömungen in Relation gesetzt werden. Im Gegensatz zu den langjährig etablierten Schaufelradbelüfter, handelt es sich bei Impellerpumpen um ein relativ neues und innovatives technisches Produkt. Aus der Aquakulturpraxis sind bislang nur wenige Beispiele bekannt, bei denen Impellerpumpen in Naturteichen eingesetzt werden. Impellerpumpen besitzen ein hohes Potential zur Anwendung in der Fischzucht. Für die Verwendung in Naturteichen müssen Managementmaßnahmen in und an den Teichen aber ggf. angepasst werden, damit eine reibungslose Funktionalität der Pumpen gewährleistet wird. Modifikationen am Gehäuse der Impellerpumpen können ebenfalls zu Verbesserungen in der Anwendung beitragen. Hinsichtlich der praktischen Anwendung von Impellerpumpen in der Aquakultur besteht deshalb noch erheblicher Forschungsbedarf, der im Zuge des gegenwärtigen Projekts nicht geleistet werden konnte.

Das AP 4 hatte die Erstellung einer Broschüre sowie die Organisation, Koordination und Ausrichtung eines Fachsymposiums zu den „Modell- und Demonstrationsvorhaben Tierschutz in der Aquakultur“ zum Ziel, im Rahmen dessen die Ergebnisse der MuD-Tierschutz im Bereich Aquakultur sowie aktuelle Ergebnisse aus Forschung und Beratung einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt werden sollten. Die Veranstaltung wurde am 07.06.2017 ausgerichtet und erreichte einen weiten Personenkreis aus Aquakulturpraxis, Forschung, Verwaltung sowie der interessierten Öffentlichkeit.

Literatur

- Arndt RE, Routledge MD, Wagmer EJ, Mellenthin RF. 2001. Influence of raceway substrate and design on fin erosion and hatchery performance of rainbow trout. *North American Journal of Aquaculture* 63, 312–320.
- Bams RA. 1967. Differences in performance of naturally and artificially propagated Sockeye salmon migrant fry, as measured with swimming and predation tests. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 24, 1117–1153.
- Benhaïm D, Leblanc CA, Lucas G. 2009. Impact of a new artificial shelter on Arctic charr (*Salvelinus alpinus*, L.) behaviour and culture performance during the endogenous feeding period. *Aquaculture* 295, 38–43.
- Berejikian BA, Tezak EP. 2005. Rearing in enriched hatchery tanks improves dorsal fin quality of juvenile Steelhead. *North American Journal of Aquaculture* 67, 289–293.
- Bloomsmith MA, Schapiro SJ, Brent LY. 1991. Guidelines for developing and managing an environmental enrichment program for nonhuman primates. *Laboratory Animal Science* 41, 372–377.
- Brännäs E. 1989. The use of a simulated redd for incubating Baltic salmon (*Salmo salar*) and trout (*Salmo trutta*) alevins. *Aquaculture* 83, 261–267.
- Brännäs E. 2009. The effect of moderate exercise on growth and aggression depending on social rank in groups of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). *Applied Animal Behaviour Science* 119, 115–119.
- Bugeon J, Lefevre F, Fauconneau B. 2003. Fillet texture and muscle structure in brown trout (*Salmo trutta*) subjected to long-term exercise. *Aquaculture Research* 34, 1287–1295.
- Craig JF. 1977. The body composition of adult perch, *Perca fluviatilis*, in Windermere, with reference to seasonal changes and reproduction. *Journal of Animal Ecology* 46, 617–632.
- Davison W. 1997. The effects of exercise training on teleost fish, a review of recent literature. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 117, 67–75.
- Davison W, Goldspink G. 1977. The effect of prolonged exercise on lateral musculature of the brown trout (*Salmo trutta*). *Journal of Experimental Biology* 70, 1–12.
- Davison W, Herbert NA. 2013. Swimming enhanced growth. In: Palstra AP Planas JV (Eds.), *Swimming Physiology of Fish*. Springer, Berlin Heidelberg.
- East P, Magnan P. 1987. The effect of locomotor activity on the growth of brook charr, *Salvelinus fontinalis* Mitchill. *Canadian Journal of Zoology* 65, 843–846.
- Hyvärinen P, Rodewald P. 2013. Enriched rearing improves survival of hatchery-reared Atlantic salmon smolts during migration in the River Tornionjoki. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 70, 1386–1395.
- Johnsson JI, Brockmark S, Näslund J. 2014. Environmental effects on behavioural development consequences for fitness of captive-reared fishes in the wild. *Journal of Fish Biology* 85, 1946–1971.
- Johnston IA. 1999. Muscle development and growth: potential implications for flesh quality in fish. *Aquaculture* 177, 99–115.
- Johnston IA, Moon TW. 1980. Exercise training in skeletal muscle of brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Journal of Experimental Biology* 87, 177–194.

- Jonsson N, Jonsson B. 1997. Energy allocation in polymorphic brown trout. *Functional Ecology* 11, 310–317.
- Kihlslinger RL, Nevitt GA 2006. Early rearing environment impacts cerebellar growth in juvenile salmon. *Journal of Experimental Biology* 209, 504–509.
- Mork OI, Bjerkgeng B, Rye M. 1999. Aggressive interactions in pure and mixed groups of juvenile farmed and hatchery-reared wild Atlantic salmon *Salmo salar* L. in relation to tank substrate. *Aquaculture Research* 30, 571–578.
- Näslund J, Aarestrup K, Thomassen ST, Johnsson JI 2012. Early enrichment effects on brain development in hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar*): no evidence for a critical period. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 69, 1481–1490.
- Näslund J, Rosengren M, Del Villar D, Gansel L, Norrgård JR, Persson L, Winkowski JJ, Kvingedal E. 2013. Hatchery tank enrichment affects cortisol levels and shelter-seeking in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 70, 585–590.
- Näslund J, Johnsson JI. 2016. Environmental enrichment for fish in captive environments: effects of physical structures and substrates. *Fish and Fisheries* 17, 1–30.
- Nordgreen J, Bjørge MH, Janczak AM, Hovland AL, Moe RO, Ranheim B, Horsberg TE. 2013. The time budget of Atlantic salmon (*Salmo salar*) held in enriched tanks. *Applied Animal Behaviour Science* 144, 147–152.
- Palstra AP, Planas JV. 2011. Fish under exercise. *Fish Physiology and Biochemistry* 37, 259–272.
- Peterson RH, Martin-Robichaud DJ. 1995. Yolk utilization by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) alevins in response to temperature and substrate. *Aquacultural Engineering* 14, 85–99.
- Reiter R. 2004. Erfahrungen mit dem Einsatz von Schlupfmatten bei der Aufzucht von Bachforellenlarven. Jahresbericht der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Fischerei 2004, 16-17.
- Roberts LJ, Taylor J, Gough PJ, Forman DW, Garcia de Leaniz C. 2014. Silver spoons in the rough: can environmental enrichment improve survival of hatchery Atlantic salmon *Salmo salar* in the wild? *Journal of Fish Biology* 85, 1972–1991.
- Rollinson N, Hutchings JA. 2011. Why does egg size of salmonids increase with the mean size of population spawning gravels? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 68, 1307–1315.
- Salvanes AGV, Moberg O, Ebbesson LOE, Nilsen TO, Jensen KH, Braithwaite VA. 2013. Environmental enrichment promotes neural plasticity and cognitive ability in fish. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280, 20131331.
- Sternecker K, Geist, J. 2010. The effects of stream substratum composition on the emergence of salmonid fry. *Ecology of Freshwater Fish* 19, 537–544.
- Totland OK, Kryvi H, Jodestol KA, Christiansen EN, Tangeras A, Slinde E. 1987. Growth and composition of the swimming muscle of adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L) during long term sustained swimming. *Aquaculture* 66, 299–313
- Tucker VA. 1970. Energetic cost of locomotion in animals. *Comparative Biochemistry and Physiology* 34, 841–846
- Young RJ. 2003. Environmental enrichment for captive animals. Wiley-Blackwell, Oxford.