UNIVERSITÄT BASEL

Programm MGU
Mensch Gesellschaft Umwelt
Patricia Holm, Prof. Dr. rer. nat.
Leiterin MGU

Vesalgasse 1
CH-4051 Basel

Tel. +41 (0)61 207 04 00
Fax +41 (0)61 207 04 09
https://mgu.unibas.ch

Basel, 18.01.2022

Schlussbericht 2021

Invasive Schwarzmeergrundeln in der Schweiz

Patricia Holm, Philipp Hirsch, Karen Bussmann, Joschka Wiegleb, Nandhakumar Govindasamy,Tamino Weggler

Zwei nicht-heimische Grundelarten besiedeln seit 2011 den Hochrhein. Die Kesslergrundel traf als erste ein, im Jahr darauf konnte die Schwarzmundgrundel im Hafen Kleinhüningen festgestellt werden.

Für die Forschenden des Programms 'Mensch Gesellschaft Umwelt (MGU)' am Departement Umweltwissenschaften der Universität Basel war die Ankunft dieser nicht-heimischen Arten nicht überraschend, da im Bafu-Bericht von 2002 (Dönni & Freyhof, 2002) auf diese bevorstehende Einwanderung bereits hingewiesen wurde.

So wurde rasch eine Liste offener Fragen zusammengestellt. Deren Beantwortung sollte Grundlagen liefern um der weiteren Ausbreitung Einhalt zu gebieten, grundlegendes Wissen über die Biologie und Ökologie sowie über den potentiellen Schaden zu erarbeiten und damit die Entwicklung von robusten Massnahmenempfehlungen zu ermöglichen. Die Forschung dazu lief in zwei Phasen. In Phase 1 wurden wichtige grundlegende Forschungen durchgeführt:

Phase 1 (2012- 2016): Erforschung grundlegender Aspekte der invasiven Schwarzmeergrundeln in der Schweiz:

1. Ausbreitungsmechanismen
2. Auswirkungen auf die heimische Fauna
3. Möglichkeiten der Eindämmung

Die Ergebnisse der Forschungen zu diesen Aspekten wurden bereits in Fachliteratur und weiteren Veröffentlichungen wie z.B. populärwissenschaftlichen Artikeln publiziert (Link).

Nach Beendigung der ersten Projektphase folgte ein direkter Übergang in die zweite Phase. Phase 2 ist gekennzeichnet durch die Weiterführung wichtiger Langzeitdatenaufnahmen und tiefergehende Grundlagenforschungen zu besonders relevanten Fragen rund um die Ausbreitungs- und Eindämmungsmöglichkeiten der Grundeln:

Phase 2 (seit 2017): Beantwortung weiterführender Forschungsfragen zu den invasiven Schwarzmeergrundeln in der Schweiz:

1. **Populationsmonitoring**: Wie entwickelt sich die Schwarzmeergrundelpopulation im Rhein bei Basel?

2. Wie können Schwarzmeergrundeln im Vergleich mit einheimischen Arten aus eigener Kraft in Gewässer aufsteigen und können sie dabei **physische Hindernisse überwinden**?

3. Unter welchen Umständen könnten Schwarzmeergrundeln durch **Freizeitaktivitäten und Freizeitboote** verschleppt werden?

Neben der Forschungstätigkeit verfolgte die Grundelgruppe des MGU noch weitere Aktivitäten, die vor allem der Zusammenarbeit mit Stakeholdern aus der Praxis dienten. Ziel dieser Aktivitäten war es, relevante Ergebnisse zu kommunizieren, mit der Praxis abzustimmen und sie dadurch nutzbar zu machen.

Aktivitäten:

1. Weiterführung der Organisation und Pflege des **Austausches zwischen** den beteiligten **Stakeholdern**; weiterhin kontinuierliche **Information und Weitergabe neuester Ergebnisse**.
2. Weiterführung der **Grundlagenforschung zur Erstellung und Aktualisierung von Massnahmenempfehlungen** basierend auf den genannten Forschungsfragen.

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über die im Jahr 2021 durchgeführten und darüber hinaus geplanten Arbeiten und Aktivitäten zur Beantwortung der Forschungsfragen der zweiten Projektphase.

Inhalt

1 Forschungsfragen 1

1.1 Frage 1: Populationsmonitoring: Wie entwickelt sich die Schwarzmeergrundelpopulation im Rhein bei Basel? 1

1.1.1 Teilprojekt „Monitoring im Hafen Kleinhüningen“ 1

1.2 Frage 2: Wie können Schwarzmeergrundeln im Vergleich mit einheimischen Arten aus eigener Kraft in Gewässer aufsteigen und können sie dabei physische Hindernisse überwinden? 3

1.2.1 Teilprojekt „Verhalten von Modellfischen in der Strömung“ 3

1.2.2 Teilprojekt „Hydraulische Kräfte im Schwimmkanal“ 7

1.3 Frage 3: Unter welchen Umständen werden Schwarzmeergrundeln durch Freizeitaktivitäten und Freizeitboote verschleppt? 9

1.3.1 Teilprojekt „Köderfische, Petri-Heil Analyse“ 9

1.3.2 Teilprojekt „Aquaristik“ 11

1.3.3 Teilprojekt „Passive Ausbreitung durch die Verschleppung mit Freizeitbooten“ 14

1.3.4 Teilprojekt „Widerstandsfähigkeit von Eiern gegen Austrocknung“ 16

2 Aktivitäten 19

2.1 Aktivitäten 1: Weiterführung der Organisation und Pflege des Austausches zwischen den beteiligten Stakeholdern, sowie weiterhin kontinuierliche Information und Weitergabe neuester Ergebnisse 19

2.1.1 Vernetzung und Outreach 2021 19

2.1.2 Abschlussveranstaltung 2022 19

2.2 Aktivitäten 2: Weiterführung der Grundlagenforschung zur Erstellung und Aktualisierung von Massnahmenempfehlungen basierend auf den genannten Forschungsfragen. 20

2.2.1 Entwicklung einer Grundelsperre 20

2.2.2 Synthese 21

3 Ausblick 21

3.1 Forschungsfragen 21

3.2 Aktivitäten 22

4 Literatur 23

5 Anhang 24

5.1 Wissenschaftliche Publikationen 24

5.2 Medienspiegel 24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 A Monitoring Kleinhüningen Reusenstandorte ..... **Error! Bookmark not defined.**

Abbildung 1 B Beköderte Reuse 1

Abbildung 2 Monitoring Kleinhüningen Fangzahlen 2

Abbildung 3 Strömungsmesser 4

Abbildung 4 Karten der gemessenen Kräfte im Strömungskanal 4

Abbildung 5 Hydraulische Kräfte im ‘Vertical Slot’ 6

Abbildung 6 3D Kraftsensor im Strömungskanal 8

Abbildung 7 Köderfisch-Typ und Zustand 10

Abbildung 8 Köderfisch-Art und Zustand 10

Abbildung 9 Anzahl der Zielfisch Nennungen 11

Abbildung 10 Verkaufsstand mit Grundelködern 13

Abbildung 11 Schema Probennahme 17

1 FORSCHUNGSFRAGEN

1.1 FRAGE 1: POPULATIONSMONITORING: WIE ENTWICKELT SICH DIE SCHWARZMEERGRUNDELPOPULATION IM RHEIN BEI BASEL?

1.1.1 Teilprojekt „Monitoring im Hafen Kleinhüningen“

Das Programm MGU führt seit 2012 ein jährliches Monitoring durch, um die Entwicklung der Populationen von Schwarzmund- und Kesslergrundeln im Hochrhein bei Basel zu verfolgen. Ebenfalls können so eventuell neu ankommende invasive Grundelarten und andere invasive Arten früh dokumentiert werden. Aus diesen Beobachtungen in Kombination mit ähnlichen Daten aus der wissenschaftlichen Literatur können so mögliche Entwicklungen für neu besiedelte Gewässer(-abschnitte) abgeschätzt werden.

Methoden

Seit Beginn des Grundelprojekts 2012 findet jährlich, üblicherweise im August, ein standardisiertes Monitoring mit fünf Metallreusen an fünf Standorten im Hafen Kleinhüningen statt (**Abb. 1 A**). Dabei werden die Reusen mit Hundefutter beködert und zweimal wöchentlich geleert (**Abb. 1 B**). Die gefangenen Arten werden bestimmt, heimische Arten zurück ins Wasser entlassen und invasive Arten entnommen.

In diesem Jahr wurden im Rahmen eines unabhängigen Projektes an drei Tagen jeweils zwei weitere Reusen nahe der Fangstelle A ausgebracht. Die hierbei gefangenen Grundeln wurden ebenfalls gezählt und den Ergebnissen des Standard-Monitorings zugerechnet. Allerdings wurden die Fangzahlen der beiden Projekte in der Auswertung separat gehalten, um deutlich zu machen, dass die zusätzlich gefangenen Grundeln nicht direkt mit den Fangzahlen der vergangenen Jahre vergleichbar sind.

***Abbildung 1 A** Monitoring Hafen Kleinhüningen, Reusenstandorte: An den Stellen A bis E wurde im August 2021 wie in den vorigen Jahren (2012-2021) ein standardisiertes Monitoring durchgeführt. An jeder Stelle wurde eine Reuse ausgelegt und zweimal wöchentlich kontrolliert. **B** Beköderte Reuse, wie sie im Monitoring verwendet wird.*

Ergebnisse

Im diesjährigen Monitoring im August wurden insgesamt 150 Schwarzmundgrundeln (103 davon in den 5 Reusen des Standard-Monitorings, 47 in den zusätzlichen Reusen) und 8 Kesslergrundeln (alle in den Reusen des Standard-Monitorings) gefangen. Zusätzlich waren 10 heimische Fische (v.a. Egli, Alet), 3 Signalkrebse und 1 Kamberkrebs in den Reusen gefangen (**Abb. 2**). Die Anzahl der gefangenen Schwarzmundgrundeln hat sich damit im Vergleich zum vergangenen Jahr etwas reduziert. Die Fangzahlen der heimischen Fischarten waren wie in den vergangenen Jahren seit 2015 vernachlässigbar.

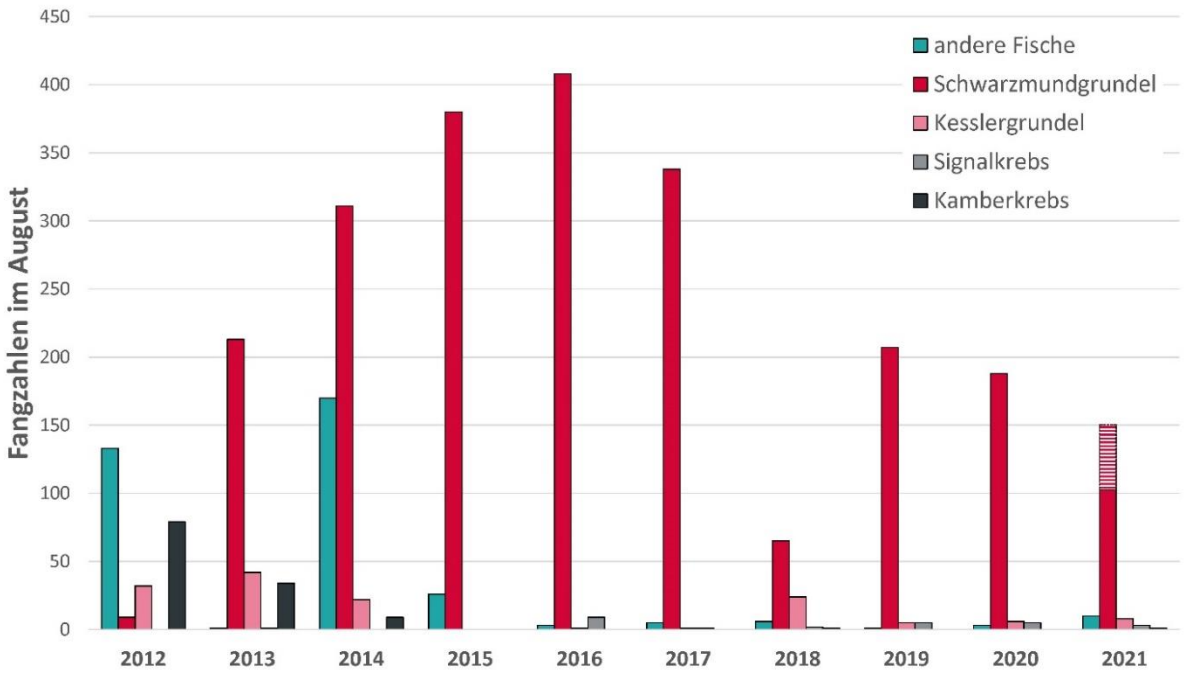

Abbildung 1 *Monitoring Kleinhüningen Fangzahlen: Fangzahlen des jährlichen Monitorings im Hafen Kleinhüningen in den Jahren 2012 bis 2021, Standardisierte Befischung mit 5 Reusen jeweils im August (Ausnahme: 2014 im Oktober). Im Jahr 2021 wurden im Hafen im Rahmen eines unabhängigen Projektes an drei Tagen zusätzliche Reusen gestellt (schraffierter Bereich).*

Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Jahr 2021 wurden gegenüber August 2020 etwas weniger Schwarzmundgrundeln im Hafen Kleinhüningen gefangen. Diese wichtigen Beobachtungen zur Entwicklung der Gründerpopulation von Grundeln sind ein einzigartiger Datensatz, der dazu beiträgt, die Dynamik einer biologischen Invasion zu verstehen. Da Schwarzmundgrundeln sich nach wie vor international ausbreiten, können diese Ergebnisse dazu beitragen, die Entwicklung künftiger Populationen in neu besiedelten Gebieten vorherzusagen und zu managen.

Der Datensatz wird bis Mitte des Jahres 2022 weiter analysiert und als Teil einer abschliessenden Publikation zum Grundelprojekt in einem wissenschaftlichen Journal veröffentlich werden.

Der Verlauf der Fangzahlen entspricht einer sogenannten «Boom-Bust-Dynamik» (Strayer, D'Antonio et al. 2017), wie sie aus der Invasionsbiologie bekannt ist. Dabei kommt es zu einem explosionsartigen Anstieg gefolgt von einem rasanten Einbruch von Populationsgrössen invasiver Arten. In der Folge kann eine Population sich entweder einpendeln, oder die Boom-Bust Dynamik wiederholt sich zyklisch. Ein vergleichbares Monitoring einer Population in Rees am Niederrhein, wo die Grundeln schon im Jahr 2010 nachgewiesen wurden, zeigt ein ähnliches Muster der Fangzahlen wie unser Monitoring in Basel. In Rees pendeln die Fangzahlen nach einem Höchststand im Jahr 2014 um ein mittleres Niveau –

potentiell kann dies als ein Ausblick auf die bei uns zu erwartenden Fangzahlen, zumindest in den nächsten Jahren, dienen. Eine dreissigjährige Studie aus den USA hingegen zeigt eine zyklische Boom-Bust Dynamik, bei der die Fangzahlen von Schwarzmundgrundeln immer wieder zwischen hohen und niedrigeren Fangzahlen pendeln, wobei besonders die Bestände heimischer Fische mit ähnlicher Lebensweise seit der Grundelinvasion stark gelitten haben (Zorn and Kramer 2021).

1.2 Frage 2: Wie können Schwarzmeergrundeln im Vergleich mit einheimischen Arten aus eigener Kraft in Gewässer aufsteigen und können sie dabei physische Hindernisse überwinden?

1.2.1 Teilprojekt „Verhalten von Modellfischen in der Strömung“

Seit dem Jahr 2012 lebt die Schwarzmundgrundel im Rhein bei Basel und breitet sich durch aktives Schwimmen immer weiter stromaufwärts aus (Kalchhauser, Mutzner, Hirsch, & Burkhardt-Holm, 2013). Da die Schwarzmundgrundel mit heimischen Arten um Ressourcen konkurriert, bedeutet die Ausbreitung der Schwarzmundgrundel eine Bedrohung für das aquatische Ökosystem (Kornis, Mercado-Silva, & vander Zanden, 2012). Auf ihrem Weg stromauf muss die Schwarzmundgrundel immer wieder Querbauwerke in Form von Dämmen über Fischtreppen passieren. Diese Fischtreppen erzeugen in ihren Becken Strömungsverhältnisse, die vor allem wirtschaftlich relevanten Arten die Passage ermöglichen sollen. In diesem Teilprojekt wird der Effekt der Strömung auf bodenlebende Fische untersucht und mit dem Verhalten lebender Fische verglichen. Dies soll Aufschluss darüber geben, welchen hydraulischen Hürden die verschiedenen Arten in Fischpässen ausgesetzt sind und wie sie mit ihrem Schwimmverhalten darauf reagieren. Dieses Vorgehen gibt Hinweise darauf, wie Strömungsverhältnisse in Fischpässen verändert werden können, sodass vor allem erwünschte Arten passieren und unerwünschte Arten zurück gehalten werden.

Im Teilprojekt erarbeitete Fragestellungen:

- Erfahren benthische Fische unterschiedliche hydraulische Kräfte in der Strömung?
- Hängt das Schwimmverhalten von den hydraulischen Kräften ab?
- Welche Kräfte wirken auf die Fische bei der Überwindung von Strömungsfeldern, die beim Aufstieg in einem ‘Fischpass mit vertikalen Schlitzen’ überwunden werden müssen?

Methoden

Fixierung der Fische

Für die Kraftmessungen wurden tote Fische in einer standardisierten, ausgestreckten Körperhaltung für 3 Tage in 4% Formaldehyd fixiert. Nach dieser Zeit waren die Körper versteift und unflexibel. Um die Toxizität zu reduzieren wurden die Fische anschliessend schrittweise und alle 24 h über 40%, 60% zu 75% Ethanol überführt (Wiegleb, Hirsch, Egger, Seidel, & Burkhardt-Holm, 2020).

Vorversuche im Schwimmkanal

Im Rahmen einer Bachelorarbeit hat ein Student vom Karlsruher Institut für Technologie die Strömungsverhältnisse im Schwimmkanal (Loligo Systems) am MGU mit einem Acoustic Doppler velocimeter vermessen.

Anschliessend wurden die frontalen Kräfte gemessen (Vernier Go Direct Force and Acceleration Sensor), die fixierte Grundeln, Groppen und Gründlinge am Boden bei verschiedenen

Strömungsgeschwindigkeiten erfuhren. Die Kräfte wurden räumlich verteilt gemessen um Karten über die Kraftverteilung zu zeichnen.

Im letzten Schritt wurden die Kräfte mit dem Verhalten lebender Fische der gleichen Arten bei den gleichen Strömungsgeschwindigkeiten mit Kameras aufgezeichnet. Die Bewegungen der Fische wurden verfolgt und mit den Kraftkarten verglichen (Wiegleb et al., 2020).

Versuche an der Gewässerrinne in Karlsruhe

Am Karlsruher Institut für Technologie wurde ein physisches Modell einer massstabsgetreuen Fischtreppe mit vertikalen Schlitzen für die Versuche genutzt. Hier wurde ein Prototyp einer hydraulischen Sperre getestet, der den Aufstieg invasiver Grundeln verhindern und den Aufstieg vergleichbarer Arten (Gründling und Groppe) ermöglichen sollte. Dieser Prototyp bestand aus einem 1 m langen Edelstahl-Blech am Boden. Dieses Blech verlängerte das Strömungsfeld im Schlitz gleichmässig und durch seine glatte Oberfläche verhinderte es, dass Grundeln sich am Boden ausruhen können. Schräge Seitenwände verhinderten, dass Grundeln die Sperre in der Wassersäule umschwammen. Um zu überprüfen, ob die Fische ihr Schwimmverhalten aufgrund der Hydraulik über der Sperre veränderten, wurde mit einem Kraftsensor der direkte Einfluss der Strömung auf den Fischkörper (hydraulische Kräfte) gemessen und mit Strömungsmessungen und Lebendfischbeobachtungen verglichen.

die Funktionalität des Prototypen zu überprüfen, wurden die Strömungsgeschwindigkeit mit einem akustischen Doppler, die auf die Fischkörper wirkenden hydraulischen Kräfte und das Schwimmverhalten lebender Fische in der Sperre und in einem unbehandelten vertikalen Schlitz bei drei Durchflussraten (80, 105 und 130 L/s) getestet.

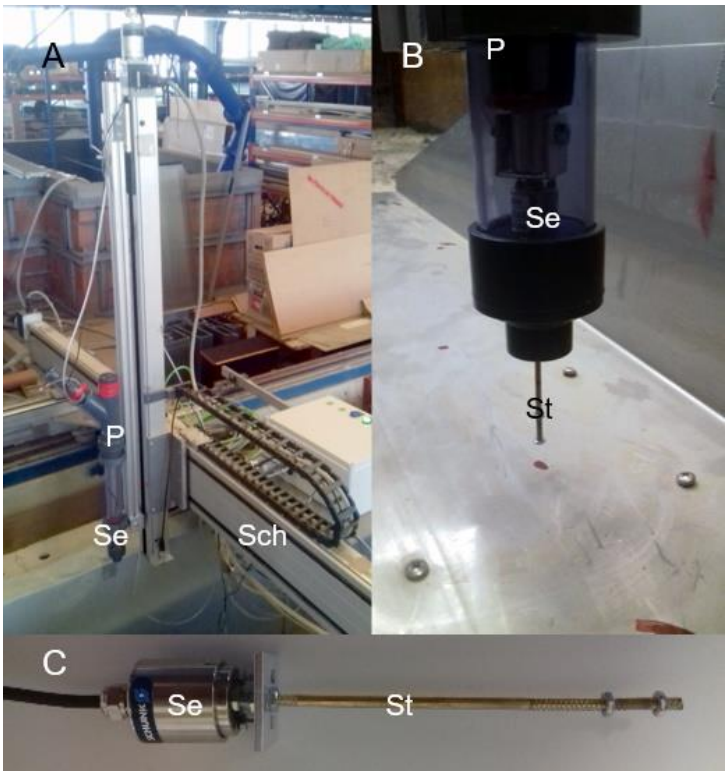

Abbildung 3 *A: Die Sonde (P) zum Messen der hydraulischen Kräfte wurde an einem elektronischen, programmierbaren Messschlitten (Sch) befestigt. B: Die Sonde wurde automatisch gesteuert und positionierte den Sensor (Se)über den Messpunkten. C: Die Fische wurden über einen Fixierstab (3 mm Durchmesser) (St) mit dem Kraftsensor (Se) verbunden.*

Im Anschluss wurde ein in eine Messsonde integrierter multi-Axis-Force/Torque Sensor genutzt, um die hydraulischen Kräfte an den selben Messpunkten von den Strömungsmessungen zu bestimmen (**Abb. 3**). Bei einer Duchflussrate von 130 L/s wurden pro Art 7 Fische gemessen.

Bei den Lebendfischbeobachtungen wurden etwa 43 Individuen jeder Art (Schwarzmundgrundel, Gründling und Groppe) separat getestet. Die Fische wurden stromab des Schlitzes in das Fischpass-Modell entlassen und konnten sich für 2 Stunden (ohne Störung durch Personen im Beckenbereich) im Fischpass bewegen. Auf- und Abstiege durch den Schlitz wurden mit einer Kamera aufgezeichnet.

Ergebnisse

Vorversuche im Schwimmkanal

Generell herrschte im Schwimmkanal eine homogene Strömung. Schwarzmundgrundeln erfuhren bei 1,15 m/s Strömungsgeschwindigkeit negative, aber sehr geringe Kräfte -2,30 mN*g^{-1} (Millinewton pro Gramm Fischnassgewicht) ±3,54 (Standard Abweichung), während für Gründling mit -0,87 mN*g^{-1} ±2,98 vergleichsweise geringe Kräfte gemessen wurden. Groppen erfuhren mit 8,87 mN*g^{-1} ±3,18 die stärksten hydraulischen Kräfte. Die Standardabweichungen zeigen, dass die Kräfte in der Messkammer leicht variierten. Mit Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit stiegen ebenfalls auch die hydraulischen Kräfte an. Es zeigte sich, dass die Flossenstellung der Fische einen grossen Einfluss auf die hydraulischen Kräfte hat –vor allem bei Grundeln und Groppen.

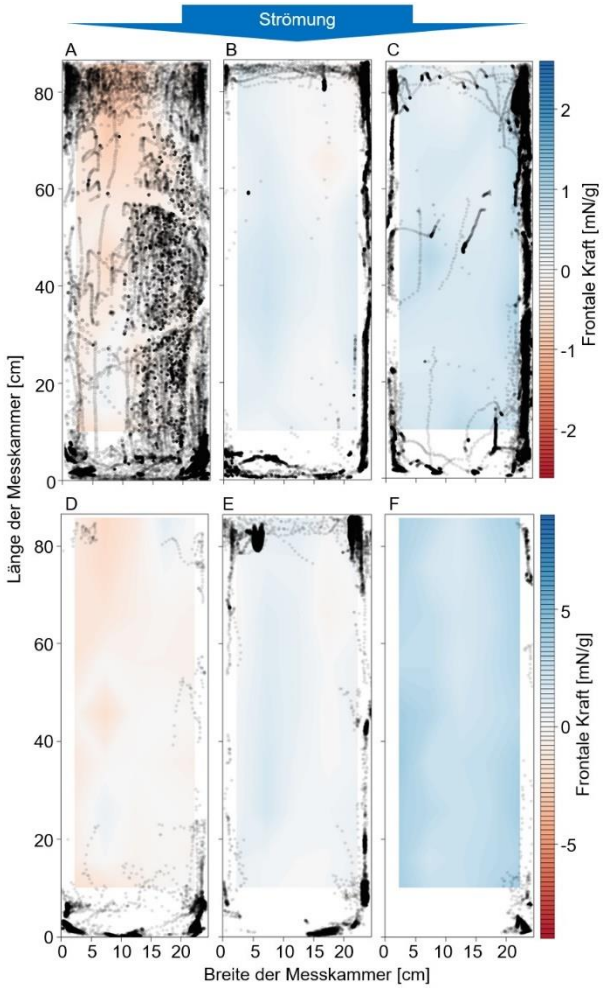

Abbildung 4 *Karten der gemessenen Kräfte in Millinewton pro Gramm Nassgewicht der getesteten Fische (Farbcode) und Aufenthaltsorte lebender Fische (graue Punkte) für Grundeln (A), Gründlinge (B) und Groppen (C) bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0.25 m/s. Der Versuch wurde auch bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,55 m/s für*

Grundeln (D), Gründlinge (E) und Groppen (F) durchgeführt. Je länger sich die Fische an einem Ort aufgehalten haben, desto dunkler ist die betreffende Region abgebildet. Bei beiden Strömungsgeschwindigkeiten wurden je 18 Grundeln und jeweils 12 Gründlinge und Groppen getestet.

Die lebenden Fische orientierten sich in der Messkammer weniger an den Bereichen mit geringen hydraulischen Kräften, die mit den Kraftmessungen bestimmt wurden (**Abb. 4**). Die Fische hielten sich bei stärkerer Strömung eher am Rand der Messkammer auf. Wahrscheinlich, weil hier die Seitenwände die Strömung am stärksten reduzierten und die Fische von vorliegenden Grenzschichten profitierten. Aufgrund des Messaufbaus für die Kraftmessungen konnten die hydraulischen Kräfte nicht direkt an den Seitenwänden bestimmt werden.

Versuche an der Gewässerrinne in Karlsruhe

Im Prototyp der hydraulischen Sperre wurde bei 130 L/s Durchflussrate eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von 0,91 m/s ±0,08 (Standard Abweichung) gemessen, während beim unbehandelten vertikalen Schlitz eine geringere mittlere Strömungsgeschwindigkeit von 0,74 m/s ±0,21 vorlag. Bei 105 L/s Durchflurrate war die mittlere Strömungsgeschwindigkeit bei 0,70 m/s ±0,05 bei der Sperre und 0,70 m/s ±0,20 am vertikalen Schlitz. Bei 80 L/s Durchflussrate war die mittlere Strömungsgeschwindigkeit bei 0,69 m/s ±0,02 bei der Sperre und 0,71 m/s ±0,05 am vertikalen Schlitz. Damit waren die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten über der Sperre beim stärksten Durchfluss (130 L/s), der als repräsentativ für Realbedingungen in Fischpässen angenommen wurde, geringer als am unbehandelten vertikalen Schlitz. Allerdings war die Standardabweichung am unbehandelten Schlitz bei 130 L/s deutlich grösser als bei der Sperre. Dies deutet auf erhöhte Turbulenz beim unbehandelten Schlitz im Vergleich zur Sperre hin.

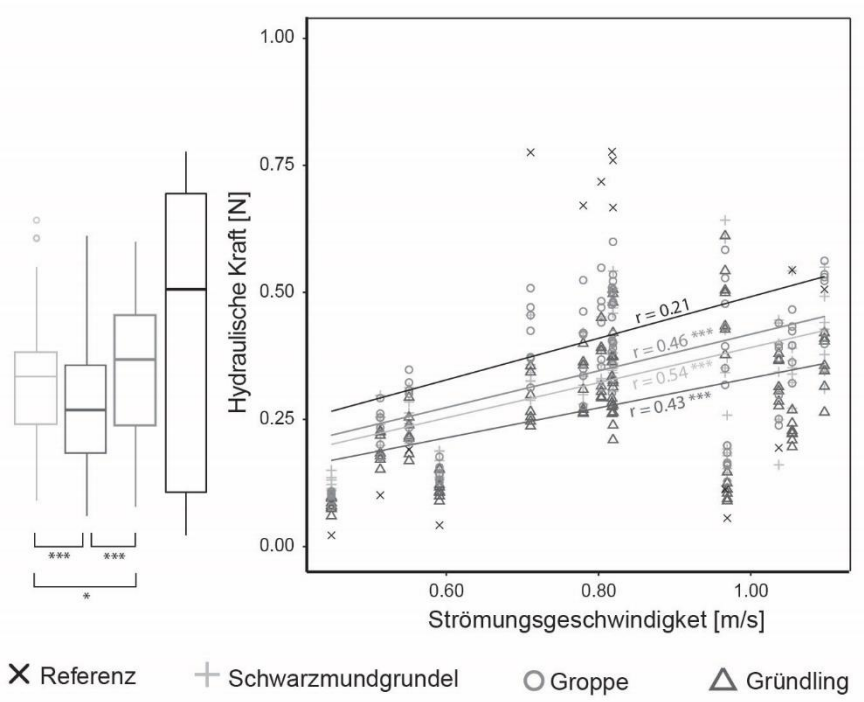

Abbildung 5 *Die hydraulischen Kräfte im 'Vertical Slot' unterschieden sich signifikant zwischen den Fischarten (Boxplots auf der linken Seite:*: p < 0.1, **: p < 0.05, ***: p < 0.01). Korrelationskoeffizienten zwischen den hydraulischen Kräften und der Strömungsgeschwindigkeit waren für die verschiedenen Fischarten signifikant (***: p < 0.01).*

Die hydraulischen Kräfte unterschieden sich signifikant zwischen den Fischarten an beiden Orten (Sperre und unbehandelter Schlitz) bei einem Wasserdurchfluss von 130 L/s. An der Sperre wurden bei 130 L/s Durchflussrate (es wurden sieben Fische pro Art getestet) für Gründling 0,23 N ±0,12 gemessen, während 0,30 N ±0,13 für Schwarzmundgrundel und 0,26 N ±0,08 für Groppe gemessen wurden. Am unbehandelten vertikalen Schlitz (**Abb. 5**) (es wurden fünf Fische pro Art getestet) waren es 0,27 N ±0,12 für Gründling, 0,32 N ±0,12 für Grundel und 0,35 N ±0,14 für Groppe.

Beim Test mit lebenden Fischen wurden bei 130 L/s Durchflussrate sechs erfolgreiche Aufstiege von Gründlingen beobachtet. Vier Groppen konnten die Länge der Sperre überwinden, stiegen aber direkt nach dem Aufstieg wieder ab. Von Grundeln wurden bei 130 L/s keine Aufstiege beobachtet, aber auch keine Versuche für Aufstiege. Grundeln näherten sich lediglich 91 mal der Sperre an, machten aber keine Anstalten sie zu überwinden. Im Gegensatz zu diesen Beobachtungen stiegen alle drei Fischarten wesentlich häufiger den unbehandelten verikalen Schlitz auf. Es wurden 65 Aufstiege von Grundeln, 53 Aufstiege von Gründlingen und 31 Aufstiegen von Groppen beobachtet.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass benthische Fische die Kräfte, die sie in der Strömung erfahren, durch ihr Verhalten beeinflussen können. Durch Veränderung der Brustflossen-Stellung und Aufsuchen strömungsberuhigter Bereiche können bodenlebende Arten die hydraulischen Kräfte erheblich reduzieren. Beim Aufstieg in einem Fischpass müssen sich die Fische der Strömung aussetzen und stromauf schwimmen. Hier hatten Gründlinge einen hydraulischen Vorteil, da sie bei starker Strömung geringere hydraulische Kräfte erfuhren als Grundeln oder Groppen. Da bei der Sperre nur Aufstiege von Gründlingen beobachtet wurden, die in unseren Experimenten die geringsten hydraulischen Kräfte zeigten, könnte dieser hydraulische Vorteil zu dem artselektiven Effekt des Sperren-Prototypen geführt haben. Neben dem artselektiven Effekt wurde aber auch eine generelle Reduktion der Fischaufstiege bei der Sperre im Gegensatz zum unbehandelten vertikalen Schlitz beobachtet. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Sperre einen artselektiven Effekt hat, aber auch generell die Passage von Fischen beeinflusst. Um die Funktionsweise der Sperre unter Realbedingunge zu testen und den Effekt der Sperre auf das Ökosystem zu beschreiben, ist ein Feldversuch notwendig.

1.2.2 Teilprojekt „Hydraulische Kräfte im Schwimmkanal“

Das Wissen über die Hydrodynamik von benthischen Fischen ist für Ingenieure von entscheidender Bedeutung um die Effizienz von Fischpässen, Schutzvorrichtungen oder Leitstrukturen zu verbessern. Sowohl während der Modellierungs-, der Entwurf- als auch der Bauphase kann das Wissen über hydraulische Kräfte dazu beitragen, Fischpässe so auszugestalten, dass eine Ausbreitung von invasiven Arten verhindert werden kann. Ziel der Masterarbeit von Nandhakumar Govindasamy ist die Durchführung eines Experiments zur Quantifizierung der hydraulischen Kräfte, die eine konservierte Grundel in Bodennähe und in der Wassersäule eines Strömungskanals erfährt. Der damit verbundenen Frage liegt die Beobachtung zugrunde, dass Grundeln bevorzugt in Bodennähe unterwegs sind und ergo dort vermutlich geringeren hydraulischen Kräften ausgesetzt sind (oder andere Vorteile geniessen).

Damit soll die folgende Forschungsfrage beantwortet werden:

- Sind die von einer Grundel erfahrenen hydraulischen Kräfte in Bodennähe signifikant geringer als in der Wassersäule?

Methoden

Mit einem High-Tech-3D-Kraftsensor (ATI Industrial Automation, F/T Sensor: Nano17 IP68) und einer selbstgeschriebenen Software (Matlab und Simulink, TwinCat) wurden die auf konservierte

Schwarzmeergrundeln wirkenden hydraulischen Kräfte gemessen. Dabei wird die Messung an zwei unterschiedlichen Positionen (in Bodennähe und in der Wassersäule, 10 cm über dem Boden) und auf zwei unterschiedlichen Oberflächen (glatter/Plexiglasboden und rauer/Kiesboden) im Strömungskanal (Loligo Systems, Swim Tunnel Respirometer Modell #SW10250 mit 185 L Volumen, 88 * 25 * 25 cm Messkammer) vorgenommen (**Abb. 6**).

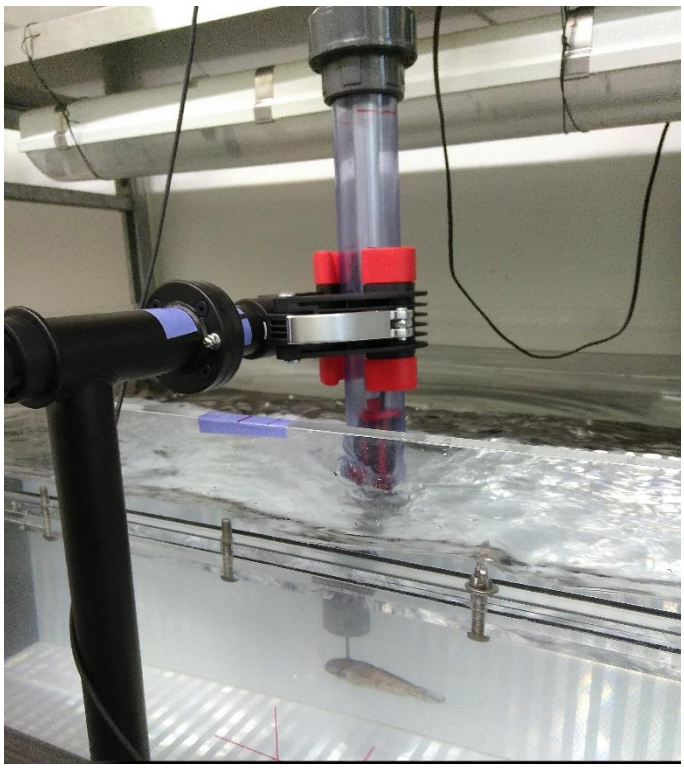

Abbildung 6 *Konservierte Schwarzmeergrundel befestigt am 3D-Sensor im Strömungskanal.*

Für 112 Fische wurden die Kräfte für jede Kombination aus Position in der Wassersäule und Bodenoberfläche über 60 s lang mit einer Messrate von 100 Hz, sowie einer Geschwindigkeit von 0,95 m*s-1 in Strömungsrichtung gemessen. Die Geschwindigkeit von 0,95 m*s-1 entsprach der maximalen Strömungsgeschwindigkeit, bei der keine Vibrationen am Sensorstab die Genauigkeit der Messung beeinflussten.

Gegenwärtig läuft die Analyse der Daten. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden Aufschluss über die potenziellen physikalischen Vorteile benthischer Lebensräume in Fliessgewässern geben und zeigen ob und wie Schwarzmeergrundeln von einem Aufenthalt in Bodennähe einen physkalischen Vorteil gegenüber dem Aufenthalt in der Wassersäule haben.

1.3 Frage 3: Unter welchen Umständen werden Schwarzmeergrundeln durch Freizeitaktivitäten und Freizeitboote verschleppt?

1.3.1 Teilprojekt „Köderfische, Petri-Heil Analyse“

Seit 2017 führten wir jährlich eine Stichwort-Analyse des Fischerei-Magazins Petri-Heil zum Thema „Köderfische“ durch. In diesem Teilprojekt wurde der Frage nachgegangen, ob invasive Grundeln in der Schweiz als Köderfische verwendet werden und inwiefern diese Verwendung einen Verbreitungsvektor darstellt.

Im Teilprojekt behandelte Fragestellungen sind:

- Welche Informationen zum Umgang mit Köderfischen bei Angler*innen sind im wichtigsten Angelmagazin der Schweiz (Petri-Heil) zu finden?
- Auf welche Zielfischarten und mit welchen Köderfischarten wird in der Schweiz gefischt?

Methoden

12 Ausgaben der Monate Dezember 2020 bis Dezember 2021 wurden nach diversen Suchbegriffen (Tabelle 1) gefiltert. Mehrfachnennungen des gleichen Suchbegriffs im selben Artikel wurden nur einmal gezählt. Auffallend war, dass deutlich mehr Suchtreffer (163) verzeichnet werden konnten als letztes Jahr (92). Ähnlich wie letztes Jahr entfielen die meisten Suchtreffer auf die Begriffe «Lebend», «Köderfisch», «Schwarm» und «Beutefisch». Mit Abstand die meisten Suchtreffer wurden in der Rubrik «Praxis» (53) verzeichnet, gefolgt von «am Wasser» (16).

Tabelle 1 *Verwendete Suchbegriffe und Anzahl Treffer*

Suchbegriffe	Anzahl Treffer
Lebend	40
Köderfisch	36
Schwarm	36
Beutefisch	21
Vorrat	9
invasiv	8
Grundel	5
Fischkasten	3
Halterung	2
Reuse	2
Kescher	1
Bameli	0
Kesslergrundel	0
Nachschub	0
Quadratnetz	0
Setzkescher	0
SMG	0

Ergebnisse

Ergebnisse zu den Köderfischen

Im Vergleich zum Vorjahr, als Kunst- (14) und Natur-Köderfische (16) beinahe zu gleichen Teilen genannt wurden, wurden dieses Jahr natürliche Köder deutlich häufiger erwähnt. Bei den natürlichen Ködern stehen 15 Nennungen toter Köderfische 7 Nennungen lebender Köderfische entgegen (**Abb. 7**). Bei 9 Nennungen von Köderfischen wurde keine Angabe über deren Zustand gemacht.

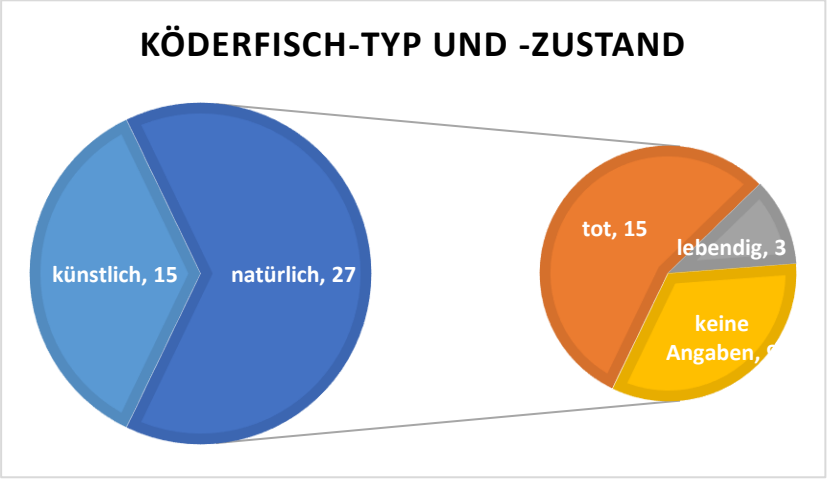

Abbildung 7 *Köderfisch-Typ und Zustand*

Insgesamt wurden 10 verschiedene Köderfischarten genannt, ausserdem wurden Insekten als lebender Naturköder erwähnt (**Abb. 8**). Der Ukelei und das Rotauge sind mit jeweils 3 Nennungen die am häufigsten genannten Köderfisch-Arten. Auf alle anderen Arten entfiel jeweils eine Nennung. Es fand sich keine Nennung von Grundel als lebende Köderfische. Jedoch wurde in der September-Ausgabe 2021 eine Nennung eines Grundel-Imitats zur Befischung des Eglis gefunden (vrgl. Hierzu auch **Abb. 10** im folgenden Kapitel) Der Artikel bezieht sich jedoch nicht auf die Schweiz, sondern schildert eine Angeltour mit Einheimischen in den Niederlanden.

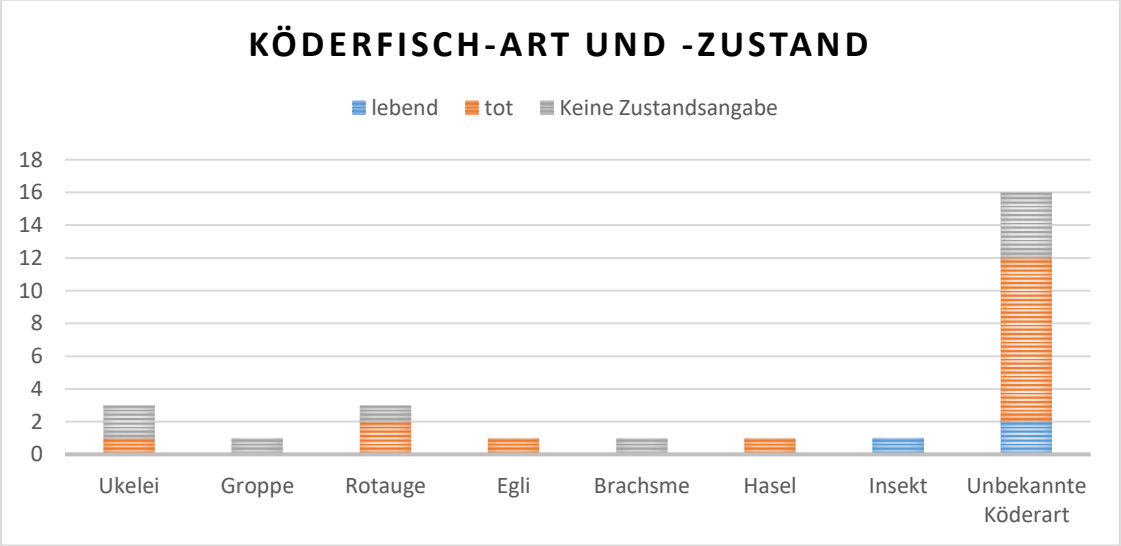

Abbildung 8 *Köderfisch-Art und Zustand*

Lebende Köder wurden in Werbeinseraten zum Verkauf angeboten. Es ist allgemein im Angelerjargon davon auszugehen, dass es sich um Köderfische handelt, allerdings wurde kein genauerer Verweis gefunden um welche Art Köder (Fisch, Wurm, Insekt etc.) es sich bei den Inseraten handelt.

Ergebnisse zu den Zielfischen

Analog zum Vorjahr waren auch dieses Jahr Hecht, Forelle und Egli die meistgenannten Zielfische (**Abb. 9**). Die Forelle verzeichnete – wie letztes Jahr – auch heuer einen Zuwachs an Nennungen (+3). Mit insgesamt 12 Nennungen führt sie dieses Jahr gemeinsam mit dem Hecht die Tabelle an. Der Zander, 2019 noch der meistgenannte Zielfisch (11), wurde während 2020 (7) bis zum aktuellen Jahr (4) kontinuierlich seltener erwähnt.

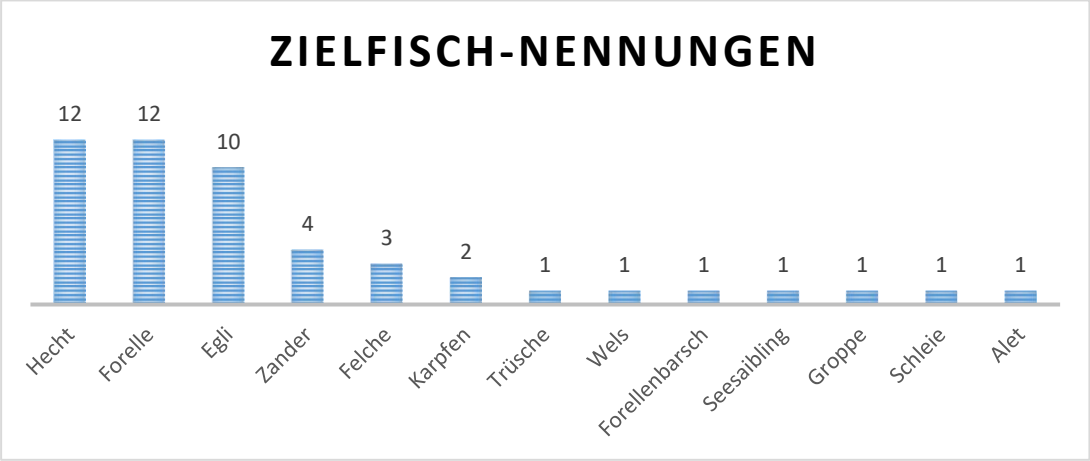

Abbildung 9 *Anzahl der Nennungen nach Zielfisch*

Schlussfolgerungen und Ausblick

Über Grundeln wurde dieses Jahr spärlicher berichtet als letztes Jahr. Im Vergleich zum Vorjahr konnte kein Artikel gefunden werden, in dem explizit die Ausbreitung invasiver Arten (Schwarzmund-, Kesslergrundel, Quaggamuschel etc.) diskutiert wurde. Jedoch wurde nach letztem Jahr abermals die Nennung eines Kunstköders als Grundelimitat zum Befischen des Eglis gefunden.

Die Tatsache, dass dieses Jahr deutlich mehr Köderfisch-Nennungen gefunden wurden, unterstützt die letztjährige Annahme, dass die Verwendung von Köderfischen als Angelmethode nicht auf dem Rückzug ist. Obwohl der Einsatz von lebenden Köderfischen laut der Verordnung zum Bundesgesetz über die Fischerei seit 2009 verboten ist, gibt es auch dieses Jahr hierzu einige Nennungen. Diese beziehen sich aber wahrscheinlich alle auf eine Angelpraxis, die nicht in der Schweiz ausgeübt wurde. Über die diesjährige Nutzung von Grundeln als natürlicher Köder (ob tot oder lebendig) lässt sich jedoch aufgrund der dünnen Datenlage keine Aussage machen. Eine solche Aussage bedarf weiterer Forschungen.

1.3.2 Teilprojekt „Aquaristik“

Im Verlauf des Grundelprojektes wurde die Aquaristik als Verschleppungsweg für die Grundeln mehrfach von unterschiedlichen Stakeholdern thematisiert und daraufhin auch durch das MGU gezielt untersucht (vgl. Schlussberichte 2019, 2020, 2021). Als besonders relevant zeigte sich hier ein mögliches Zusammenwirken von Akteuren der Aquaristik mit Akteuren der Angelfischerei.

Die in einer wissenschaftlichen Publikation veröffentlichten Untersuchungen (Hirsch et al., 2021) waren die Basis für weiteren Austausch innerhalb der wissenschaftlichen Community und weiteren Stakeholdern (siehe bspw. Aktivitäten 20.09.21 in Rees, Nordrhein-Westfalen). Das Thema wird daher

in diesem Schlussbericht, so wie es auch zum weiteren Austausch dienen soll, noch einmal zusammenfassend aufgenommen.

Methoden und Ergebnisse

Die Arbeiten des MGUs konnten zeigen, dass die Hobbys Angeln und Aquaristik oftmals beide von der gleichen Person ausgeübt werden. Umfragen und Onlinebeobachtungen sowie Datenbankrecherchen legen nahe, dass dadurch bisher unbeachtete Wege zur Verbreitung von Fischen eröffnet werden. Eine Erkenntnis, die wichtig ist, um unsere einheimischen Gewässer vor der Einschleppung gebietsfremder Fische effektiv zu schützen. Die Hobbys Angeln und Aquaristik sind also näher verbunden als bisher angenommen – wenn Fische zwischen diesen Hobbygruppen den Besitzer wechseln, hat das Bedeutung für den Artenschutz.

Bisher nahm die Forschung an, dass die beiden Hobbygruppen «Angelfischerei» und «Aquaristik» separat agieren. Die Forschungen des MGU konnen nun belegen, dass ein und dieselbe Person manchmal sowohl als AquarianerIn als auch als AnglerIn aktiv wird. Fast ein Viertel von 226 auf Aquaristik- oder Fischerei- Veranstaltungen Befragten gab an, dass sie sowohl angeln als auch ein Aquarium oder einen Gartenteich pflegen. Besonders prekär dabei: sowohl AnglerInnen als auch AquarianerInnen geben Fische lebend an andere Personen weiter.

Eine Datenbankrecherche ergab, dass 53 von 237 in Europa als invasive gebietsfremde klassifizierten Fischarten sowohl als Zielfisch bei AnglerInnen als auch als Haustier bei AquarianerInnen beliebt sind. Gebietsfremde Fische könnten also in einem Gewässer geangelt werden und anschliessend ins Aquarium oder den Gartenteich eingesetzt, aber vor allem auch als Köderfische oder als Haustiere weitergegeben werden (**Abb. 10**). Genau für dieses Szenario fand das Forschungsteam entsprechende Berichte und Beschreibungen in einschlägigen Onlineforen. Diese Onlinebeobachtungen legen nahe, dass durch das Zusammenspiel dieser beiden Hobbyaktivitäten tatsächlich gebietsfremde Arten über grössere räumliche und zeitliche Distanzen zwischen Gewässern verschleppt werden können als bisher angenommen.

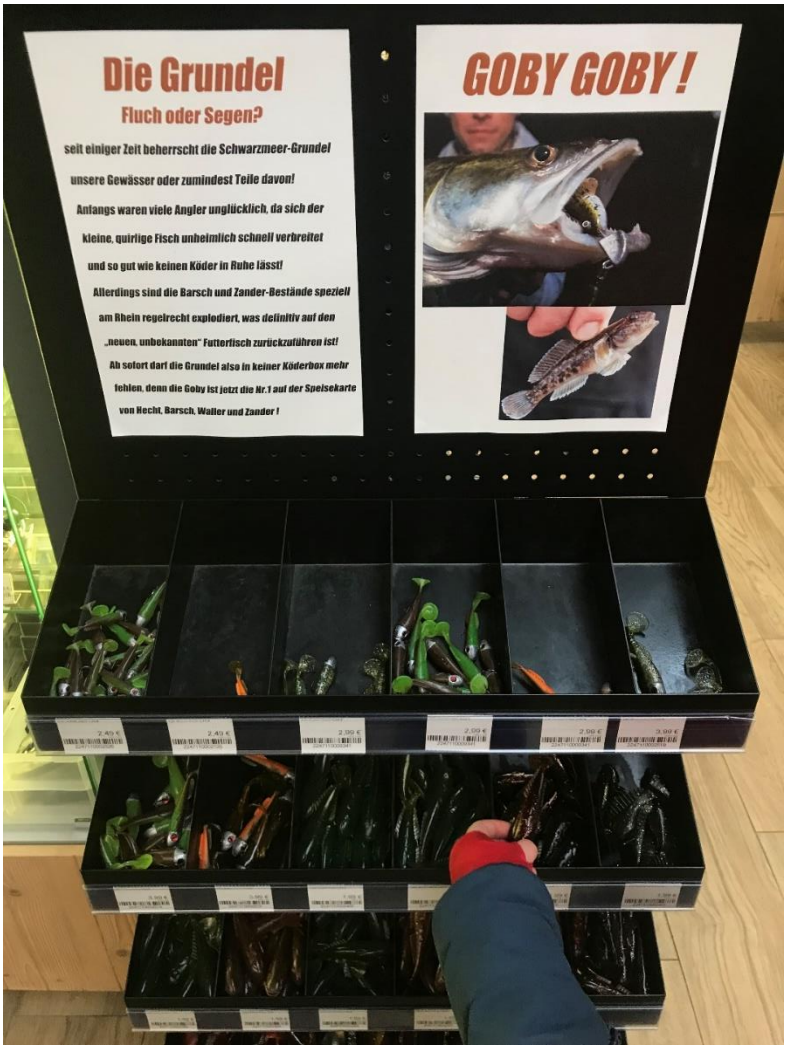

Abbildung 10 *Verkaufsstand mit Grundelködern in einem Angelgeschäft. Die Zunahme von käuflichen Kunstködern im Grundel-Design in Fachgeschäften und Online könnte ein Hinweis auf ein zunehmendes Interesse von AnglerInnen an Grundeln auch zur Lebendhaltung sein*

Schlussfolgerungen und Ausblick

Auf der ganzen Welt bedrohen gebietsfremde Fische die natürliche Biodiversität der Gewässer. Die Grundeln sind ein Beispiel für eine Fischart, deren Verbreitung mit einschneidenden Konsequenzen für die einheimische Biodiversität verbunden sein kann. Ausschlaggebend für eine zukünftige Ausrichtung eines effektiven Schutzes unserer einheimischen Gewässer ist die Erkenntnis, dass nicht mehr die natürliche Selektion nach Verbreitungsfähigkeit darüber entscheidet, welche Art wohin gelangt, sondern der Mensch. Intakte Gewässer mit einer unbeeinflussten Biodiversität liefern eine grosse Zahl von Ökosystemdienstleistungen wie Wasserreinigung und Freizeitwerte. Um die natürliche Biodiversität zu erhalten und vor der Einschleppung von Grundeln durch AnglerInnen oder AquarianerInnen zu schützen, geben die Forschungsergebnisse wichtige Hinweise: Informationskampagnen über das Risiko der Verschleppung von Arten beispielsweise könnten effektiver wirken, wenn sie beide Hobbygruppen gemeinsam ansprächen.

1.3.3 Teilprojekt „Passive Ausbreitung durch die Verschleppung mit Freizeitbooten“

Die teilweise sprunghaften Ausbreitungsmuster der Grundeln lassen vermuten, dass die passive Verschleppung neben der aktiven Ausbreitung eine wichtige Rolle bei der Verbreitung der Grundel spielt. Der wichtigste Mechanismus für die Verschleppung über grosse Distanzen ist dabei der Transport im Ballastwasser von Frachtschiffen. Ballastwasser wird von Frachtschiffen aufgenommen, um bei leichter Fracht mehr Stabilität zu gewinnen, oder um unter Brücken durchzufahren. Allerdings spielt der Ballastwassertransport keine Rolle für die mögliche Verschleppung von Grundeln in die Schweizer Gewässer, abgesehen vom Rhein bis maximal Rheinfelden. Eine weitere Möglichkeit der Verschleppung durch Schiffe stellt allerdings auch der Bootsrumpf dar: Grundeln stehen seit langem im Verdacht, ihre Eier an Bootsrümpfen abzulegen (Adrian-Kalchhauser, N'Guyen et al. 2017). Zusätzlich zu den bisher behandelten Ausbreitungsmechanismen untersucht das MGU deshalb auch die Möglichkeit der unbeabsichtigten Verschleppung von Grundeln und ihrem Laich durch Freizeitboote, die in der Schweiz regelmässig zwischen Gewässern bewegt werden. Vorhergehende Arbeiten des MGUs haben gezeigt, dass Grundeleier höchst resistent gegenüber Austrocknung sind (bis zu 72 Stunden) und könnten somit leicht auch über Land verschleppt werden (Hirsch, Adrian-Kalchhauser et al. 2016). Allerdings bleibt die tatsächliche Eiablage von Grundeln an Freizeitbooten, die sich ja im Gegensatz zu den typischen Laichgelegenheiten am Boden, an der Wasseroberfläche befinden, immer noch wissenschaftlich unbelegt.

In den letzten zwei Jahren konnten wir in diesem Zusammenhang zwei Erstnachweise führen. Erstens, Grundeln nutzen senkrechte Hafenwände als Habitat sowie als Brückenkopf, um Bootsrümpfe zu erreichen (Bussmann und Burkhardt-Holm 2020). Zweitens können Grundellarven, die Nachts im Sommer an der Wasseroberfläche driften, in die Kühlsysteme von Freizeitbooten gesogen werden und so im Inneren von Bootsmotoren transportiert werden (Bussmann, Hirsch et al. 2021).

Die Nutzung von senkrechten Wänden als Habitat stellt für die Grundeln eine Abweichung von ihrer normalerweise bodenbezogenen Lebensweise dar. Da es Hinweise darauf gibt, dass die Nutzung von Wänden mit höherem Energieverbrauch für die Grundeln verbunden ist, stellt sich die Frage, ob alle Grundeln diese Verhaltensweise zeigen, oder nur ein Teil der Population. Grundeln legen ihre Eier regelmässig an Wänden ab, solange sie geeignete Niststrukturen finden. Diejenigen Grundeln, die die Wände nutzen, haben daher eine höhere Wahrscheinlichkeit, ihre Eier an Bootsrümpfen abzulegen und damit verschleppt zu werden.

Ziel der dieser Studie war es dementsprechend, herauszufinden, welcher Teil einer Grundelpopulation senkrechte Habitate wie Hafenwände und Bootsrümpfe nutzt, um Aussagen über die Zusammensetzung von möglichen Gründerpopulationen in neuen Gebieten treffen zu können.

Im Teilprojekt bearbeitete Fragestellungen:

- Unterscheiden sich die körperlichen Merkmale von Grundeln, die an Wänden gefangen werden, von denen, die am Boden gefangen werden?
- Gibt es eine Spezialisierung auf die Habitate Wand und Boden, oder werden diese flexibel genutzt?

Methoden

Charakterisierung der körperlichen Merkmale von Grundeln an Wänden und Boden

Um die Charakteristika der Grundeln zu untersuchen, die das Habitat Wand und das Habitat Boden nutzen, wurden in zwei Zeiträumen beköderte Reusen im Hafen Kleinhüningen in Basel ausgebracht. Der erste Zeitraum war am Ende der Brutsaison der Grundeln (19.08. – 04.09.2020), der zweite Zeitraum ausserhalb der Brutsaison der Grundeln im Herbst (28.09. – 23.10.2020). Reusen an den Hafenwänden wurden jeweils in einer Tiefe von <1 m unter der Oberfläche angebracht (Wassertiefe 3-5 m), Reusen am Boden wurden in 3 – 8 m Entfernung von den Wänden ausgebracht.

Alle gefangenen Grundeln wurden abgelebt und ihr Geschlecht, ihre Standardlänge (von Schnauzenspitze zum Ansatz der Schwanzflosse) und ihr Gewicht bestimmt und zwischen den Habitaten verglichen.

Habitatabhängige Nahrungsspezialisierung

Zur Bestimmung der habitatabhängigen Nahrungsspezialisierung wurden Methoden der Stabilen Isotopenanalyse (SIA) verwendet. Stabile Isotope sind verschiede Gewichtszustände bestimmter Elemente, die in verschiedenen Verhältnissen zueinander vorliegen und werden als Delta-Werte angegeben (z.B. für Kohlenstoff: $\delta^{13}C = \frac{\left(\frac{\delta^{13}C}{\delta^{12}C}\right)_{Probe} - \left(\frac{\delta^{13}C}{\delta^{12}C}\right)_{Standard}}{\left(\frac{\delta^{13}C}{\delta^{12}C}\right)_{Standard}} \times 1000‰$, wobei der Standard aus einem Material mit bekanntem Isotopenverhältnis besteht). Isotopenverhältnisse werden mithilfe von Massenspektrometrie bestimmt.

Da das Isotopenverhältnis eines Nahrungskonsumenten die Isotopenverhältnisse der jeweiligen Nahrungsquellen über einen längeren Zeitraum wiedergibt, kann man Isotopenanalysen dazu verwenden, Rückschlüsse auf die langfristige Ernährungsweise der Konsumenten zu ziehen. So unterscheiden sich z.B. die Signaturen von pflanzlichen und tierischen Nahrungsquellen deutlich in den Isotopenverhältnissen von Kohlenstoff und Stickstoff. Somit kann man mit der Untersuchung von tierischem Gewebe herausfinden, ob sie sich hauptsächlich herbivor, karnivor, oder omnivor ernähren. Dabei integrieren verschiedene Gewebe über unterschiedliche Zeiträume. So können bei der Untersuchung von sich langsam regenerierenden Geweben wie Muskeln Rückschlüsse über mehrere Monate gezogen werde, während schnell regenerierende Gewebe wie die Leber Rückschlüsse über Tage bis Wochen zulassen.

In dieser Studie verwendeten wir die Isotopensignaturen von Kohlenstoff in Muskel- sowie Lebergewebe von Schwarzmundgrundeln zur Feststellung habitatabhängiger Nahrungsspezialisierung. Dabei ist die Grundannahme, dass sich Nahrungsspezialisten über die Zeit von den gleichen Ressourcen ernähren und deshalb in Muskeln und Lebern jeweils ähnliche Isotopensignaturen haben. Nahrungsgeneralisten wechseln ihre Nahrungsquellen opportunistisch und sollten damit eine grössere Variation der Isotopenverhältnisse zwischen Muskeln und Lebern vorweisen.

Ergebnisse

Körperliche Merkmale von Grundeln an Wänden und Boden

Während der Brutsaison gab es keine Unterschiede in der Verteilung der Geschlechter der Grundeln zwischen Wand und Boden. Bei den Weibchen gab es keine Unterschiede in Standardlänge und Gewicht zwischen den Habitaten, während Männchen an den Wänden grösser und schwerer waren als am Boden. Nach der Brutsaison wurden am Boden signifikant mehr Männchen gefangen als am Boden, während es bei Weibchen keinen Unterschied in den Fangzahlen gab. Nach der Brutsaison waren Grundeln beider Geschlechter grösser und schwerer am Boden als an der Wand.

Habitatabhängige Nahrungsspezialisierung

Während der Brutsaison war das Verhältnis von Spezialisten zu Generalisten signifikant niedriger an der Wand als am Boden. Zusätzlich gab es bei den Grundeln, die an der Wand gefangen wurden, eine signifikante Verschiebung im δ13C zwischen Muskel- und Leberwerten. Diese Verschiebung war parallel bei einem Grossteil der Grundeln, die an der Wand gefangen wurden, zu beobachten.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Daten dieses Projektes zeigen, dass sich die Grundeln, die Wände als Habitat nutzen, sich von denjenigen unterscheiden, die den Boden als Habitat nutzen. Während der Brutsaison sind die Männchen an den Wänden grösser und schwerer als die Männchen am Boden. Grössere und

schwerere Grundelmännchen sind erfolgreicher bei der Balz und haben einen höheren Reproduktionserfolg (Lindström and Pampoulie 2005, Lehtonen, Rintakoski et al. 2007). Zusammengenommen mit unseren letzjährigen Ergebnissen, die belegen, dass die Brutraten an den Wänden höher sind als diejenigen am Boden, lässt sich schliessen, dass die Wände das bevorzugte Habitat für das Brutgeschäft der Grundeln im Hafen sind, sofern sie dort Nistgelegenheiten vorfinden. Wir wissen nicht, wie viele Nistgelegenheiten wie Löcher, Spalten o.ä. Hafenwände bieten. Sollten die hohe Anzahl Gelege in unseren Laichfallen auf einen Mangel an vorhandenen Laichgelegenheiten an der Wand hinweisen, so wäre das Risiko der Eiablage an Bootsrümpfen nochmals erhöht: Wir konnten beobachten, dass Grundeln über die Wände auch Bootsrümpfe erklettern, wo sie viele geeignete Strukturen zur Eiablage finden könnten.

Die Ergebnisse der Isotopenuntersuchungen zeigen, dass die Grundeln während der Brutsaison habitatstreu sind. Die parallele Verschiebung des Kohlenstoffisotopenverhältnisses, die ausschliesslich an der Wand stattfindet, belegt, dass sich die Ernährung der Grundeln an den Wänden im Laufe der Brutsaison verändert, was durch eine Veränderung in der Häufigkeit der möglichen Nahrungsorganismen erklären lässt (nicht gezeigte Daten). Die höhere Anzahl von Generalisten lässt sich auch durch die resultierende Ernährungsveränderung erklären. Am Boden findet diese Veränderung der Häufigkeit von Nahrungsorganismen nicht in dieser Form statt, da dort kaum saisonal auftretende Insektenlarven zu finden sind. Durch die konstante Verfügbarkeit ähnlicher Nahrungsorganismen am Boden ist dort eine höhere Nahrungsspezialisierung möglich.

Eine Spezialisierung von grösseren und schwereren Grundeln, die hohen Bruterfolg haben, auf vertikale Habitate wie Wände oder Bootsrümpfe könnte Einfluss auf die Zusammensetzung möglicher Gründerpopulationen an neuen Orten haben: Das genetische Material der Grundeln, die die höchste Wahrscheinlichkeit haben, verschleppt zu werden, stammt von dem wettbewerbsstärkeren Populationsteil. Dies könnte Vorteile beim Überleben des Transportes sowie der Besiedlung von neuen Gebieten mit sich bringen. Unsere Erkenntnisse könnten somit dabei helfen, den Erfolg der Grundeln als invasiver Art zu erklären.

Nach der Brutsaison wurden am Boden mehr Männchen gefangen als am Boden, und Männchen sowie Weibchen waren grösser und schwerer am Boden. Dies deutet darauf hin, dass grössere Individuen, v.a. Männchen, die Wände im Herbst verlassen und den Winter auf dem Boden verbringen. Weiterhin gibt es keine Unterschiede in der Ernährungsweise zwischen den Habitaten mehr, was dafürspricht, dass die Habitatspezialisierung weniger konsistent ist, als während der Brutsaison. Man kann daher annehmen, dass eine Verschleppungsgefahr im Herbst und Winter geringer ist als in den Frühlings- und Sommermonaten.

1.3.4 Teilprojekt „Widerstandsfähigkeit von Eiern gegen Austrocknung“

Sind die Eier der Schwarzmundgrundeln einmal an Bootsrümpfen abgelegt, sind sie dort verschiedenen Stressoren wie Strömung, Motorenlärm und im Falle eines Überlandtransportes auch Austrocknung ausgesetzt. Besonders interessant für die Verschleppung von einem Wasserkörper in den nächsten ist dabei im Rahmen von Überlandtransporten von Booten letzterer Stressor (Austrocknung). Aus früheren Arbeiten am MGU wissen wir, dass Grundeleier bis zu 24 h Austrocknung überleben, ohne dass sich die Schlupfrate gegenüber nicht-ausgetrockneten Eiern reduziert (Hirsch et al. 2016). Dies ist bemerkenswert für einen vollständig aquatischen Fisch. Zum Vergleich: Amerikanische Lachseier überleben unter gleichen Bedingungen nur wenige Stunden. Andererseits gibt es auch Fische, die eine evolutionäre Anpassung an Trockenheit zeigen, wie z.B. der bekannte Schlammspringer, der ebenfalls ein Mitglied der Grundelfamilie ist. Eine wichtige Frage für das Verständnis der Austrocknungsresistenz von Grundeleiern ist es, welche molekularen Prozesse während des Trockenstresses ablaufen und ob diese vergleichbar sind mit den Prozessen in Fischen, die evolutionär an Trockenheit angepasst sind.

Im Teilprojekt bearbeitete Fragestellungen:

- Gibt es eine spezifische molekulare Stressantwort auf Austrocknung in Grundelembryonen?
- Welche Funktionen haben die Gene, die in der Stressantwort auf Austrocknung involviert sind?

Methoden

Austrocknungsexperiment

Um die molekulare Stressantwort von Grundelembryonen auf Austrocknung zu untersuchen, sammelten wir im Jahr 2019 drei Grundelgelege in frühen Entwicklungsstadien im Hafen Kleinhüningen. Die Gelege wurden dreigeteilt und je ein Drittel eines Geleges wurde drei Stunden Austrocknung und Salzwasser ausgesetzt, während das letzte Drittel als Kontrolle im Aquarienwasser blieb (**Abb. 11**). Salzwasser diente hierbei als Vergleichsstressor, um zu evaluieren, ob eine molekulare Antwort auf Austrocknung spezifisch ist, oder eine generelle Antwort auf allgemeinen Umweltstress. Nachdem die Grundeleier dem Stressor ausgesetzt waren, wurden sie zur Erholung drei Stunden lang zurück in Aquarienwasser gesetzt. Proben für molekularbiologische Untersuchungen wurden an sechs Zeitpunkten genommen: einmal vor dem Experiment, zweimal während der experimentellen Phase und dreimal während der Erholungsphase (**Abb. 11**). Diese Proben bestanden jeweils aus 10 Eiern, die in flüssigem Stickstoff konserviert und auf -80°C gelagert wurden bis zur RNA-Extraktion im Labor.

RNA –Moleküle sind Kopien (= Transkripte) derjenigen Gene auf der DNA, die zu einem bestimmten Zeitpunkt in einer Zelle exprimiert werden sollen. Die RNA-Moleküle sind dabei «Bauanleitungen» für Proteine, die in der Zelle bestimmte Funktionen ausüben. Will sich zum Beispiel eine beschädigte Zelle selbst reparieren, so wird sie viele Kopien von RNAs herstellen, die als Vorlage für «Reparaturproteine» dienen. Kurz gesagt: Je mehr Kopien eines bestimmten RNA in einer Zelle vorhanden sind, desto mehr von dem Protein, für das die RNA als Vorlage dient, wird hergestellt und desto wichtiger ist die Funktion dieses Proteins für die Zelle.

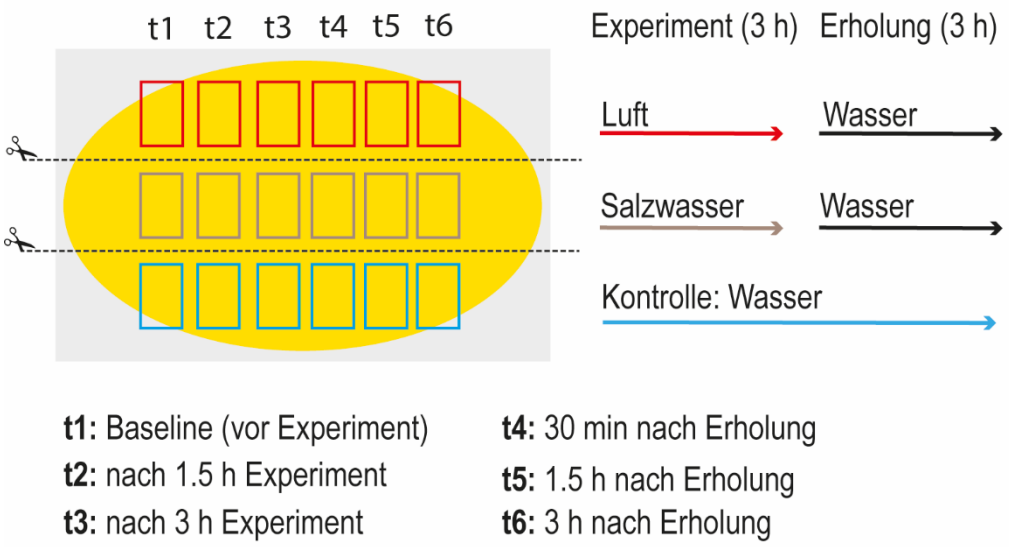

Abbildung 11 *Schema der Probennahme. Gelege (gelb, klebend auf einer Plasikfolie in grau) wurden in drei Teile geschnitten und drei Stunden lang verschiedenen Konditionen ausgesetzt: Austrocknung, Salzwasser, und Aquarienwasser (Kontrolle). Nach dem Experiment wurden alle Gelegeteile zur Erholung für drei Stunden zurück in Aquarienwasser gesetzt. Proben bestehend aus 10 Eiern wurden jeweils zu den Zeitpunkten t1 – t6 genommen.*

RNA-Sequencing und Analysen

Die RNA aller Proben wurde extrahiert und an der Next Generation Sequencing Platform der Universität Bern sequenziert. Die resultierenden Sequenzen wurden bioinformatisch bearbeitet um eine Quantifizierung der vorhandenen RNA-Transkripte zu ermöglichen. Anschliessend erfolgte ein

statistischer Vergleich der Anzahl der verschiedenen RNA-Transkripte zwischen den experimentellen Konditionen.

Ergebnisse

Die vorläufigen Ergebnisse der Datenauswertung zeigen, dass es eine spezifische (= nicht gleich zur Stressantwort auf Salzwasser) molekulare Stressantwort auf Austrocknung nach 1.5 h gibt. Nach 3 h verändert sich die molekulare Reaktion auf Austrocknung und ist weniger stark.

Die stärkste molekulare Antwort auf Austrocknung erfolgte nach vorläufigen Ergebnissen nach 1.5 h und nahm mit der Zeit ab, während im Salzwasser die molekulare Antwort nach 1.5 h schwächer war und mit der Zeit zunahm. Beide Stressantworten veränderten sich mit der Zeit deutlich, so dass nur eine geringe Menge an Genen zu beiden Zeitpunkten exprimiert wurden.

Die molekulare Stressantwort auf Austrocknung ist nach kurzer Zeit spezifischer und wird dann zunehmend ähnlich zu der Stressantwort auf Salzwasser. Ein Vergleich der Gene, die zu 1.5 h Austrocknung und 3 h Salzwasser exprimiert werden ergab, dass die späte molekulare Antwort auf 3 h Salzwasser-Exposition nicht eine verzögerte, aber ähnliche Antwort wie die auf 1.5 Austrocknung ist, sondern eine gänzlich andere molekulare Reaktion.

In der Erholungsphase gleichen sich Kontroll-, Austrocknungs- und Salzwassergelege sehr schnell wieder aneinander an, was die Genexpression betrifft. Zu keinem der Zeitpunkte findet sich eine Anzahl an unterschiedlich exprimierten Genen, die sich bedeutend von der Anzahl an unterschiedlich exprimierten Genen vor der jeweiligen Stress-Exposition ergab und die auf eine gewisse Anzahl an falsch-positiven Genen hindeutet.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Eine spezifische Stressantwort auf Austrocknung deutet darauf hin, dass die hohe Austrocknungsresistenz von Grundeleiern kein Zufall ist, sondern zumindest teilweise Prozesse in den Eiern passieren, die die Austrocknungsresistenz ermöglichen oder begünstigen. Dass die molekulare Antwort auf Austrocknung nur zu Beginn stark und spezifisch ist könnte bedeuten, dass sehr schnell bestimmte biologische Prozesse ablaufen, die eine Schutzfunktion für die Eier haben (z.B. Verstärkung der Zellwände, Verschliessen von Poren, Herunterfahren nicht-essentieller Stoffwechselprozesse). Die genauen Funktionen der jeweils unterschiedlich exprimierten Gene werden derzeit noch ausgewertet, erste Daten deuten allerdings auf die genannten Funktionen hin. Das Abflauen der ersten molekularen Reaktion mit der Zeit könnte bedeuten, dass die genannten Prozesse ihre spezifische Schutzwirkung schon nach 3 h erfüllen und damit nicht mehr weiter molekular befeuert werden müssen. Die ersten Ergebnisse der funktionellen Datenanalyse deuten darauf hin, dass nun eher Reparaturprozesse ablaufen und neue Zellen gebildet werden.

Die noch zu erwartenden Ergebnisse während der Auswertung in 2022 versprechen weitere interessante Einblicke in die molekularen Abläufe, die der hohen Austrocknungsresistenz der Grundeleier unterliegen, speziell im Vergleich mit einem anderen osmotischen Stressauslöser, dem Salzwasser. Diese Ergebnisse tragen zu unserem Verständnis bei, wie sich die Schwarzmundgrundel so erfolgreich an neue Gegebenheiten anpasst und warum sie in der Lage ist, Überlandtransporte sowie Meereswasser-Bedingungen zu tolerieren. Zusätzlich können die generierten Daten als Vergleich für heimische Fische dienen, die unter den zukünftigen Bedingungen des Klimawandels ebenfalls Austrocknung ausgesetzt sein könnten, da sinkende und zunehmend fluktuierende Wasserstände prognostiziert werden (Grillakis 2019, Konapala, Mishra et al. 2020).

Danksagung

Dieses Projekt wurde zusätzlich durch einen «Small Research Grant» der Fisheries Society of the British Isles (An International Society for Fish Biology) gefördert.

2 AKTIVITÄTEN

2.1 AKTIVITÄTEN 1: WEITERFÜHRUNG DER ORGANISATION UND PFLEGE DES AUSTAUSCHES ZWISCHEN DEN BETEILIGTEN STAKEHOLDERN, SOWIE WEITERHIN KONTINUIERLICHE INFORMATION UND WEITERGABE NEUESTER ERGEBNISSE

2.1.1 Vernetzung und Outreach 2021

Die Grundelgruppe hat sich neben der Forschungstätigkeit auch im Jahr 2021 gezielt der Vernetzung und dem Outreach gewidmet. Die Grundelgruppe informierte und diskutierte an Vorträgen und Workshops, soweit dies die Pandemie noch zuliess und publizierte wissenschaftliche Artikel in renommierten Fachzeitschriften. Letztere entstanden oft in enger Kooperation mit einer Vielzahl von Partner*innen in Basel und international, sei es in Form von Austausch von Proben und Material, von Projektzusammenarbeiten oder gemeinsamen Publikationen.

Ende Mai 2021 traf sich die Grundelgruppe zur jährlichen Retraite. Ziel der anderthalbtägigen Strategie-Retraite war es, die im vergangenen Jahr erarbeiteten Forschungsergebnisse in den Kontext des Gesamtprojektes zu stellen und die strategische Ausrichtung für das Jahr 2021 zu planen. Zum ersten Mal fand diese Retraite gemeinsam mit der Forschungsgruppe Mikroplastik statt, um forschungsrelevante Schnittmengen zu identifizieren. Der Austausch war sehr erfolgreich und erlaubte, die bestehenden Projektideen weiterzuentwickeln und zukünftige Projekte und persönliche Visionen auszutauschen.

Über das Jahr erreichten uns zahlreiche Anfragen und Mitteilungen zu Beobachtungen von Bürger*innen, Verbänden, Behörden und Forschungsinstituten über unsere Grundel-Mailbox oder auch über die direkte Ansprache der Mitglieder der Grundelgruppe. Alle Anfragen wurden von uns zeitnah beantwortet. Sie lieferten uns teilweise wichtige Hinweise, z.B. zur Grundelverbreitung. Teilweise konnten wir auch wichtige Beiträge leisten, wie bspw. bei der eindeutigen Art-Identifikation von Grundelsichtungen.

Unsere Website wird fortlaufend aktualisiert und wissenschaftliche Publikationen, aktuelle Informationen und Medienartikel sind abrufbar. Durch diese Kommunikationsaktivitäten sind wir im Laufe der vergangenen Jahre zu einer geschätzten und etablierten Anlaufstelle für Fragen rund um invasive Fische und deren Eindämmung geworden.

Das Medieninteresse an der Grundel-Thematik wurde 2021 vor allem durch unsere wissenschaftlichen Publikationen aufrechterhalten (vgl. **5 Anhang**).

2.1.2 Abschlussveranstaltung 2022

Der Wissenschaftsapéro 2021 wurde aufgrund der Verschärfung der Situation rund um die Corona Pandemie, sowie des zeitnahen Abschliessens des Forschungsprojektes im nächsten Jahr abgesagt. Stattdessen ist eine zweitägige Abschlussveranstaltung im Juni 2022 in der Planung. Am ersten Tag werden Stakeholder der lokalen, regionalen und schweizweiten Gemeinschaft und VertreterInnen der Wissenschaft teilnehmen. Ziele sollen eine Synthese des Grundelprojekts, eine Standortbestimmung entlang der Grundelstrategie (Dönni et al., 2016), eine Diskussion offener Forschungsfragen, sowie das Aktualisieren der Massnahmenempfehlungen sein. Am zweiten Veranstaltungstag ist ein Workshop mit Vertretern der Wissenschaftscommunity geplant, um die Detailarbeit an der wissenschaftlichen Synthese auszuarbeiten und eine Priorisierung ausstehender Forschungsfragen zu invasiven Schwarzmeergrundeln vorzunehmen. Eine Einladung und ein ‚Save-the-date‘ (10. Juni 2022) wurden bereits verschickt.

2.2 Aktivitäten 2: Weiterführung der Grundlagenforschung zur Erstellung und Aktualisierung von Massnahmenempfehlungen basierend auf den genannten Forschungsfragen.

Ein Fokus dieser Aktivitäten lag in den vergangenen Jahren auf möglichen Massnahmen zur Verhinderung der Weiterverbreitung der Grundeln. Hierbei lieferten wir wichtige wissenschaftliche Grundlagen zu aktiver und passiver Verbreitung der Grundeln.

2.2.1 Entwicklung einer Grundelsperre

Ein Teilziel des Grundelprojektes war es, die mögliche Wirksamkeit einer selektiven Grundelsperre zu untersuchen. Dieses Ziel findet sich auch als Massnahme (M3) in der ‘Grundelstrategie’ (Dönni et al., 2016). Zu Erreichung dieses Teilziels führte das MGU erst eine Reihe von Laborexperimenten zur Schwimmfähigkeit von Grundeln, Groppen und Gründlingen durch (s. Teil 1.2.1). Basierend auf Ergebnissen dieser Laborexperimente wurde ein Prototyp einer Grundelsperre entwickelt. Dieser Prototyp wurde in einem Grossversuch durch Einbau in einen lebensgetreuen Vertical-Slot-Fischpass auf seine Wirkungsweise hin getestet. Neben hydraulischen Messungen wurden hier auch die Wirkung des Prototyps auf aufsteigende Grundeln, Groppen und Gründlinge getestet (siehe Schlussbericht zum Zusatzantrag ‚Grundelsperre’ (Teil des Gesamtpakets ‚Invasive Schwarzmeergrundeln in der Schweiz’) vom 27.02.2020).

Methoden

Ein wichtiger nächster Umsetzungsschritt der Untersuchungen des MGU waren Umsetzungsmassnahmen. Seitens des BAFU war hierfür der Einbau des Prototyps im Feld vorgesehen. Als Projektpartner für die Umsetzung wurde die Koordinationsstelle Flusskrebse Schweiz KFKS beauftragt, da die KFKS auf Erfahrung mit dem Einbau und der Erfolgskontrolle von Krebssperren zurückgreifen kann (Krieg & Zenker 2020). Aufgabe des MGUs war es die Daten der Labor- und Grossversuche und die Spezifikationen des Prototyps zur Verfügung zu stellen um somit die Datengrundlage für den Einbau einer Grundelsperre im Feld zu liefern. Die KSK erhielt dementsprechend eine Datenzusammenstellung aller vorliegenden Ergebnisse und der wissenschaftlichen Publikationen zu Schwimmgeschwindigkeiten (Wiegleb et al., 2020) und Schwimm/- Aufstiegsverhalten (Egger et al., 2021).

Ergebnisse

Am 30.09.21 wurde ein Onlinemeeting der Grundelgruppe des MGU mit der KFKS durchgeführt. Dabei berichtete die KFKS vom Einbau von zwei gegenüber dem MGU-Prototyp abgewandelten Grundelsperren am Kraftwerk Rheinfelden. Die KFKS stellte klar, dass die vorgestellten Ergebnisse vor der Veröffentlichung ihres Schlussberichtes an das Bafus vertraulich seien, weshalb hier nicht weiter darauf eingegangen werden kann.

Schlussfolgerung und Ausblick

Aus Sicht des MGU sind für die Entwicklung einer wirkungsvollen selektiven Grundelsperre vor allem zwei Punkte zu beachten:

1. Mehr Forschung ist nötig um die Feldtauglichkeit der Grundelsperre zu untersuchen. Die Ergebnisse des Versuchs von MGU (Barrierewirkung für Grundel, Keine Barrierewirkung für Groppe und Gründling, vgl. Kap 1.2.1) beziehen sich nur auf die Spezifikationen des Prototyps (Länge, Breite, Höhe, Winkel) und die getesteten Rahmenbedingungen (Fliessgeschwindigkeit). Veränderungen an den Spezifikationen des Prototyps sollten gut durch Experimente validiert werden, denn möglicherweise wird dadurch die selektive Barrierewirkung im Feld aufgehoben. Der Verlust der selektiven Barrierewirkung ist vor allen Dingen zu befürchten, da die Rahmenbedingungen im Feld (Fliessgeschwindigkeit) ohnehin schlechter zu kontrollieren sind und daher die zu kontrollierende Variable (der Prototyp) konstant zu halten ist um die Artselektivität des Grossversuchts auch im Feld zu erreichen.
2. Um die Funktionalität der Sperre im Feld zu überprüfen, sollten, wenn möglich, der Fischaufstieg über die Sperre mit bereits vorhandenen Daten über Fischaufstieg über Fischpässe ohne Sperre verglichen werden. Hierfür könnten z.B. Daten aus dem Abschlussbericht ‚PIT-Tagging Hochrhein‘ (Schwevers & Adam 2019) verwendet werden. Im Rahmen dieses Projekts wurden über drei Jahre annähernd 20‘000 Fische ober- und unterhalb der Kraftwerke des Hochrheins getaggt, darunter 2000 invasive Grundeln. Die vorliegenden Daten ermöglichen eine bessere Einschätzung des Effekts der ggf. eingebauten Sperre auf den Fischaufstieg. Damit sind diese Daten auch für die Planung einer Erfolgskontrolle eine wichtige Basis.

2.2.2 Synthese

Vor nun mehr als 10 Jahren wurden die ersten invasiven Grundeln im Hafen Kleinhüningen entdeckt. Seitdem wurde am MGU der Universität Basel aktiv über Ausbreitungsmechanismen, Auswirkungen auf die heimische Fauna und Möglichkeiten der Begrenzung weiterer Ausbreitung geforscht. Dabei hat das Team stets eng mit unterschiedlichen Stakeholdern zusammengearbeitet und ihre Erfahrung und Expertise in die Forschung mit aufgenommen. Der Austausch von Informationen und die Weitergabe neuester Ergebnisse bildeten die Basis für die Erstellung und Aktualisierung von Massnahmenempfehlungen, die unter anderem zur Formulierung der Grundelstrategie (Dönni et al., 2016) führten. Zum Abschluss des Forschungsprojektes soll der gesamten Forschung und ihrer Entwicklung mit einer retrospektiven Synthese Rechnung getragen werden. Diese soll eine Übersicht und Einordnung der Entwicklung von den Anfängen hin zum heutigen Stand der Forschung bieten und die Grenzen, sowie die Herausforderungen dieser Entwicklung identifizieren und analysieren. Dabei wird der Fokus nicht allein auf die wissenschaftlichen Ergebnisse (*scientific output*) gelegt, sondern auch deren Einfluss auf die Wissenschaftscommunity (*scientific impact*), auf die Gesellschaft (*societal impact*) und auf die Gesetzgebung (*policy impact*) berücksichtigt. Diese Synthese verschafft nicht nur einen Ausblick auf zukünftige Forschungsfragen, sondern kann als transparente Darlegung eines inter- und transdisziplinären Projektes auch Forschungsprojekten in ähnlicher Grössenordnung und ähnlicher Ausrichtung bei der Strategieplanung helfen.

3 AUSBLICK

3.1 FORSCHUNGSFRAGEN

Das Grundelprojekt in der hier beschriebenen Form findet mit dem Abschlusssymposium vom 10. Juni 2022 seinen Abschluss.

Dennoch werden wir noch weiter an diesem Thema forschen: Im kommenden Jahr 2022 werden die Projekte zur physischen Barriere (der Grundelsperre) und der Weiterverbreitung durch Freizeitboote weiter vorangetrieben. Zudem wird die Analyse der restlichen, in den vergangenen Jahren erhobenen Feld- und Experimentaldaten stehen.

So steht die Auswertung der langjährigen Datensammlung aus dem jährlichen Monitoring der Grundelpopulation im Hafen Kleinhüningen, sowie des Vorkommens invasiver Krebsarten und heimischer Fische noch aus. Sie verspricht interessante und relevante Einblicke in die Populationsentwicklung und ökologischen Dynamiken der Grundelinvasion in hiesigen Gewässern. Mit diesen Daten lassen sich in Zukunft Schlüsse zur Artenzusammensetzung und Dichte ziehen, wie sie zukünftig im Rhein zu erwarten ist.

Weitere spannende Entdeckungen erwarten wir bei der genaueren Untersuchung des Schwimmverhaltens der Grundeln im Vergleich mit anderen bodenlebenden einheimischen Fischen. Diese können schlussendlich nicht nur für eine artselektive Grundelsperre, sondern generell auch für die Forschung für fischfreundlichere Aufstiegshilfen für bodenlebende Arten genutzt werden. So soll die Beschreibung der hydraulischen Kräfte, die Fische in Fischpässen erfahren, auf weitere Arten ausgeweitet werden. Dies soll das Wissen darüber vertiefen, wie die Strömung in Fischpässen verschiedene Arten unterschiedlich beeinflusst und wie Fischpässe für ein bestimmtes Artspektrum optimiert werden können. Des Weiteren wird die Möglichkeit der automatisierten Fischartenidentifikation in Fischpässen weiter untersucht. Die Vorarbeiten zu einer Grundelsperre haben gezeigt, dass es möglich ist, Fischarten auf Basis ihrer Schwimmmuster mit Hilfe von KI (künstliche Intelligenz) zu identifizieren. Diese Methode soll weiter optimiert und automatisiert werden.

Im Projektbereich „Verschleppung durch Freizeitboote“ werden die diesjährigen Projekte jeweils fortgesetzt und ausgeweitet. So werden wir uns der Frage widmen, ob die hier dokumentierte selektive Habitatnutzung der Hafenwände zu einer morphologischen oder genetischen Aufspaltung der Population führt. Ausserdem wird es neben der abschliessenden Auswertung der Experimente zur Austrocknungsresistenz zusätzliche Untersuchungen geben, die die Rolle der Eihülle und der räumlichen Gelegestruktur bei der Retention von Wasser in den Grundeleiern beleuchten. Die Ergebnisse werden dabei helfen, das Invasions- und Verschleppungspotential der Grundeln besser zu verstehen und damit Beiträge zur Risikoabschätzung und Konzeption und Priorisierung von Massnahmen leisten.

3.2 AKTIVITÄTEN

Da das Forschungsprojekt im Laufe des Jahres 2022 zu einem Ende kommt, wird es anstelle eines Wissenschafts-Apéros ein Abschlusssymposium mit allen Stakeholdern und der Wissenschaftscommunity im Juni geben. Die Ergebnisse werden anschliessend publiziert.

Wir freuen uns auf ein persönliches Wiedersehen mit allen an unseren Forschungen interessierten Personen!

4 LITERATUR

Adrian-Kalchhauser, I., N'Guyen, A., Hirsch, P.E. and Burkhardt-Holm, P., 2017. The invasive round goby may attach its eggs to ships or boats–but there is no evidence. Aquatic Invasions, 12(2), pp.263-267.

Bussmann, K. and Burkhardt-Holm, P., 2020. Round gobies in the third dimension-use of vertical walls as habitat enables vector contact in a bottom-dwelling invasive fish. Aquatic Invasions, 15(4), pp.683-699.

Bussmann, K., Hirsch, P. and Burkhardt-Holm, P., 2021. Invasive goby larvae: First evidence as stowaways in small watercraft motors. EcoEvoRxiv. July, 2.

Dönni, W., Thiel-Egenter, C., Walther, G.R., Knutti, A., Bittner, D., Scarselli, M., Hamburger, D., Zopfi, D., Fischer, D., Buckelmüller, J. and Schwendener, S., 2016. Schwarzmeergrundeln Schweiz-Eine Strategie von KVU und JFK, erstellt durch die AGIN-D.

Dönni, W. and Freyhof, J., 2002. Einwanderung von Fischarten in die Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.

Egger, B., Wiegleb, J., Seidel, F., Burkhardt-Holm, P. and Hirsch, P.E., 2021. Comparative swimming performance and behaviour of three benthic fish species: The invasive round goby (Neogobius melanostomus), the native bullhead (Cottus gobio), and the native gudgeon (Gobio gobio). Ecology of freshwater fish, 30(3), pp.391-405.

Grillakis, M.G., 2019. Increase in severe and extreme soil moisture droughts for Europe under climate change. Science of The Total Environment, 660, pp.1245-1255.

Hirsch, P.E., Adrian-Kalchhauser, I., Flämig, S., N'Guyen, A., Defila, R., Di Giulio, A. and Burkhardt-Holm, P., 2016. A tough egg to crack: recreational boats as vectors for invasive goby eggs and transdisciplinary management approaches. Ecology and evolution, 6(3), pp.707-715.

Hirsch, P.E., N'Guyen, A. and Burkhardt-Holm, P., 2021. Hobbyists acting simultaneously as anglers and aquarists: Novel pathways for non-native fish and impacts on native fish. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems.

Kalchhauser, I., Mutzner, P. and Burkhardt-Holm, P., 2013. Arrival of round goby Neogobius melanostomus (Pallas, 1814) and bighead goby Ponticola kessleri (Günther, 1861) in the High Rhine (Switzerland). BioInvasions Records, 2.

Konapala, G., Mishra, A.K., Wada, Y. and Mann, M.E., 2020. Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation. Nature Communications, 11(1), pp.1-10.

Kornis, M.S., Mercado-Silva, N. and Vander Zanden, M.J., 2012. Twenty years of invasion: a review of round goby Neogobius melanostomus biology, spread and ecological implications. Journal of fish biology, 80(2), pp.235-285.

Krieg, R. and Zenker, A., 2020. A review of the use of physical barriers to stop the spread of non-indigenous crayfish species. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 30, pp.423-435.

Lehtonen, T.K., Rintakoski, S. and Lindström, K., 2007. Mate preference for multiple cues: interplay between male and nest size in the sand goby, Pomatoschistus minutus. Behavioral Ecology, 18(4), pp.696-700.

Lindström, K. and Pampoulie, C., 2005. Effects of resource holding potential and resource value on tenure at nest sites in sand gobies. Behavioral Ecology, 16(1), pp.70-74.

Schwevers U & Adam B (2019) PIT-Tagging Hochrhein - Abschlussbericht - Im Auftrag des eidgenössischen Bundesamtes für Umwelt Abteilung: Fischdurchgängigkeit. Institut für angewandte Ökologie

Strayer, D.L., D'Antonio, C.M., Essl, F., Fowler, M.S., Geist, J., Hilt, S., Jarić, I., Jöhnk, K., Jones, C.G., Lambin, X. and Latzka, A.W., 2017. Boom-bust dynamics in biological invasions: towards an improved application of the concept. Ecology letters, 20(10), pp.1337-1350.

Wiegleb, J., Hirsch, P.E., Egger, B., Seidel, F. and Burkhardt-Holm, P., 2020. Flow field-induced drag forces and swimming behavior of three benthic fish species. Limnologica, 84, p.125812.

Zorn, T.G. and Kramer, D.R., 2021. Changes in Habitat Conditions, Fish Populations, and the Fishery in Northern Green Bay, Lake Michigan, 1989–2019. North American Journal of Fisheries Management.

5 Anhang

5.1 Wissenschaftliche Publikationen

Titel	Autoren	Journal
Hobbyists acting simultaneously as anglers and aquarists: Novel pathways for non-native fish and impacts on native fish	Hirsch, P.E., N'Guyen, A., Burkhardt-Holm, P.	Aquatic Conservation
Flow, force, behaviour: Assessment of a prototype hydraulic barrier for invasive fish.	Wiegleb, J., Hirsch, P.E., Seidel, F., Rauter, G., Burkhardt-Holm, P.	Hydrobiologia
Invasive goby larvae: first evidence as stowaways in small watercraft motors.	Bussmann K., Hirsch P.E., Burkhardt-Holm P.	Management of Biological Invasions

5.2 Aktivitäten

Datum	Typ	Funktion	Veranstalter	Titel	Ort	Teilnehmer
16.04.2021	Vorlesung/ Vortrag	External Speaker für Seminar „Biologie und Ökologie der Fische”	Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)	Colonizing islands of water in a sea of dry land: passive dispersal of freshwater fish	Online via Zoom	Dr. Philipp Hirsch
26.05.2021	Vorlesung/ Vortrag	External Speaker für Vorlesungsreihe der ökologischen Forschungsstation Griethersbusch	Universität zu Köln	Passive and active dispersal in invasive fish - implications for ecology and management	Online via Zoom	Dr. Philipp Hirsch

05-08.07.2021	Vortrag	External Speaker	FSBI Symposium der KU Leuven	Intra-population niche partitioning along a vertical depth gradient in a benthic invasive fish –the round goby.	Online via Zoom	Karen Bussmann
20.09.2021	Workshop-Teilnahme zu Forschungs projekt	Wissenschaft licher Beirat	Universität zu Köln	Baggerseen im Wandel - Sitzung Wissenschaftlicher Beirat	Rees, NRW, Deutsch land	Dr. Philipp Hirsch

5.3 MEDIENSPIEGEL

Datum	Medium	Titel	Kurzbeschrieb
21.01.2021	Universität Basel + AWEL Kanton Zürich	Unbemerkte Fracht an Bord?	Gebietsfremde Tiere und Pflanzen, sogenannte Neobiota, kommen auch in den Gewässern des Kantons Zürich vor. Wenn sich diese Arten unkontrolliert ausbreiten, spricht man von invasiven Neobiota. Oft werden sie unbemerkt durch den Menschen verbreitet und beispielsweise mit Booten, Wassersport- oder Fischereimaterial von einem Gewässer zum nächsten verschleppt. Mithilfe der auf diesem Merkblatt beschriebenen Praktiken/ Massnahmen lässt sich die Ausbreitung invasiver Neobiota vorbeugend bekämpfen.
03.05.2021	Instagram duw. unibas	Beitrag zur Verschleppung der Grundel	Personen, die gerne angeln, halten auch gerne Fische in Aquarien oder Teichen. Fische werden zum Beispiel in andere Gewässer verschleppt, indem ungeliebte Aquarienfische einfach ausgesetzt werden, indem geangelte Fische für zukünftige Fänge in neue Gewässer gebracht werden oder indem lebende Fische weitergegeben warden. Dies hat eine neue Studie von Philipp Hirsch, Anouk N’Guyen und Patricia Holm vom Programm Mensch-Gesellschaft-Umwelt herausgefunden.