UNIVERSITÄT BASEL

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

Vesalgasse 1 CH-4051 Basel Tel. +41 (0)61 267 04 00 Fax +41 (0)61 267 04 09 http://www.programm-mgu.ch



Zwischenbericht zum Zusatzantrag 'Grundelsperre' (Teil des Gesamtpakets 'Invasive Schwarzmeergrundeln in der Schweiz')

07.12.2018

Patricia Holm,
Philipp Hirsch, Joschka Wiegleb, Bernd Egger

Projektziel

Innerhalb des Projekts 'Grundelsperre' werden Forschungs- und Umsetzungsarbeiten durchgeführt, mit dem Ziel den praktischen Einsatz einer Grundelsperre zu ermöglichen. Das Projekt sieht die Schaffung wissenschaftlicher Grundlagen und Klärung essentieller Fragen für folgende Massnahmen der Grundelstrategie vor: M2 (Bedeutung unterschiedlicher Typen von Fischaufstiegshilfen für die Ausbreitung der Grundeln) und M3 (Untersuchung von Massnahmen zur selektiven Verhinderung des Grundelaufstiegs bei Fischaufstiegshilfen).

Hintergrund

Soll der Weiterverbreitung der Grundeln durch Barrieren Einhalt geboten werden, braucht es Forschung zur Frage der Überwindbarkeit von Fischtreppen und zur Frage der Grundelselektivität einer 'Grundelsperre'. Dafür sind Kenntnisse über die Schwimmleistung von Grundeln wichtig und wie diese durch Fliessgeschwindigkeiten und Veränderungen der Oberfläche bzw. des Untergrunds über dem die Tiere schwimmen, beeinflusst werden.

Um eine selektive Sperre zu entwickeln, müssen die Unterschiede zwischen Schwarzmundgrundeln und relevanten einheimischen Arten in Bezug auf Parameter einer Grundelsperre bekannt sein. Deshalb sollen neben der Schwarzmundgrundel zwei in ihrer Ökologie den Grundeln ähnliche Fischarten ebenfalls untersucht werden: Gründlinge (*Gobio gobio*) und Groppen (*Cottus gobio*). Beim Test der Sperre kann anhand dieser Vergleichsarten dann sichergestellt werden, dass diese nicht negativ durch die Sperre beeinflusst werden (Bestätigung der Selektivität).

Aktueller Stand der Arbeiten

Vorversuche

Im Zwischenbericht vom 13.06.2018 wurden die ersten Vorversuche zur Messung der Kräfte an benthischen Fischen beschrieben. Die Ergebnisse zeigten, dass eine Kraftmessung funktioniert und dass die Kräfte in Form von «Karten» räumlich verteilt aufgetragen werden können. Diese Erkenntnisse wurden genutzt um die Messung für die nachfolgenden Versuche zu optimieren.

1. Karten der Kräfte

Die auf Grundeln, Gründlinge und Groppen wirkenden Kräfte in der Messkammer des Schwimmkanals wurden bei Strömungsgeschwindigkeiten von 0.25, 0.55, 0.85 und 1.15 m/s gemessen, um die Abhängigkeit der Kräfte von der Strömungsgeschwindigkeit zu untersuchen (Abb. 1). Es wurde angenommen, dass die Stellung der Flossen einen grossen Einfluss auf die auf den Fisch wirkenden Kräfte hat. Um diesen Einfluss genauer zu bestimmen, wurde ein Fisch jeder Art mit jeweils abgespreizten und nicht abgespreizten Flossen getestet. Die Kräfte wurden bei jeder oben angegebenen Strömungsgeschwindigkeit und für jeden Fisch an 45 Messpunkten in der Messkammer über eine Minute erfasst (2 Messwerte pro Sekunde). Die Mittelwerte wurden graphisch durch Kraftkarten visualisiert (Abb. 2). Die dargestellten Kraftkarten zeigen sehr schwache auf Grundeln und eher starke auf Groppen wirkende Kräfte.

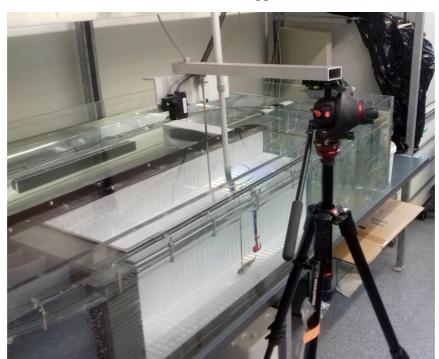


Abbildung 1: Messaufbau und Schwimmkanal. Die Fische wurden am Fixierstab knapp über dem Boden der Messkammer fixiert. Die Kräfte wurden über den Fixierstab bis zum Sensor (schwarzer Kasten) übertragen und gemessen. Die Position der Fische wurde zwischen den Messungen verändert um Karten der Kräfte zeichnen zu können.

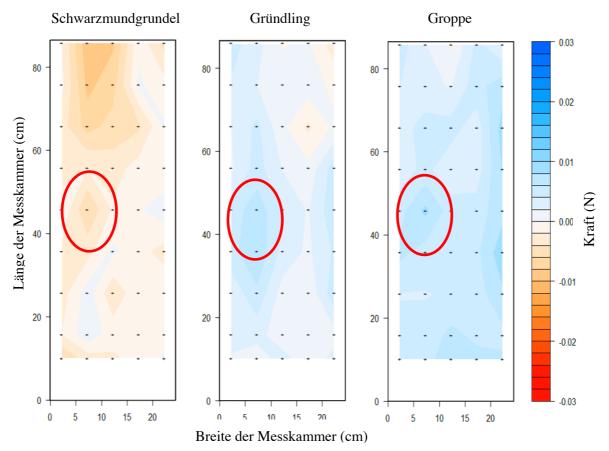


Abbildung 2: Kraftkarten dreier benthischer Fischarten mit angelegten Flossen bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0.25 m/s. Die Kraft wurde in Strömungsrichtung (von oben nach unten) gemessen. Für die Schwarzmundgrundel wurden sehr schwache (teilweise negative) Kräfte gemessen. Für Groppen wurden die stärksten Kräfte gemessen. Innerhalb der Kraftkarten sind bei allen drei Fischarten Unterschiede sichtbar. Es gibt Bereiche, bei denen sich die Kräfte punktuell zwischen den Arten unterscheiden (rote Markierung).

Innerhalb der Kraftkarten wurden bei allen Fischen Bereiche mit stärkeren Kräften und Bereiche mit schwächeren Kräften beobachtet. Die Standardabweichungen vom Mittelwert ähnelten sich innerhalb jeder Geschwindigkeitsstufe (Abb. 3), was ähnliche Kraftdifferenzen innerhalb der Kraftkarten der verschiedenen Fische zeigt. Es wurden also bei jeder Strömungsgeschwindigkeitsstufe lokale Bereiche mit unterschiedlich stark ausgeprägten Kräften gemessen. Je nach Aufenthaltsbereich in der Messkammer wirken dementsprechend unterschiedlich starke Kräfte auf die Fische. Die Orte dieser Bereiche unterschieden sich ausserdem in manchen Fällen zwischen den Fischarten (Abb. 2, rote Markierungen).

Schlussfolgerung:

Je nach Fischart gibt es Bereiche in der Messkammer, an denen unterschiedlich starke Kräfte auf die Fische wirken. Das bedeutet, dass die Fische in einer Grundelsperre mit glattem Boden wahrscheinlich nicht überall die gleichen Strömungskräfte überwinden müssen und dass die Stärke der Kraft auch von der Position des Fisches abhängt.

2. Zusammenfassung der Kraftkarten

Die Kräfte stiegen mit der Strömungsgeschwindigkeit an, wobei die stärksten Kräfte (Mittelwert = 5,91 N) bei Groppen gemessen wurden (Abb. 3). Die bei Grundeln und Gründlingen mit nicht abgespreizten Flossen gemessenen Kräfte unterschieden sich kaum von den Kräften der Referenzmessung (Strömungskräfte, die auf den Fixierstab ohne Fisch wirken). Auf diese beiden Fischarten wirkten also, anders als bei der Groppe mit nicht abgespreizten Flossen, kaum Kräfte in Strömungsrichtung. Dies könnte auf eine hydrodynamisch «günstigere» Form der Grundel und des Gründlings hindeuten. Auf die Groppe mit nicht abgespreizten Flossen wirkten etwa gleich starke Kräfte wie auf die Grundel mit abgespreizten Flossen, was auf grosse hydrodynamische Unterschiede beider Fische hinweist und auch auf den grossen Einfluss der Flossen auf die gemessenen Kräfte aufzeigt. Bei Grundeln wurde der grösste Unterschied zwischen beiden Flossenkonformationen (abgespreizt oder nicht abgespreizt) bei allen untersuchten Strömungsgeschwindigkeiten gemessen (Abb. 3). Die Flossen (vor allem die Brustflossen, da sie direkt der Strömung exponiert waren) der Grundeln haben dem entsprechend den grössten Einfluss auf die auf den Fisch wirkenden Kräfte unter den untersuchten Fischarten. Bei den Gründlingen wurde der geringste Kraftunterschied gemessen. Die Flossen dieser Art haben unter den untersuchten Arten also den geringsten Einfluss auf die Kräfte in Strömungsrichtung. Dies ist nicht verwunderlich, da die Brustflossen wesentlich kleiner waren als die der Grundeln. Die Kraftunterschiede zwischen Fischen mit und nicht abgespreizten abgespreizten Flossen nahmen Erhöhung Strömungsgeschwindigkeit leicht ab. Vor allem bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 1,15 m/s ist ein deutlich geringerer Kraftunterschied zu beobachten (Abb. 4).

Schlussfolgerung:

Mit ansteigender Strömungsgeschwindigkeit müssen die Fische auch stärkere Kräfte überwinden. Kraftunterschiede zwischen den Fischarten zeigen, dass auf Groppenkörper stärkere Kräfte wirken, als Grundeln und Gründlinge. Grundeln können durch ihre Flossen die

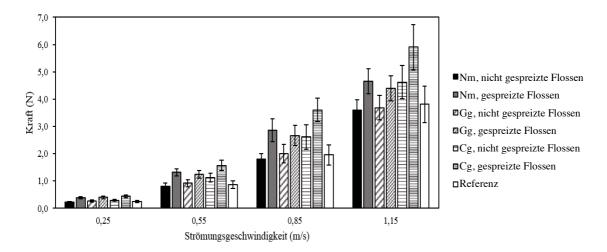


Abbildung 3: Mittelwerte und Standardabweichung (Fehlerbalken) der an den 45 Messpunkten in der Messkammer (in Strömungsrichtung) gemessenen Kräfte von Schwarzmundgrundeln (Nm), Gründlingen (Gg) und Groppen (Cg). Die Referenz gibt die Kräfte gemessen ohne Fisch an, also die Summe der Kräfte, die nur auf den Fixierstab wirkten. Die Kraft auf den Messstab wurde verwendet um die auf den Fisch wirkende Kraft (Abb. 2) zu berechnen.

auf sie wirkenden Kräfte am stärksten verändern (Abb. 4). Allerdings nimmt der Einfluss der Flossen mit steigender Strömungsgeschwindigkeit ab. Dies könnte darauf hinweisen, dass die Fische bei starken Strömungsgeschwindigkeiten weniger in der Lage sind die zu überwindenden Kräfte durch ihre Flossen zu beeinflussen. Andererseits könnte der Kraftunterschied auch durch erhöhte Vibrationen des Fixierstabes bei grösseren Strömungsgeschwindigkeiten verursacht werden. Der Einfluss der Vibrationen am Fixierstab muss in fortführenden Untersuchungen ermittelt und Vibrationen müssen reduziert werden.

3. Änderung der Kraft

Die Strömungsgeschwindigkeit ist ein grundlegender Faktor, der die Selektivität einer Grundelsperre gewährleisten könnte und der leicht in einer Grundelsperre manipulierbar ist. Bei stärkeren Strömungsgeschwindigkeiten (0.85 – 1.15 m/s) wurden grössere Änderungen der Kraft beobachtet, als bei geringeren Strömungsgeschwindigkeiten (0.25 – 0.55 m/s) (Abb. 5). Dies zeigt, dass eine Veränderung der Strömung in Bereichen stärkerer Strömung eine starke Veränderung der Kraft, die von den Fischen überwunden werden muss, hervorruft. Mit einer Veränderung der Strömungsgeschwindigkeit im Bereich zwischen 0,85 und 1,15 m/s kann die Kraft auf den Fisch also stärker verändert werden, als bei der gleichen Veränderung der Strömungsgeschwindigkeit zwischen 0,25 und 0,55 m/s.

Der Anstieg der zu überwindenden Kraft ist zwischen Grundeln und Gründlingen mit abgespreizten und nicht abgespreizten Flossen fast gleich. Diese beiden Arten scheinen also durch ihre Flossen keinen grossen Einfluss auf Änderung der Kraft bei einer Veränderung der Strömungsgeschwindigkeit im hohen Strömungsbereich zu haben.

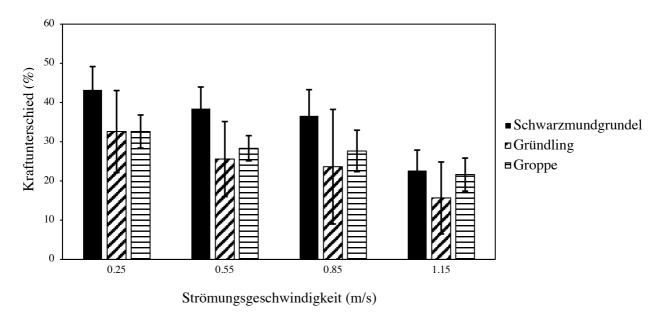


Abbildung 4: Relativer Kraftunterschied (prozentuale Differenz der mittleren Kräfte) zwischen Fischen mit abgespreizten und nicht abgespreizten Flossen. Die Fehlerbalken zeigen die zugehörige Standardabweichung.

Schlussfolgerung:

Bei der Entwicklung einer selektiven Grundelsperre sollten stärkere Strömungsgeschwindigkeiten gewählt werden. Dadurch hätte die Grundelsperre einen starken Einfluss auf die auf den Fisch wirkenden Kräfte. Zudem könnten die Fische bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten ihrerseits einen geringeren Einfluss auf die Kräfte durch ihre Flossen nehmen. Diese Daten sind jedoch mit Vorsicht zu betrachten. Durch den langen und flexiblen Messstab liegt eine Unsicherheit vor und es wurden nur eine geringe Anzahl von Individuen (n = 6) untersucht. Im Rahmen weiterer Untersuchungen muss das Messverfahren optimiert und der Stichprobenumfang erhöht werden. Die vorgestellten Daten zeigen allerdings Unterschiede in den zu überwindenden Kräften der Fische unserer Stichprobe. Bei stärkeren Strömungsgeschwindigkeiten kann wahrscheinlich ein grösserer Einfluss auf die auf Fische wirkenden Kräfte angenommen werden, als bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten.

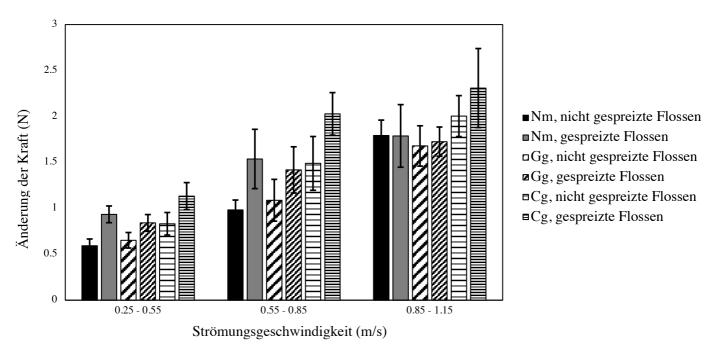


Abbildung 5: Mittelwerte und Standardabweichungen (Fehlerbalken) der Änderung der auf Schwarzmundgrundeln (Nm), Gründlinge (Gg) und Groppen (Cg) wirkenden Kräfte zwischen den verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten. Z.B. zwischen den beiden Strömungsgeschwindigkeiten 0.25 und 0.55 m/s ändert sich die Kraft, die von der Schwarzmundgrundel mit nicht abgespreizten Flossen (Nm, von links erster schwarzer Balken) überwunden werden muss, um circa 0.6 N.

Experimente zur Ermittlung der Schwimmleistung von Schwarzmundgrundel, Groppe und Gründlinge im Schwimmkanal

Zur Ermittlung der individuellen Schwimmleistung und eventueller artspezifischer Unterschiede zwischen Grundeln, Gründlingen und Groppen wurde eine Serie von Experimenten im Schwimmkanal durchgeführt (Abb. 5). Dazu wurden Anfang Mai 2018 Grundeln aus strömungsreichen Bereichen im Rhein in Basel gefangen, mit Mikrochips (sogenannten 'PIT Tags') markiert und in Aquarien des MGU an der Universität Basel gehältert. Ebenso wurden Anfang Juni Groppen aus dem Wintersingerbach und dem Maispracherbach (beide Bäche münden in den Magdenbach, Magden, Kanton Aargau) und Gründlinge aus dem Gewässersystem der Wiese (Kanton Basel Stadt) entnommen, mit PITtags markiert und in Aquarien des MGU untergebracht.

Nach Eingewöhnungszeit der Tiere begannen die Experimente im Schwimmkanal. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf das Verhalten des Fisches in der Strömung gelegt. Bodenlebende Arten zeigen keine konstanten Schwimmbewegungen im freien Wasser, so wie Salmoniden das tun. Vielmehr versuchen bodenlebende Fische ihre Position zu halten und der Strömung möglichst lange durch 'Nicht-Schwimmen' zu widerstehen. Daher wurde das Verhalten der Fische genauestens untersucht und quantifiziert. Entscheidend neben der eigentlichen Fliess-(oder Strömungs)geschwindigkeit, gegen die ein Fisch aktiv 'anschwimmt', ist auch die Fliessgeschwindigkeit, gegen die ein Fisch die Position halten kann ohne schwimmen zu müssen.

1. Kritische Schwimmgeschwindigkeit (U_{crit})

Die kritische Schwimmgeschwindigkeit ist jene Fliessgeschwindigkeit, gegen die ein Fisch schwimmen kann, ohne abgetrieben zu werden. Dieser Test wurde für schwimmstarke Fischarten wie z.B. Salmoniden entwickelt. Im Falle von schwimmschwachen, bodennah lebenden Fischen beinhaltet der U_{crit} -Test eine Kombination aus Schwimmleistung und anderen Verhaltensweisen, wie z.B. das Halten der Position im Schwimmkanal. Ziel dieses Experiments war die Quantifizierung artspezifischer Unterschiede dieser Verhaltensweisen. Es wurden 18 Schwarzmundgrundeln, 14 Groppen und 13 Gründlinge getestet.

- Versuchsprotokoll:

Jeder Fisch wird 20 Minuten lang in der Schwimmkammer des Schwimmkanals ohne Strömung eingewöhnt. Daraufhin wird eine Strömungsgeschwindigkeit von 0.15 m/s eingestellt und das Verhalten des Fisches mit über die gesamte Versuchsdauer gefilmt. Falls der Fisch nicht 'freiwillig' schwimmt, sondern sich am hinteren Ende der Schwimmkammer positioniert, wird nach einer Minute versucht, den Fisch mittels einer 'Vogelschnabelattrappe' zum Schwimmen zu motivieren. Nach 10 Minuten wird die Fliessgeschwindigkeit um 0.10 m/s auf 0.25 m/s erhöht und gegebenenfalls die 'Vogelschnabelattrappe' eingesetzt. Die Steigerung der Geschwindigkeit um 0.10 m/s alle 10 Minuten wird solange fortgesetzt, bis der

Fisch Ermüdungserscheinungen zeigt und nicht mehr gegen die Strömung ankommt.

- Auswertung:

Für jede Fliessgeschwindigkeit wurde für jeden getesteten Fisch die Dauer folgender Verhaltensweisen mit Hilfe der Software 'Solomon Coder' (vers. beta 17.03.22) ermittelt: a) Schwimmen (gegen die Strömung), b) Halten der Position (Fisch hält sich am glatten Untergrund des Schwimmkanals, keine Flossenbewegung), c) Zurückgleiten (Fisch rutscht auf dem glatten Untergrund des Schwimmkanals nach hinten und/oder aktives zurückschwimmen), d) Aufenthalt am Gitter des hinteren Endes des Schwimmkanals.

e) Zusätzlich wurden die kritische Schwimmgeschwindigkeiten für jeden getesteten Fisch und der Mittelwert pro Art anhand nach Brett (1964) berechnet:

$$U_{crit} = U_i + (U(t/t)),$$

U = höchste erreichte Fliessgeschwindigkeit

t = Zeit, die in der letzten Fliessgeschwindigkeitsstufe verbracht wurde

t = Dauer der Fliessgeschwindigkeitsstufe (10 min)

U = Erhöhung der Fliessgeschwindigkeit (0.10 m/s)

Ergebnisse:

a) Schwimmdauer: Die Schwimmdauer pro Fliessgeschwindigkeitsstufe war bei Schwarzmundgrundeln und Groppe generell kürzer als bei Gründlingen. Die Gründlinge zeigten eine bi-modale Verteilung bei höheren Fliessgeschwindigkeiten – d.h. während einige Individuen bis zu 10min pro Fliessgeschwindigkeitsstufe schwimmend verbrachten, war dies bei den übrigen Individuen für weniger als 2min der Fall. Schwarzmundgrundeln und Groppen zeigten eine deutliche Abnahme der Schwimmdauer schon bei niedrigen Fliessgeschwindigkeiten zwischen 0.15 und 0.35m/s.

Schwimmdauer

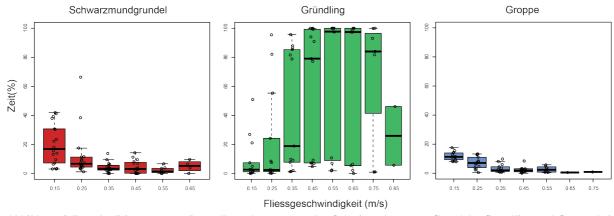


Abbildung 6: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der prozentualen Schwimmdauer von Grundeln, Gründling und Groppe bei verschiedenen Fliessgeschwindigkeiten.

b) Position halten: Schwarzmundgrundeln konnten die Position im Schwimmkanal über einen längeren Zeitraum (mehrere Minuten) nur bei der niedrigsten Fliessgeschwindigkeit (0.15m/s) halten, während dies bei Groppen und Gründlingen bei Fliessgeschwindigkeiten bis zu 0.45m/s möglich war (ein einzelner Gründling konnte seine Position auch noch bei 0.85 m/s halten).

Halten der Position im Schwimmkanal

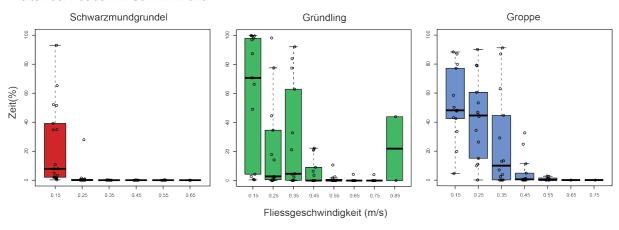


Abbildung 7: Boxplots des prozentualen Daueranteils, in dem Grundeln, Gründling und Groppe bei verschiedenen Fliessgeschwindigkeiten die Position halten konnten.

c) Zurückgleiten: Die Graphen für Groppe/Schwarzmundgrundel und Gründling zeigen ein inverses Muster: Schwarzmundgrundel und Groppe wurden schon bei niedrigen Fliessgeschwindigkeiten abgetrieben, während dies bei Gründlingen erst bei höheren Fliessgeschwindigkeiten der Fall war.

Zurückgleiten im Schwimmkanal

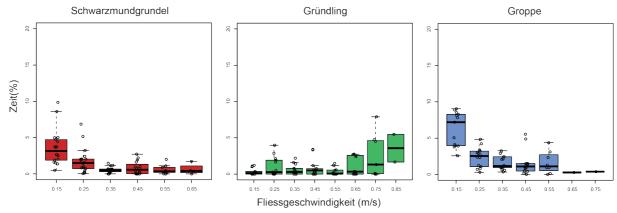


Abbildung 8: Boxplots des prozentualen Daueranteils, in dem Grundeln, Gründling und Groppe bei verschiedenen Fliessgeschwindigkeiten von der Strömung abgetrieben wurden.

d) Aufenthalt am Gitter des hinteren Endes des Schwimmkanals: Auch hier ähneln sich die Muster für Schwarzmundgrundel und Groppe, mit einer deutlich höheren Aufenthaltsdauer am Gitter bei höheren Fliessgeschwindigkeiten. Bei Gründlinge hingegen war die Variation über alle Fliessgeschwindigkeiten (ausser bei 0.35m/s) gross.

Aufenthalt am hinteren Ende des Schwimmkanals

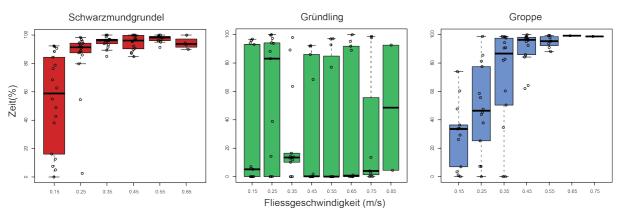


Abbildung 9: Boxplots des prozentualen Daueranteils, den Grundeln, Gründling und Groppe bei verschiedenen Fliessgeschwindigkeiten am Gitter des hinteren Endes des Schwimmkanals verbrachten.

e) Berechnung der kritischen Schwimmgeschwindigkeit (Ucm) nach Brett (1964): Im Mittel erreichten Gründlinge mit 0.7 m/s die höchste kritische Schwimmgeschwindigkeit, während Groppen und Schwarzmundgrundeln identische Mittelwerte (0.54 m/s) aufwiesen. Statistisch signifikant unterschiedlich waren die Mittelwerte von Schwarzmundgrundeln und Gründlingen, sowie auch die von Groppen und Gründlingen.

Kritische Schwimmgeschwindigkeit

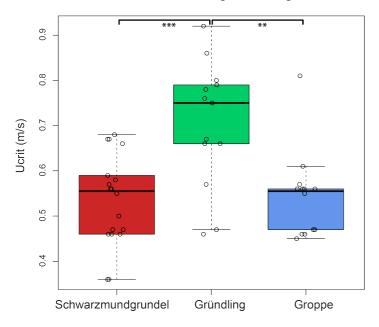


Abbildung 10: Boxplot zur Darstellung der kritischen Schwimmgeschwindigkeiten von Grundeln, Gründling und Groppe. Die Klammern mit Symbolen zeigen statistisch signifikante Unterschiede zwischen Arten an. Signifikanzlevels: **, $P \le 0.01$; ***, $P \le 0.001$.

Schlussfolgerung:

Dieser Versuch machte Unterschiede im Schwimmverhalten und der Schwimmleistung der drei getesteten Arten deutlich, vor allem zwischen den zwei ähnlicheren Arten (Schwarzmundgrundel und Groppe) und den schwimmstärkeren Gründlingen. Interessanterweise scheinen sich Groppen länger bei steigenden Fliessgeschwindigkeiten am glatten Untergrund des Schwimmkanals kalten zu können als Schwarzmundgrundeln. Die kritischen Schwimmgeschwindigkeiten zeigten identische Mittelwerte für Schwarzmundgrundel und Groppe, aber eine signifikant höhere Schwimmleistung der Gründlinge. Diese Werte stellen allerdings nur eine 'freiwillige' Schwimmleistung dar – unser Versuchsprotokoll erlaubte ein Verweilen am hinteren Ende des Gitters - und sollte deshalb nicht direkt mit U_{ste} Werten schwimmstarker Arten verglichen werden.

2. Sprintgeschwindigkeit (U_{sprint})

Die Sprintgeschwindigkeit kennzeichnet die höchste erreichbare Geschwindigkeit. Sie wird in Extremsituationen, wie etwa bei der Flucht oder beim Beutefang, eingesetzt. Hinsichtlich der Möglichkeit einer selektiven 'Grundelsperre' ist vor allem diese Schwimmleistung relevant, da hierfür die maximal erreichbare Schwimmgeschwindigkeit der Schwarzmundgrundel im Vergleich zu Groppe und Gründling herangezogen werden sollte.

Versuchsprotokoll:
 Das Versuchsprotokoll wurde von Starrs et al. (2011) entnommen und modifiziert.

Jeder Fisch wird 5 Minuten lang in der Schwimmkammer des Schwimmkanals bei einer Fliessgeschwindigkeit von $0.05 \, \text{m/s}$ eingewöhnt. Daraufhin wird die Fliessgeschwindigkeit alle 10 Sekunden um 0.05 m/s erhöht bis der Fisch Ermüdungserscheinungen zeigt und nicht mehr gegen die Strömung ankommt. Im Gegensatz zum vorherigen $U_{\mbox{\tiny crit}}$ – Test wurde hier die 'Vogelschnabelattrappe' eingesetzt, sobald sich der Fisch dem hinteren Ende des Schwimmkanal nähert, ein Verweilen am Gitter war somit hier nicht möglich. Der Versuch wurde beendet sobald der Fisch nicht mehr zum Schwimmen motiviert werden konnte.

Das Experiment wurde I) im Schwimmkanal mit einer fixierten, halbierten Plastikröhre (Probengrösse: 20 Schwarzmundgrundeln, 13 Groppen und 17 Gründlinge) und II) im leeren Schwimmkanal (Probengrösse: 18 Schwarzmundgrundeln, 13 Groppen und 14 Gründlinge) durchgeführt.

- Auswertung:

Sprintgeschwindigkeiten für jeden getesteten Fisch und der Mittelwert pro Art wurden analog zum $U_{\mbox{\tiny crit}}$ berechnet:

$$U_{\text{sprint}} = U_{\text{i}} + (U(t_{\text{i}}/t)),$$

U₁ = höchste erreichte Fliessgeschwindigkeit

t = Zeit, die in der letzten Fliessgeschwindigkeitsstufe verbracht wurde

t = Dauer der Fliessgeschwindigkeitsstufe (10 Sekunden)

U = Erhöhung der Fliessgeschwindigkeit (0.05 m/s)

Ergebnisse:

a) U_{spini} im Schwimmkanal mit einer fixierten, halbierten Plastikröhre:

Mit 1.12 m/s erreichten die Groppen die höchste durchschnittliche Sprintgeschwindigkeit, gefolgt von Gründlingen (0.68 m/s) Schwarzmundgrundeln (0.59 m/s). Zum Start des Versuchs befanden sich alle Fische in der Röhre, die sie erst bei stärkeren Fliessgeschwindigkeiten verliessen, sie wurden dann meist gegen das hintere Ende des Schwimmkanals getrieben. Die Ausnahme stellen hier wiederum die Gründlinge dar, die nach Verlassen der Röhre oft noch länger im Schwimmkanal schwammen. Der extrem hohe U_{sprint} der Groppen erklären wir uns durch die Tatsache, dass einige Individuen sich mit ihren Brustflossen in der Röhre verankern und so sehr hohen Fliessgeschwindigkeiten widerstehen Dies teilweise bei konnten. war auch den Schwarzmundgrundeln der Fall, während Gründlinge die Röhre nicht nutzen um sich gegen die Strömung zu halten.

Die Mittelwerte sind zwischen Groppe und Gründling, sowie zwischen Schwarzmundgrundel und Groppe signifikant unterschiedlich.

Sprintgeschwindigkeit mit Röhre im Schwimmkanal

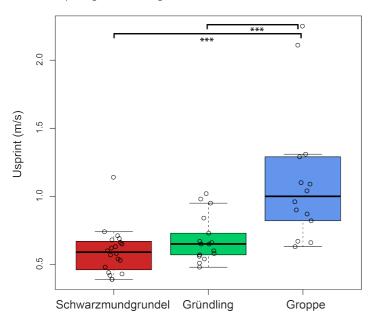


Abbildung 11: Boxplot zur Darstellung der Sprintgeschwindigkeiten von Grundeln, Gründling und Groppe im Schwimmkanal mit einer fixierten, halbierten Plastikröhre. Die Klammern mit Symbolen zeigen statistisch signifikante Unterschiede zwischen Arten an. Signifikanzlevel: ****, $P \le 0.001$.

b) $U_{\text{\tiny sprint}}$ im leeren Schwimmkanal: Mit 0.57 m/s bzw. 0.55 m/s erreichten Gründlinge und Groppe ähnlich hohe Sprintgeschwindigkeiten, während Schwarzmundgrundeln einen niedrigeren Wert von 0.43 m/s erzielten.

Sprintgeschwindigkeit im leeren Schwimmkanal

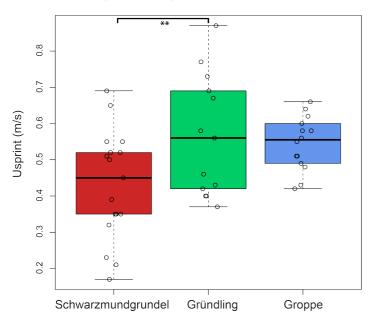


Abbildung 12: Boxplot zur Darstellung der Sprintgeschwindigkeiten von Grundeln, Gründling und Groppe im leeren Schwimmkanal. Die Klammer mit Symbol zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied der Mittelwerte von

Schwarzmundgrundel und Gründling an. Signifikanzlevel: **, $P \le 0.01$ (Der statistische Test zwischen Schwarzmundgrundel und Groppe ergab einen P-Wert von 0.06).

Schlussfolgerung:

Der Versuch mit Röhre zeigte, dass Groppen diese Struktur im Schwimmkanal besser nützen können als Schwarzmundgrundeln und dadurch sogar höheren Fliessgeschwindigkeiten widerstehen als die freischwimmenden Gründlinge. Dies weist darauf hin, dass Strukturen in einem Fischpass von schwimmschwachen Arten genutzt werden können, um hohen Fliessgeschwindigkeiten zu widerstehen oder diese zu überwinden.

Die im leeren Schwimmkanal erzielten $U_{\mbox{\tiny print}}$ - Leistungen stellen eine Kombination aus Schwimmleistung und der Fähigkeit, die Position im Schwimmkanal zu halten dar - hierbei erzielten Groppen und Gründlinge im Vergleich zur Schwarzmundgrundel höhere Werte. Dazu sollte erwähnt werden, dass sich die $U_{\mbox{\tiny print}}$ - Werte zwischen den Arten überlappen und es weiterer Untersuchungen bedarf, um die Anwendbarkeit einer selektiven 'Grundelsperre' zu beurteilen. Im Hinblick auf die Konstruktion einer ebensolchen Sperre dienen die gewonnen Daten als Richtwerte für weitere Versuche am KIT (Karlsruher Institut für Technologie)..

Neben den im Zwischenbericht vom 21.03.2018 beschriebenen Vorarbeiten hat in Kooperation mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ein Bachelorstudent (Johannes Hilpert) die gesamte Messkammer des Schwimmkanals im MGU mit einem Akustischen-Doppler-Strömungsmessgerät vermessen. Diese Daten befinden sich gegenwärtig in der Auswertung.

Weitere Schritte Richtung Grundelsperre – Zusammenarbeit mit KFKS

- Die Daten zur Schwimmleistung und zum Schwimmverhalten von Grundeln, Groppen und Gründlingen im Schwimmkanal werden weiter ausgewertet.
- Das Messverfahren zur Messung der Kräfte wird durch einen qualitativ hochwertigen Kraftsensor und durch Applikation des 3D-Drucks verfeinert. Dadurch können Kräfte präzise gemessen werden und der Einfluss bestimmter äusserer Merkmale und Flossenstellungen durch Manipulation der 3D-Fisch-Modelle genauer bestimmt werden.
- Die Daten der Strömungsmessungen innerhalb des Schwimmkanals vom KIT, der Kraftmessungen und der Schwimmleistungsmessungen werden in einander integriert, um Erkenntnisse über Zusammenhänge zwischen Strömung, Kraft auf den Fisch und Verhalten der Fische zu gewinnen.

- In Zusammenarbeit mit dem KIT können 2019 am Institut für Wasser und Gewässerentwicklung weitere Experimente im Grossversuch durchgeführt werden. In Karlsruhe können hydraulische Modellierungen auf Basis der Experimente mögliche Prototypen von Grundelsperren erstellen. In einem massstabsgetreuen Nachbau einer Fischwanderhilfe können dann diese verschiedenen Prototypen einer Grundelsperre testweise eingebaut werden. Dies erlaubt einen realitätsnäheren Test der Überwindbarkeit durch ebenfalls eingesetzte Grundeln, Groppen und Gründlinge.
- Der Vertrag mit dem Bafu (Ref. Q 493-0660) sieht eine Arbeitsteilung zwischen MGU ('Schaffung wissenschaftlicher Grundlagen und Klärung essentieller Fragen') der Krebsforschungssstelle der FHNW ('Errichtung einer provisorischen Grundelsperre') vor. Als Teil der Zusammenarbeit mit der Krebsforschungsstelle (KFKS) wurde am 12.11.2018 ein Arbeitstreffen mit Raphael Krieg und Armin Zenker in den Räumlichkeiten des MGU abgehalten. Dabei wurden Möglichkeiten und Hindernisse für einen Einbau einer Grundelsperre unter Berücksichtigung der bisherigen Ergebnisse diskutiert. Für die konkrete Planung sollte eine Roadmap erstellt werden. Bei der Krebsforschungsstelle wären Anfang Jahr (bis Mai 2019) freie Kapazitäten vorhanden um eine Grundelsperre einzurichten.
- Auswahl des Orts, der für den temporären Einbau einer Grundelsperre geeignet wäre, sind mit Bafu und den/dem betroffenen Kanton zu klären. Gemäss mündlicher Absprache (28. 11. 2018, A.Knutti, A. Baumann, P. Holm, an der Universität Basel) werden die dafür erforderlichen Gespräche von Seiten des Bafu (Alvaro Baumann y Carmona) organisiert.

Zitierte Literatur

Brett JR (1964) The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 21: 1183–1226

Starrs, D., Ebner, B. C., Lintermans, M. and Fulton, C. J. (2011) Using sprint swimming performance to predict upstream passage of the endangered Macquarie perch in a highly regulated river. Fisheries Management and Ecology, 18: 360-374