



## Schlussbericht zum Zusatzantrag ‚Grundelsperre‘ (Teil des Gesamtpakets ‚Invasive Schwarzmeergrundeln in der Schweiz‘)

Basel, 17.02.2020

Patricia Holm, Philipp Hirsch, Joschka Wiegleb, Bernd Egger

### Projektziel

Innerhalb des Projekts ‚Grundelsperre‘ wurden Forschungs- und Umsetzungsarbeiten durchgeführt, mit dem Ziel den praktischen Einsatz einer Grundelsperre zu ermöglichen.

Das Projekt hatte die Schaffung wissenschaftlicher Grundlagen und die Klärung essentieller Fragen für folgende Massnahmen der Grundelstrategie vorgesehen: M2 (Bedeutung unterschiedlicher Typen von Fischeaufstiegshilfen für die Ausbreitung der Grundeln) und M3 (Untersuchung von Massnahmen zur selektiven Verhinderung des Grundelaufstiegs bei Fischeaufstiegshilfen).

### 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 sollten neben der Schwarzmundgrundel ebenfalls zwei in ihrer Ökologie den Grundeln ähnliche einheimische Fischarten, der Gründling (*Gobio gobio*) und die Groppe (*Cottus gobio*) untersucht werden. Beim Test der Sperre sollte anhand des Einsatz’ dieser Vergleichsarten sichergestellt werden, dass diese nicht negativ durch die Sperre beeinflusst werden (Bestätigung der Selektivität).

### Fragestellung

Dieser Bericht widmet sich in erster Linie folgenden Fragen: Welche Kräfte wirken in der Strömung auf benthische Fische? Kann eine im Fischpass installierte Barriere den Aufstieg der invasiven Grundel verhindern und gleichzeitig die Durchgängigkeit für Groppe und Gründling erhalten?

# Inhalt

Teilprojekt 'Verhalten von Modellfischen in der Strömung' .....	3
<b>Methoden</b> .....	3
<i>Vergleich Fischverhalten mit Kraftkarten</i> .....	3
<i>Optimierung des Messsystems</i> .....	3
<i>Kräfte auf benthische Fische im Fischpass Modell</i> .....	3
<b>Ergebnisse</b> .....	4
<i>Vergleich Fischverhalten mit Kraftkarten</i> .....	5
<i>Optimierung des Messsystems</i> .....	6
<i>Kräfte auf benthische Fische im Fischpass Modell</i> .....	6
<b>Schlussfolgerung</b> .....	7
Teilprojekt 'Vorarbeiten für die Entwicklung einer Grundelsperre' .....	8
<b>Methoden</b> .....	8
<b>Ergebnisse</b> .....	8
<b>Schlussfolgerung</b> .....	9
Literatur .....	10

## Teilprojekt 'Verhalten von Modellfischen in der Strömung'

Das Verhalten benthischer Fische in der Strömung ist im Vergleich zu anderen, wirtschaftlich relevanten Arten, kaum erforscht. Durch ein vertieftes Verständnis des Schwimmverhaltens könnten Fischpässe besser auf die Bedürfnisse angepasst und beispielsweise die Ausbreitung invasiver benthischer Fischarten (wie etwa der Schwarzmundgrundel) beeinflusst werden. In früheren Zwischenberichten wurden Ergebnisse von Kraftmessungen an toten, fixierten Fischen in der Strömung beschrieben. Damit sollte die in der Strömung zu überwindende Kraft bestimmt und zwischen den Arten verglichen werden. Diese Daten sollten im Folgenden mit dem Verhalten lebender Fische verglichen werden. Ausserdem sollte das Messverfahren durch einen sensiblen, mehrachsigen Kraftsensor verfeinert und in einer naturnahen Fliessgewässerrinne erprobt werden.

Im Teilprojekt erarbeitete Fragestellungen:

- Korrespondiert das Verhalten der Fische mit den gemessenen Kräften?
- Wie kann das Messsystem optimiert werden?
- Welche Kräfte wirken auf die Fische bei der Überwindung des Schlitzes in einem künstlichen Fischpass-Modell?

Das Ziel dieses Teilprojektes ist die Weiterentwicklung der Kraftmessungen auf tote Fische in der Strömung. Das Messsystem soll unter naturnahen Bedingungen erprobt werden und Aufschluss darüber geben, welche Kräfte in der Strömung bei der Überwindung eines Schlitzpasses auf die Fische wirken und ob es Artenunterschiede gibt.

## Methoden

### *Vergleich Fischverhalten mit Kraftkarten ( Strömungskammer)*

Die im Zwischenbericht 2018 beschriebenen Vorversuche zur Messung der Kräfte wurden mit Kameras gefilmt. Diese Aufnahmen wurden für eine Tracking-Analyse verwendet, bei der die Position der Fische (Grundeln, Gründlinge und Groppen) für die einzelnen Video-Frames automatisch erfasst wurde. Diese Daten wurden über die Karten der Kraftmessungen gelegt und miteinander verglichen.

### *Optimierung des Messsystems*

In Kooperation mit dem Department Biomedical Engineering (Uni Basel) wurde ein Messsystem basierend auf einem mehrachsigen Kraft- und Drehmomentsensor (Nano17, Schunk) entwickelt (Abbildung 1) und in der Praxis erprobt. Das System wurde möglichst stabil über den Messpunkten fixiert, um Vibrationen und Bewegungen des Fisches soweit wie möglich zu reduzieren.

### *Kraftmessung auf benthische Fische im Fischpass Modell*

Die auf die Fische wirkenden Kräfte wurden für je sieben Individuen pro Art (Grundeln, Gründlinge und Groppen) und 14 Messpunkten am unveränderten Schlitz und 15 Messpunkten am Sperrenprototypen am Karlsruher Institut für Technologie bei einem Durchfluss von 130 l für je 60 Sekunden gemessen (Abbildung 2). Pro Sekunde wurden 100 Messwerte von Kräften erfasst, die frontal, seitlich und vertikal auf die Fische einwirkten. Diese Kräfte wurden räumlich verteilt aufgetragen und statistisch miteinander verglichen.

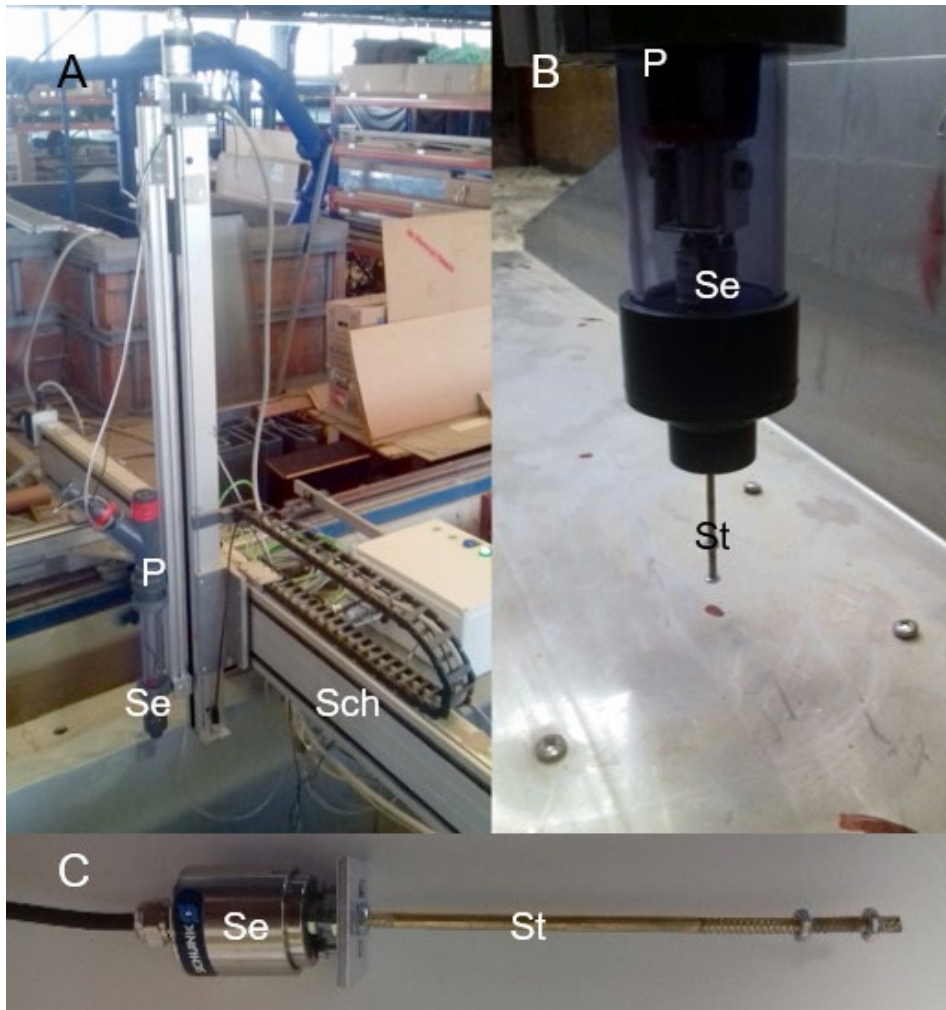


Abbildung 1: Die Messsonde (P) wurde mit dem mehrachsigen Sensor (Se) an einem programmierbaren Messschlitten (Sch) befestigt, der definierte Messpunkte automatisch abfahren konnte (A). Am Sensor war ein 10 cm langer Stab aus Messing (St) befestigt, an dem der Fisch für die Messung fixiert wurde (B, C).

1 m

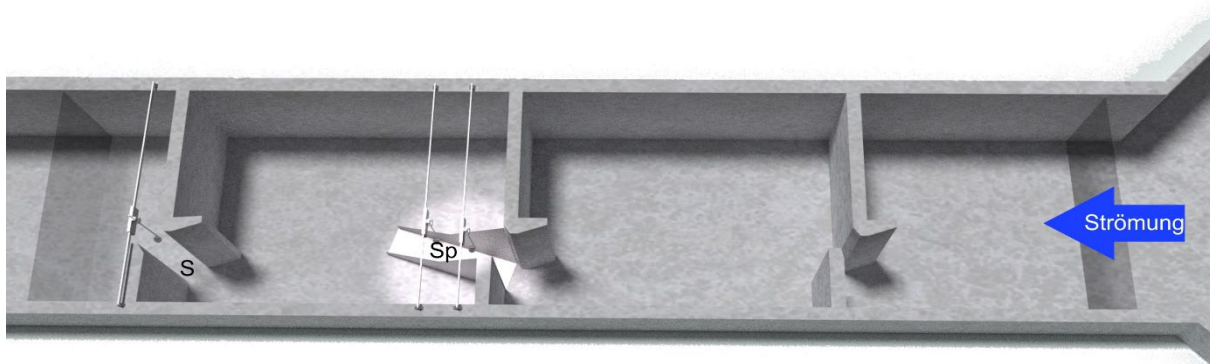
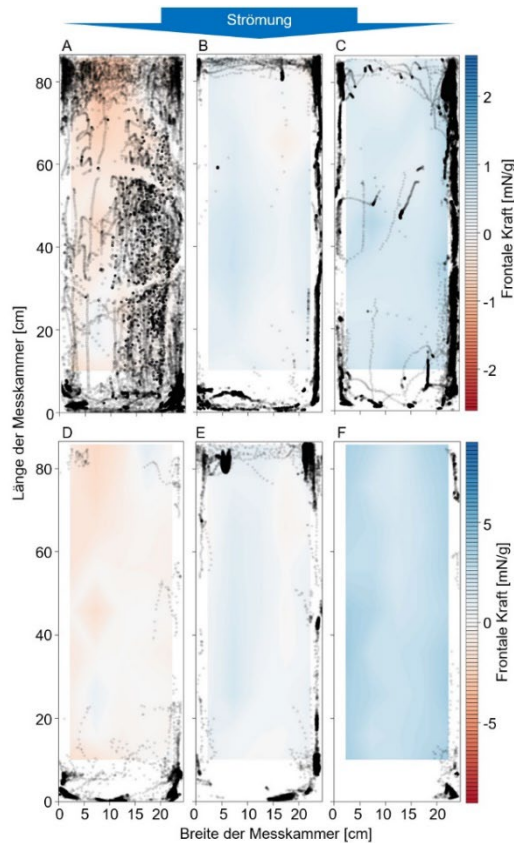


Abbildung 2: Versuchsstand in Karlsruhe. Die Kraftmessungen wurden im Bereich eines unveränderten Schlitzes (S) und eines Fischsperr-Prototyps (Sp) durchgeführt.

## Ergebnisse

### Vergleich Fischverhalten mit Kraftkarten (Strömungskammer)

Es wurden für alle Fische Kräfte im einstelligen Millinewton-Bereich gemessen, wobei die stärksten frontalen Kräfte bei beiden Strömungsgeschwindigkeiten auf die Groppen wirkten (Abbildung 3). Die geringsten, und teilweise negativen Kräfte wirkten bei beiden Strömungsgeschwindigkeiten auf die Grundeln. Die meisten Fischbewegungen wurden bei den Grundeln bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,25 m/s gemessen. Die wenigsten Bewegungen wurden dagegen bei den Groppen bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,55 m/s beobachtet. Insgesamt hielten sich die Fische am meisten in den vier Ecken oder an der Rückwand der Messkammer auf und zeigten nur gelegentlich Schwimmbewegungen im Freiraum der Messkammer.



**Abbildung 3:** 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.

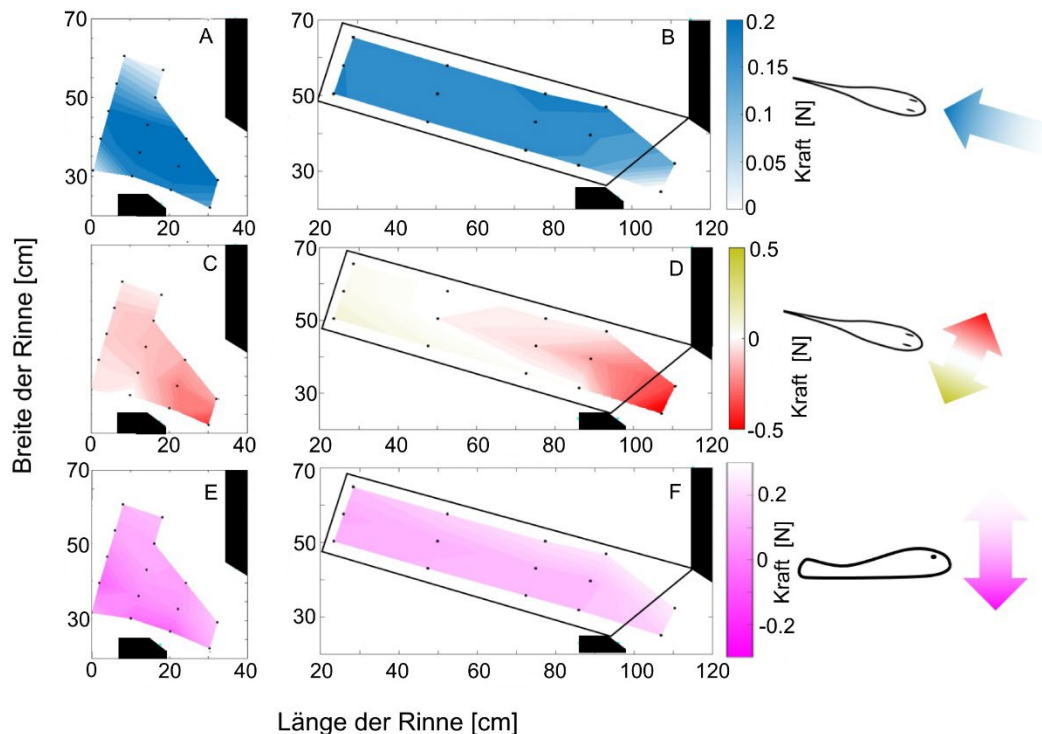
### Optimierung des Messsystems

Das Messsystem wurde konstruiert und erfolgreich im Praxistest erprobt. Die Kürzung des Fixierstabes hat die Messung erheblich verbessert und das Messsystem funktionierte zuverlässig während der Messungen. Allerdings könnte das System verbessert werden, indem die Umhüllung des Sensors (PVC-Verkleidung), die den Sensor vor unkontrolliertem Einfluss der Strömung schützen soll, stabiler und kleiner gestaltet wird.

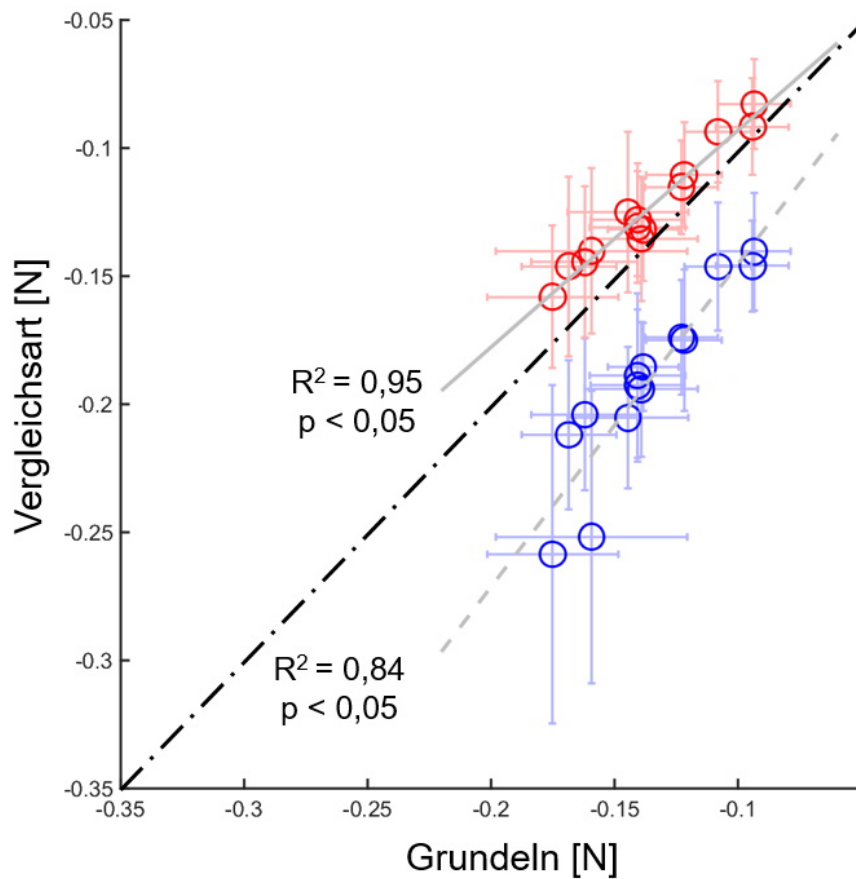
In einem Schlitz eines Fischpasses wirken enorme Kräfte und die massive Verkleidung bietet dem Wasser viel Angriffsfläche, die das System in Vibrationen versetzt. Durch eine stabile Metallverkleidung könnte der Wasserwiderstand des Messsystems vermindert und somit die Vibration reduziert werden.

### Kräfte auf benthische Fische im Fischpass Modell

Die in der Sperre gemessenen Kräfte zeigten über die gesamte Strecke der Sperre hinweg im Vergleich zum unbehandelten Schlitz gleichmäßigere Kräfte (Abbildung 4). Direkt am Schlitz wurden an Sperre und unbehandeltem Schlitz eher seitliche Kräfte gemessen. Die Kräfte wurden untereinander durch Korrelationen verglichen (Abbildung 5), wobei sehr gute, signifikante ( $p < 0.05$ ) Korrelationen beobachtet wurden und sich Unterschiede in den wirkenden Kräften zwischen den Arten zeigten. So waren z.B. die vertikalen Kräfte bei einem Durchfluss von 130 l/s in der Sperre zwischen Grundeln und Groppen fast identisch (Abbildung 5: Die korrelierten Kräfte zwischen Grundeln und Groppen liegen fast auf der gestrichelt-gepunkteten Linie). Die Punkte der Korrelation zwischen Grundel und Gründling lagen deutlich darunter, im negativen Bereich. Da der Kraftsensor bei Druck nach oben erhöhte negative Werte anzeigte, beobachten wir für die Gründlinge stärkere Kräfte nach oben als bei den anderen Arten.



**Abbildung 3:** Räumlich aufgetragene Mittelwerte der Kräfte, die auf sieben Schwarzmundgrundeln bei einem Durchfluss von 130 l/s gemessen wurden. Gezeigt sind die frontalen Kräfte beim unbehandelten Schlitz (A) und in der Sperre (B), die seitlichen Kräfte im unbehandeltem Schlitz (E) und in der Sperre (F).



**Abbildung 4:** Korrelation der vertikalen Kräfte gemessen in der Sperre zwischen Grundeln und den beiden Vergleichsarten (Gründling (blau) und Groppe (rot)) bei einem Durchfluss von 130 l/s. Jeder Punkt repräsentiert einen Messpunkt in der Fliessgewässerrinne.

## Schlussfolgerung

Durch ein verbessertes System gelang es uns, die Kräfte in der Strömung auf benthische Fische zu messen. Durch den Sperren-Prototypen konnte die Strömung über die gewünschte Distanz verhältnismässig gleichmässig gehalten wurde und die Fische überwandten die unterschiedlichen Kräfte bei der Passage. Allerdings gibt es auch bei diesem System Verbesserungspotential. Im Rahmen der weiteren Auswertung sollen die gemessenen Kräfte mit dem Verhalten der Fische (Videoaufnahmen) verglichen werden, um einen Eindruck darüber zu gewinnen, wie vergleichbar die Kraftmessungen mit dem Verhalten lebender Fische ist.



## Teilprojekt 'Vorarbeiten für die Entwicklung einer Grundelsperre'

Die bereits in früheren Berichten und oben dargestellten Ergebnisse zur Untersuchung der Schwimmleistung und des Schwimmverhaltens der invasiven Schwarzmundgrundel im Vergleich zu zwei einheimischen, benthischen Arten, der Europäischen Groppe (*Cottus gobio Linnaeus 1758*) und des Gründlings (*Gobio gobio Linnaeus 1758*) erlaubten eine sehr ausführliche Beobachtung des Fischverhaltens unter standardisierten Bedingungen. Dennoch spiegeln die erhaltenen Ergebnisse (Ucrit und Usprint) möglicherweise nicht die tatsächlichen Grenzen der Schwimmleistung der Fischarten in Fischpässen wider. Aus diesem Grund haben wir im April 2019 am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) weitere Experimente in einem Modell eines Schlitzpasses in einer Fliessgewässerrinne (Modell im Grössenverhältnis zur Realität 1:2) durchgeführt. Das Ziel dieser Experimente war es, zu bewerten, ob eine im Fischpass installierte Barriere den Aufstieg der invasiven Grundel verhindern, aber gleichzeitig die Durchgängigkeit für Groppe und Gründling ermöglichen kann.

### Methoden

Der Versuchsaufbau (Abbildung 2) ermöglichte es uns abzuschätzen, ob und wie die drei Fischarten unveränderte Schlitz und die installierte Barriere bei unterschiedlichen Durchflussraten (80l/s, 105l/s und 130l/s) durchschwimmen können. Die drei Arten wurden separat getestet, dabei wurden 39 bis 45 Fische pro Versuch in das Ausströmbecken gesetzt und das Verhalten der Fische mittels installierter Kameras über zwei Stunden beobachtet. Nach Beendigung eines Versuchs wurden alle Fische gefangen und die Anzahl der Fische in den Becken oberhalb des unbehandelten Schlitzes und oberhalb der Barriere gezählt.

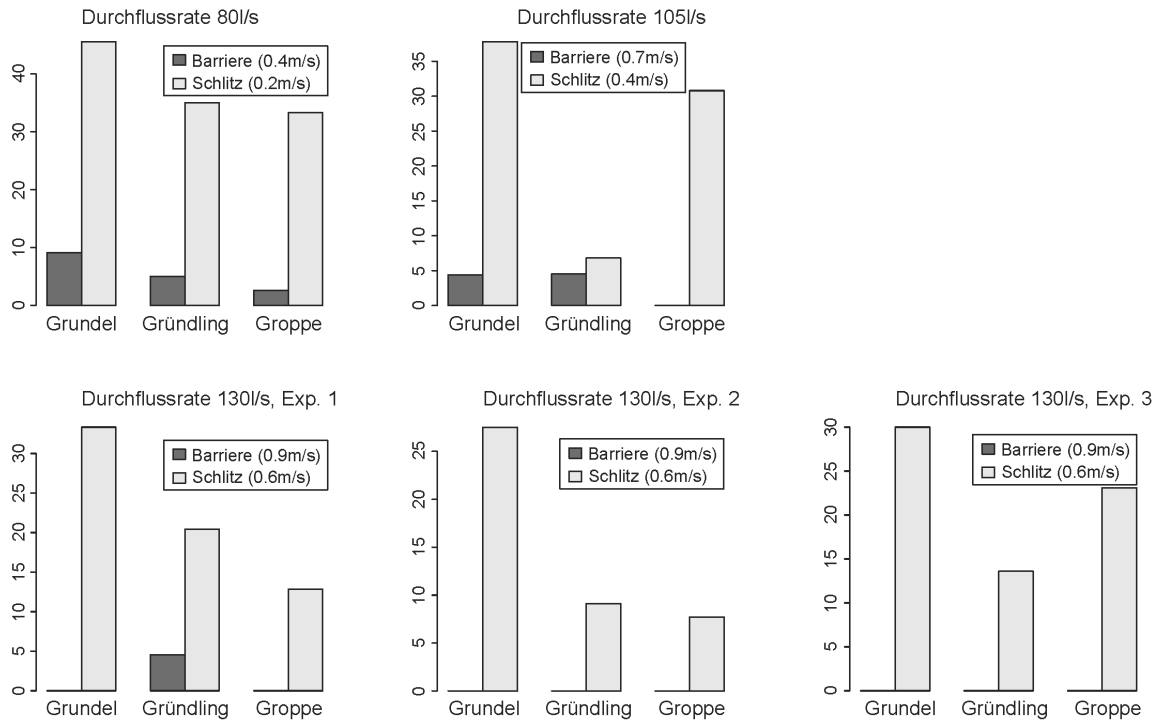
### Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Abbildung 6 dargestellt. Bei der niedrigsten Durchflussrate (80l/s; dies entspricht ca. 0.2m/s am unbehandelten Schlitz und 0.4m/s an der Sperre) konnten Individuen aller drei Arten sowohl den unbehandelten Schlitz als auch die Barriere überwinden.

Bei der mittleren Durchflussrate (105l/s; dies entspricht ca. 0.4m/s am unbehandelten Schlitz und 0.7m/s an der Sperre) konnten wiederum alle drei Arten den unbehandelten Schlitz und sowohl Grundeln als auch Gründlinge die Barriere passieren. Groppen versuchten den Aufstieg über die Barriere, wurden allerdings von der Strömung zurückgehalten.

Bei der höchsten Durchflussrate (130l/s; dies entspricht ca. 0.6m/s am unbehandelten Schlitz und 0.9m/s an der Sperre) passierten noch zahlreiche Individuen aller drei Arten den unbehandelten Schlitz, jedoch konnten nur noch Gründlinge die Barriere überwinden. Interessanterweise sind bei allen Versuchen immer am meisten Grundeln durch den unbehandelten Schlitz geschwommen – wohl ein Beleg dafür, dass Schwarzmundgrundeln sehr explorativ sind.





**Abbildung 5: Ergebnisse aus dem Versuch im Fischpass Modell. Prozentualer Anteil der Fische, die erfolgreich den Schlitz (hellgraue Balken) bzw. die Barriere (dunkelgraue Balken) bei Durchflussraten von 80l/s, 105l/s und 130l/s passiert haben. Die angegebenen Fließgeschwindigkeiten für den Schlitz bzw. der Barriere sind minimale Geschwindigkeiten, die mit einem Strömungsmesser ermittelt wurden.**

## Diskussion und Schlussfolgerung

Unsere Untersuchungen basierten unter anderem auf früheren Strömungsmessungen im Fischpass des Kraftwerks Bad Säckingen (Guthruf 2018). Dabei wurden die Strömungsverhältnisse beschrieben und die Passierbarkeit für die Schwarzmundgrundel bewertet. Aus diesem Bericht ging hervor, dass eine Passage durch die Schwarzmundgrundel sehr wahrscheinlich ist, sollten die Fische günstige Bedingungen abpassen können. Mittlerweile ist bekannt, dass die Schwarzmundgrundel das Kraftwerk Bad Säckingen bereits überwunden hat.

Unsere Ergebnisse unterstützen die Aussagen von Guthruf und zeigen zudem, dass die Grundel ein ausgeprägtes exploratives Potential hat. Entsprechende Verhaltensbeobachtungen, die Individuen mit unterschiedlichem Verhalten und Ausbreitungspotential zeigten, konnten bereits in anderem Zusammenhang gewonnen werden (Hirsch et al. 2017).

Die Nicht-Passierbarkeit der Grundelsperre durch die Grundeln zeigt, dass eine solche Einrichtung somit den Aufstieg der Schwarzmundgrundel verhindern könnte. Gleichzeitig würde unter den getesteten Bedingungen jedoch auch die Aufstiegsmöglichkeiten der Groppe und eventuell anderer, hier nicht untersuchter Arten beeinträchtigt.

## Literatur

- Guthruf, J., 2018, Beckenpass des Kraftwerks Säckingen – Abklärung zur Passierbarkeit für Schwarzmeergrundeln. Bericht Aquatica, Auftrag: BAFU, Sektion Lebensraum Gewässer:1-26.
- Hirsch, P. E., Thorlacius, M., Brodin, T., & Burkhardt-Holm, P. (2017). An approach to incorporate individual personality in modeling fish dispersal across in-stream barriers. *Ecology and Evolution*, 7(2), 720–732. <https://doi.org/10.1002/ece3.2629>