

# Quaggamuschel: Monitoringkonzept und Empfehlungen zu Präventions- und Schutzmassnahmen

Sylvie Flämig  
Mathys Bourqui  
Josephine Alexander  
Lars Sturm  
Noemi Wellauer  
Piet Spaak



## Impressum

**eawag**  
aquatic research



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Umwelt BAFU**

**Eidgenössische Fachkommission für  
biologische Sicherheit EFBS**

### Herausgeber

Eawag: Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs  
Überlandstrasse 133, CH-8600 Dübendorf, [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)

Dieser Expertenbericht wurde vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) und von der Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit (EFBS) finanziert.

### Autoren

Sylvie Flämig<sup>1</sup>, Mathys Bourqui<sup>2</sup>, Josephine Alexander<sup>2</sup>, Lars Sturm<sup>2</sup>, Noemi Wellauer<sup>2</sup>, Piet Spaak<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Umweltbüro m|u|t

<sup>2</sup> Eawag, Abteilung Aquatische Ökologie

### Zitierung

Sylvie Flämig, Mathys Bourqui, Josephine Alexander, Lars Sturm, Noemi Wellauer & Piet Spaak. (2024) Quaggamuschel: Monitoringkonzept und Empfehlungen zu Präventions- und Schutzmassnahmen

Hrsg. Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.

<https://doi.org/10.55408/eawag:33819>

Dübendorf, Dezember 2024

### Fotos und Abbildungen

Alle nicht anders gekennzeichneten Fotos und Abbildungen sind Eigentum der Eawag.

### Bild Titelseite

Quaggamuschel Monitoring auf den Bodensee. Bild: Keystone Gaetan Bally

### Auftraggebende:

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wasser  
Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit (EFBS)

### Begleitung seitens Auftraggebende:

Marie-Sophie Renevier (BAFU), Elisabetta Peduzzi (EFBS), Julia Link (EFBS)

### Externe Kern-Reviewer:

Catherine Folly (Kt. Freiburg), Alexandra Kissling (Kt. Zürich), Lukas De Ventura (Kt. Aargau)

### Begleitgruppe:

Cercle Exotique Arbeitsgruppe «Aquatische Neobiota»



Die Texte, Fotos sowie alle Grafiken und Tabellen unterliegen der Creative-Commons-Lizenz «Namensnennung 4.0 International». Sie dürfen unter Angabe der Quelle und Zusendung eines Belegs an [medien@eawag.ch](mailto:medien@eawag.ch) frei vervielfältigt, verbreitet und verändert werden. Weitere Informationen zur Lizenz finden sich unter <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

## Zusammenfassung

Quaggamuscheln wurden 2014 zum ersten Mal in Basel mittels Umwelt DNA (eDNA) nachgewiesen (De Ventura et al. 2017). Im Jahr 2016 wurden das erste Mal Exemplare der Quaggamuschel im Bodensee gefunden. Ab 2021 wurden in der Schweiz grossflächig Informations- und Sensibilisierungs- Massnahmen ergriffen. In der Zwischenzeit sind einige grosse Seen von Quaggamuscheln befallen. Auch wenn die Risiken für eine weitere Ausbreitung in der Schweiz gross sind, wie die Ausbreitungsdynamik zeigt, sind wir der Meinung, dass jedes Jahr, in dem die Quaggamuschel später in einen See kommt, ein gewonnenes Jahr ist. Es werden monetär gesehen Kosten eingespart, es bleibt mehr Zeit Infrastrukturanlagen entsprechend vorzubereiten und der natürliche Zustand der Seen bleibt so lange wie möglich erhalten. Wir empfehlen darum dringend, dass die in diesem Bericht beschriebenen Massnahmen zum Schutz und zum Monitoring von Gewässern von allen betroffenen Akteuren möglichst schnell umgesetzt werden. Der vorliegende Bericht soll hierfür eine Hilfestellung bieten. Je früher gehandelt wird, desto besser.

Die Erfahrung zeigt, dass Massnahmen zu Beginn der Invasionsdynamik kosteneffizient und am einfachsten umzusetzen sind (siehe auch Ansatz in der Strategie der Schweiz für invasive gebietsfremde Arten). Im Falle der Quaggamuschel, aber auch bei anderen aquatischen invasiven Arten, die durch dieselben Vektoren verbreitet werden, sollte der Schwerpunkt der Massnahmen und der Früherkennung daher darauf liegen, die Einschleppung in noch nicht befallene Gewässer und/oder eine weitere Ausbreitung aus bereits befallenen Seen zu verhindern. Dies auch in Anbetracht der Tatsache, dass potenziell alle Gewässer von der Quaggamuschel betroffen sein können. Dies bedeutet auch, dass alle Kantone betroffen sein können, auch diejenigen, die selbst keine grossen Seen haben.

Die Überwachung der Quaggamuschel Invasion mittels eDNA und speziellen Video- und Sedimentgreifer-Methoden ist sehr wichtig. Zum einen als Früherkennung: Die zuständigen Behörden müssen wissen, ob ein See befallen ist oder nicht. Nicht befallene Seen sollten mindestens einmal pro Jahr mittels eDNA auf das Vorkommen von Quaggamuscheln untersucht werden, um so eine eventuelle Ausbreitung frühzeitig zu bemerken. Dies ist gleichzeitig auch eine Erfolgskontrolle von Schutzmassnahmen.

Als wichtigste Schutzmassnahme zur Verhinderung der Einschleppung der Quaggamuschel in ein neues Gewässer erachten wir die bereits rund um den Vierwaldstättersee, im Kanton Bern und am Hallwilersee eingeführte Schiffsmelde- und -reinigungspflicht, dies am besten in Kombination mit der Beprobung von Gewässern zur Früherkennung. Diese Massnahmen sollte idealerweise in der ganzen Schweiz und auch in den internationalen Grenzgewässern umgesetzt werden. Dabei sollte immer klar kommuniziert werden, dass es sich nicht «nur» um eine Massnahme gegen die Quaggamuschel handelt, sondern auch um die Verhinderung der Einschleppung und Verbreitung anderer invasiver Arten.

Obwohl man die «Quaggamuschel nicht mehr los wird», ist es auch wichtig, befallene Seen regelmässig und standardisiert zu beproben. Denn für die tiefen europäischen Voralpenseen fehlt uns das Grundwissen, wie sich die Quaggamuschelpopulation weiterentwickelt und was die langfristigen Folgen für die Ökosysteme sind. Im Moment orientieren wir uns an den Erfahrungen in nordamerikanischen Seen, aber das Bedürfnis der Öffentlichkeit nach einer Folgenabschätzung für unsere Seen ist gross. Dazu sind weitere Untersuchungen in unseren Seen notwendig.

Aus diesem Grund schlagen wir vor, einige Seen, die bereits detailliert von Forschungsinstituten untersucht werden, regelmässig (1 bis 2 Jahre) und grossflächig zu überwachen. Alle anderen befallenen Seen sollten einmal pro Jahr in reduzierterem Umfang untersucht werden. Als Probenahmemethode wird empfohlen, die in Nordamerika bewährten Methoden (Ponar & BIS) anzuwenden, damit Schweizer Ergebnisse international abgeglichen werden können.

Der Austausch mit diversen Stakeholdern im Rahmen dieses Projekts hat zudem klar aufgezeigt, dass ein grosses Bedürfnis nach zentraler Information und Unterstützung bei der Umsetzung von Präventions-, Management- und Monitoringmassnahmen besteht, sowohl bei den Kantonen als auch bei anderen Akteuren wie Trinkwasserversorgungen und weiteren lokalen Akteuren. Wir sind daher der Meinung, dass eine temporäre zentrale Quaggamuschel-Fachstelle, die alle diese Akteure unterstützen kann, sehr sinnvoll wäre. Diese könnte zudem die Kantone bei Bedarf mit Beratung und ausleibaren Probenahme-Geräten unterstützen.

## Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage .....	6
2	Zweck und Zielgruppen dieses Dokuments .....	7
3	Bekannte Schäden durch die Quaggamuschel .....	8
3.1	Ökonomische Schäden .....	8
3.2	Ökologische Schäden .....	8
3.3	Soziale oder gesundheitliche Auswirkungen .....	9
4	Analyse der Verbreitungsvektoren der Quaggamuschel in der Schweiz .....	10
5	Empfehlungen zu Präventions- und Schutzmassnahmen .....	12
5.1	Für Gewässer ohne Quaggamuschelvorkommen .....	12
5.1.1	Einleitende Bemerkung .....	12
5.1.2	Früherkennung .....	12
5.1.3	Hilfe zur Priorisierung von Gewässern .....	12
5.1.4	Massnahmen zur Verhinderung der Ausbreitung der Quaggamuschel .....	13
5.2	Für Gewässer mit Quaggamuschelvorkommen .....	18
5.2.1	Management-Massnahmen zur Verhinderung der Weiterverbreitung .....	18
5.2.2	Bekämpfungsmassnahmen .....	18
5.2.3	Technische Anpassungsmassnahmen .....	18
6	Monitoring-Konzept .....	19
6.1	Konzepte .....	19
6.1.1	Früherkennung / Stuserfassung Quaggamuschelbefall mittels eDNA .....	19
6.1.2	Langfristiges Quaggamuschel-Monitoring befallener Seen .....	20
6.1.3	Citizen Science (Meldungen aus der Bevölkerung) .....	21
6.2	Monitoring und Kommunikation .....	21
7	Fazit und Ausblick .....	22
8	Literaturverzeichnis .....	23
8.1	Allgemeine Literatur .....	23
8.2	Literatur Vektoren .....	24
9	Weiterführende Informationen .....	25
10	Beilagen .....	26
10.1	SOPs zum langfristigen Monitoring in befallenen Seen (Eawag 2024) .....	26
10.2	Auszug aus Zwischenbericht für BAFU vom 23.11.2023 .....	26

## 1 Ausgangslage

Die invasive gebietsfremde Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis*) besiedelt aktuell die Schweizer Gewässer in rascher Geschwindigkeit. Untersuchungen haben gezeigt, dass sie die Gewässer, welche von der gebietsfremden Zebramuschel (*Dreissena polymorpha*) betroffen sind, ebenfalls besiedeln kann. Fast alle Schweizer Gewässer sind in den letzten Jahrzehnten von der invasiven Zebramuschel erobert worden. Beide Muscheln stammen ursprünglich aus dem Schwarzen Meer (Pontokaspis). Beide Muscheln sind mittlerweile in grossen Teilen Europas und Nordamerikas verbreitet. In der Schweiz hat sich die neu eingeschleppte gebietsfremde Quaggamuschel (Erstnachweis: 2014) innerhalb kürzester Zeit in verschiedenen Schweizer Seen (siehe Abbildung 1) vermutlich durch Boottransporte über Land zwischen Seen ausgebreitet. In den befallenen Seen drängte sie die ebenfalls invasive Zebramuschel weitgehend zurück. Während die Zebramuschel auf Hartsubstrat angewiesen ist und bis zu einer maximalen Wassertiefe von circa 40 m vorkommt, kann die Quaggamuschel jegliches Substrat besiedeln, vermehrt sich massenhaft und besiedelt die Seen bis in grosse Tiefen. Sie kommt jedoch in Lebensräumen mit zu hohen Strömungen oder Wellen weniger gut zurecht. Die Weibchen können bis zu einer Million Eier pro Jahr produzieren, die Männchen noch mehr Spermien. Die Befruchtung erfolgt im Freiwasser, die Larven schweben im Wasser, sind mikroskopisch klein (50-150 µm) und heften sich erst nach Tagen oder Wochen an das Substrat. Im Gegensatz zur Zebramuschel pflanzt sich die Quaggamuschel ganzjährig fort, ist an niedrigere Temperaturen angepasst und wächst schneller.

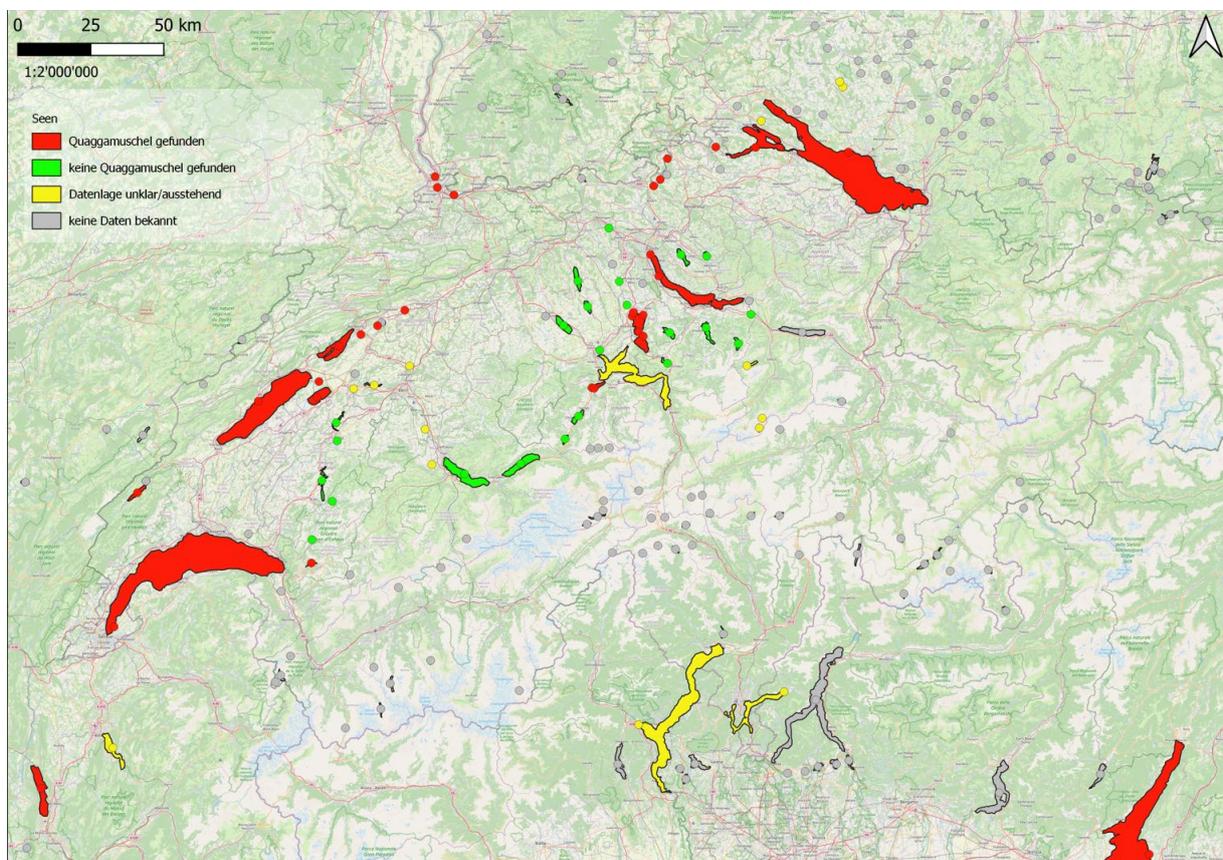


Abbildung 1: Status der Schweizer Gewässer in Bezug auf Vorkommen der gebietsfremden invasiven Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis*), basierend auf Literaturquellen und grauer Literatur (Berichte in Zeitungen usw.). Stand der Daten: September 2024.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit und das hohe Schadenspotenzial der Quaggamuschel stellt diverse Akteure in der Schweiz jetzt und in Zukunft vor grosse Herausforderungen. Es besteht hoher Zeitdruck, die noch freien Gewässer zu schützen und den möglichen Schaden zu reduzieren. Auf Seiten der Behörden und anderer Stakeholder besteht grosses Interesse an Erfahrungsaustausch und an entsprechenden Anlässen wird ein Bedürfnis nach Koordination und Harmonisierung von Aktivitäten und Massnahmen geussert<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Siehe z.B. [PEAK-Vertiefungskurs V58/24 zur Quaggamuschel vom 20. März 2024](#), [Cercle Exotique Arbeitsgruppe «Aquatiscche Neobiota»](#)

## 2 Zweck und Zielgruppen dieses Dokuments

Dieser Bericht umfasst 2 Hauptteile: Nach einleitenden Kapiteln folgen im ersten Teil Empfehlungen für Massnahmen für nicht von der Quaggamuschel betroffene Gewässer sowie für befallene Gewässer in einem frühen Stadium der Besiedelung (Kapitel 5). Das wichtigste Ziel dieser Massnahmen ist die Verhinderung der Weiterverbreitung aus befallenen in nicht befallene Gewässer. Der zweite Teil beinhaltet Empfehlungen für die Früherkennung sowie ein Monitoringkonzept für die langfristige Überwachung der Ausbreitung der Quaggamuschel in der Schweiz (Kapitel 6).

Das Dokument richtet sich in erster Linie an die direkt betroffenen kantonalen Fachstellen, informiert aber auch kantonale Behörden und sonstige Entscheidungsträger:innen sowie weitere bei der Umsetzung von Schutz- und/oder Monitoringmassnahmen involvierten Akteure (Stakeholder).

Wissenschaftliche Erkenntnisse werden mit Erfahrungen und Konzepten aus der Praxis zusammengebracht, mit dem Ziel Antworten auf häufige Fragen zu geben sowie praktische Lösungsansätze, aber auch bestehende Herausforderungen in einer Art „Handbuch“ für den Umgang mit der Quaggamuschel in der Schweiz zusammenzufassen.

Die Umsetzung der vorgeschlagenen Massnahmen liegt in der Verantwortung der zuständigen Behörden.

Der Bericht und die beiliegenden Dokumente sind spezifisch für die Quaggamuschel, sollen aber auch adaptierbar sein für andere invasive aquatische Neobiota.

## 3 Bekannte Schäden durch die Quaggamuschel

### 3.1 Ökonomische Schäden

Quaggamuscheln verursachen Schäden, indem sie Ansaugröhren von Wasserentnahmen verstopfen, sich in solchen Anlagen einnisten, aber auch dadurch, dass sie anderen Lebewesen (Zooplankton) die Nahrung (Phytoplankton, Algen) wegfressen. In zahlreichen Studien wurde versucht, die wirtschaftlichen Kosten der Quaggamuschel Invasion zu quantifizieren (Colautti et al. 2006, Durán et al. 2012, Haubrock et al. 2021, Karatayev and Burlakova 2022). Für die Schweiz ist dies zurzeit kaum möglich, weil eine Übersicht von betroffenen Anlagen und Schäden fehlt. Sicher ist, dass es sich allein in der Schweiz um Hunderte von Millionen Franken handeln muss. Beispielsweise müssen die technische Hochschule EPFL und die Universität Lausanne wegen des Eindringens der Quaggamuschel aktuell ihr gesamtes Kühlsystem erneuern. Die Kosten werden auf mehr als 50 Millionen Schweizer Franken geschätzt. Die Wasserversorgung Biel baut derzeit bis voraussichtlich 2025 ein neues «Quaggamuschel-sicheres» Wasserwerk (Kosten > 20 Millionen CHF) (<https://www.esb.ch/de/esb/projekte/erneuerung-seewasserwerk-ipsach/>). Viele Wasserwerke an den betroffenen Seen (z.B. Genfersee, Neuenburgersee, Bodensee) sind mit hohen jährlich wiederkehrenden Reinigungskosten konfrontiert. Teilweise sind deswegen Um- und Neubauten geplant. Die Bodenseewasserversorgung Sipplingen plant einen Umbau von mehr als 4 Milliarden EUR. Der Ultrafiltrationsteil dieser Anlage ist wegen der Quaggamuscheln geplant. Das Vorkommen von Quaggamuscheln im Bodensee verteuert diesen Neubau um zweistellige Millionenbeträge.

Viele Betriebe und Gemeinden sind mit ihren Quaggamuschel-Problemen entweder nicht an die Öffentlichkeit gegangen oder haben die Probleme noch nicht erkannt. Die Dunkelziffer ist mit Sicherheit hoch. Generell kann man sagen, dass die Reinigung der Anlagen (Rohre, Saugkörbe, Boote, Stege etc.) viele Leute beschäftigt, die Kosten aber schwer abzuschätzen sind.

Fischer müssen ihre Netze vermehrt von Quaggamuscheln statt Fischen befreien, dies verursacht zusätzliche Kosten. Auch muss in der Zukunft mit Quaggamuschel-bedingten Rückgängen der Fangerträge gerechnet werden.

Zusammengefasst hier einige von Quaggamuschel-verursachten Kosten:

- Schäden an Wasserwerken (Ansiedlung in Wasserrohren, Beschädigung von Filtern)
- Bau von neuen Muschel(larven)-beständigen Anlagen
- Beseitigung von Muscheln an Bootshüllen und Bootsmotoren

### 3.2 Ökologische Schäden

Es wird befürchtet, dass die Quaggamuschel die Schweizer Seen grundlegend verändern wird (Kraemer et al. 2023). Diese Prognose basiert auf Erfahrungen mit Quaggamuscheln in Nordamerikanischen Seen, in welche die Quaggamuschel 25 bis 30 Jahre früher als in der Schweiz eingeschleppt wurde. Die Grossen Seen in Nordamerika sind zwar viel grösser und haben viel längere Wasseraufenthaltszeiten als die Voralpenseen in der Schweiz. Sie sind sich aber sehr ähnlich was Tiefe, Nährstoffgehalt und Wassertemperaturen angeht. Wir nehmen daher an, dass sich die Quaggamuschelpopulationen in unseren Seen ähnlich wie in den Seen Nordamerikas entwickeln können (Kraemer et al. 2023).

Mögliche ökologische Folgen könnten sein (Karatayev et al. 2006, Karatayev et al. 2015):

- Rückgang des Planktons
- Nährstoffzunahme am Seegrund und -abnahme im Freiwasser
- Veränderung der Artengemeinschaften und des Nahrungsnetzes
- Rückgang von Fischbeständen aufgrund des veränderten Nahrungsnetzes
- Verschiebung der Nährstoffflüsse vom Pelagial (Freiwasser) in Richtung Litoral (Uferzone)
- Fische, die Quaggamuscheln fressen, können in Dichten zunehmen
- Trübung des Wassers nimmt ab, Zunahme von benthischen Algen (in Bodenzone lebend) und Makrophyten (Wasserpflanzen, Grossalgen)

Besonders auffällig in Nordamerika ist, dass die Gesamtbiomasse der Quaggamuscheln in den befallenen Seen weiter zunimmt (Karatayev et al. 2021b, Karatayev et al. 2022). Modellrechnungen haben gezeigt, dass der grösste Teil der Nährstoffe in diesen Seen in den Quaggamuscheln eingeschlossen ist und somit dem Ökosystem nicht zur Verfügung steht. Ein weiteres Phänomen, das in nordamerikanischen Seen auftritt, ist, dass sich der grösste Teil der Quaggamuscheln immer weiter in die Tiefe verlagert (Karatayev et al. 2022). Im Lake Michigan ist die Quaggamuschel-Dichte 30 Jahre nach der Quaggamuschel-Invasion in einer Tiefe von 90 m am höchsten (Karatayev et al. 2021b). Die Dichten in den Flachwasserzonen sind zurückgegangen. Allerdings besteht noch unzureichendes Wissen über die Nahrungsgewohnheiten, das Wachstum und die Lebensdauer der „tiefen Muscheln“. Dies erschwert die Erstellung langfristiger Prognosen über die Auswirkungen der Quaggamuscheln auf die Ökosysteme.

In nährstoffreichen Seen kann sich die Filterwirkung der Quaggamuscheln positiv auf die optische Wasserqualität und -transparenz auswirken. Gemäss Berichten aus Amerika sind an einigen Seen mit Quaggamuscheln die Immobilienpreise wegen des klareren Wassers gestiegen (Karatayev and Burlakova 2022, Burlakova et al. 2023).

Es gibt auch Berichte von Seen in den Niederlanden, in denen Quaggamuschelbestände in flachen Seen dazu geführt haben, dass dort mehr Wasservögel vorkommen, was den ökologischen Wert dieser Seen erhöht hat (Pires 2005, Van Eerden and de Leeuw 2010). Für die Schweizer Voralpenseen, die viel tiefer als die holländischen Seen und im Allgemeinen viel nährstoffärmer sind, überwiegen nach unserer Einschätzung die oben genannten negativen Auswirkungen der Quaggamuschel die möglichen positiven Auswirkungen. Es ist jedoch anzumerken, dass keine Daten über die Auswirkungen der Quaggamuschel in nährstoffreichen voralpinen Gewässern vorliegen.

Es ist zu erwarten, dass Quaggamuscheln zu einer deutlichen Reduktion der Produktivität (Phytoplankton, Zooplankton, Fische) der betroffenen Gewässer führen werden. Die Auswirkungen dieser Entwicklung, in Kombination mit der Klimaerwärmung, auf die Seen, insbesondere auf den Sauerstoffgehalt in der Tiefe, sind derzeit noch unbekannt und müssen in den kommenden Jahren genauer modelliert werden.

Eine Invasion der Quaggamuschel könnte die vielfältigen Ökosysteme dieser Seen jedoch nachhaltig schädigen. In einigen Schweizer Mittellandseen wurden in den letzten Jahrzehnten grosse Anstrengungen unternommen und viel Geld in zweistelliger Millionenhöhe investiert, um die Nährstoffbelastung zu reduzieren und die Seen wieder in ein natürliches Gleichgewicht zu bringen. Diese Investitionen der letzten Jahrzehnte könnten durch die Quaggamuschelinvansion in Frage gestellt werden.

### **3.3 Soziale oder gesundheitliche Auswirkungen**

Für die Quagga- und Zebromuschel sind keine direkten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit bekannt. Es besteht jedoch eine Verletzungsgefahr für die Füsse durch Muschelschalen in Badebereichen. Ansonsten sind keine gesundheitlichen Auswirkungen nachgewiesen.

Die Muscheln sind nicht giftig, aber für den Verzehr durch die kleine Grösse nicht geeignet.

## 4 Analyse der Verbreitungsvektoren der Quaggamuschel in der Schweiz

Die Analyse der Verbreitungsvektoren einer gebietsfremden Art ist eine wichtige Grundlage der Massnahmenplanung. Ziel muss sein, die relevanten Einbringungswege zu unterbinden. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Verbreitungsvektoren der Quagga- und Zebramuschel. Relevant ist mehrheitlich die Verbreitung als «blinde Passagiere» d.h. die unabsichtliche Einschleppung an oder innerhalb eines Transportmittels (Kategorie gemäss Biodiversitätskonvention (1995)). Weitere Verbreitungsmechanismen sind das Verdriften von Larven flussabwärts in einem Fließgewässer oder innerhalb eines stehenden Gewässers sowie die unnatürliche Verbindung von Einzugsgebieten über Wasserkraftwerke (siehe auch Kapitel 5.1.2). Das Verdriften von Larven flussabwärts in einem Fließgewässer oder innerhalb eines stehenden Gewässers spielt für isolierte Gewässer und separate Einzugsgebiete keine Rolle.

Es gibt kaum Studien, die sich spezifisch auf die Verbreitungsvektoren der Quaggamuschel fokussieren. Da wir aber davon ausgehen können, dass die Verbreitungsvektoren für die beiden eng verwandten Arten sehr ähnlich sind, werden Quagga- und Zebramuscheln in der Tabelle gemeinsam betrachtet. Im Prinzip bestehen für die Quaggamuschel etwas bessere Chancen, insbesondere die Verbreitung als «blinde Passagiere», zu verhindern, da sie weniger gut am Substrat haften als Zebramuscheln. Dies erschwert den Transport mit Freizeitschiffen (Karatayev and Burlakova 2022). Zudem sind die Überlebensraten von Zebramuscheln bei verlängerter Exposition an der Luft höher als von Quaggamuscheln (Ricciardi et al. 1995).

Die (möglichen) Verbreitungsvektoren wurden basierend auf Literaturrecherchen (siehe Literaturverzeichnis 8.2) oder aufgrund bekannter Beispiele von Vorkommnissen ermittelt. Für viele Vektoren ist die Verbreitung nicht eindeutig dokumentiert, sondern beschränkt sich auf Hinweise oder plausible Erklärungen (mutmassliche Verbreitung). Anschliessend wurde – angelehnt an die Risiko-Bewertungs-Formel im Bereich Naturgefahren – der Versuch unternommen, die Vektoren für die Schweiz zu beurteilen. Die einzelnen Vektoren wurden anhand der Wahrscheinlichkeit, dass diese Verbreitung eintritt, möglicher Anzahl der Verschleppungsereignisse und möglicher Anzahl verschleppter Individuen pro Verschleppungsereignis bewertet. Zu beachten ist, dass für andere aquatische Arten eine solche Beurteilung gegebenenfalls anders ausfallen würde.

Für die Massnahmenplanung ist neben der Relevanz des Vektors (sogenanntes Vektorpotential) die Frage nach Einflussmöglichkeiten auf diesen Vektor entscheidend. Dies könnte auch formuliert werden als möglicher «Hebel» (d.h. wie viel Aufwand ist nötig, um die Verbreitung über diesen Vektor signifikant einzudämmen?). Dazu wird in der letzten Spalte eine Einteilung vorgenommen (+++ = grosse Hebelwirkung).

Bei der Erarbeitung der Tabelle flossen die Rückmeldungen von Expert:innen aus Forschung und von Ökobüros<sup>2</sup> sowie von Vertretungen von kantonalen Gewässerschutz- und Neobiota-Fachstellen im Rahmen der Cercle Exotique Arbeitsgruppe «Aquatische Neobiota» (Begleitgruppe des Projekts) ein.

Aufgrund des teilweise lückenhaften Wissensstands zu einzelnen Vektoren (z.B. Wassersportarten oder Angelsport/Fischen) ist diese Tabelle nicht als absolut zu betrachten. Sie dient vor allem der Veranschaulichung der verschiedenen Einflussfaktoren auf die resultierende Relevanz eines Vektors sowie der Gegenüberstellung der Vektoren.

Die Tabelle untermauert den gegenwärtigen Wissensstand, dass für die Schweiz Freizeitschiffe den massgeblichen Verbreitungsvektor für adulte Quaggamuscheln darstellen (De Ventura et al. 2016). Es gibt knapp 100'000 immatrikulierte Freizeit- und Sportschiffe in der Schweiz. *Dreissena*-Muscheln können zudem - abhängig von der Grösse der Muschel, Temperatur und Feuchtigkeit - einen Überlandtransport von 5-15 Tagen an einem Schiff überleben (Ricciardi et al. 1995).

Zudem zeigt die Tabelle, dass bei den Freizeitschiffen eine grosse potenzielle «Hebelwirkung» besteht. Mit verhältnismässigem Aufwand für die Gesellschaft kann voraussichtlich das Gesamt- Verschleppungspotenzial von Freizeitschiffen massgeblich reduziert werden (z.B. mit einer fachgerechten Schiffsreinigung oder durch Massnahmen, welche die Schiffsbewegungen einschränken). Dies, da in solchen Fällen die Anzahl Individuen pro Ereignis hoch einzuschätzen ist. Im Vergleich dazu ist der Aufwand, der nötig ist, um das Verschleppungsrisiko für andere Vektoren in ähnlichem Masse zu reduzieren, beträchtlich höher (wenn die potenzielle Anzahl Individuen pro Ereignis klein, aber die Anzahl Ereignisse hoch ist).

Die Verbreitung der Veliger-Larven ist grundsätzlich weniger gut untersucht. Bekannt ist, dass für die weltweite Verbreitung der Transport in Ballastwassertanks eine massgebliche Rolle spielt (Karatayev and Burlakova 2022). Dieser Verbreitungsvektor ist aber in der Schweiz kaum relevant, da nur ein kurzes Stück des Rheins bei Basel für Frachtschiffe schiffbar ist. Zudem verfügen Wasserski- oder Wakeboard-Schiffe über Ballastwassertanks, die aber vergleichsweise klein sind.

<sup>2</sup> z.B. an einem SeeWandel Klima Treffen der Arbeitsgruppe "Importance of the quagga mussel", 19. März 2024, Eawag

Natürliche Vektoren, insbesondere Wasservögel (Transport im Verdauungstrakt oder im Gefieder) scheinen ebenfalls keine entscheidende Rolle bei der Verbreitung zu spielen (Carlton 1993, Johnson and Carlton 1996, Karatayev et al. 2003, Pollux et al. 2010). Auch die Verbreitungsmuster der Quaggamuschel in der Schweiz deuten nicht darauf hin, dass Wasservögel ein wichtiger Vektor sind.

Weitere Studien basierend auf der Zusammenstellung in Tabelle 1 könnten helfen, Massnahmen noch zielgerichteter umzusetzen, die Empfehlungen zu den Massnahmen zu schärfen und Fragen der potenziellen «Verschlepper-Gruppen» über das eigene Risiko (z.B. beim Ausüben einer bestimmten Wassersportart) verlässlicher zu beantworten. Im Rahmen solcher Untersuchungen sollte auch verstärkt der Erfolg von umgesetzten Massnahmen evaluiert werden. Bis jetzt gibt es nur anekdotische Berichte über den Erfolg von Massnahmen, die sich auf die Hauptverbreitungsvektoren fokussieren (z.B. USA, Kanada, siehe Artikel in [Times Chronicle](#)).

Tabelle 1 Einschätzung der Relevanz (Vektorpotenzial) verschiedener möglicher Verbreitungsvektoren der Quagga- und Zebromuschel für die Schweiz

Verbreitungsvektoren für Dreissena-Muscheln	Verbreitung dokumentiert oder beobachtet	Mutmassliche Verbreitung (Hinweise)	Wahrscheinlichkeit	Anzahl Ereignisse	Anzahl Individuen/Ereignis	Relevanz (Vektorpotenzial)	«Hebel»
Transport am Rumpf von Freizeitbooten	X		Sehr hoch	Mittel	Hoch		+++
Transport in Motoren/im Kühlwasser von Freizeitbooten	X		Sehr hoch	Mittel	Mittel?		++?
Transport im Bilgenwasser von Freizeitbooten		X	Klein	Mittel	Klein		+++
Transport mit verhedderten Wasserpflanzen an Freizeitbooten		X	Klein	Mittel	Mittel		+++
Transport mit Wassersportgeräten/ Ausrüstungsgegenständen		X	Klein	Gross	Klein		+
Transport mit Tauchausrüstung		X	Klein	Mittel	Sehr klein		++
Transport mit Fischereiausrüstung und Material		X	Klein	Gross	Sehr klein		+
Transport mit Ausrüstung bei Probenahmen von Fachleuten		X	Klein	Klein	Klein		++
Transport mit schwimmenden Wasserbau-Geräten		X	Hoch	Klein	Sehr hoch		+++
Natürliche Vektoren		X	Klein	Klein	Klein		0
Verdriftung von Larven	X		Hoch*	Hoch*	Hoch	*	0*
Unnatürliche Verbindung von Einzugsgebieten durch Wasserkraft	X		Hoch	Hoch	Hoch		siehe Kap. 5.1.4

\* in Fließgewässern und innerhalb stehender Gewässer

## 5 Empfehlungen zu Präventions- und Schutzmassnahmen

### 5.1 Für Gewässer ohne Quaggamuschelvorkommen

#### 5.1.1 Einleitende Bemerkung

Da die zu erwartenden ökologischen und ökonomischen Schäden bei einem Befall mit Quaggamuscheln sehr hoch sind, muss alles unternommen werden, um eine Ausbreitung der Quaggamuscheln in die noch nicht betroffenen Schweizer Mittellandseen zu verhindern. Quaggamuscheln werden hauptsächlich durch den Menschen von einem See in einen anderen verschleppt (siehe Kapitel 4).

Das Kapitel zu Präventions- und Schutzmassnahmen ist analog zur Abfolge einer Quaggamuschel-Invasion wie folgt in Unterkapitel strukturiert: Früherkennung, Hilfestellung bei der Massnahmenplanung zur Priorisierung von Gewässern, Auflistung von Massnahmen zur Verhinderung der Ausbreitung der Quaggamuschel sowie Hinweise zu Management-, Bekämpfungs- und Anpassungsmassnahmen.

#### 5.1.2 Früherkennung

Die Früherkennung der Quaggamuschel (wie auch anderer invasiver Arten) ist ein (wichtiger) grundlegender Baustein, um Massnahmen zur Verhinderung der Ausbreitung einführen, steuern sowie justieren zu können. Gezielte Massnahmen können eine weitere Verbreitung verhindern oder sie verlangsamen. Da es sich dabei um Monitoring-Massnahmen handelt, wird die Früherkennung im Rahmen des Monitoringkonzepts in Kapitel 6 behandelt.

#### 5.1.3 Hilfe zur Priorisierung von Gewässern

Häufig kommt die Frage auf, ob und wie Gewässer hinsichtlich der Quaggamuschel-Problematik priorisiert werden können. Aus ökologischer Sicht ist aktuell kaum eine Priorisierung der Seen möglich. Die Quaggamuschel breitet sich schnell und grossflächig aus. Potenziell können alle Gewässer in der Schweiz befallen werden; zumindest sind alle Gewässer, in denen die Zebamuschel verbreitet ist, gefährdet. Aus diesem Grund empfehlen wir gewisse Schutzmassnahmen grossflächig, idealerweise schweizweit bzw. in Absprache oder Zusammenarbeit mit dem angrenzenden Ausland, einzuführen und keinen Flickenteppich mit verschiedenen Regelungen zu kreieren. Möglicherweise kann es sogar einfacher und damit gegebenenfalls günstiger sein, Schutz- und Präventionsmassnahmen flächendeckend einzuführen, anstatt den Schutz einzelner Gewässer zu priorisieren. In der Schweiz sind die Kantone für Massnahmen zur Verhinderung der Ausbreitung von invasiven Arten zuständig, daher engagieren sie sich aktuell am meisten in diesem Bereich. Gleichzeitig ist eine gute Abstimmung mit den für Gewässer, für invasive Arten und für internationale Zusammenarbeit in diesen Bereichen zuständigen Bundesbehörden erfolgsentscheidend.

Es ist aktuell nicht möglich, einzelne Gewässereigenschaften im Sinne von Ausschlussfaktoren oder begünstigenden Faktoren zu definieren (z.B. Nährstoffgehalt Gewässer, Höhenlage eines Gewässers, Fließgeschwindigkeit eines Fließgewässers etc.), es bestehen zu viele Wissenslücken. Es können lediglich gewisse mögliche Einflussfaktoren aufgezeigt werden (siehe Abbildung 2).

Massnahmen sind grundsätzlich überall nötig, aber wenn dies nicht möglich ist, könnte priorisiert werden hinsichtlich der in Abbildung 2 genannten Gewässereigenschaften und/oder weiteren Faktoren wie Schutzstatus/ökologischer Wert eines Gewässers, finanzielle Interessen (z.B. Wert Wasserentnahmen, Sanierungsmassnahmen etc.) oder Bedeutung eines Gewässers als «Neobiota-Trittstein» (z.B. See mit viel touristischer Bootsnutzung von dem aus Neobiota in andere lokale Gewässer verbreitet werden). Ein weiterer möglicher Ansatz wäre die Priorisierung hinsichtlich verschiedener Aufgaben, z.B. Präventionsmassnahmen

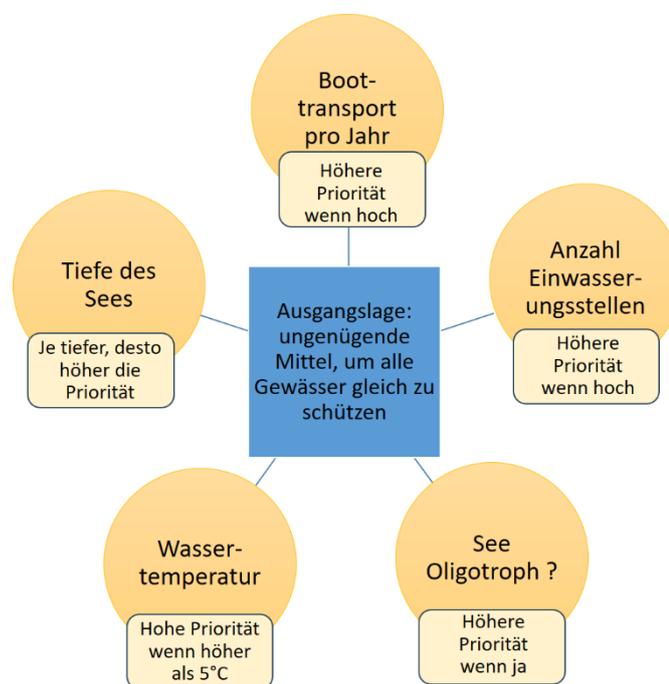


Abbildung 2: Hilfestellung zu einer allfälligen Priorisierung von noch nicht befallenen Gewässern, Stand September 2024 (Bitte beachten sie auch Text von Kapitel 5.1.3)



Tabelle 2: Übersicht über Präventionsmassnahmen (siehe weiterführende Informationen für Beispiele)

Was bzw. Zielgruppe	Wie	Begünstigende Faktoren	Aktuelle Herausforderungen für die Schweiz	Lösungsansätze
Sensibilisierung für Problematik & Information zu konkreten Handlungsempfehlungen bzw. -anweisungen				
Zielgruppe: Private Gewässernutzende (Boots- und Wassersport, Fischen etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Informationstafeln/-plakate an Gewässern</li> <li>Infoprodukte für Vereine (Flyer, Sticker etc.)</li> <li>Information über Handel, Verleihe, Shops</li> <li>Information via Ausbildungen / Weiterbildungen ('train the trainers')</li> <li>Fachmedien, Special Interest Medien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einige Kantone und Stakeholder sind in diesem Bereich schon sehr aktiv: Wieder-erkennungseffekt für Zielgruppe steigt</li> <li>Plakate/Tafeln vor Ort werden als besonders wirksam beurteilt (siehe Evaluationen Kt. AG/ZH, auf Anfrage)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Harmonisierung der Kampagnen (visuell und inhaltlich)</li> <li>Kaum Evaluation solcher Kampagnen</li> <li>Nicht-Organisierte Gewässernutzende sind schwierig zu erreichen</li> <li>«Konkurrenz» verschiedener Umwelt- Kampagnen an Gewässern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kampagnen national oder regional vereinheitlichen</li> <li>Kampagnen evaluieren und Erkenntnisse für alle zugänglich machen</li> <li>Fachhandel, Wassersport-Shops einbinden</li> <li>Zielgerichtete Massnahmenplanung, Absprachen zw. Kampagnen</li> </ul>
Zielgruppe: Schiffshalter und -halterinnen von immatrikulierten Freizeitschiffen	Via kantonale Schifffahrtsämter, z.B. mit Versand Steuerrechnung Anfang Jahr	Informationen mit offiziellem Schreiben bekommen mehr Aufmerksamkeit als reine Infomails, Newsletter etc.	Nutzende von ausländischen oder nicht immatrikulierten Schiffen werden nicht erreicht	Zollbehörden involvieren, Kontrollen bei der Einfuhr von Freizeitschiffen aus dem Ausland
Zielgruppe: Breite Öffentlichkeit/Bevölkerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Klassische Medien (Zeitung, TV)</li> <li>Social Media</li> </ul>	Quaggamuschel-Thema stösst auf grosses Interesse in Medien («Flagship Species»)	Social Media: Behörden haben teilweise noch wenig Erfahrung, Posts via allgemeine Kanäle erreichen Zielgruppe nicht	Zusammenarbeit mit nationalen oder überkantonalen Kampagnen mit Social Media Expertise
Zielgruppe: Professionelle Gewässernutzende: Schiffsbranche	Praktische Fachinformationen für Werften, Bootsbauer, Hafengebiete etc. via Verbände und Gemeinden	<ul style="list-style-type: none"> <li>Branche ist sensibilisiert</li> <li>Branche ist guter Multiplikator</li> </ul>	Fachwissen zur Quaggamuschel teilweise noch nicht vorhanden	Mehr Fokus auf Brancheninformation
Zielgruppe: Professionelle Gewässernutzende: Konzessionäre z.B. Trinkwasserbetriebe, Kälte-/Wärmenutzung, Kraftwerke	Fachinformationen: Verschleppung über Einzugsgebiete hinweg verhindern, Vorbereitung technische Anlagen	Branche ist auf Thema aufmerksam geworden	Konzessionäre waren lange nicht gut genug informiert → Nachholbedarf	Zusammenarbeit mit Verband SVGW und kantonalen Fachstellen für Konzessionsvergabe für Seewasserentnahme

Was bzw. Zielgruppe	Wie	Begünstigende Faktoren	Aktuelle Herausforderungen für CH	Lösungsansätze
Zielgruppe: Bauherren von neu geplanten Wasserfassungen, Ingenieurbüros <i>(Massnahme zur Schadensbegrenzung, keine Prävention)</i>	Bemerkung oder Bedingung in Gutachten für Neubau von Wasserfassungen → Bau einer obsoleten Fassung und/oder Reinigungs-systemen		Planung ist abgeschlossen, wenn Kanton Bauprojekt begutachtet	Frühzeitige Sensibilisierung der Planer
Förderung Schiffsreinigung und Reinigung von Material bei Gewässerwechsel				
Ausreichendes Angebot an geeigneten Reinigungsstellen	Schaffung bzw. Umfunktionieren von Reinigungsstellen (z.B. Lastwagen-, Camper-Reinigungsstellen etc.)	Reinigungspflicht in diversen Kantonen erhöht Anreiz für Betriebe Schiffsreinigungen anzubieten (wird lukrativer?)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einleitung Bootswaschwasser in Kanalisation ohne Vorbehandlung (z.B. Spaltanlage) ist möglicherweise problematisch</li> <li>• Unklar, ob aktuelles Angebot an Betrieben ausreicht, Zahlen über faktisch Gewässer-wechselnde Schiffe unbekannt</li> <li>• Experten sind einig, dass Quaggamuschel-Larven nicht in der Lage sein sollten ARA zu überleben, was aber noch nicht direkt untersucht worden ist.</li> <li>• Braucht es eigene Reinigungsplätze für Wassersportgeräte &amp; Equipment?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfahrungswerte sammeln, Betriebskontrollen verstärken</li> <li>• Ggf. (erneut) Zahlen erheben zu gewässerwechselnden Schiffen</li> <li>• Forschungsarbeit zum Überleben der Quaggamuschel in ARAs</li> </ul>
Öffentliches Register von autorisierten Schiffsreinigungsstellen	Einfach auffindbare Online-Information z.B. auch für ausländische Nutzende, Integration in Seekarten-Apps und Merkblätter für Touristen		Braucht es eine zentrale schweizweite/überregionale Karte?	

Was	Wie	Begünstigende Faktoren	Aktuelle Herausforderungen für CH	Lösungsansätze
Reinigungsanleitungen für Schiffe und Wassersportgeräte, Equipment	<ul style="list-style-type: none"> <li>Für Selbstreinigung: anschauliche Anleitungen</li> <li>Reinigung durch fachkundiges Personal: möglichst einheitliche SOPs</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Teilweise Wissenslücken und Lücken von praktikablen Reinigungs-empfehlungen</li> <li>Kosten für fachgerechte Reinigung eher hoch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erfahrungsaustausch</li> <li>Forschungsarbeit zu Weiterentwicklung der Reinigungsempfehlungen oder alternativen Ansätzen</li> </ul>
<b>Gebote, Verbote und Kontrollen</b>				
Auflagen in behördlichen Bewilligungen	Vorgaben zur Reinigung von Maschinen und Gerätschaften z.B. in Wasserbau-bewilligungen, nautische Bewilligungen	Einfache Möglichkeit, um risikobasierte Vorgaben zu machen	Noch nicht flächendeckend im Einsatz, Auflagen möglichst überall gleichlautend	schweizweite Harmonisierung anstreben, unter Berücksichtigung unterschiedlicher kantonalen Gesetzgebungen
Generelle Schiffsreinigungspflicht	Siehe z.B. Schiffsmitteilungs- und -reinigungspflicht Zentralschweiz (2023/24), Kt. BE (2024) oder Kt. AG (2021), gesetzliche Verankerung der Schiffsreinigungspflicht	Mit Pilotprojekten werden erste Erfahrungen für die Schweiz gesammelt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regelungen für interkantonale und internationale Gewässer</li> <li>Keine schweizweite Lösung bis jetzt</li> </ul>	Übernahme/Ausweitung des Zentralschweiz-Modells auf andere Kantone/Regionen
Einschränkungen bei Schiffsbewegungen	Siehe z.B. Einwasserungsverbot ausserkantonaler Schiffe Kt. ZG, SZ, OW (2024) oder eingeschränkte Schiffsnutzung am Hallwilersee (unabhängig von Neobiotamassnahmen)	Mit Pilotprojekt werden erste Erfahrungen für die Schweiz gesammelt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Praxis für interkantonale und internationale Gewässer</li> <li>Einschneidend für Gewässernutzende</li> </ul>	
Sperrung von Quaggamuschel-freien Gewässern für gewässerwechselnde Schiffe / Freihaltezonen	siehe z.B. Pilotprojekt Pfäffikersee Kt. ZH, Einwasserungsverbot Greifen-, Pfäffiker- und Türlersees (Kt. ZH, 2024)	Mit Pilotprojekt wurden erste Erfahrungen für die Schweiz gesammelt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Daten zu Auftreten von neuen Arten müssen erhoben und schnell verfügbar sein</li> <li>Einschneidend für Gewässernutzende</li> </ul>	

Was	Wie	Begünstigende Faktoren	Aktuelle Herausforderungen für CH	Lösungsansätze
Risikobasierte Inspektionen bzw. Reinigungen von Schiffen	Mit vorgängigen Befragungen vor dem Einwassern, siehe Beispiele USA (Elwell and Phillips 2021)		Hoher Aufwand	
Nationales Verbot von Wasserpumpenanlagen, die Einzugsgebiete vermischen			Zielkonflikt mit der Wasserkraft	Invasive Arten und deren potenzielle Einschleppung sollen bei der Prüfung der Projekte miteinbezogen werden.
Kontrollen				
Stichprobenkontrollen auf Gewässern und an Einwasserungsstellen	Siehe z.B. Reinigungspflicht Hallwilersee Kt. AG, Schiffsmelde- und -reinigungspflicht Zentralschweiz und Kt. BE	Elektronische Meldeplattform in Zentralschweiz und BE erleichtert Kontrollen	Bedingt personelle Ressourcen und/oder eine technische Lösung (da keine nationale Schifffahrtsdatenbank)	
Am Zoll			Bisher kein Konzept und keine Praxis vorhanden	
Barrieren an Einwasserungsstellen	Siehe z.B. Kt ZG und Kt. AG	Erste Erfahrungen werden aktuell gesammelt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bauliche Massnahmen nötig</li> <li>• Anzahl Einwasserungsstellen je nach Gewässer sehr unterschiedlich</li> <li>• Häufig besteht keine Übersicht über Standorte und Betreiber.</li> <li>• Akzeptanz möglicherweise schwierig v.a. an bisher öffentlichen Einwasserungsstellen</li> </ul>	Erfahrungen auswerten und austauschen
Plomben für Schiff und Trailer	Siehe z.B. USA Lake Tahoe		Nur als zusätzliche Massnahme sinnvoll	

## 5.2 Für Gewässer mit Quaggamuschelvorkommen

### 5.2.1 Management-Massnahmen zur Verhinderung der Weiterverbreitung

Wenn ein Gewässer einmal mit Quaggamuscheln besiedelt ist, muss der Fokus erstens darauf liegen, die Weiterverbreitung aus diesem Gewässer in andere noch nicht betroffene Gewässer zu verhindern. Dazu sind die gleichen Massnahmen wie für nicht betroffene Gewässer geeignet (siehe 5.1). Diese Massnahmen werden in diesem Bericht als «Management-Massnahmen» bezeichnet. Praktikable Mitigations- und Bekämpfungsmassnahmen sind zurzeit nicht bekannt (siehe 5.2.2). Zweitens sind Anpassungsmassnahmen bei Betrieben und Anlagen nötig, die Seewasser nutzen oder Infrastrukturen im Wasser haben (siehe 5.2.3).

### 5.2.2 Bekämpfungsmassnahmen

Für Seen im Grössenbereich der Schweizer Seen wurden bisher keine ökologisch und ökonomisch realistischen Bekämpfungsmassnahmen gefunden, trotz verschiedener Versuche (Karatayev and Burlakova 2022). In Fließgewässern wäre eine Bekämpfung noch schwieriger, da die Larven flussabwärts verdriftet werden. Eine Bekämpfung käme also nur in Frage, wenn gleichzeitig die «Quelle» der Larven eliminiert werden könnte. Auch wenn Studien zeigen, dass gewisse Fischarten lernen Quaggamuscheln zu fressen (Baer et al. 2022), sind keine Beispiele bekannt, bei denen die Entwicklung in Richtung eines erwünschten ökologischen Gleichgewichts gehen könnte.

In den USA wurden verschiedene Methoden getestet, die allerdings in unterschiedlichem Masse erfolgreich waren. Die chemischen Ansätze wären in der Schweiz jedoch gesetzlich verboten (Niclosamid, Kaliumchlorid, Kupfersalze) und auch finanziell nicht praktikabel. Zum Beispiel wurde in Pennsylvania, USA, ein kleines geschlossenes Reservoir mithilfe von Kupfersalzen von der Quaggamuschel befreit (Hammond and Ferris 2019). Die Kupferkonzentrationen sind jedoch hoch und die Folgen für das Ökosystem unklar, so dass solche Methoden bei uns nicht angewendet werden können.

Physikalische Ansätze sind nicht auf ganze Seen anwendbar (benthische Matten, Herabsenkung des Seeniveaus im Winter, Entfernung von Hand oder mechanisch). Mehr Informationen dazu stehen auf der Webseite der Invasive Mussel Collaborative (Great Lakes Commission 2018).

Ein innovativer Ansatz befasst sich mit «BioBullets» ([www.biobullets.com](http://www.biobullets.com)) (Aldridge et al. 2006). Dies sind Biozide (patentierter Zusammensetzung), die in einem ungiftigen, essbaren Material eingekapselt sind, das die Muscheln filtern und aufnehmen können, so dass das Gift direkt an sie abgegeben wird. Diese Methode verringert die erforderliche Biozidkonzentration und minimiert die Umweltbelastung. Im Vergleich zu herkömmlichen chemischen Methoden zielen BioBullets effizienter auf die Muscheln ab und verringern die Schäden für Nichtzielarten (einheimische Muscheln wären auch betroffen). Die praktische Anwendung lässt aber noch viele Fragen offen, weshalb eine Anwendung von BioBullets aktuell nicht empfohlen wird.

Derzeit wird auch an genetischen Kontrollmethoden und möglichen Krankheiten geforscht. Erste Ergebnisse zeigen, dass sich das Genom von männlichen und weiblichen Quaggamuscheln an mehreren Stellen unterscheidet. Dies könnte bedeuten, dass das Geschlecht der Quaggamuscheln durch mehrere Gene bestimmt wird (Alexandra Weber, persönliche Mitteilung). Dies wird mögliche Eingriffe in das Geschlecht von Quaggamuscheln erschweren. Ob es in Zukunft möglich sein wird, sterile Quaggamuscheln zu züchten und damit die Ausbreitung zu kontrollieren, und ob das Risiko ökologischer Nebenwirkungen und Schäden nicht zu gross sein wird, ist sehr ungewiss.

### 5.2.3 Technische Anpassungsmassnahmen

Wird Wasser aus einem mit Quaggamuscheln befallenen Gewässer gepumpt, sei es zur Trinkwassergewinnung oder zur Nutzung von Wärme und Kälte, haften die Muschellarven an den Anlagen, verstopfen Rohre und Siebe und blockieren im schlimmsten Fall den Betrieb der Anlage. Für die Trinkwassernutzung scheint aktuell die Ultrafiltration das Verfahren der Wahl zu sein. Kombiniert mit einer mechanisch reinigbaren Saugleitung kann damit auch aus einem mit Quaggamuscheln befallenen Gewässer (Trink-)wasser gewonnen werden. Eine solche «Quaggamuschelsichere»-Anlage ist z.B. am Bielersee im Bau (<https://www.esb.ch/de/esb/projekte/erneuerung-seewasserwerk-ipsach/>).

Wird Seewasser zur Wärme-/Kältegewinnung genutzt, ist es wichtig, möglichst nahe am Gewässer einen Wärmetauscher zu installieren. Es braucht also zwei Leitungen, eine durch das Gebäude oder eine andere zu kühlende Anlage und eine vom Gewässer und zurück. Auf diese Weise ist es für die Quaggamuscheln und ihre Larven unmöglich, die Rohre und Installationen in den Gebäuden zu besiedeln. Natürlich muss diese Seeleitung so gebaut sein, dass sie regelmässig gereinigt werden kann. Die Cornell Universität (Ithaca, New York) hat bereits im Jahr 2000 eine solche Anlage gebaut, die den gesamten Universitätscampus kühlt. Sie mussten ihre Entnahmeleitung schon einige Male von der Quaggamuschel reinigen. Dies zeigt, dass es technische Lösungen gibt, die aber gebaut werden müssen, bevor die Quaggamuschel irreversible Schäden an Gebäuden oder Anlagen verursacht.

Die geschilderten Probleme bestehen prinzipiell auch bei Wasserentnahmen aus einem mit Quaggamuscheln befallenen Fließgewässer. Bisherige Meldungen von Anlagen am Rhein und an der Aare deuten jedoch darauf hin, dass Anlagenschäden bei Wasserentnahmen an Fließgewässern deutlich geringer ausfallen.

## 6 Monitoring-Konzept

### 6.1 Konzepte

#### 6.1.1 Früherkennung / Statuserfassung Quaggamuschelbefall mittels eDNA

Generell gehen wir davon aus, dass es schon viele Quaggamuscheln in einem See hat, bis das erste Exemplar gefunden wird. Zum Beispiel war die erste Quaggamuschel, die im Zugersee gefunden wurde, bereits fast 2 cm gross und mehr als ein Jahr alt. Dies kurz nachdem die ersten eDNA-Proben positiv waren. Auch im Bodensee wurde die erste Muschel von einem Taucher durch Zufall entdeckt. Innerhalb weniger Monate nach diesem Erstfund wurden an verschiedenen Stellen im Bodensee Quaggamuscheln gefunden. Dies zeigt, dass Quaggamuscheln bereits in verschiedenen Teilen des Sees vorkamen. Weil es in praktisch allen Schweizer Seen Zebra- und Quaggamuschel-Populationen gibt, wäre es sehr aufwändig regelmässig in Muschelproben aus nicht befallenen Seen nach Quaggamuscheln zu suchen.

Zur Zeit der ersten Funde in Schweizer Gewässern (2016) gab es noch keine spezifischen Früherkennungsprogramme für Quaggamuscheln. Um in einem Gewässer den Befall mit Quaggamuscheln (und/oder anderen aquatischen Neobiota) frühzeitig zu erfassen, müssen geeignete Methoden zielführend und effizient eingesetzt werden:

- Genetische Methoden: Untersuchung von Umwelt-DNA (eDNA) oder Mischproben
- Regelmässige Untersuchung von Planktonproben (Muschellarven)
- Regelmässige Untersuchung von Proben aus dem Uferbereich oder aus dem Seesediment (Muschelproben)

Ein effizienter Ansatz, um herauszufinden, ob es in einem Gewässer bereits Quaggamuscheln gibt, sind genetische Methoden. Alle Lebewesen scheiden DNA (Umwelt-DNA, eDNA) aus, die artspezifisch in Wasserproben oder im Sediment nachgewiesen werden kann. Auch bei dieser Methode ist jedoch eine gewisse Konzentration von Organismen erforderlich, ein negativer Befund bedeutet nicht, dass der gesuchte Organismus nicht vorhanden ist (Pawlowski et al. 2020).

Ausgangsmaterial für eine eDNA-Untersuchung kann eine Wasserprobe sein, vorzugsweise mehrere Proben pro Gewässer, die an verschiedenen Orten genommen werden. Eine andere Methode, um Quaggamuscheln in einem Gewässer nachzuweisen kann darin bestehen, die DNA einer grossen Mischprobe von Organismen gezielt zu untersuchen. Man muss dann den «Zielorganismus» nicht morphologisch finden und identifizieren, sondern kann ihn durch DNA-Analyse nachweisen. Die Früherkennung eines Befalls eines Gewässers mit Quaggamuscheln ist wichtig, um das Ausmass der wirtschaftlichen Schäden zu begrenzen und die Weiterverbreitung zu verhindern. Die ökologischen Schäden können nach aktuellem Stand nicht eingeschränkt oder behoben werden, sobald sich die Quaggamuschel etabliert hat. Wenn Quaggamuscheln in einem See nachgewiesen sind, wissen wir anhand von Beispielen betroffener Seen, dass es nur wenige Jahre dauert, bis sich Probleme mit z.B. der Wassergewinnungsinfrastruktur offenbaren.

Im Hinblick auf die Statuserfassung mittels eDNA, können für Quaggamuscheln verschiedene Ansätze verfolgt werden:

#### 1. Monitoring eDNA in Mischproben mittels Planktonnetz

Ziel: Nachweis der Larven der Quaggamuschel in einem Gewässer

Vorteil: Könnte u.U. in das Monitoring-Programm der Kantone integriert werden, die Proben können in 99%igem Ethanol archiviert und später analysiert werden.

Methode:

- Vertikalzug mit 40 µm Planktonnetz
- Probennahme mind. aller 3 Monate wünschenswert (mehrmals pro Jahr essenziell)
- Beprobung grosser Wassermengen möglich
- Nachweis Quaggamuschel-Larven im erfassten Plankton
- Extraktion von DNA aus erfasster Planktonprobe zum Nachweis von Quaggamuschel-DNA (gezielter Test / DNA-Abgleich)

Ein weiterer Vorteil der Probenahme mit einem Planktonnetz ist, dass es sich bereits um eine integrierte Probe handelt. Es sollten jedoch mindestens 2 Proben pro Standort, Datum und See genommen werden. Wenn die Probenahme mit einem regelmässigen Planktonmonitoring in einem See kombiniert wird, wird es viele Proben pro Jahr geben. Mindestens 2 Datenpunkte pro Jahr sollten ausgewertet werden. Wenn eine Probe positiv ist, sollten auch eine "Backup-Probe" und andere archivierte Proben analysiert werden.

#### 2. Monitoring eDNA in Wasser oder Sediment Proben

Ziel: Nachweis der DNA, welche von adulten Individuen und Larven der Quaggamuschel in das Wasser abgegeben wird

Vorteil: Einfache und günstige Probenahme

Methode: Umweltproben können Wasser- und/oder Sedimentproben umfassen

- Probenahme von Wasserproben sollte (a) zeitlich während hoher biologischer Aktivität (Reproduktion) erfolgen (zum Beispiel im Sommer) und (b) in Gewässerabschnitten mit hohem Potenzial für Kolonisierung
- Probenahme kleiner Sedimentmengen, die für die Extraktion von Umwelt-DNA ausreichen. Im Sediment sammeln sich Reste von Organismen an. Es handelt sich um eine Art «Summenprobe», oder ein gesammeltes Archiv über längere Zeit. Der Nachteil ist, dass für die Entnahme dieser Proben spezielle Geräte benötigt werden und dass es schwierig ist, das Verfahren zu standardisieren.

Im Idealfall werden die Ergebnisse an die Kantone sowie an eine zentrale «Quaggamuschel Fachstelle» (siehe Kapitel 7) weitergeleitet.

Herausforderungen bei den genannten Methoden umfassen aktuell v.a. die fehlende Standardisierung, teilweise wenig Erfahrung bei den Auftraggebenden und/oder Anwendern der Methoden und die fehlende Etablierung von Qualitätsstandards. Steriles Arbeiten und hochspezialisierte (externe) Labore sind erforderlich, auch aufgrund der geringen Menge an vorhandener DNA. Generell ist zu empfehlen jeweils 2 Proben pro Analyse entsprechend aufzubereiten: eine für die Analyse, eine als Rückstellprobe. Im Falle eines positiven Quaggamuschel-Befunds, wird die Rückstellprobe durch ein zweites Labor untersucht. Ist der Befund erneut positiv, kann mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass das Gewässer einen Befall mit Quaggamuscheln aufweist.

In der Schweiz gibt es aktuell wenige Labore, die DNA-Nachweise der Quaggamuschel zuverlässig durchführen können. Auch fehlt es derzeit an Qualitätskontrollen in diesen Laboren. Letztere könnten durch eine unabhängige Instanz (Bund) in Auftrag gegeben werden (z.B. Durchführung von Ringversuchen, bei welchen die Labore jeweils an definierten Proben zeigen müssen, ob sie die positiven Quaggamuschelproben von den negativen Kontrollen unterscheiden können).

### 6.1.2 Langfristiges Quaggamuschel-Monitoring befallener Seen

Ist ein See erst einmal mit Quaggamuscheln besiedelt, kann man sie nicht mehr «entfernen». Es ist jedoch nicht bekannt, wie sich Quaggamuscheln in Schweizer Voralpenseen ausbreiten und welche Folgen sie für das aquatische Ökosystem haben. Für die Seenbewirtschaftler ist es wichtig zu wissen, ob und wie schnell sich Quaggamuscheln in einem See ausbreiten (Anzahl und Biomasse) und in welcher Tiefe. Mit solchen Daten, kombiniert mit regelmässig erhobenen Monitoring Daten, können Vorhersagen über die Auswirkungen von Quaggamuscheln auf das Ökosystem und die Ökosystemdienstleistungen in der Schweiz gemacht werden. Insbesondere können solche Vorhersagen gemacht werden, wenn Monitoringdaten aus verschiedenen Seen kombiniert und gemeinsam analysiert werden. Regelmässige Anfragen an die Eawag zu den konkreten Auswirkungen und Schäden stützen den Bedarf solcher Analysen. Diese Aufgabe müsste von einer überkantonalen Stelle übernommen werden.

Es wird empfohlen, die betroffenen Gewässer mit der gleichen Methode wie sie bereits im Boden-, Genfer-, Bielersee und in den Tessiner Seen durchgeführt wurden, zu untersuchen. Jeder Standort sollte pro Probenahme 3-mal mit dem Sedimentgreifer «Ponar» und dem Benthic Imaging System (BIS) untersucht werden (siehe auch weiterführende Informationen) (Karatayev et al. 2021a). Die Monitoring-Methoden werden in Beilage 1 näher erläutert. Wir empfehlen, Seen in Bezug auf das Quaggamuschel-Monitoring in 2 Kategorien einzuteilen:

- «Forschungsseen»: Diese Seen werden regelmässig an verschiedenen Stellen in allen Tiefen beprobt. Die in diesen Seen gewonnenen Langzeitdaten sollen dazu dienen, die Auswirkungen der Quaggamuscheln auf die grossen voralpinen Gewässer abzuschätzen. Der Bodensee, der Genfersee und die Tessiner Seen (Luganersee, Lago Maggiore) fallen in diese Kategorie. Diese internationalen Gewässer werden bereits seit längerer Zeit eingehend untersucht. Diese Untersuchungen werden von den internationalen Kommissionen IGKB, CIPEL und CIPAIS koordiniert. Alle diese Seen wurden bereits ein- oder mehrmals auf Quaggamuscheln untersucht. Wir empfehlen das Monitoring in diesen Seen auf eine koordinierte Weise weiterzuführen. Zusätzlich ist es wünschenswert, dass auch ein eutropher See mit Quaggamuschelvorkommen regelmässig beprobt wird, da Kenntnisse über die Entwicklung der Quaggamuschel in solchen Seen fehlen. Der Zugersee wäre dafür geeignet.
- «Alle anderen von Quaggamuscheln besiedelten Seen»: In diesen Seen sollte einmal pro Jahr mindestens der gleiche Abschnitt (5-6 Standorte vom Ufer bis zur tiefsten Stelle) untersucht werden. Tests im Rahmen des Projekts, gemeinsam mit Kantonsvertretern und -vertreterinnen am Neuenburgersee und am Zürichsee, haben gezeigt, dass für eine effiziente Probenahme die Kantone vorerst unterstützt werden müssen (siehe auch Auszug aus Zwischenbericht für BAFU vom 23.11.2023; Beilage 2). Es benötigt etwas Übung im Umgang mit den Probenahmegeräten. Prinzipiell kann aber eine solche jährliche Probenahme in 1 bis maximal 2 Tagen pro See erfolgen. Das Beprobungsmaterial kann von der Eawag ausgeliehen werden und muss mit einem dafür geeigneten Schiff (mit Kran, Winde und Seil) eingesetzt werden. Unser Vorschlag ist, dass die temporär nötige fachliche Unterstützung von einer zentralen «Quaggamuschel Fachstelle» geleistet wird. Dies stellt zudem sicher, dass die erhobenen Daten vergleichbar sind.

### 6.1.3 Citizen Science (Meldungen aus der Bevölkerung)

Immer wieder gibt es Hinweise aus der Bevölkerung zu potenziellen Quaggamuschel-Funden. Oft handelt es sich um Zebrauscheln. Meistens werden Bilder an die Eawag, die Kantone oder andere Personen geschickt, die in der Öffentlichkeit im Zusammenhang mit Quaggamuscheln auftreten. Diese Meldungen aus der Bevölkerung sind sehr wichtig und sollten gefördert werden. Wir empfehlen (ähnlich wie bei der [Tigermücke - Meldestruktur](#)):

1. Zentrale Richtlinien für das Sammeln, die Dokumentation (Fotos, GPS-Lokalisierung) und den Versand der gesammelten Muscheln.
2. Eine zentrale Adresse für die Schweiz, wo diese Muscheln eingeschickt und beurteilt werden können (Fachstelle Quaggamuschel, ggf. in Zusammenarbeit mit infofauna/InfoSpecies und einer «InvasivApp» für aquatische Neobiota).
3. Wenn die Kantone Anfragen/Proben erhalten, sollten sie sich mit der Quaggamuschel-Fachstelle in Verbindung setzen.
4. Rückmeldungen sollten rasch erfolgen und die kantonalen Behörden sollten immer über positive oder negative Ergebnisse informiert werden.
5. Die Daten werden in eine zentrale «Quaggamuschel Datenbank» eingegeben, entweder in Zusammenarbeit mit den nationalen Datenzentren InfoSpecies oder sie werden an diese weitergeleitet.

## 6.2 Monitoring und Kommunikation

Die Kantone sollten auch eine Strategie vorbereiten, wie sie die Öffentlichkeit informieren, falls die eDNA-Untersuchungen zeigen und bestätigen, dass ein zusätzlicher See von Quaggamuscheln befallen ist. Aktuell ist die Öffentlichkeit sehr interessiert an diesem Thema. Unserer Meinung nach sollten bei wiederholten positiven eDNA Befunden von Quaggamuscheln zuerst Proben mit einem Ponar-Sedimentgreifer (siehe auch 6.1.2) im Uferbereich des Sees an mehreren Stellen entnommen werden. Alternativ können Tauchuntersuchungen durchgeführt werden. Sollten bei Untersuchungen keine Quaggamuscheln gefunden werden, empfehlen wir, trotzdem die Öffentlichkeit zu informieren. Natürlich sollten eDNA- und Ponar-Proben in einem solchen See regelmässig (mindestens alle 6 Monate) wiederholt werden.

## 7 Fazit und Ausblick

Die Quaggamuschel-Problematik wird die Schweiz in den nächsten Jahrzehnten beschäftigen. Wir müssen befürchten, dass immer wieder ein mit Quaggamuscheln betroffenes Gewässer entdeckt wird. Der vorliegende Bericht mit Empfehlungen für Präventionsmassnahmen und zum Monitoring soll hierfür eine Hilfestellung bieten. Je früher gehandelt wird, desto besser. Wie bereits betont, ist jedes Jahr, in dem die Quaggamuschel später in ein Gewässer kommt, ein gewonnenes Jahr.

Unser Projekt hat uns auch klar gezeigt, dass ein grosses Bedürfnis nach zentraler Information und Unterstützung bei der Umsetzung von Präventions-, Management- und Monitoringmassnahmen besteht, sowohl bei den Kantonen als auch bei anderen Akteuren wie den Trinkwasserversorgungen sowie weiteren lokalen Akteuren. Wir sind daher der Meinung, dass es temporär eine zentrale Quaggamuschel-Fachstelle braucht, die alle diese Akteure unterstützen kann. Untenstehend ist diese Fachstelle genauer beschrieben.

Derzeit gibt es keine landesweit koordinierten Massnahmen zur Überwachung des Vorkommens der Quaggamuschel und zur Verhinderung ihrer Ausbreitung. Viele Kantone setzen Präventions- und Schutzmassnahmen in Form von Sensibilisierung und/oder der Einführung einer Schiffsreinigungspflicht oder weiteren Ge- und Verboten um. Der Effekt wäre aber grösser, wenn diese Massnahmen landesweit umgesetzt und koordiniert würden (möglichst inklusive internationale Gewässer).

Wir empfehlen zudem, den Erfolg von eingeführten Massnahmen besser zu evaluieren. Dafür und um die Folgen der Ausbreitung der Quaggamuschel vorhersagen zu können, sind zuverlässige Monitoring-Daten notwendig.

Wir sind der Meinung, dass es für die zentrale Koordination aller Massnahmen ein koordiniertes Vorgehen braucht. Es kann nicht gewartet werden, bis die Umsetzung der «Strategie der Schweiz gegen invasive gebietsfremde Arten» vollständig umgesetzt ist. Eine «Fachstelle Quaggamuschel», die mit Bund und Kantonen (z.B. via Cercle Exotique) zusammenarbeitet, halten wir für die beste Lösung. Eine solche Fachstelle sollte idealerweise an der Eawag angesiedelt sein. Es könnte geprüft werden, ob eine solche Fachstelle bei einer der bestehenden Plattformen (Wasseragenda-21 oder VSA-Plattform Wasserqualität) angesiedelt werden könnte. Im Moment sehen wir als Aufgaben für ein solche Fachstelle:

- Koordination und Ansprechstelle für Präventions- und Schutzmassnahmen, inklusive Evaluation von Massnahmen, Zusammenarbeit mit Cercle Exotique
- Koordination und Ansprechstelle für Citizen-Science und Muschel-Meldungen
- Unterstützung Früherkennung: Für Seen ohne Quaggamuschelnachweis sollte ein regelmässiges eDNA-Monitoring durchgeführt werden. Auch dieses Monitoring muss koordiniert werden, damit die Methoden und Resultate vergleichbar sind. Auch diese Daten sollten in einer Datenbank für Bund und Kantone aufbereitet werden.
- Monitoring «Forschungsseen» zur Abschätzung der langfristigen Entwicklung und konkreten Auswirkungen für Schweizer Gewässer.
- Unterstützung Monitoring Kantone: Alle anderen Seen mit Quaggamuschelpopulationen sollten einmal pro Jahr mit relativ wenig Aufwand (1-2 Tage pro Jahr) beprobt werden. Es wird angestrebt, dass ein Grossteil der Arbeit von den Kantonen geleistet wird, aber die Fachstelle unterstützt beim Beprobungskonzept, bei den Beprobungen selbst und hilft auch bei den Auswertungen und dem zur Verfügung stellen der gesammelten Daten für Bund und Kantone.
- Unterstützung bei neuen Funden: Es ist zu befürchten, dass nicht alle noch nicht betroffenen Seen längerfristig frei von Quaggamuscheln bleiben. Deshalb sollte im Vorfeld mit den Kantonen besprochen werden, wie vorzugehen ist, wenn Quaggamuscheln in einem See gefunden werden. Unsere Empfehlung ist, dass die Kantone solche Informationen sofort, aber natürlich vertraulich, mit der Quaggamuschel-Fachstelle teilen. Bei dieser Fachstelle sollten alle Informationen zusammenlaufen.

Eine solche Fachstelle könnte zunächst befristet (z.B. 3 Jahre) eingerichtet werden. In dieser Zeit sollte zusammen mit den Kantonen (Cercle Exotique) an einer dauerhaften Lösung gearbeitet werden.

Trotz der vielen Herausforderungen durch die Invasion der Quaggamuschel, bietet sie als «Flaggschiffart» auch Chancen, die Ausbreitung anderer problematischer Neobiota zu verhindern oder zu verzögern. Auch aus diesem Grund sollte die durch die Quaggamuschel begonnene allgemeine Sensibilisierung für aquatische Neobiota weiter unterstützt und von allen betroffenen Akteuren und mit dem Motto 'Jede gewonnene Erfahrung und Aktion gegenüber invasiven Arten zählt' vorangetrieben werden.

## 8 Literaturverzeichnis

### 8.1 Allgemeine Literatur

- Aldridge, D. C., P. Elliott, and G. D. Moggridge. 2006. Microencapsulated BioBullets for the Control of Biofouling Zebra Mussels. *Environmental Science & Technology* **40**:975-979.
- AUE. 2019. Pilotprojekt Bootsreinigung Massnahme gegen die Verschleppung invasiver Neozoen aus dem Rhein in andere Gewässer. Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-Stadt, Abteilung Gewässerschutz.
- Baer, J., C. Spiessl, and A. Brinker. 2022. Size matters? Species- and size-specific fish predation on recently established invasive quagga mussels *Dreissena rostriformis bugensis* Andrusov 1897 in a large, deep oligotrophic lake. *Journal of Fish Biology*.
- Biodiversitätskonvention: Übereinkommen über die Biologische Vielfalt. 1995. [https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1995/1408\\_1408\\_1408/de](https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1995/1408_1408_1408/de).
- Burlakova, L. E., A. Y. Karatayev, D. Boltovskoy, and N. M. Correa. 2023. Ecosystem services provided by the exotic bivalves *Dreissena polymorpha*, *D. rostriformis bugensis*, and *Limnoperna fortunei*. *Hydrobiologia* **850**:2811-2854.
- Carlton, J. T. 1993. Dispersal Mechanisms of the Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*). Pages 677-697 in T. F. Nalepa and D. W. Schloesser, editors. *Zebra Mussels: Biology, Impacts, and Control*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Colautti, R. I., S. A. Bailey, C. D. A. van Overdijk, K. Amundsen, and H. J. MacIsaac. 2006. Characterised and Projected Costs of Nonindigenous Species in Canada. *Biological Invasions* **8**:45-59.
- De Ventura, L., K. Kopp, K. Seppälä, and J. Jokela. 2017. Tracing the quagga mussel invasion along the Rhine river system using eDNA markers: early detection and surveillance of invasive zebra and quagga mussels. *Management of Biological Invasions* **8**:101-112.
- De Ventura, L., N. Weissert, R. Tobias, K. Kopp, and J. Jokela. 2016. Overland transport of recreational boats as a spreading vector of zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *Biological Invasions*:1-16.
- Durán, C., M. Lanao, L. Pérez y Pérez, C. Chica, A. Anadón, and V. Touya. 2012. Estimación de los costes de la invasión del mejillón cebra en la cuenca del Ebro (periodo 2005-2009).
- Elwell, L. C., and S. Phillips. 2021. Uniform Minimum Protocols and Standards for Watercraft Inspection and Decontamination Programs for Dreissenid Mussels in the Western United States. [https://westernregionalpanel.org/wp-content/uploads/2022/08/UMPSIV\\_Report2021\\_Final.pdf](https://westernregionalpanel.org/wp-content/uploads/2022/08/UMPSIV_Report2021_Final.pdf).
- Great Lakes Commission. 2018. Invasive Mussel Collaborative: <https://invasivemusselcollaborative.net/>.
- Hammond, D., and G. Ferris. 2019. Low doses of EarthTec QZ ionic copper used in effort to eradicate quagga mussels from an entire Pennsylvania lake. *Management of Biological Invasions* **10**:500-516.
- Haubrock, P. J., R. N. Cuthbert, A. Sundermann, C. Diagne, M. Golivets, and F. Courchamp. 2021. Economic costs of invasive species in Germany. *NeoBiota* **67**:225-246.
- Johnson, L. E., and J. T. Carlton. 1996. Post-establishment spread in large-scale invasions: dispersal mechanisms of the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *Ecology* **77**:1686-1690.
- Karatayev, A. Y., and L. E. Burlakova. 2022. What we know and don't know about the invasive zebra (*Dreissena polymorpha*) and quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*) mussels. *Hydrobiologia*:1-74.
- Karatayev, A. Y., L. E. Burlakova, S. E. Mastitsky, and D. K. Padilla. 2015. Predicting the spread of aquatic invaders: insight from 200 years of invasion by zebra mussels. *Ecological Applications* **25**:430-440.
- Karatayev, A. Y., L. E. Burlakova, K. Mehler, A. K. Elgin, L. G. Rudstam, J. M. Watkins, and M. Wick. 2022. *Dreissena* in Lake Ontario 30 years post-invasion. *Journal of Great Lakes Research*.
- Karatayev, A. Y., L. E. Burlakova, K. Mehler, E. K. Hinchey, M. Wick, M. Bakowska, and N. Mrozinska. 2021a. Rapid assessment of *Dreissena* population in Lake Erie using underwater videography. *Hydrobiologia*.
- Karatayev, A. Y., L. E. Burlakova, D. K. Padilla, and L. E. Johnson. 2003. Patterns of spread of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha* (Pallas)): the continuing invasion of Belarussian lakes. *Biological Invasions* **5**:213-221.
- Karatayev, A. Y., V. A. Karatayev, L. E. Burlakova, K. Mehler, M. D. Rowe, A. K. Elgin, and T. F. Nalepa. 2021b. Lake morphometry determines *Dreissena* invasion dynamics. *Biological Invasions* **23**:2489-2514.
- Karatayev, A. Y., D. K. Padilla, D. Minchin, D. Boltovskoy, and L. E. Burlakova. 2006. Changes in Global Economies and Trade: the Potential Spread of Exotic Freshwater Bivalves. *Biological Invasions* **9**:161-180.
- Kraemer, B. M., S. Boudet, L. E. Burlakova, L. Haltiner, B. W. Ibelings, A. Y. Karatayev, V. A. Karatayev, S. Rossbacher, R. Stöckli, D. Straile, and P. Spaak. 2023. An abundant future for quagga mussels in deep European lakes. *Environmental Research Letters* **18**.
- Pawlowski, J., L. Apothéoz-Perret-Gentil, E. Mächler, and F. Altermatt. 2020. Anwendung von eDNA-Methoden in biologischen Untersuchungen und bei der biologischen Bewertung von aquatischen Ökosystemen. Richtlinien. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 2010: 77 S.
- Pires, L. M. D. 2005. Grazing for clarity: Zebra mussels as a potential tool in biomanipulation of lakes. Radboud Universiteit Nijmegen.
- Pollux, B., G. Velde, and A. Vaate. 2010. A perspective on global spread of *Dreissena polymorpha*: a review on possibilities and limitations. Page 479 in G. van der Velde, S. Rajagopal, and A. bij de Vaate, editors. *The Zebra Mussel in Europe*. Backhuys Publishers, Leiden.

- Ricciardi, A., R. Serrouya, and F. G. Whoriskey. 1995. Aerial exposure tolerance of zebra and quagga mussels (Bivalvia: Dreissenidae): implications for overland dispersal. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **52**:470-477.
- Van Eerden, M. R., and J. J. de Leeuw. 2010. How *Dreissena* sets the winter scene for water birds: dynamic interactions between diving ducks and zebra mussels. *Van der Velde G, Rajagopal S, bij de Vaate A. The Zebra Mussel in Europe. Backhuys Publishers, The Netherlands*:251-264.

## 8.2 Literatur Vektoren

- Banha, F., I. Gimeno, M. Lanao, V. Touya, C. Durán, M. A. Peribáñez, and P. M. Anastácio. 2015. The role of waterfowl and fishing gear on zebra mussel larvae dispersal. *Biological Invasions* **18**:115-125.
- Carlton, J. T. 1993. Dispersal Mechanisms of the Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*). Pages 677-697 in T. F. Nalepa and D. W. Schloesser, editors. *Zebra Mussels: Biology, Impacts, and Control*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Coughlan, N. E., A. L. Stevens, T. C. Kelly, J. T. A. Dick, and M. A. K. Jansen. 2017. Zoochorous dispersal of freshwater bivalves: an overlooked vector in biological invasions? *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*.
- De Ventura, L., N. Weissert, R. Tobias, K. Kopp, and J. Jokela. 2016. Overland transport of recreational boats as a spreading vector of zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *Biological Invasions*:1-16.
- Johnson, L. E., and J. T. Carlton. 1996. Post-establishment spread in large-scale invasions: dispersal mechanisms of the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *Ecology* **77**:1686-1690.
- Johnson, L. E., A. Ricciardi, and J. T. Carlton. 2001. Overland Dispersal of Aquatic Invasive Species: A Risk Assessment of Transient Recreational Boating. *Ecological Applications* **11**:1789-1799.
- Karatayev, A. Y., and L. E. Burlakova. 2022. What we know and don't know about the invasive zebra (*Dreissena polymorpha*) and quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*) mussels. *Hydrobiologia*:1-74.
- Karatayev, A. Y., L. E. Burlakova, D. K. Padilla, and L. E. Johnson. 2003. Patterns of spread of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha* (Pallas)): the continuing invasion of Belarussian lakes. *Biological Invasions* **5**:213-221.
- Karatayev, A. Y., D. K. Padilla, D. Minchin, D. Boltovskoy, and L. E. Burlakova. 2006. Changes in Global Economies and Trade: the Potential Spread of Exotic Freshwater Bivalves. *Biological Invasions* **9**:161-180.

## 9 Weiterführende Informationen

- [Schiffsmelde- und -reinigungspflicht ZCH](#)
- [Schiffsmelde- und -reinigungspflicht Kt. BE](#)
- [Reinigungspflicht Hallwilersee Kt. AG](#)
- [Kt. ZG Einwasserungsverbot für ausserkantonale Schiffe](#)
- [Kt. ZH Neobiota Freihaltezone Pfäffikersee](#)
- [Gemeinde Oberägeri, ZG, Zutrittsschranke](#)
- [Lake Tahoe Bootsinspektionen](#)
- <https://www.timeschronicle.ca/pulling-the-plug-on-aquatic-invasive-species/>
- [Weiterführende Informationen zu Monitoringmethoden BIS und Ponar \(Website Eawag\)](#)

## **10 Beilagen**

**10.1 SOPs zum langfristigen Monitoring in befallenen Seen (Eawag 2024)**

**10.2 Auszug aus Zwischenbericht für BAFU vom 23.11.2023**

# SOP für das Quaggamuschel Monitoring

IN SEEN MIT NACHGEWIESENER ODER VERMUTETER QUAGGA-MUSCHEL-PRÄSENZ

Autor\*innen: Silvan Rossbacher, Lars Sturm, Mathys Bourqui, Noemi Wellauer und Piet Spaak

(Stand September 2024)

## Über dieses Dokument

Dieses Dokument dient als Leitfaden für alle Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Quaggamuschel Monitoring in der Schweiz. Es enthält detaillierte Anweisungen für Datenblätter, Datenablage sowie Anleitungen für die Verwendung von Geräten und Standardarbeitsanweisungen (auf Englisch Standard Operating Procedures, SOPs) für Feld- und Laborarbeiten. Es soll die Einführung in das Quaggamuschel Monitoring sowie das laufende Management erleichtern. Das Dokument wurde aus dem Englischen ins Deutsche übersetzt und enthält weiterhin einige Dateinamen und Begriffe, die in englischer Sprache belassen wurden.

Dieses Dokument dient als Ressource, die kontinuierlich weiterentwickelt und verbessert wird. Beiträge von anderen sind willkommen. Es ist möglich, Informationen zu korrigieren, zu aktualisieren, zu präzisieren oder zu ergänzen. Derzeit ist dieses Dokument auf die Monitoringarbeiten an der Eawag abgestimmt. Es kann jedoch einfach auf die Bedürfnisse einzelne Kantone oder für spezifische Gewässer angepasst werden.

## Inhaltsverzeichnis

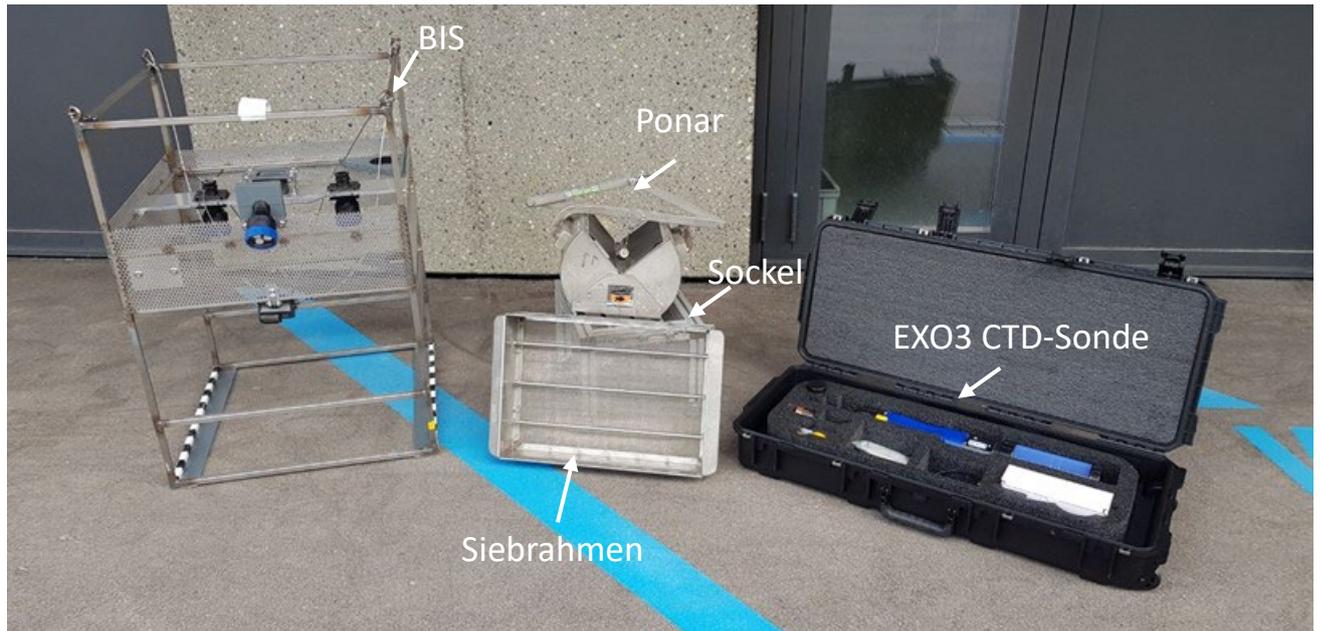
Über dieses Dokument .....	2
Glossar .....	4
Feldarbeit .....	4
Material .....	4
BIS-1 Checkliste .....	4
BIS 2 Checkliste.....	6
Ponar Checkliste .....	7
Probennahme mit dem Ponar .....	8
Probennahme mit dem BIS V1 (Stahlrahmen) .....	9
Vorbereitung des BIS V1 .....	9
Probennahme mit dem BIS 1.....	12
Am Ende des Probetags.....	13
Nach einem Probetag (vor dem nächsten) .....	14
Probennahme mit dem BIS-2 (Legierungsrahmen).....	15
Aufbau des BIS-2.....	15
Vorbereitung des BIS-2.....	18
Probennahme mit dem BIS-2 .....	20
Analyse der Daten .....	22
Ordnerstruktur .....	22
Anleitung: Datenblätter Quaggamonitoring .....	22
Standorte_Quagga_Schweiz (Excel-Dokument).....	22
Sample_list_Ponar_BIS_date (Excel).....	22
Shell_length_quagga Switzerland_date .....	23
BIS-Daten aller Seen: lakes_date.....	24
SOP Photoshop BIS .....	25
Nützliche Tastenkombinationen .....	25
Bilder aus dem Video isolieren von GoPro 7 .....	25
Bilder in den GoPro11-Videos isolieren .....	26
Das BIS-Bild auf eine standardisierte Grösse zuschneiden .....	27
Die Flächen mit Muscheln markieren.....	28
Muscheln Zählen auf BIS-Bildern .....	32
Zählen mit Photoshop .....	32
Zählen mit Bild J.....	33
Muscheln aus den Ponar-Proben vermessen.....	35
Ergänzungen .....	37
Probennahme auf Grenzseen und Zoll .....	37

## Glossar

- **BIS:** engl. Benthic Imaging System
- **Ponar:** Greifer zum Sammeln von Sedimentproben. Ab Juli 2024 verwenden wir ein 20-kg-Modell mit einer Probenahme­fläche von 229 mm x 229 mm.
- **Van Veen:** Greifer für die Entnahme von Sedimentproben. Ab Juli 2024 verwenden wir ein 2L-Modell mit  $\pm 260 \text{ cm}^2$  Probenahme­fläche.

## Feldarbeit

### Material



### BIS-1 Checkliste

Das BIS-1 war der erste Versuch, ein Benthic Imaging System zu entwickeln. Wir empfehlen, wann immer möglich das BIS-2 zu verwenden, da die Kameras eine höhere Auflösung liefern und die Vorrichtung leichter zu transportieren ist.

#### Montiert auf BIS-Rahmen:

- 3 Tauchlampen
- 2 GoPro HERO7
- Haltevorrichtung für Sonde
- Karabinerhaken am Befestigungskabel

### Box mit GoPro und Batterien:

- 2 GoPro HERO7 Kameras
- Tablet (Samsung Galaxy Tab Active3).
  - o *Hinweis: Das Tablet ist derzeit mit dem BIS V2-Material untergebracht. Falls es benötigt wird, bitte ausdrücklich erwähnen.*
- Batterien für die Lampen  
(Es ist Platz für 4 Batterien, das System benötigt 3 auf einmal. Wir empfehlen, 6 Batterien bereitzuhalten.)
- 2 GoPro Akku-Ladegeräte



### Tasche mit Feldetiketten und Batterien

- 3 Falkenröhren mit je einer Batterie für Tauchlampen
- Schreibmaterial
- Ausgedruckte Etiketten für die Videos (eine Vorlage ist vorhanden)
- Ersatzbatterien für die EXO3-Sonde (Wir empfehlen, zwei zusätzliche, volle Batterien bereitzuhalten.) Es handelt sich um normale Mono-D-Batterien.



### Tasche mit Ersatzmaterial

- Sammlung von Ersatzteilen einschliesslich:
  - o GoPro HERO5 (wird in einer separaten Tasche aufbewahrt)
  - o 1 Set an Pins für den Ponar, Schrauben für GoPro-Halter
  - o Ersatz-O-Ringe für Lampen



### 2 Taschen mit Ladegeräten

- Insgesamt 5 Ladegeräte für Tauchlampenbatterien
- Kabel und Adapter USB-C (GoPro, Tablet)
- Adapter EU



### Tasche mit Taucherlampen

- 3 Tauchlampen
- 1 Tauchlampenklammer
- 2 Tuben Silikonfett



### Tasche mit Go-Pro-Gehäuse"

- 2 Go-Pro-Gehäuse



### Exo 3-Sonde

- Exo-Sonde + Kalibrierungsbehälter (der blaue Ansatz an der Sonde)
- Batterien
- Handbuch für die Kalibrierung
- Werkzeug zum Lösen des Batteriedeckels
- Spritze zum Spülen der Membran
- Adapter für Kabelanschluss und Draht



*Hinweis: Zu beachten ist, dass noch nicht bestätigt wurde, ob diese Sonde zur Vermietung zur Verfügung stehen wird. Die Sonde ist teuer, und die Handhabung sollte mit Vorsicht erfolgen.*

### Ergänzendes Material

- Klemmbrett
- Feldprotokoll
- MilliQ-Wasser zum Abspülen der Sonde
- Externe Festplatte zum Speichern von GoPro-Videos (die BIS-2-GoPro-Kameras produzieren etwa 85 GB Daten pro Tag)

### BIS 2 Checkliste

**Für den Betrieb des BIS-2 werden die oben aufgelisteten Taschen mit den Feldetiketten und Batterien, dem Ersatzmaterial sowie den Ladegeräten benötigt.**

### BIS-2 Box mit GoPro, Batterien und Tauchcomputer

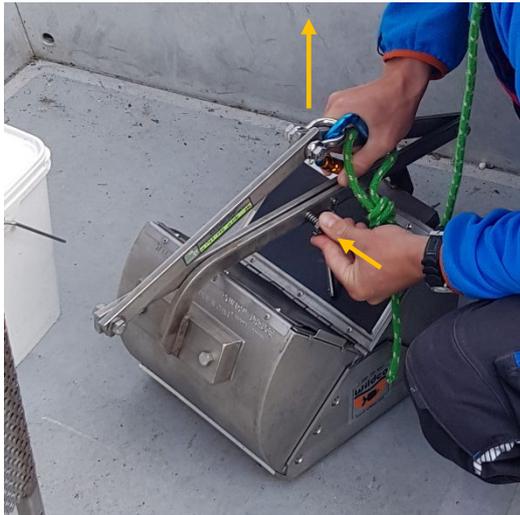
- 2 GoPro HERO11 Black Kameras
- Tablet (Samsung Galaxy Tab Active3)
- 2 GoPro-Ladegeräte für HERO11-Akkus
- Tauchcomputer Shearwater Perdix 2 Ti
- GoPro-Batterien (8 ab Juli 2024)
- 2 SD-Adapter für microSD
- 1 microSD-, SD-, USB-C- und USB-A-Adapter
- **Diese Box enthält keine Batterien für die Tauchlampen!**



## Ponar Checkliste

- Probenehmer (Ponar oder Van Veen)
- Karabiner
- Stahlrahmen-Sieb
- Kleines Sieb
- Ponar-Sockel
- Eimer
- Zip-Beutel (3 pro Standort)
- Wasserfester Marker für Etiketten
- 70% EtOH zur Reinigung der Etiketten von den Eimern
- Kühlbox für Proben, mit Eis
- Falcon-Röhrchen (optional)

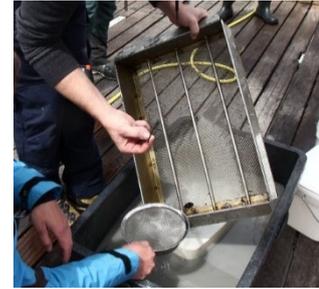
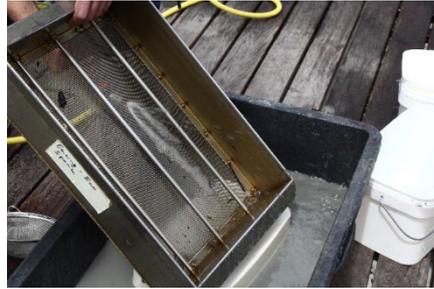
## Probennahme mit dem Ponar



1. **Ponar an der Winde sichern:** Der Ponar wird mit dem Karabinerhaken an der Winde befestigt. Dabei sollte das Seil locker sein und der Ponar auf dem Boden aufliegen.
2. **Einsatz vorbereiten:** Die Sicherheitsnadel wird entfernt und der Auslösestift eingesetzt. Um zu verhindern, dass sich der Bolzen löst, wird am Karabiner gezogen, um Spannung auf den Bolzen auszuüben. Das Seil wird aufgewickelt, bis es straff ist.
  - a. Wenn die Spannung zunimmt, bleibt der Auslösestift in seiner Position, bis die Spannung wieder aufgehoben wird – dies sollte geschehen, wenn der Ponar den Seegrund erreicht.
  - b. **Wichtig:** Niemals die Hände zwischen die Stahlstangen des Ponar halten, wenn dieser aufgehängt ist. Der Ponar kann unerwartet auslösen, beispielsweise wenn die Winde ruckt, was zu schweren Verletzungen führen kann, wenn sich die Finger in der falschen Position befinden. Die Sicherheitsnadel sollte immer eingesteckt werden, wenn keine aktive Probenahme erfolgt. Zum Führen des aufgehängten Ponar wird der Karabinerhaken festgehalten.
3. **Einsetzen:** Der Ponar wird langsam ins Wasser hinabgelassen, bis er den Seegrund erreicht (eine Verringerung der Geschwindigkeit in den letzten 5m des Abstiegs erhöht erfahrungsgemäss die Chancen auf eine erfolgreiche Probenahme). Nachdem das Kabel schlaff geworden ist, wird es langsam eingezogen, bis ein Stoss am Kabel spürbar ist: Dies zeigt an, dass sich der Ponar im Sediment verfangen hat und eine Probe entnommen wurde. Weiter spulen, bis der Ponar das Wasser durchbricht.
4. **Sediment sammeln:** Der Ponar wird auf das grosse Stahlrahmensieb oder den Sockel gelegt, je nachdem, wie viel Zeit zur Verfügung steht. Die Klappen auf der Oberseite des Ponar werden geöffnet.
  - a. Wenn die Zeit zum Sammeln begrenzt ist, wird empfohlen, die Ponar-Proben in Eimer zu leeren, die später gereinigt werden können. Dazu wird ein Eimer unter den Sockel gelegt. Alle anderen Schritte sind ähnlich.
5. **Reinigung des Ponar:** Der Ponar wird gründlich mit Seewasser gereinigt, wobei darauf geachtet wird, dass alle Sedimente im Sieb oder Eimer landen. Der Ponar kann nun entweder mit dem Auslösestift startklar gemacht oder nach dem Setzen der Sicherheitsnadel verstaut werden.

Reinigung der Probe:

1. **Reinigung:** Die Probe wird in das Stahlrahmensieb gelegt, grob verteilt und mit Seewasser gewaschen. Bei der Entfernung von Ablagerungen (wie Blätter oder Steine) sollte darauf geachtet werden, dass keine Muscheln enthalten sind.
2. **Isolieren der Muscheln:** Nachdem die Muscheln im Stahlrahmensieb gereinigt wurden, werden sie durch das kleinere Metallsieb gesiebt und in einen Ziplock-Beutel gegeben. Der Beutel wird beschriftet und in einer Kühlbox aufbewahrt. Die Beschriftung sollte folgende Angaben enthalten: Datum, Inhalt, See, Ort, Probe. Ein Beispiel für die Beschriftung könnte sein: „07.06.2024, Quagga Genfersee, Qua 6.5, S2“.



#### Probennahme mit dem BIS V1 (Stahlrahmen)

**Achtung!** Da wir in erster Linie das BIS V2 verwenden, können einige Materialien, die ursprünglich für das BIS V1 bestimmt waren, mit dem BIS V2 aufbewahrt sein.

#### Vorbereitung des BIS V1

1. Die Batterien werden mit dem Pluspol nach oben in die Exo-Sonde eingelegt. **Der Deckel wird anschliessend mit dem Spezialschlüssel fest verschlossen, wobei darauf geachtet wird, dass kein Wasser ins Batteriefach gelangt. Der Verschluss sollte nicht zu fest angezogen werden.**

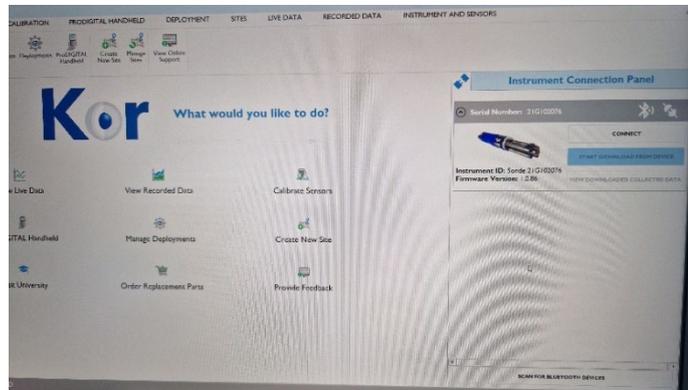


2. Der DO-Sensor (Sauerstoffsensor) muss stets feucht bleiben. Ein Deckel kann aufgebracht werden, um dies sicherzustellen. *Vor der Probenahme muss der Gummideckel entfernt werden.* Falls kein Deckel verwendet wird, sollte der DO-Sensor, wenn er sich nicht im Wasser befindet, regelmässig mit Wasser besprüht werden.



3. Der Magnetschlüssel wird verwendet, um Bluetooth auf der Exo-Sonde zu aktivieren. Ein rotes Licht sollte flackern, während ein blaues Licht konstant leuchten sollte. Falls dies nicht der Fall ist, den Magnetschlüssel wiederholt gegen den Schalter halten, bis die Lichter wie beschrieben leuchten. Die Kor-Software auf dem Computer wird gestartet. Unter „Bluetooth-Geräte suchen“ wird die Sonde unter „Geräte“ angezeigt (dies kann einige Zeit in Anspruch nehmen). **Hinweis:** Das konstante blaue Licht zeigt an, dass die Sonde bereit ist, sich über Bluetooth zu verbinden, während das flackernde blaue Licht bedeutet, dass die Sonde bereits mit einem Gerät verbunden ist. Sollte das blaue Licht flackern, die Sonde jedoch nicht in der Kor-Software angezeigt werden, kann das Problem durch Warten oder Aktualisieren der Anzeige (durch erneutes Klicken auf „Nach Bluetooth-Geräten suchen“) behoben werden.

- a. Die DO- und Tiefensensoren können nun kalibriert werden. Es wird empfohlen, den Tiefensensor vor jeder Probenahme zu kalibrieren.



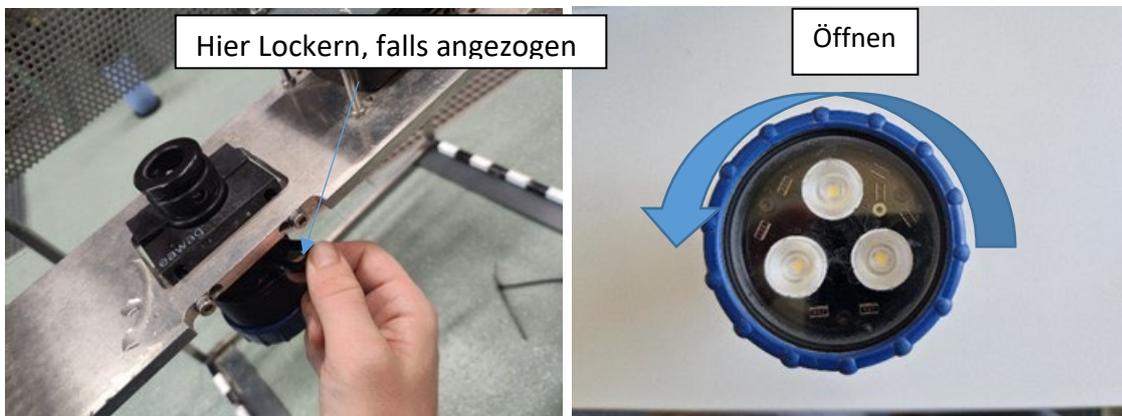
4. Die Exo-Sonde wird mit den Schrauben fest an der Halterung angebracht. Dabei sollte sich die Klemme auf dem gelben Band befinden. Wenn das Gummi abgenutzt ist, besteht die Gefahr, dass die Sonde abrutscht. In diesem Fall sollten zusätzlich Kabelbinder verwendet werden, um die Sonde weiter zu sichern. Der Sicherungsdraht wird eingehängt, um zusätzlichen Halt zu gewährleisten.



- Die Batterien der GoPro HERO7-Kameras werden aufgeladen und überprüft. Sicherstellen, dass die Linse und das Glas des Gehäuses sauber und frei von Verunreinigungen sind. Die GoPro-Kamera wird in das Gehäuse eingelegt. Die Top-Cam muss mit den 4 Schrauben fest fixiert werden. Diese Schrauben werden so angezogen, dass sich der Kunststoff leicht verbiegt, um eine sichere Befestigung zu gewährleisten. Die Side-Cam wird nur über das Gehäuse befestigt.



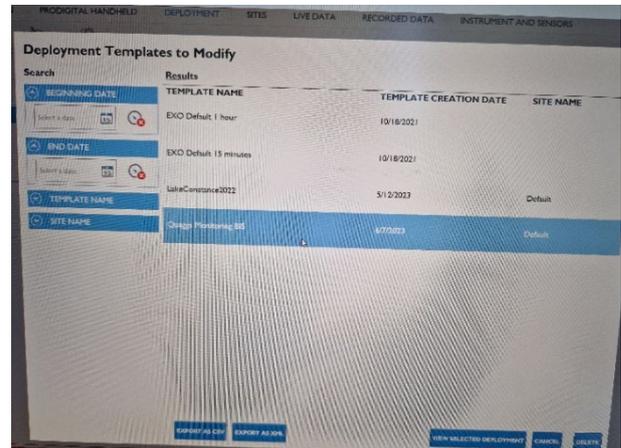
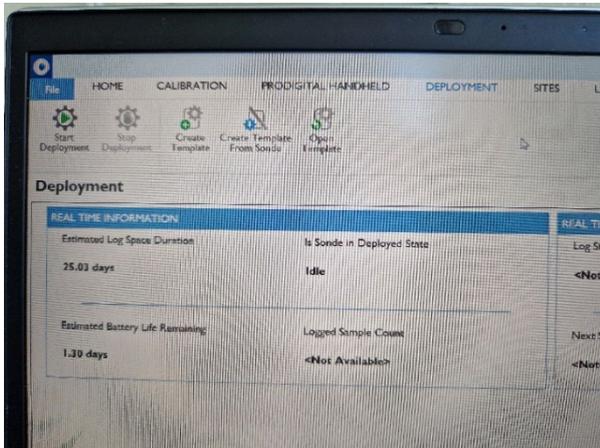
- Lege die Batterien in die Tauchlampen ein. Man öffnet die Lampen, indem der Kopf gegen den Uhrzeigersinn gedreht wird. **Schraube die Lampen nicht ganz auf, sonst schaltet sie sich ein und erhitzt sich, wenn sie längere Zeit ausserhalb des Wassers ist.**



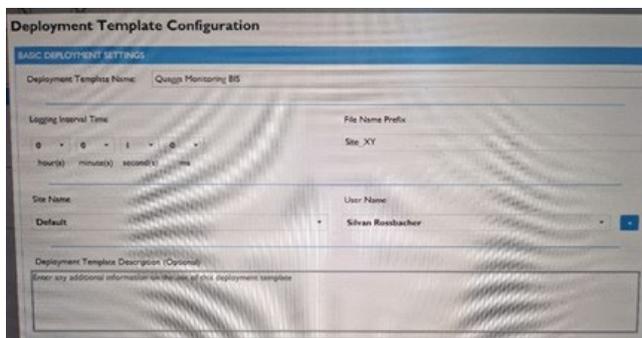
Wichtiger Hinweis: Es wird empfohlen, sicherzustellen, dass die Probenahmestellen im Voraus in KOR gespeichert wurden. Um gespeicherte Standorte anzuzeigen, wird in KOR auf „Standorte“ geklickt und zu den vorhandenen Standorten navigiert. Neue Standorte können auf diese Weise auch hinzugefügt werden. Der wichtigste Parameter, der eingegeben werden muss, ist der Name des Standorts.

## Probennahme mit dem BIS 1

1. Die Startzeit und die Koordinaten werden im Feldprotokoll festgehalten, entweder auf einem physischen Blattpapier oder in einer Excel-Datei.
2. Bluetooth wird an der Exo-Sonde mit dem Magnetschlüssel aktiviert. Wenn die Sonde durch ein blaues Flackerlicht aufleuchtet, ist sie bereit für die Verbindung (siehe oben für die Einrichtung). Sobald die Sonde verbunden ist, wird auf „Deployment“ geklickt und dann auf „Create“.



- a. Unter „Dateiname“ wird der Name des Sees, das Jahr und der Standort eingetragen, z.B. „LC\_2023\_FA“. Dieser Name wird später verwendet, wenn die Datei aus KOR exportiert wird. Aus der Liste wird der Standort ausgewählt, der beprobt werden soll. Anschliessend auf „Speichern und auf Sonde anwenden“ klicken. Es öffnet sich ein Fenster, in dem gefragt wird, ob mit der internen Protokollierung begonnen werden soll.



- b. Die Aufzeichnung beginnt, sobald auf „Ja“ geklickt und das Startintervall bestätigt wird. Um die Protokollierung zu beenden, wird auf „Einsatz beenden“ geklickt. Für detaillierte Informationen kann das Exo-Handbuch herangezogen werden.

3. Beide GoPro-Kameras werden gestartet. Ein Stück Papier wird verwendet, um die Stelle zu kennzeichnen, die gefilmt werden soll. Das Papier wird etwa 5 Sekunden lang vor beide Kameras gehalten. Es wird überprüft, ob die Kameras auf die Einstellung 2,7K/30/W konfiguriert sind.



4. **Lampen überprüfen:** Die Lampen werden eingeschaltet. Es sollte überprüft werden, dass das Licht hell genug ist. Falls das Licht nicht ausreichend hell ist, werden die Batterien gewechselt.
5. **BIS ins Wasser lassen:** Das BIS wird vorsichtig ins Wasser hinabgelassen und bis etwa 3 Meter über dem Seegrund abgesenkt.
6. **BIS sanft absenken:** Die langsamste Einstellung der Winde wird verwendet, um das BIS so sanft wie möglich auf den Seegrund abzulassen. Es wird dort 60s lang liegen gelassen.
7. **BIS anheben und wieder absenken:** Das BIS wird etwa 3m hochgehoben und dort für etwa 30s ruhen gelassen, bevor es wieder abgesenkt wird.
8. **Wiederholung:** Schritte 3 und 4 werden mindestens dreimal wiederholt. Bei tiefen Stellen oder schlechten Bedingungen (z. B. windig) sollten 4 oder 5 Wiederholungen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass 3 gute Bilder aufgenommen werden. Bei starker Bewegung oder Unruhe können direkt beim Auftreffen auf den Grund Bilder gemacht werden, ohne 60 Sekunden am Grund zu warten. In diesem Fall sollten 4 oder sogar 5 Aufnahmen gemacht werden.
9. **BIS zurückholen und Videos prüfen:** Das BIS wird zurück an die Oberfläche gebracht. Sobald es wieder auf dem Boot ist, werden zuerst die Lampen ausgeschaltet und dann die Aufzeichnung durch Drücken der oberen Taste am GoPro-Gehäuse beendet. Es wird mit der GoPro-Quik-App auf dem Tablet überprüft, ob die Videos gut sind (in der Regel werden 3 klare Treffer benötigt, bei denen das BIS flach auf den Seeboden fällt und das Bild nicht von einer Sedimentwolke verdeckt wird). Wenn die Videos gut sind, wird mit Punkt 7 fortgefahren. Andernfalls wird die Probenahme wiederholt.
10. **GoPro ausschalten:** Die GoPro wird ausgeschaltet, indem die obere Taste 5 Sekunden lang gedrückt wird.
11. **Sonde beenden:** Die EXO3-Sonde wird mit der KOR-Software verbunden, und die Bereitstellung wird beendet (Bereitstellung > Bereitstellung beenden).
12. **Sonde ausschalten:** Die Sonde wird mit dem Magnetschlüssel ausgeschaltet, bevor zum nächsten Standort gewechselt wird.

**Hinweis:** Die Batterien sollten regelmässig gewechselt werden. Die Lampenbatterien sollten maximal 30-45min lang getaucht werden (entspricht ~ 3 Tauchgängen in geringen Tiefen und einem Tauchgang in >210m Tiefe), auch wenn sie noch funktionieren (für eine lange Lebensdauer der Batterien ist es besser, ~20-40% ihrer Gesamtkapazität zu verwenden). Die Lebensdauer der GoPro- und EXO3-Batterien ist stark von der Wassertemperatur abhängig. Bei Unsicherheit empfehlen wir, die Batterien vor einem Tauchgang auszutauschen.

#### Am Ende des Probetags

- Videodateien von den GoPros herunterladen:
  - o Die GoPro öffnen und die SD-Karte entfernen. Die SD-Karte wird an den Computer angeschlossen.
  - o Zu den Videos navigieren und diese auf ein Sicherungsgerät übertragen. Da die Videodateien sehr gross sein können (etwa 7GB pro Video), wird empfohlen, eine externe Festplatte mit ausreichend Speicherplatz mitzunehmen.
  - o Nach dem Exportieren der Videodateien sollten diese aus dem internen Speicher der GoPro gelöscht werden, um Platz für den nächsten Probetag zu schaffen.
- Download der EXO3-Sondendaten:
  - o Die Sonde wird über die KOR-Software mit dem Computer verbunden.
  - o Auf „Neue Daten herunterladen“ klicken. Dieser Vorgang kann eine Weile dauern.
  - o Zur Registerkarte „Aufgezeichnete Daten“ navigieren und auf „Suchen“ klicken. Die letzte Messung wird durch Auswahl des Datums gefunden.

- Einen Einsatz auswählen und anzeigen, indem man auf „Ausgewählte Daten anzeigen“ klickt. Anschliessend auf „Aufgezeichnete Daten“ gehen und „Als CSV exportieren“ wählen, um die Daten als CSV-Datei zu exportieren.
  - Es wird empfohlen, die Daten einzeln zu exportieren, um die Analyse zu erleichtern. Beim gleichzeitigen Export mehrerer Standorte wird ein einzelnes CSV-Dokument erstellt.
  - Ein R Markdown-Skript (.Rmd) steht zur Verfügung, um die einzelnen CSV-Dateien zu einer Datei zu kombinieren:
    - **Bereinigte und kombinierte Datei:** Eine CSV-Datei, die die Daten aller im Quellordner bereitgestellten CSV-Dateien enthält und nur die Datenpunkte isoliert, bei denen das BIS unter Wasser ist.
    - **1m über dem Seegrund:** Eine CSV-Datei mit Datenpunkten, die während des BIS-Abstiegs 1 m über dem Seegrund gesammelt wurden.
    - **1m über dem Seegrund gemittelt:** Eine CSV-Datei mit einer Zeile pro Standort, die die gemittelten Werte pro Standort enthält.
- **Sonde abbauen:** Die Sonde wird ausgebaut und die Batterien werden entfernt.
- **Batterien aus den Tauchlampen entfernen:** Die Batterien werden aus den Tauchlampen entfernt.

#### Nach einem Probentag (vor dem nächsten)

- Alle Batterien aufladen
  - GoPro-Akkus
  - Batterien für Tauchlampen
- Kontrolle, ob genügend Verbrauchsmaterial vorhanden ist
  - Zip-Beutel
  - Schreibutensilien
  - Batterien für die EXO3-Sonde
  - Batterien für den Tauchcomputer

## Probennahme mit dem BIS-2 (Legierungsrahmen)

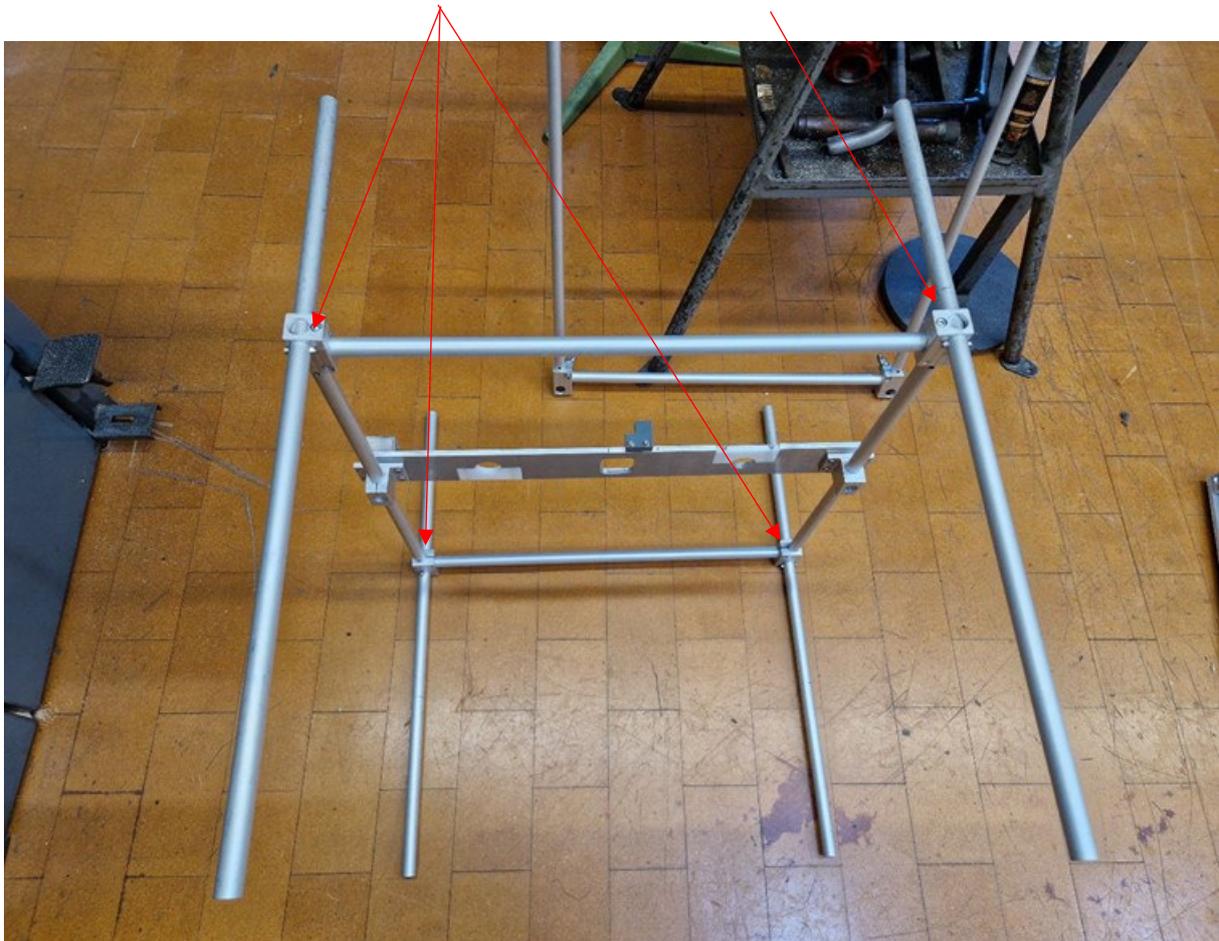
### Aufbau des BIS-2

Das BIS-2 wird normalerweise zerlegt gelagert:

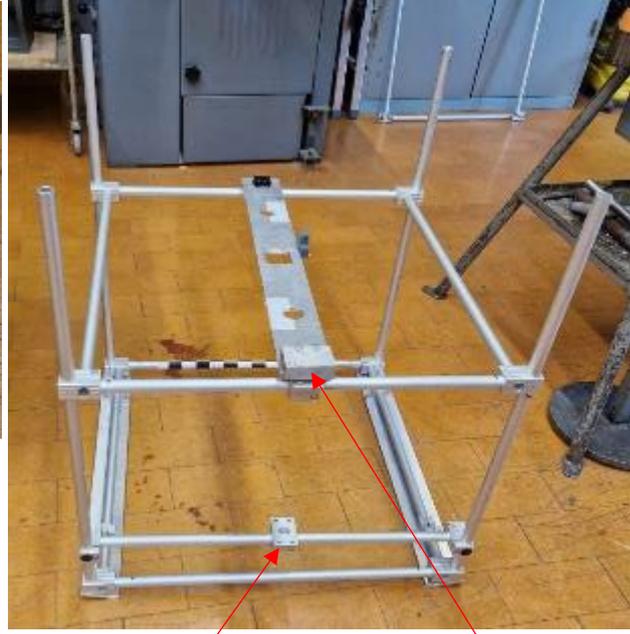


Von oben nach unten und von links nach rechts: Tauchcomputerhalterung, 4 Rohre für die Seiten, untere Plattform, mittlere Plattform und oberer Rahmen.

1. Die mittlere Plattform nehmen und die Rohre in den Ecken einfahren (die Schrauben an den Rohren sollten sich auf der Unterseite der mittleren Plattform befinden). Dann die Schrauben festziehen, damit die Rohre befestigt sind:



- Die Stange für den Tauchcomputer auf die Seite mit dem Gewicht auf die Kamerastange setzen. Die Schrauben noch nicht festziehen. Das in Punkt 1 montierte Stück auf die untere Plattform setzen. Die Rohre unten angleichen, dann die Schrauben in jeder Ecke festziehen. Das Rohr für den Tauchcomputer ganz nach unten schieben und die 2 Schrauben festziehen.



- Die obere Plattform aufsetzen und das Ende der Rohre an der Kante der Aluminiumblöcke ausrichten. Die Schrauben festziehen.



#### 4. GoPro-Kameras montieren:

- a. Auf der Seite kann die Kamera einfach in die Halterung geschoben werden. Um den richtigen Winkel von 60° zu erhalten, benutzt man ein Lineal, das man wie auf dem Bild gezeigt auf das Gehäuse legt. Sobald die Linie auf der Markierung auf der Leiste liegt, ist der Winkel eingestellt. Die Kameras müssen festgezogen werden.
- b. Das Gehäuse für die Kamera oben auf die Stange setzen und mit der Schraube festziehen. Dabei darauf achten, dass das Gehäuse gerade auf der Stange sitzt.



5. **Lampen montieren:** Den Lampenkopf am Ende der Lampe anschrauben. Die Lampe durch das Loch schieben, bis sie die Halterung berührt, und dann etwa 2mm nach unten bewegen. Die beiden Schrauben anziehen, um die Lampe festzuklemmen. Der Lampenkopf muss sich lösen lassen, ohne dass sich der Rest der Lampe dreht.

Die Seitenleuchte direkt über der Seitenkamera am oberen Rahmen montieren. Die Leuchte in einem Winkel befestigen, der etwas horizontaler ist als die Seitenkamera.

6. Den Karabinerhaken mit den Stahlseilen einklicken.

**Hinweis:** Auf dem Bild ist es falsch dargestellt. Die Seitenlampe sollte auf dem oberen Rahmen und nicht auf der mittleren Plattform montiert werden.



7. Es gibt die Möglichkeit, Stahlstangen als zusätzliche Gewichte an der Unterseite des BIS anzubringen. Dies kann bei Wind oder Strömung hilfreich sein.



#### Vorbereitung des BIS-2

1. Den Tauchcomputer direkt am Rahmen auf der Halterung montieren: Die Klickverschlüsse links und rechts des Alu-Blocks schliessen und das restliche Band hinter dem Computer festbinden. Die Sicherheitsleine einfädeln.

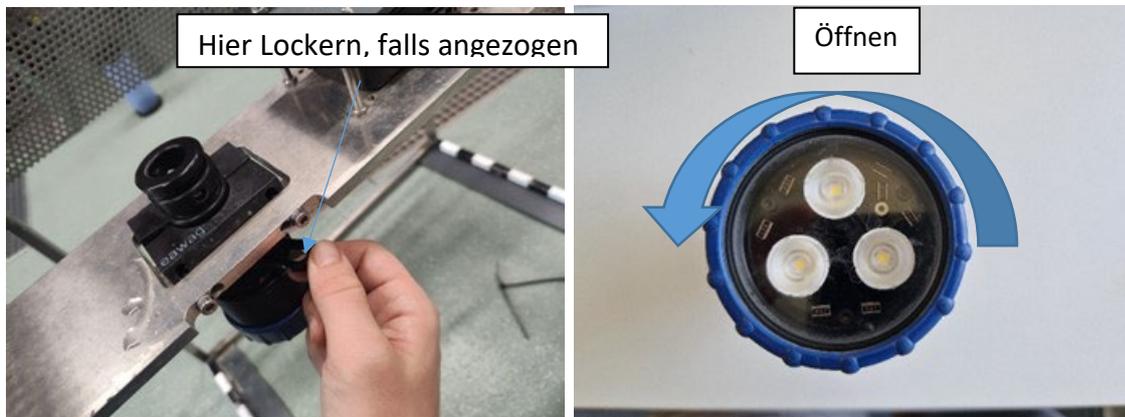


2. Die Batterien der GoPro-Kameras überprüfen. Sicherstellen, dass die Linse und das Glas des Gehäuses klar sind. Die Kameraeinstellungen prüfen: Die obere Kamera sollte auf Vollbild 5.3K 8:7/30W eingestellt sein, die seitliche Kamera auf Standard 5.3K/30/W.

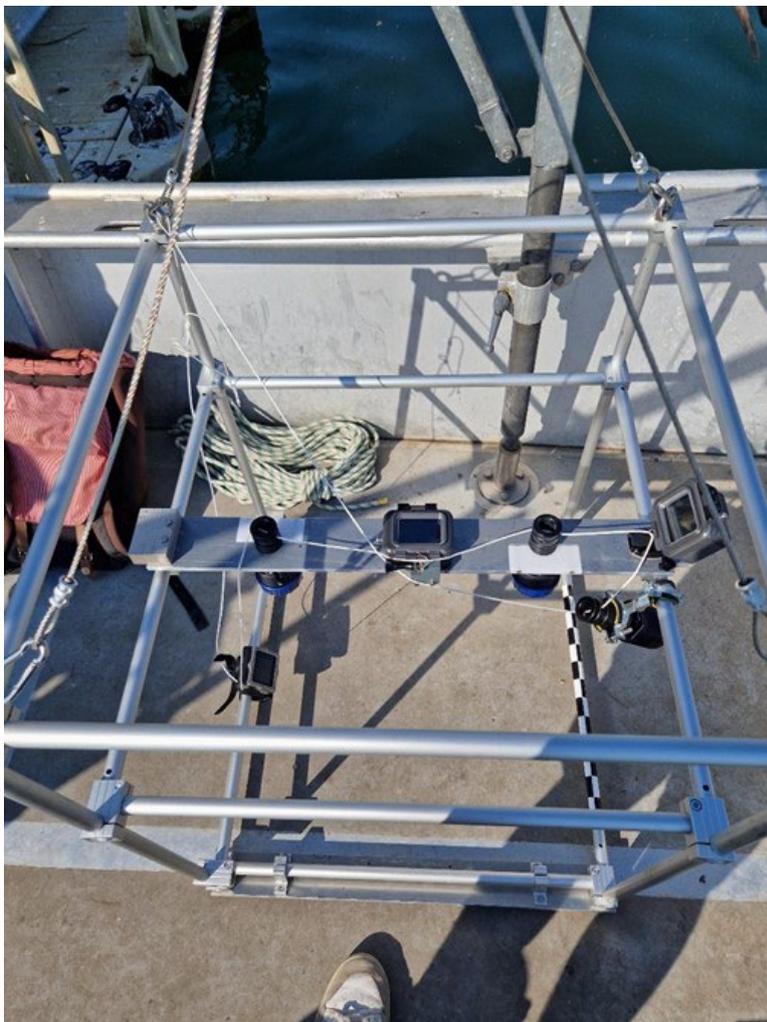


3. Die Kameras wieder ausschalten und die GoPro-Kamera in die wasserdichten Gehäuse legen.
4. Die Batterien in die Tauchlampen einlegen, indem der Kopf der Lampen durch Drehen gegen den Uhrzeigersinn geöffnet wird. **Die Batterien nicht zu fest anziehen, um zu verhindern, dass**

sich der falsche Teil des Lampenkopfes lockert und die Wasserdichtigkeit beeinträchtigt wird. Die Lampen nicht einschalten, wenn sie sich längere Zeit ausserhalb des Wassers befinden, da sie sich schnell erhitzen können.



Die Sicherungsleine durch jedes Gerät führen und am oberen Karabiner befestigen.



## Probennahme mit dem BIS-2

1. Den Tauchcomputer einschalten, indem beide Tasten gleichzeitig gedrückt werden. Das Display schaltet sich ein.



- a. Die linke Taste drücken, um durch die Menüs zu navigieren, und die rechte Taste drücken, um das ausgewählte Menü zu bestätigen.
- b. **Vor der ersten Probenahme des Tages sicherstellen, dass sich der Tauchcomputer im Gauge-Setup befindet.** Dies kann überprüft werden, indem zu «System setup» navigiert wird.



2. Die Lampen einschalten und prüfen, ob das Licht hell genug ist. Falls nicht, die Batterien wechseln.
3. Das BIS vorsichtig ins Wasser lassen und auf etwa 3m über dem Seegrund herunterführen.
4. Die langsamste Einstellung der Winde verwenden, um das BIS so gleichmässig wie möglich auf den Seegrund abzusenken. Es dort 60s lang liegen lassen.
5. Das BIS ca. 3m hochheben, dort etwa 30s lang warten und dann wieder absenken.
6. Die Schritte 5 und 6 mindestens dreimal wiederholen. Bei tiefen Standorten oder schlechten Bedingungen (z. B. windig) 4 oder 5 Wiederholungen durchführen, um sicherzustellen, dass mind. 3 gute Bilder gemacht wurden.
  - a. Falls sich das Boot stark bewegt, das BIS nur 10s lang auf den Seegrund ruhen lassen, bevor es wieder angehoben wird. In diesem Fall mindestens 5 Wiederholungen durchführen.
7. Das BIS zurück an die Oberfläche bringen. Sobald das BIS wieder auf dem Boot ist, zuerst die Lampen ausschalten und dann die Aufzeichnung durch Drücken der oberen Taste am GoPro-Gehäuse beenden.

- a. Mit der GoPro-Quik-App auf dem Tablet überprüfen, ob die Videos gut sind (in der Regel werden 3 klare Treffer benötigt, bei denen der BIS flach auf den Seeboden fällt und das Bild nicht von einer Sedimentwolke verdeckt wird).
  - b. Wenn die Videos gut sind, mit Punkt 8 fortfahren. Andernfalls die Probenahme an dieser Stelle wiederholen.
8. Die GoPro ausschalten, indem die obere Taste 5 Sekunden lang gedrückt wird.
9. Mit der EXO3-Sonde und der KOR-Software verbinden und die Bereitstellung beenden (Bereitstellung > Bereitstellung beenden).
10. Die Sonde mit dem Magnetschlüssel ausschalten, bevor zum nächsten Standort gewechselt wird.
11. Hinweis: Die Batterien regelmässig wechseln. Die Lampenbatterien sollten maximal 30-45min getaucht werden (entspricht etwa 3 Tauchgängen in geringen Tiefen und einem Tauchgang in >210m Tiefe), auch wenn sie noch funktionieren (für die langfristige Lebensdauer der Batterien ist es besser, ~20-40% ihrer Gesamtkapazität zu verwenden). Die Lebensdauer der GoPro- und EXO3-Batterien hängt stark von der Wassertemperatur ab (bei Unsicherheit die Batterien vor einem Tauchgang wechseln). Wenn alle Proben an einem Ort gesammelt wurden, die Endzeit im Feldprotokoll notieren.

#### **Zu tun nach jedem Feldtag:**

- Die GoPro-Dateien von den seitlichen und oberen Kameras herunterladen und die Speicher der GoPro-Kameras löschen.
- EXO3-Daten herunterladen.
- Die GoPro-Akkus aufladen.
- Die Batterien der Tauchlampe aufladen.
- Sicherstellen, dass genügend Verbrauchsmaterial vorhanden ist: Tauchcomputer-Batterien, EXO3-Batterien, Papier, Schreibutensilien, Zip-Beutel.

#### **Anmerkungen:**

- **Die Videodateien werden sehr gross sein, 5-10GB pro Video. Eine externe Festplatte mit ausreichend Speicherplatz mitnehmen.**
- Die SD-Karte aus der GoPro-Kamera nehmen und in einen Computer einlegen.
- Wenn die Videos zu lang sind, schneidet die GoPro-Software sie automatisch ab (GX010xxx ist die erste Datei, GX020xxx die zweite, GX030xxx die dritte, usw.). Nur die .mp4-Dateien sind zu behalten, die anderen (.lrv und .thm) können gelöscht werden. Es wird empfohlen, alle Dateien kurz nach dem Export umzubenennen, um das Risiko späterer Verwirrung zu verringern.
- Es ist möglich, die Daten des Tauchcomputers herunterzuladen (siehe Handbuch Shearwater Perdix2).

## Analyse der Daten

### Ordnerstruktur

**Die Daten müssen strukturiert abgelegt werden, so dass kein Risiko eines Datenverlustes besteht. Da dies von Organisation zu Organisation unterschiedlich ist, stellen wir hier nicht die Eawag-Struktur dar. Gerne beraten wir Behörden in diesen Fragen.**

### Anleitung: Datenblätter Quaggamonitoring

#### Standorte\_Quagga\_Schweiz (Excel-Dokument)

Diese Datei enthält alle Standorte, die bisher in der Schweiz beprobt wurden. Sie enthält folgende Felder

- **station\_id:** Die fortlaufende Nummerierung ermöglicht die eindeutige Zuordnung eines Ortes. Wenn ein neuer Standort überwacht wird, bitte am Ende der Datei anmerken und die Nummerierung fortführen.
- **station\_name:** Dies ist der eindeutige Name des Standorts, der zur Kennzeichnung der Proben verwendet wird.
- **See:** Der See oder Wasserkörper, zu dem der Standort gehört.
- **WGS84\_X** und **WGS84\_Y:** WGS84 Längengrad (x) und Breitengrad (y). Wir verwenden WGS84-Koordinaten. Diese werden in Google Maps verwendet und können damit ermittelt werden. In manchen Fällen ist das das einzige verfügbare GPS.
- **Tiefe:** Dies ist die Tiefe der Probenahmestelle. Sie wird normalerweise mit der Sonde oder dem Tiefensensor am **ersten** Tauchgang des BIS gemessen. Wenn die Tiefe mit einem anderen Gerät gemessen oder von einer Karte abgelesen wurde, bitte in den Kommentaren angeben.
- **Kommentare:** Hier ist Platz für Kommentare und wichtige Anmerkungen.

#### Sample\_list\_Ponar\_BIS\_date (Excel)

Dieses Dokument enthält alle Informationen zu den einzelnen Proben.

- **Probe\_id:** Die fortlaufende Nummerierung ordnet die Informationen einer Probe zu. Jede Probe erhält eine fortlaufende Nummer.
- **station\_id:** Herkunftsort der Probe. Verwendet wird die station\_id aus der Datei "Location\_Quagga\_Switzerland".
- **Probenahmedatum:** Das Datum, an dem die Probe genommen wurde.
- **Kampagne\_Jahr:** Das Jahr der Kampagne.
  - o In einigen Fällen fand das Monitoring Ende Jahr statt oder wurde unterbrochen. Zum Beispiel fand das Monitoring im Obersee am Bodensee 2021 im November und im Untersee im Januar 2022 statt. Beide werden jedoch als Teil des Monitorings fürs Jahr 2021 betrachtet. Hinweis: Nur so verwenden, wenn die Proben nach Jahr und nicht nach genauem Datum ausgewählt werden.
- **Ponar:** Gibt an, ob eine Ponar-Probe entnommen wurde. 1 bedeutet, dass eine Ponar-Probe genommen wurde, 0 das Gegenteil.
- **BIS:** Gibt an, ob eine BIS-Probe entnommen wurde. 1 bedeutet, dass eine BIS-Probe entnommen wurde, 0 das Gegenteil.
- **Fläche\_BIS[m2]:** Fläche des Bildausschnitts des BIS-Bildes in m<sup>2</sup>, normalerweise 50x50 cm, also 0,250m<sup>2</sup>
  - o **Hinweis:** In älteren Kampagnen wurde eine Fläche von 45x50cm, d.h. 0,225m<sup>2</sup>, verwendet.

- **Proportion\_count\_BIS:** Anteil des Bildes, in dem die Muscheln gezählt wurden.
  - o **Erläuterung:** In einigen Fällen wurde nur ein Teil des Bildes gezählt (siehe SOP Photoshop). Dies geschah in der Regel bei Bildern, die zu mehr als 50% mit Muscheln bedeckt waren.
- **Replikat:** Nummer des Replikats der Probe (in der Regel werden drei Exemplare entnommen)
- **Qualität\_BIS:** Qualität des BIS-Bildes.
  - o Gut= Die Muscheln sind deutlich sichtbar und das Bild ist scharf. Es sind keine störenden Objekte oder Sedimentwolken auf dem Bild zu sehen.
  - o Mittel= Das Bild ist nicht ideal, kann aber noch verwendet werden. Z.B. leicht unscharf oder eine leichte Trübung im Wasser oder ein Teil des Bildes ist nicht in Ordnung.
  - o Schlecht= Das Bild ist schlecht und nicht brauchbar.
- **Reliability\_BIS:** Wie zuverlässig ist die Analyse der mit Muscheln bedeckten Fläche auf dem Bild.
  - o Gut= Muscheln deutlich sichtbar, Muscheln sind deutlich vom Rest zu unterscheiden.
  - o Mittel= Entweder ist es schwierig, die Muscheln vom Sediment zu unterscheiden, oder ein Teil des Bildes ist unscharf.
  - o Schlecht= Das Bild ist unscharf, enthält eine grosse Wolke von Schwebstoffen oder ein Teil des Bildes ist verdeckt.
- **Pixel/cm\_photoshop:** Ein Referenzmassstab wird in Photoshop verwendet, um Objekte auf dem Bild messen zu können. Dies sagt uns, wie viele Pixel im Bild einem Zentimeter entsprechen.
  - o Hinweis: Dieser Wert wird in der Regel nur einmal für das erste analysierte Bild einer Monitoring Kampagne gemessen, da sich der BIS-Wert zwischen den Probenahmen nicht verändert. Im Zweifelsfall oder wenn der BIS-2-Rahmen zwischen den Proben eingestellt wurde, sollte der Wert kontrolliert werden.
  - o Siehe Punkt 2 von "Crop BIS picture"
- **Fläche\_ponar\_[m2]:** Die Fläche des verwendeten Ponars. Das Eawag Ponar 9x9 Zoll misst eine Fläche von 0.0523m<sup>2</sup> (229mm x 229mm).
  - o Wenn Proben zusammengefasst werden, einfach die Flächen summieren. Dies war bei einigen der Proben aus dem Bodensee im Jahr 2021 der Fall: Es wurden 3 Proben zusammengelegt und die Fläche betrug deshalb 0,1569 m<sup>2</sup>.
- **Anteil\_Zählung\_ponar:** Der Anteil der Ponar-Stichprobe, der gemessen und gezählt wurde. Auf einer Skala von 0 (nichts) bis 1 (alles wurde gemessen und gezählt).
  - o 1 für eine vollständige Stichprobenzählung eintragen. Wenn die gesamte Stichprobe gezählt wurde, gilt der Wert 1. Wenn nur die Hälfte gezählt wurde, gilt der Wert 0,5 usw.
  - o **Standardverfahren:** Wenn eine Probe mehr als 250g wiegt, wird das gesamte Frischgewicht gemessen, danach werden 250g abgetrennt und gezählt. Der Anteil ist in diesem Fall 250 g/Gesamtgewicht.
- **Kommentare:** Zusätzliche und aussagekräftige Informationen.

#### Shell\_length\_quagga Switzerland\_date

In dieser Datei werden die Muscheln aus den Ponar-Proben eingetragen. Die Datei wird verwendet, um die Muschelanzahl einer bestimmten Art zu notieren und die Biomasse zu berechnen.

- **Record\_nr:** Fortlaufende, spezifische Nummer für jede Muschel (jedes Individuum einzeln).
- **Probe\_id:** Die ID der Probe, zu der die Muschel gehört.
- **Lake:** Der See, in dem die Muschel beprobt wurde.

- **Species:** Die Art der Muschel.
  - o Bei Quagga- und Zebromuscheln galten, Individuen < 5mm als Jungtiere. Dies ist nun nicht mehr erforderlich, da wir beschlossen haben, auch Muscheln zu messen, die zuvor als Jungtiere galten.
- **Site:** Name des Standortes gemäss Blatt "Standorte\_Quagga\_Schweiz"
- **Replicate:** Nummer des Replikats (normalerweise von 1-3), entsprechen S1-S3
- **Shell\_length:** Die Länge der Muschelschale, gemessen mit einer Schieblehre und ohne sie zu zerdrücken.
- **Count:** Gesamtzahl der Muscheln. Die Jungtiere wurden nicht einzeln ausgemessen, sondern nur gezählt. In diese Spalte kann die Anzahl der Muscheln eingetragen werden. Bei zum Beispiel 150 Quaggamuscheln <5mm, wird hier 150 eingetragen. Wenn dann die Summe für jede Probe gebildet wird, werden sie als 150 Muscheln gezählt. Auf diese Weise sparen wir Zeilen.
  - o **Wenn eine Probe 0 adulte oder juvenile Quaggas, Zebromussels, Corbiculas oder Udonidaes enthält, machen wir trotzdem einen Eintrag mit einer 0. Dies verhindert, dass wir bei der Analyse ein NA statt einer 0 erhalten. NA bedeutet, dass keine Probe genommen wurde, eine 0 bedeutet, dass keine Muscheln dieser Art gefunden wurden.**
  - o Bitte NA in die Spalte shell\_length eintragen.

BIS-Daten aller Seen: [lakes\\_date](#)

In dieser Datei befinden sich alle gemessenen/gezählten Daten der BIS-Bilder.

- **Probe\_id:** ID der Probe. Alle Replikate eines Standorts haben die gleiche Proben-ID. Sie werden durch sub\_sample\_id unterschieden.
- **sub\_sample\_id:** Die ID des spezifischen Replikats (siehe oben).
- **Station\_id:** Die ID der Station. Diese wird aus dem Blatt locations\_Quagga\_Switzerland genommen.
- **Stationsname:** Der Name der Station aus dem Blatt locations\_Quagga\_Switzerland.
- **Count:** Anzahl der auf dem Bild gezählten Muscheln. Hier tragen wir die Anzahl so ein, wie sie gezählt wurde, ohne Korrekturen für die gezählte Fläche.
- **Cover\_area\_[cm2]:** Dies ist der Wert für die abgedeckte Fläche aus Photoshop.
- **Replicate:** Nummer des Replikats
- **Bemerkungen:** Weitere Informationen, die wichtig sind.

## SOP Photoshop BIS

### Nützliche Tastenkombinationen

#### Für Adobe Photoshop:

- Shift: zur Auswahl hinzufügen
- Strg + z: Rückgängig machen

#### Für Adobe Premiere Pro:

- Pfeil nach links, Pfeil nach rechts: Bild vorwärts/rückwärts bewegen
- Pfeil nach oben, Pfeil nach unten: zum Anfang/Ende des ausgewählten Videos gehen
- Strg + Umschalt + e: Rahmen exportieren
- L/j: Erhöhen/Verringern der Videowiedergabegeschwindigkeit

### Bilder aus dem Video isolieren von GoPro 7

**Achtung: Dies gilt nur für Videos, die mit der GoPro 7 aufgenommen wurden, d. h. mit dem BIS V1**



1. Photoshop öffnen
2. Datei wählen > Öffnen und Video wählen
3. In der Zeitleiste zum Moment springen, kurz bevor der BIS den Boden erreicht. Sobald das gewünschte Bild da ist, dieses exportieren (Datei > Export > Schneller Export als PNG).
4. Das Bild wie folgt benennen:
  - a. [2 Buchstaben für den See]\_Jahr\_Ort\_Wiederholung\_[Hit oder 1min]\_raw. Hit bedeutet, dass es sich um das Bild kurz vor dem Aufprall auf den Boden handelt. Wenn es sich um das Bild nach einer Minute Wartezeit handelt, 1min statt Hit angeben.
  - b. Beispiele: LC\_2022\_NOG\_S1\_Hit\_raw ist der erste Treffer am Standort NOG am Bodensee während der Überwachung im Jahr 2022. LC\_2022\_NOG\_S3\_1min\_raw wäre die dritte Wiederholung nach einer Minute Wartezeit.

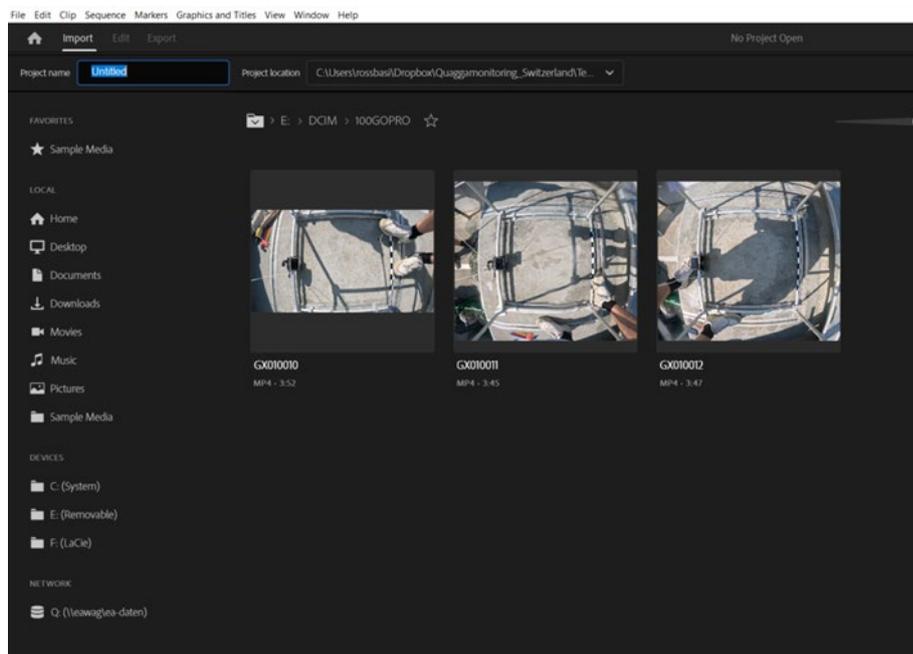
5. Zum Zeitpunkt springen, kurz bevor das BIS wieder angehoben wurde, und das Bild (1min-Frame) speichern. Diesen Vorgang für alle Wiederholungen wiederholen. So entstehen 2 Bilder pro Replikat.
  - a. Hinweis: Auch wenn das Replikat offensichtlich unbrauchbar ist, sollten Hit- und 1min-Frames erfasst werden, um fehlende Einträge in den Daten zu vermeiden.

Dies sind nun die Rohbilder (mit der Endung \_raw). Für jede Teilprobe (Drop) liegt ein "Hit"- und ein "1min"-Bild vor. Die 3 besten Bilder von jeder Stelle auswählen und für die weitere Analyse speichern. Haben die Bilder ungefähr die gleiche Qualität, sollten immer die ersten 3 Bilder verwendet werden.

### Bilder in den GoPro11-Videos isolieren

Photoshop kann die 5,3K-Videos, die von der GoPro 11 mit dem BIS v2 aufgenommen wurden, nicht abspielen. Wir verwenden stattdessen Adobe Premiere.

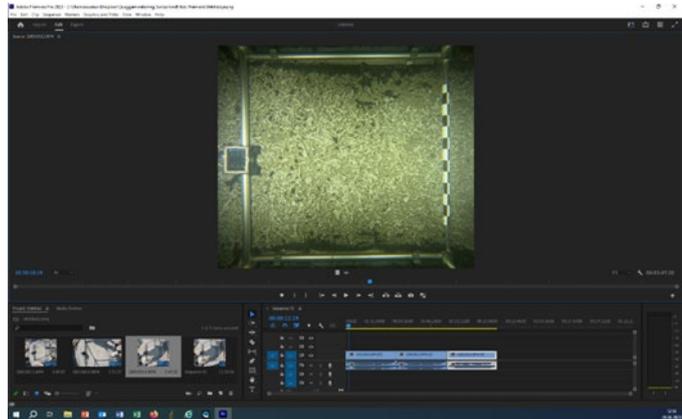
1. Adobe Premiere öffnen. Klicke oben links auf Datei > Neu > Projekt und erstelle ein neues Projekt. Benenne es entsprechend (z. B. LG\_2024\_site).
2. Navigiere auf der linken Seite zu dem/den Ordner(n), der/die die gewünschten Videos enthält/enthalten, und wähle diese aus. Sobald sie ausgewählt sind, importiere die darin enthaltenen Videos, indem du unten rechts im Fenster auf "Erstellen" klickst.



3. Alle ausgewählten Videos sollten nun unten links im Premiere Pro-Fenster angezeigt werden. Eines auswählen, anzeigen und zu dem Moment navigieren, kurz bevor der BIS auf den Seeboden trifft (der blaue Schieberegler ermöglicht eine schnelle Navigation, mit den Pfeiltasten links/rechts kann framewise vor- oder zurückgesprungen werden). Sobald das genaue Bild erscheint, dieses exportieren (entweder durch Klicken auf das Kamerasymbol oder durch gleichzeitiges Drücken von Strg+Shift+e). Den Speicherort und Dateinamen festlegen. Es wird das jpeg-Format empfohlen, da es weniger Speicherplatz benötigt als png.
4. Benenne das Bild wie folgt:
  - a. [2 Buchstaben für den See]\_Jahr\_Ort\_Wiederholung\_[Hit oder 1min]\_raw. Hit bedeutet, dass es sich um das Bild unmittelbar vor dem Auftreffen auf den Boden handelt. Wenn es sich um das Bild nach einer Minute Wartezeit handelt, kann dies mit 1min statt Hit angegeben werden.

- b. Beispiele: LC\_2022\_NOG\_S1\_Hit\_raw ist der erste Treffer am Standort NOG am Bodensee während der Überwachung im Jahr 2022. LC\_2022\_NOG\_S3\_1min\_raw wäre die dritte Wiederholung nach einer Minute Wartezeit.
  5. Blättere zu dem Zeitpunkt, kurz bevor das BIS wieder angehoben wurde, und speichere dieses Bild (d. h. den 1-Minuten-Frame). Wiederhole diesen Vorgang für alle angefertigten Wiederholungen. Dies ergibt 2 Bilder pro Replikat
    - a. Hinweis: Auch wenn das Replikat eindeutig unbrauchbar ist, empfehlen wir, die Hit- und 1-Minuten-Frames zu erfassen, um fehlende Einträge in den Daten zu vermeiden.

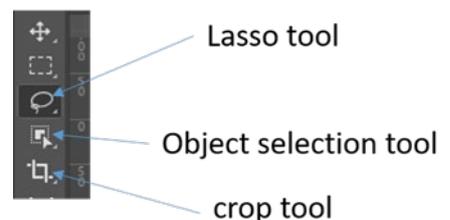
Dies sind nun die Rohbilder (mit der Endung \_raw). Von jeder Teilprobe (Drop) gibt es nun ein "Hit"- und ein "1min"-Bild. Wähle die 3 besten Bilder von jeder Stelle aus und speichere diese für die weitere Analyse. Wenn sie ungefähr die gleiche Qualität haben, verwende immer die ersten drei Bilder.



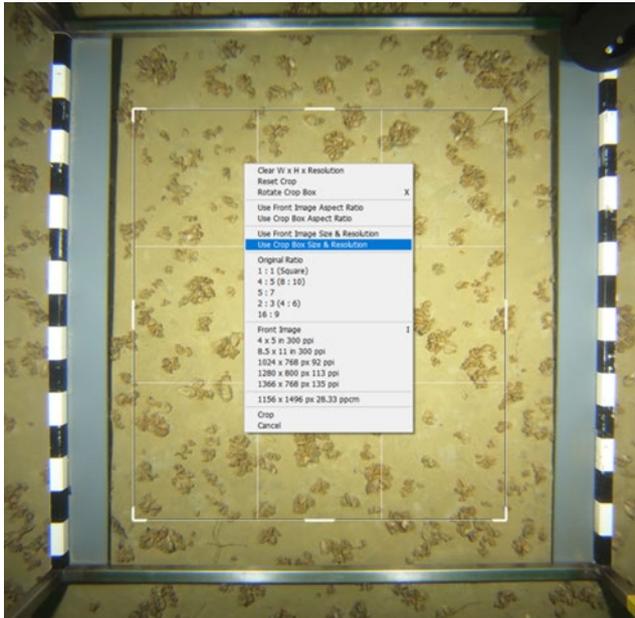
### Das BIS-Bild auf eine standardisierte Grösse zuschneiden

Dies geschieht mit Adobe Photoshop

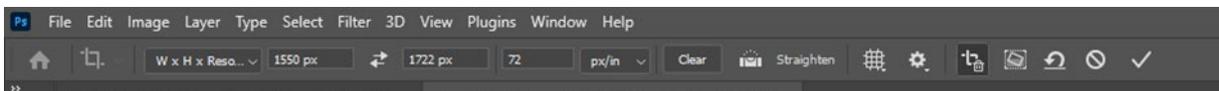
1. Klicke in Photoshop auf Öffnen (oben links), wähle im Popup-Fenster ein Bild aus, und öffne es.
2. Festlegen eines benutzerdefinierten Massstabs: unter Bild > Analyse > Messmasstab > Benutzerdefiniert
  - a. Ziehe das Linealwerkzeug auf den Referenzmassstab. Dabei sollte dieses in der Mitte des Bildes angelegt werden, da ausserhalb die Länge etwas verzerrt ist.
  - b. Unter "Logische Länge" kann 3.5 angegeben werden. Unter "Logische Einheiten" wird cm eingegeben.
  - c. Klicke auf "Voreinstellung speichern..." und benenne sie entsprechend.
  - d. Berechne anhand dieser Messkala die erforderliche Grösse des Beschnittbereichs in Pixeln.
  - e. Z.B. 124 Pixel := 3.5cm → 35.43 Pixel := 1cm → Fläche für 50x50cm := 1771x1771 px
  - f. *Diese Berechnungen müssen für jede Messkala durchgeführt werden. Die Zahlen können je nach Bildqualität stark variieren.*
  - g. Sobald die Fläche berechnet ist, kann sie für die gesamte Kampagne verwendet werden.**
3. Schneide das Bild auf den berechneten Bereich zu. Gehe zu 'Crop-Tool'.



- a. Klicke mit der rechten Maustaste auf das Zuschneidefenster und klicke auf "Grösse und Auflösung des Zuschneidefelds verwenden".



- b. Gib in die obere Leiste die Anzahl Pixel ein, die für die Fläche berechnet wurde (in unserem Beispiel 1771x1771 px). Verschiebe dann den ausgewählten Ausschnitt in die Mitte des BIS-Rahmens und prüfe, ob die Grösse sinnvoll ist. Bestätige den Ausschnitt mit dem Häkchen.

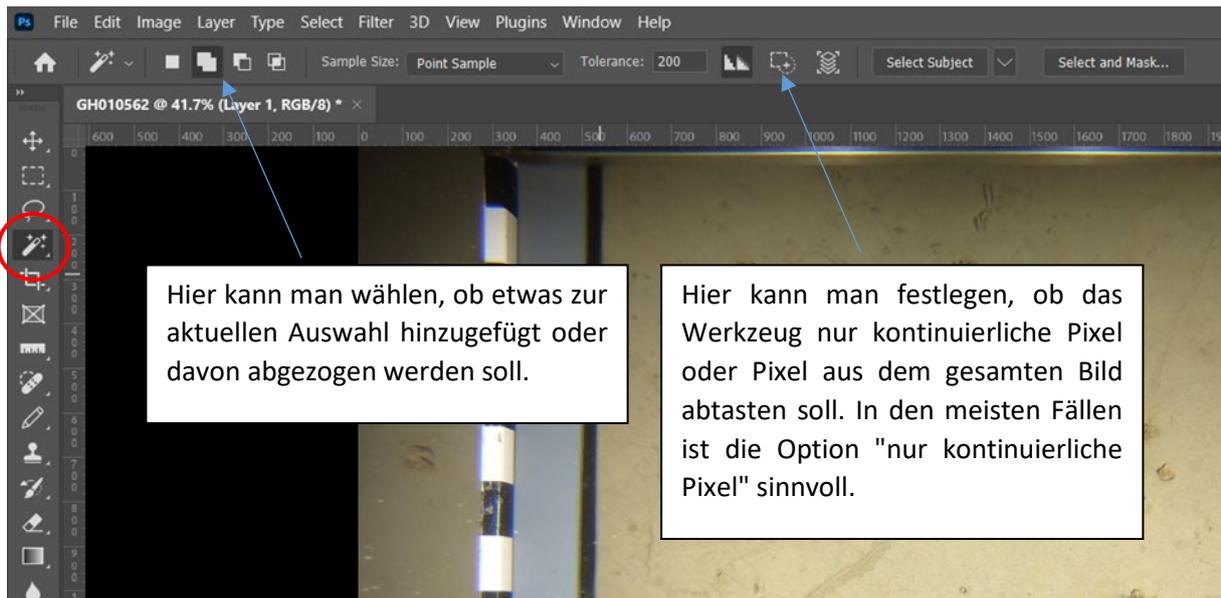


- c. Speichere das Bild in einem neuen Ordner mit dem Titel "Ausgeschnittene Bilder". Wir schlagen Namen wie [2 Buchstaben für den See]\_Jahr\_Ort\_Replikat\_ausgeschnitten vor, z. B. LG\_2024\_Qua\_1\_1\_ausgeschnitten
  - i. **Achtung:** Wenn du das Bild ohne Weiteres speicherst, wird das Original überschrieben! Um dies zu verhindern, wähle "Speichern unter" (Strg+Shift+s).
  - ii. Verwende beim Exportieren von Bildern immer die maximal möglichen Werte für die Bildqualität.

### Die Flächen mit Muscheln markieren

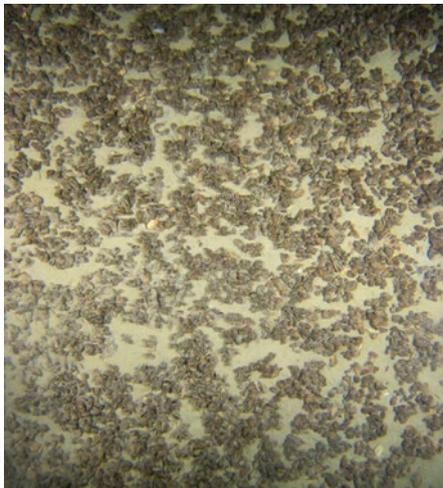
Das Markieren der Muscheln in Photoshop kann eine Herausforderung darstellen. Es stehen verschiedene Werkzeuge zur Verfügung. Welche Methode am besten geeignet ist, hängt von dem jeweiligen Bild ab.

Am einfachsten geht das mit dem "Magic Wand Tool":



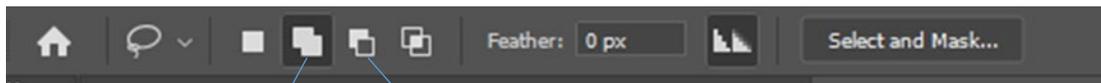
Dieses Werkzeug wählt Pixel mit einer ähnlichen Farbe aus. Die Toleranzeinstellung (hier auf 200 gesetzt) bestimmt, wie genau es zwischen den Farben unterscheidet - ein höherer Wert führt zu einer geringeren Trennung. Ein guter Startwert ist 20.

Diese Methode eignet sich für Bilder, bei denen ein starker Kontrast zwischen den Quagga-Muscheln und dem Sediment besteht. Wenn z. B. das Sediment viel heller ist und die Muscheln deutliche Flecken bilden, kann das Sediment einfach mit dem "Magic Wand Tool" markiert werden. Die Auswahl muss allenfalls umkehrt werden.



Es wird empfohlen, die Einstellung "Nur kontinuierliche Pixel auswählen" aktiviert zu lassen. Andernfalls wählt das Werkzeug alle Pixel der gleichen Farbe im gesamten Bild aus, was zu einer fragmentierten Auswahl aufgrund ähnlicher Farben zwischen einigen Teilen der Muscheln und des Sediments führen kann. Dies kann den Auswahlprozess umständlich machen (dies wird klarer, sobald damit gearbeitet wird).

Falls die Auswahl mit dem "Magic Wand Tool" nicht zufriedenstellend ist, kann das "Objektauswahlwerkzeug" oder das "Lasso-Werkzeug" verwendet werden.



Zur Auswahl hinzufügen

Subtrahieren von der Auswahl

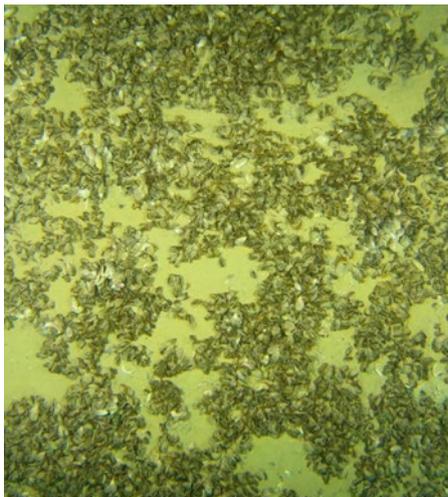


Lasso tool

Object selection tool

crop tool

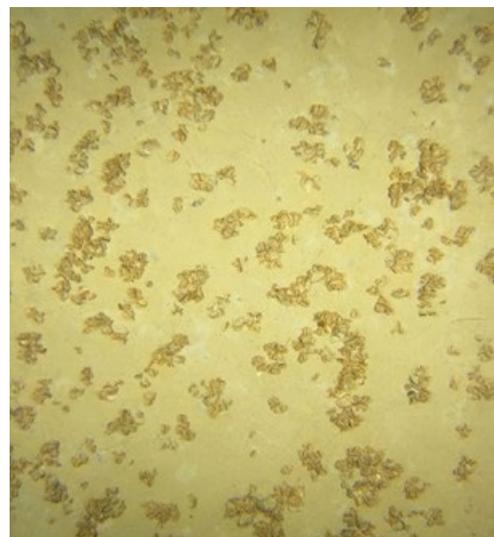
Mit dem Lasso-Werkzeug kann man frei zeichnen, während das Objekt-Auswahlwerkzeug Objekte und deren Grenzen automatisch erkennt, wenn man eine Linie um sie zieht. Mit dem magnetischen Lasso (Rechtsklick auf das Lasso-Werkzeug) hat man zudem mehr Kontrolle über die Auswahl.



In diesem Fall hat das gesamte Bild einen Gelbstich, so dass das "Magic Wand Tool" viele unerwünschte Bereiche auswählt. Es gibt aber grosse Flecken an Muscheln, so dass es einfacher ist, das Sediment mit dem Lasso-Werkzeug zu markieren. Ziehe dafür die Linie entlang der Muscheln und wähle mit der rechten Maustaste "Inverse Selection".

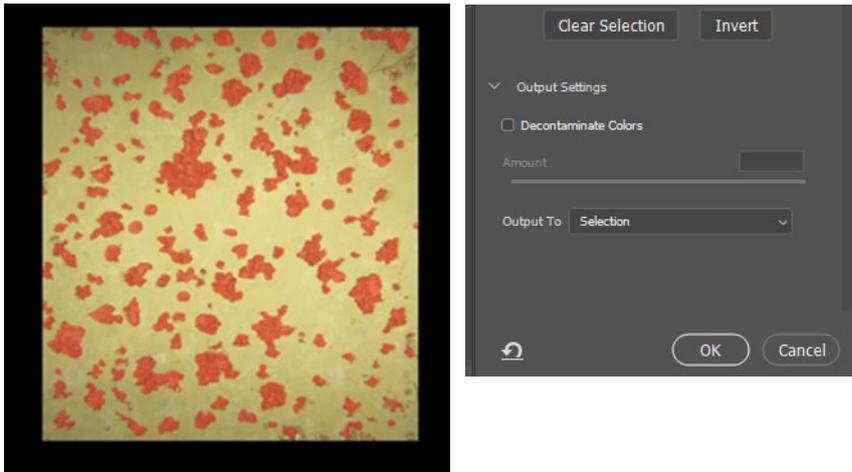
In einigen Fällen ist es einfacher, die Muscheln mit dem Objektauswahlwerkzeug zu markieren. Dazu kann ein grober Umriss gezeichnet werden, und die Software legt in Folge die genaue Grenze fest. Wenn die Software die Muscheln nicht als Objekte erkennt, verwende stattdessen das Lasso-Werkzeug.

Wie bereits erwähnt, kann es knifflig sein, und oft ist es nötig verschiedene Werkzeuge zu kombinieren. Mit der Zeit entwickelt man ein Gefühl dafür, welches Werkzeug in welcher Situation eingesetzt werden kann.



Wenn du mit den ausgewählten Bereichen zufrieden bist, klicke auf "Auswählen und maskieren...". Um das Hintergrundbild weiterhin zu sehen, wähle unter "Ansicht" die Option "Überlagern".

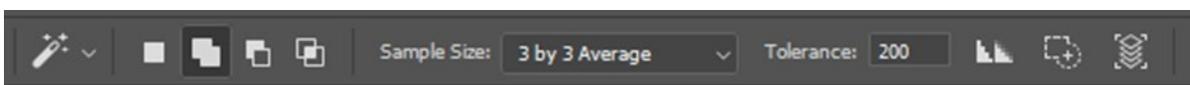
Die Software hebt nun markierte Bereiche hervor. Mit dem "Pinselwerkzeug" (und anderen Werkzeugen) können Teile hinzugefügt oder entfernt werden.



Wähle am Schluss "Ausgabe nach "in neues Dokument" und klicke auf Ok.



Es sind nun die ausgewählten Bereiche in einem neuen, separaten Dokument zu sehen (ohne dabei Änderungen am ursprünglichen Dokument vorgenommen zu haben). Wähle das Magic-Wand-Werkzeug (Rechtsklick auf das Objektauswahl-Werkzeug), gib den Wert 200 für die Toleranz ein und klicke auf einen Bereich mit Muscheln. Dabei werden alle Pixel ausgewählt, die nicht zum Hintergrund gehören (dies ist auch möglich, indem der Hintergrund ausgewählt und die Auswahl umgekehrt wird).



Zu Fenster > Messprotokoll navigieren. Es öffnet sich ein neues Fenster. Wichtig: Darauf achten, dass die benutzerdefinierte Messskala aktiv ist! Anschliessend auf „Messungen aufzeichnen“ klicken, woraufhin die Fläche berechnet wird, die von den markierten Flecken im Bild bedeckt wird. Der Wert oben ist die Summe aller markierten Flächen und muss unter Cover\_area\_[cm2] im BIS-Blatt eingetragen werden. Das Dokument dann als PNG-Datei speichern (der Hintergrund bleibt transparent) und wie folgt benennen: [2 Buchstaben für den See]\_Jahr\_Ort\_Replikat\_Fläche, z. B. LG\_2024\_Qua\_1\_1\_Fläche. Ausserdem die Zuverlässigkeit und die Qualität notieren.

Scale	Scale Units	Scale Factor	Count	Area	Perimeter	Circularity	Height	Width	Gray Value (Minimum)
LC2022_Markierun...	cm	34.444444	1797	1783.6731...	1524.4354...	0.009645	49.993548	45.000000	11.000000
LC2022_Markierun...	cm	34.444444		1752.2221...	977.069404	0.023065	49.993548	45.000000	11.000000
LC2022_Markierun...	cm	34.444444		0.044672	1.025237	0.534071	0.145161	0.435484	49.000000
LC2022_Markierun...	cm	34.444444		0.084287	1.795623	0.328504	0.232258	0.638710	49.000000

**Zuverlässigkeit:** gut bedeutet, dass nur Muscheln und kein Sediment hervorgehoben wurden. Mögliche Werte sind gut, mittel, schlecht.

**Qualität:** die Schärfe des Bildes und wie leicht Muscheln im Sediment zu erkennen sind. Mögliche Werte sind gut, mittel, schlecht.

## Muscheln Zählen auf BIS-Bildern

### Zählen mit Photoshop

1. Das zugeschnittene Bild in Photoshop öffnen.
2. Wenn das Bild viele Muscheln enthält (d. h. mehr als ein Viertel des Seebodens mit Muscheln bedeckt ist), sollte das Bild geteilt und eine Teilprobe gezählt werden.

Um ein Bild aufzuteilen, folgendermassen vorgehen:

- a. Mit der rechten Maustaste auf das Werkzeug „Zuschneiden“ klicken und das Werkzeug „Schneiden“ auswählen.
  - b. Mit der rechten Maustaste auf das Bild klicken und „Schnitt teilen...“ auswählen.
  - c. Die gewünschte Anzahl von Bildausschnitten eingeben. Es werden 4 horizontale und 4 vertikale Abschnitte empfohlen.
  - d. Anschliessend mit einem physischen oder virtuellen Würfel (z. B. „Zufallszahl 1 bis 16“ über die Google-Suche) eine Anzahl von Abschnitten auswählen, die der Teilprobe entspricht, in der die Muscheln gezählt werden sollen. Es ist nicht erforderlich, diese Abschnitte in Photoshop zu markieren, um die Originaldatei nicht zu verändern.
3. Um die Muscheln im Bild zu zählen, mit der rechten Maustaste auf das Pipettenwerkzeug klicken und das Zählwerkzeug auswählen.
  4. Durch Klicken auf das Bild wird an der jeweiligen Stelle eine Markierung gesetzt, und der Zähler erhöht sich um 1.
    - a. Tipp zur Unterscheidung der Muscheln: Aufgrund der gestreiften Form sind die Muscheln schwer voneinander zu unterscheiden. Allerdings sind die Siphons (oder der mittlere Schlitz zwischen den beiden Muschelhälften) meist gut sichtbar.
  5. Nachdem alle gewünschten Muscheln markiert wurden, die Anzahl (oben links im Fenster) im BIS-Datenblatt eintragen. Den Anteil des Bildes, in dem die Muscheln gezählt wurden, in Dezimalzahlen notieren (z. B. 0,25 statt ¼). Zusätzlich die Zuverlässigkeit der Zählung unter „reliability\_count“ im BIS-Datenblatt dokumentieren:
    - a. reliability\_count: Die Zuverlässigkeit der Zählung. Eine „gute“ Zuverlässigkeit bedeutet, dass die Muscheln leicht zu unterscheiden sind und die Zählung korrekt wiedergegeben wird.

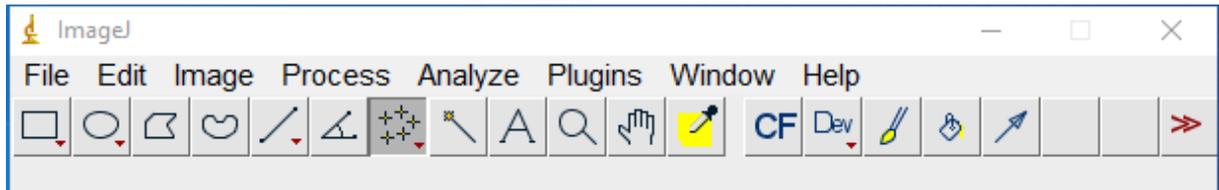
- b. Hinweis: Beim Speichern des Bildes werden die Markierungen des Zählwerkzeugs nicht mitgespeichert.

## Zählen mit Bild J

*Diese wurde seit Juni 2023 nicht mehr aktualisiert.*

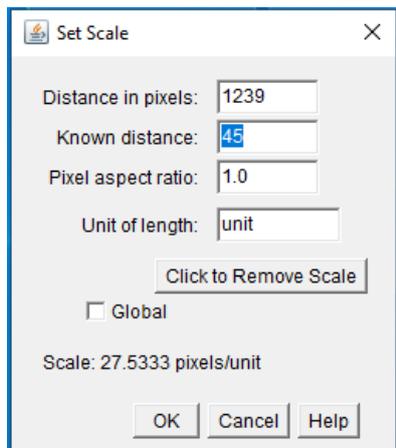
### Startbild J

Gehe auf Datei > Öffnen des Bildes, das gezählt werden soll.



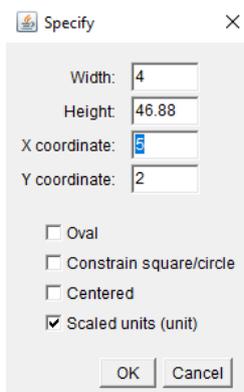
Das Mehrpunkt-Werkzeug anklicken. Durch Doppelklicken auf die Schaltfläche können Farbe, Grösse usw. angepasst werden. Beim Klicken auf einen Punkt im Bild wird dieser gesetzt und mit einer Zahl beschriftet. Nachdem das Zählen abgeschlossen ist, unter Datei > Speichern unter das Format „Tiff“ auswählen. Bei Bildern mit einer grossen Anzahl von Quaggas wird nur ¼ des Bildes gezählt. Bei einem fleckigen Muster drei rechteckige Rahmen setzen: Das Bild öffnen und mit der Auswahl beginnen.

Masstab einstellen: Analysieren > Masstab einstellen und 45cm für 1239 Pixel eingeben



Gehe dann auf Bearbeiten > Auswahl > Bestimmen

Es öffnet sich dieses Fenster:



Gebe 4 für die Breite und 46,88 für die Höhe sowie die Koordinaten ein. Das erste Rechteck liegt bei X=5 Y=2. Du solltest das Rechteck auf dem Bild sehen. Drücke Ok und dann ctrl+D, dies zeichnet die Linie dauerhaft auf das Bild. Wiederhole dies für die anderen Rechtecke. Das 2. Rechteck liegt bei X=20 und das 3. bei X= 35. Y ist immer bei 2cm. Das Bild sollte nun wie folgt aussehen:

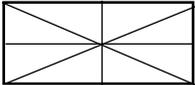
Jetzt kann mit dem Mehrpunktwerkzeug gezählt werden.



## Muscheln aus den Ponar-Proben vermessen

1. Die Probe über Nacht im Kühlschrank (4 °C) auftauen oder für etwa 20 Minuten in lauwarmes Wasser legen.
2. Die Probe in einem Behälter verteilen und ein Foto mit einem Etikett und einem Referenzmass, z. B. einem Messschieber, aufnehmen. Das Etikett sollte folgende Informationen enthalten: Ort, Teilprobe, Datum der Probenahme, Datum der Zählung und Messung, z. B. Qua 5.1 S1; Probenahme 14.09.2022, Messung 25.10.2022.



3. Alle Besonderheiten der Probe notieren:
  - a. Zum Beispiel, ob viele leere Muscheln vorhanden sind, das Aussehen der Muscheln, andere Arten in der Probe wie Zebra- oder Corbicula-Muscheln, ob Makrophyten vorhanden sind.
  - b. Andere Arten: Falls lebende Zebra- oder Corbicula-Muscheln vorhanden sind, diese ebenfalls zählen und messen und die Werte notieren.
  - c. Hinweis: Sphaeriidae oder Schnecken werden nicht berücksichtigt.
4. Grosse Proben aufteilen:
  - a. Bei grossen Proben wird empfohlen, diese in Teilproben aufzuteilen. Zunächst die gesamte Probe wiegen, idealerweise ohne das Gewicht des Beutels (Tara). Dann die Muscheln auf dem Behälter verteilen und das Foto mit dem Etikett und der Grössenangabe (z. B. Messschieber) aufnehmen.
  - b. Die Muscheln möglichst gleichmässig auf die 8 Teile des Behälters verteilen, die durch die härteren Linien auf der Unterseite gekennzeichnet sind. 
  - c. Zufällig eine Anzahl von Splits auswählen (z. B. 1, 2 oder 4) und diese in den Messbogen eintragen.
  - d. Die ausgewählten Teile mit einem Löffel oder einem anderen feinen Werkzeug isolieren.
  - e. Mit der Messung fortfahren. Nach der Messung der ausgewählten Muscheln die übrigen Muscheln zurück in den ursprünglichen Beutel legen und diesen mit dem nicht gemessenen Anteil beschriften (z. B. "6/8, nicht gemessen").
5. Die Länge der Muscheln an der längsten Seite messen:
  - a. Hinweis: Zerkleinerte Muscheln so gut wie möglich abmessen.

- b. Anmerkung: Es werden nur Muscheln gemessen, die zum Zeitpunkt der Entnahme lebendig waren, d. h. solche, die noch Muschelgewebe enthalten.

Hinweis: Messschieber mit integriertem Bluetooth sind praktisch, da sie das Risiko von Fehleingaben reduzieren und eine schnellere Arbeit ermöglichen als analoge Messschieber. In der Spaak-Gruppe wird folgendes Modell verwendet:

<https://www.hoffmann-group.com/CH/de/sfs/Messtechnik/Messschieber/Taschenmessschieber/Digitaler-Messschieber-HCT-IP67-mit-Bluetooth/p/412780>



Digitaler Messschieber HCT IP67 mit Bluetooth. Falls die Werte nicht direkt in die Shell\_length-Datei eingetragen werden, siehe Kapitel Anweisungsdatenblätter Quaggamonitoring, um sicherzustellen, dass die Werte korrekt eingetragen werden.

## Ergänzungen

### Probenahme auf Grenzseen und Zoll

In den meisten Fällen ist der Grenzübertritt mit dem Schiff zur Probenahme im Ausland problemlos. Am Lago Maggiore hatten wir jedoch ein Problem, als wir von Zollbeamten auf dem See angehalten wurden. Wir hatten nur eine Kopie der Schiffspapiere dabei, was nicht ausreichte. Ausserdem verlangten sie einen Nachweis über die Zusammenarbeit mit einem italienischen Institut und ob wir unsere Ausrüstung deklariert hätten, was wir nicht getan hatten. Dies führte zu einer Geldstrafe von 90 € und einer sofortigen Rückkehr in die Schweiz. Um solche Situationen zu vermeiden, empfehle ich Folgendes:

- Vergewissern, dass die Originalschiffspapiere dabei sind.
- Vom Partnerinstitut eine kurze Bestätigung der Zusammenarbeit geben lassen.
- Eine Checkliste der mitgebrachten Gegenstände machen, einschliesslich des Wertes. Gegenstände bei der Zollstelle anmelden und angeben, dass alles in die Schweiz zurückgebracht wird. Die Zollbeamten könnten anfangs verwirrt sein und weitere Fragen stellen. Unserer Erfahrung nach deklarierten sie es als Sportausrüstung und inspizierten kurz die Ausrüstung an Bord. Als wir in die Schweiz zurückkehrten, kontrollierten die Schweizer Zollbeamten, ob alle Gegenstände noch vorhanden waren. Das Verfahren kann je nach Zollbeamtem variieren kann.
  - Anmerkung: Dies reicht nicht aus, um die deutsch-schweizerische Grenze zu überqueren. Die Beamten wiesen darauf hin, dass offizielle Papiere erforderlich sind, die bestätigen, dass die Waren aus der Schweiz ausgeführt und in die Schweiz eingeführt werden. Dieses Verfahren hätte mindestens einen Tag in Anspruch genommen. Der Beamte empfahl dringend, ein Carnet ATA zu beantragen, was aus Zeitgründen nicht umgesetzt wurde.

Für Italien sollte nicht mehr als 10 Liter Benzin in Kanistern mitgeführt werden. Nur 10 Liter zusätzlichen Kraftstoff sind erlaubt, ohne die Menge im Bootstank zu berücksichtigen. Ich habe eine Liste mit den wichtigsten Dingen zusammengestellt, die Sie sich merken sollten:

1. Original-Schiffspapiere immer mitführen.
2. Eine schriftliche Bestätigung des Partnerinstituts einholen.
3. Die Ausrüstung und ihren Wert auflisten und bei der Zollstelle deklarieren, mit der Erklärung, dass alles in die Schweiz zurückgebracht wird.
4. In Italien dürfen nicht mehr als 10 Liter zusätzliches Benzin in einem Kanister mitgeführt werden.

Diese Massnahmen tragen dazu bei, eine reibungslose Überfahrt zu gewährleisten und Geldstrafen oder andere Komplikationen zu vermeiden. Bei Problemen sollten die Zollbeamten ehrlich informiert werden.

## Materialliste für den Zoll

Die detaillierten Rechnungen sind im Ordner Ausrüstung zu finden:

(switchdrive\\_Quagga\\_CH\\_EFBS\3. C Monitoring\3.a Geräte\cost\\_overview\\_customs.docx)

<b>BIS V1</b>	<b>Wert in CHF</b>
2xGoPro Hero7	2x250=700.-
3x Tilly tec Tauchlampen mit Ladegeräten	3x 360.-= 1080.-
1x YSI Exo 3-Sonde	21287.-
Stahlrahmen	selbstgebaut
Werkzeugkasten mit verschiedenen Werkzeugen	Ca.250.-
2x IQ sub GoPro Gehäuse	2x350.-= 700.-
Tablette Samsung Tab Active	430.-

<b>BIS V2:</b>	<b>Wert in CHF</b>
2x GoPro Hero 11	2x400.- = 800.-
3x Tilly tec Tauchlampen mit Ladegeräten	3x 360.-= 1080.-
Sherawater perdux 2 Tauchcomputer	1140.-
Rahmen aus Legierung	selbstgebaut
2x IQ sub GoPro11 Gehäuse	2x425.-= 850.-
Tablette Samsung Tab Active	430.-
<b>Insgesamt:</b>	<b>4300.-</b>

<b>Ponar:</b>	<b>Wert in CHF</b>
Ponargreifer	2021.-
Waschrahmen mit Netz	625.-
20 Eimer	63.-
Sockel	selbstgebaut
<b>Insgesamt:</b>	<b>2709.-</b>

<b>Van Veen:</b>	<b>Wert in CHF</b>
Van Veen Greifer	959.-
<b>Insgesamt:</b>	<b>959.-</b>

<b>EXO3-Sonde</b>	<b>Wert in CHF</b>
Exo3-Sonde	20169.-
<b>Insgesamt:</b>	<b>20169.-</b>

<b>Total BIS V2, Ponar, Van Veen und Exo3:</b>	<b>28137.-</b>
--	----------------

# TESTLAUF MIT KANTONEN

**Entwicklung Monitoring-Konzept für Kantone zur Überwachung von Schweizer Gewässern mit bekanntem Quaggamuschel-Vorkommen (Quelle: Zwischenbericht für BAFU, 24.11.2023)**

- **Evaluation der Bedürfnisse von Kantonen und weiteren Betroffenen (z. B. Wasserversorger) bezüglich Monitoring:**

In der Startsitung der neu gegründeten Cercle Exotique Arbeitsgruppe «Aquatische Neobiota (AquaNeo)» am 15.05.2023 wurden die Bedürfnisse der Kantone und weiterer Akteure und Akteurinnen priorisiert und diskutiert. Es zeigte sich, dass sich diese stark unterscheiden und für die Festlegung von griffigen Massnahmen eine vollständigere Übersicht über die Bedürfnisse und Aktivitäten der Akteure und Akteurinnen fehlt. Die Bedürfnisse bezüglich Monitoring und Präventionsmassnahmen wurden daher mittels einer Online-Umfrage noch einmal strukturiert abgefragt (Abfrage bisheriger und zukünftiger Aktivitäten, verwendeter Methoden, Methoden von Interesse, u. a. eDNA). Die Umfrage wurde von der Co-Leitung der AG und der Eawag konzipiert und im Oktober 2023 über den Cercle Exotique, den Cercl'eau und den Verband SVGW-SSIGE verbreitet. Erste Ergebnisse wurden in der Sitzung der CE-AG «AquaNeo» am 08.11.2023 präsentiert.

In der Umfrage gaben 7 Kantone (unverbindliches) Interesse an den BIS/Ponar-Methoden (siehe unten) an. Dies spiegelt ungefähr die Anzahl der Kantone wider, die derzeit schon mit der Quaggamuschel konfrontiert sind. Interesse vielleicht/noch unklar wurde von 8 Kantonen angegeben. Kein Interesse gaben 3 Kantone an, diese haben entweder keine grösseren Gewässer oder eventuell andere Akteure und Akteurinnen, die für das Monitoring verantwortlich sind, z. B. internationale Gewässerschutzkommissionen.

- **Optimierung Probenahmegeräte:**

An der Eawag wurde ein abgeändertes leichteres BIS-Kamerasystem (BIS – Benthic Imaging System) entwickelt, welches zudem in Einzelteile zerlegbar ist und somit den Transport signifikant erleichtert. Dieses BIS-Modell wurde am 12. September 2023 mit den in diese Arbeiten Involvierten während eines Eawag-internen Tests auf dem Greifensee erfolgreich getestet.

Zudem wurde seitens der Eawag ein leichteres Modell eines Greifers für die Sedimentprobenahme angeschafft, da es sich gezeigt hat, dass einige der Boote und Kranvorrichtungen, die von den Kantonen verwendet werden, das bisher vorhandene deutlich schwerere Sedimentgreifer-Modell nicht tragen können. Der leichtere Sediment-Greifer wird bei den Monitoring-Tests mit den Kantonen (siehe unten) erstmals zum Einsatz kommen. Nach Abschluss derer wird sich zeigen, ob zukünftig weitere Optimierungen für diese Art von Probenahmegerät notwendig sind.

- **Guidelines langfristiges Quaggamuschel-Monitoring:**

Ein entsprechender Entwurf wurde als Diskussionsvorschlag für die Teilnehmenden der Monitoring-Testläufe mit den Kantonen entwickelt (siehe unten). Die Rückmeldungen der Kantonsvertretungen wurden nach Durchführung der Testfahrten eingeholt und entsprechend ausgewertet. In einem zweiten Schritt wurde die CE-AG «AquaNeo» einbezogen.

- **Monitoring-Tests mit den Kantonen:**

Die Durchführung der Testfahrten mit Kantonsvertretungen erfolgte wie folgt:

- Neuenburgersee: 28.11.2023
- Zürichsee: 20.12.2023

# Guidelines langfristiges Quaggamuschel-Monitoring für Gewässer mit Quaggamuschelvorkommen

*Diskussionsvorschlag Entwurf 21. November 2023  
für Teilnehmende am Testlauf Neuenburgersee (Feedback erwünscht)*

## Zielgruppe

Bund, Kantone, Behörden, Wasserversorger, Gewässermanagement

## Ziel

Die durch ein Quaggamuschelmonitoring gewonnenen Daten ermöglichen die Ausbreitung der Quaggamuschel in Schweizer Gewässern, sowie deren Geschwindigkeit und Ausmass aufzuzeigen und Prognosen für die Zukunft zu treffen. Diese Daten sind für Politik und Wirtschaft essenziell, um das Ausmass der Quaggamuschelinvansion zu quantifizieren und die gesellschaftlichen Folgen abschätzen zu können.

Das hier vorgestellte Monitoringkonzept basiert auf regelmässig durchzuführenden Beprobungen in unterschiedlichen Wassertiefen. Eingesetzt werden zwei in den USA entwickelte und dort auch verwendete Methoden, die inzwischen auch regelmässig in Schweizer Seen zum Einsatz kommen. Diese Methoden wurden gewählt, um einen internationalen Vergleich von Quaggamuschel-Daten zu ermöglichen (siehe Kraemer et al. 2023<sup>1</sup>).

- Videoaufnahmen mit dem BIS-Kamerasystem (BIS – Benthic Imaging System)  
Aus den Videoaufnahmen werden Bilder vom Gewässergrund geschnitten und davon die mit Muscheln (keine Artbestimmung möglich) bedeckte Fläche bestimmt.
- Entnahme von Sedimentproben mit einem Ponar/Van Veen-Greifer (2 Versionen verfügbar: Ponar ca. 8.2 Liter oder Van Veen ca. 2 Liter)  
Die Sedimentprobe wird gesiebt und gewaschen. Die in der Probe enthaltenen Muscheln können bestimmt werden (ein eindeutiger Nachweis der Quaggamuschel ist damit möglich) und stehen für weiterführende Untersuchungen zur Verfügung. Aus diesen Daten können genaue Angaben gewonnen werden über Anzahl und Biomasse pro m<sup>2</sup>.

## Kurzübersicht Monitoring

- **Minimalanforderungen:** „*must have*“
  - 1 Tag pro Jahr für das Monitoring auf dem jeweiligen Gewässer (sofern möglich sollte dies immer im gleichen Monat erfolgen)
  - Probenahme an mind. 3 Stellen im Gewässer:
    - tiefste Stelle (mit Sauerstoff)
    - flachste Stelle, mit Boot erreichbar
    - mind. 1 weitere Stelle dazwischen
  - ⇒ diese Probestellen werden im Voraus festgelegt (Bestimmung GPS-Koordinaten) und jedes Jahr erneut beprobt
  - Pro Probestelle:
    - je 3 Aufnahmen mit dem BIS-Kamerasystem (SOP verfügbar)
    - mind. 1 Sedimentprobenahme mit dem Ponar/Van Veen-Greifer (SOP verfügbar)  
→ Sedimentprobe möglichst vor Ort waschen und in Beutel verpacken für weitere Auswertung im Labor (siehe SOP)
  - Sauerstoff-Vertikalprofil für das Gewässer (1 Probestelle ausreichend)

---

<sup>1</sup> Kraemer et al. (2023) An abundant future for quagga mussels in deep European lakes. Environmental Research Letters 18, 124008. DOI: [10.1088/1748-9326/ad059f](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad059f).

- **Zusätzliche mögliche Erhebungen:** „nice to have“
  - Zusätzliche Probestellen zwischen tiefster und flachster Stelle (siehe oben)
  - Zusätzliche Sedimentprobenahme mit dem Ponar/Van Veen-Greifer pro Probestelle (s.o.)

### Voraussetzungen

- Boot mit geeignetem Kran  
Gewichtsanforderung: Ponar -Greifer ca. 20 kg + ca. 14 kg Gewicht der Probe  
 Van Veen-Greifer (ca. 2L) ca. 6-7 kg + Gewicht der Probe (*in Abklärung*)
- Personal für 1 Tag pro Jahr für das Monitoring: BootsführerIn, im Idealfall 2 Personen für Probenahmen
- Tiefenkarte für das zu beprobende Gewässer
- Falls zutreffend: Personal für Laborarbeiten

*Die Eawag stellt folgendes Material zur Verfügung: Probenahmegeräte (BIS, Ponar/Van Veen) inklusive Anleitungen/SOPs. Eine Exo-Sonde zur Aufnahme des Sauerstoff-Profiles ist ebenfalls verfügbar. Die Durchführung des ersten Monitorings auf dem entsprechenden Gewässer kann durch die Eawag begleitet werden. Ziel ist es zudem, langfristig Unterstützung seitens der Eawag wo gewünscht anzubieten (Umfang & Finanzierung in Abklärung).*

### Datenerhebung

- Bitte standardisiertes Datenprotokollformular für Monitoring vor Ort auf dem jeweiligen Gewässer benutzen: Datum, Ort (Ortsangabe, Koordinaten), Probenehmende, Institution, Kurznotiz aktuelle Wetterverhältnisse (Datenprotokollformular verfügbar)  
Wichtig: Vermerk Nummerierung Ponar/Van Veen-Proben und entsprechende Zuordnung zur Probenahmestelle; gleiches gilt für BIS-Aufnahmen
- Sedimentprobe(n) mit Ponar/Van Veen-Greifer
- BIS-Aufnahmen (Fotos Gewässergrund, aufgenommen durch die Seitenkameras)
- Aufbereitung der Sediment (Ponar/Van Veen)-Probe(n) (SOP verfügbar)  
Arterhebung: Sortierung der Muschelprobe in *Dreissena rostriformis*, *D. polymorpha*, „andere“  
Mögliche Erhebung Artanteile: jeweilige Artanteile der sortierten Muschelprobe auszählen und/oder Biomasse bestimmen  
Mögliche Vermessung Muschel-Teilprobe: Länge, Trockengewicht, etc.

### Datenübermittlung

- Datenübermittlung an die Eawag erfolgt über Upload mit Switch  
Wichtig: Nutzungsrechte definieren, Information für Ansprechperson aufführen  
 ID & Standortzuordnung BIS-Aufnahmen, Muscheldaten Ponar/Van Veen-Proben
- Zusammenführung und Datenverwaltung an der Eawag (*in Abklärung*)  
Wichtig: Daten sind für alle Beteiligte/Probenehmende jederzeit zugänglich (*in Abklärung*)

## **Datenauswertung / zu erwartende Ergebnisse**

- Bildauswertung BIS-Aufnahmen
  - ⇒ liefert Angaben über % Muschelbedeckung (keine Artbestimmung möglich) pro erhobener Tiefenstufe  
(% Muschelbedeckung ist sehr gut mit Quaggamuschel-Biomasse korreliert)
- Auswertung Sedimentprobe(n) (Ponar/Van Veen-Proben)
  - ⇒ Artbestimmung, um langfristig den Nachweis zu erbringen, dass es sich „weiterhin“ um *D. rostriformis* (Quaggamuschel) im beprobten Gewässer handelt
  - ⇒ Artbestimmung liefert Angaben zur Artverteilung (nur „vorhanden/nicht vorhanden“, wenn keine weitere Datenerhebung erfolgt) pro Tiefenstufe
  - ⇒ Auszählung der Muschelprobe liefert Angaben zur Muscheldichte (Individuen/m<sup>2</sup>) pro erhobener Tiefenstufe und Art (*D. rostriformis*, *D. polymorpha*, andere)
  - ⇒ Biomassebestimmung liefert Angaben zur Muschelbiomasse (g/m<sup>2</sup>) pro erhobener Tiefenstufe und Art (*D. rostriformis*, *D. polymorpha*, andere)

*Mit den jeweiligen Daten können Aussagen über die Veränderung der jeweiligen Muschelpopulation in dem entsprechenden Gewässer und den jeweils beprobten Tiefenstufen über die Jahre aufgezeigt werden. In dem entsprechenden Gewässer, ist zudem eine Aussage über die Verteilung der jeweiligen Muschelpopulation über die verschiedenen Probestellen (und somit beprobten Tiefenstufen) möglich.*

## **Verfügbare SOPs/Datenprotokollformulare (in Abklärung)**

- SOP «Quaggamuschelmonitoring»  
Dieses Dokument enthält Anleitungen für alle Arbeiten mit dem BIS-Kamerasystem und dem Ponar/Van Veen-Greifer.
- SOP «Auswertung BIS-Aufnahmen»
- SOP «Auswertung Sediment(Ponar/Van Veen)-Probe(n)»
- Standardisiertes Datenprotokollformular «Quaggamuschelmonitoring»  
Das Formular dient der standardisierten Datenaufnahme bei der Durchführung des Monitorings auf dem Gewässer.
- Standardisiertes Datenformular  
Dieses Datenformular dient der standardisierten Dateneingabe.