

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

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

Autoren

Sylvie Flämig¹, Mathys Bourqui², Josephine Alexander², Lars Sturm², Noemi Wellauer², Piet Spaak²

¹ Umweltbüro m|u|t

² 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 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 Zebromuschel (*Dreissena polymorpha*) betroffen sind, ebenfalls besiedeln kann. Fast alle Schweizer Gewässer sind in den letzten Jahrzehnten von der invasiven Zebromuschel 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 Zebromuschel weitgehend zurück. Während die Zebromuschel 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 Zebromuschel pflanzt sich die Quaggamuschel ganzjährig fort, ist an niedrigere Temperaturen angepasst und wächst schneller.

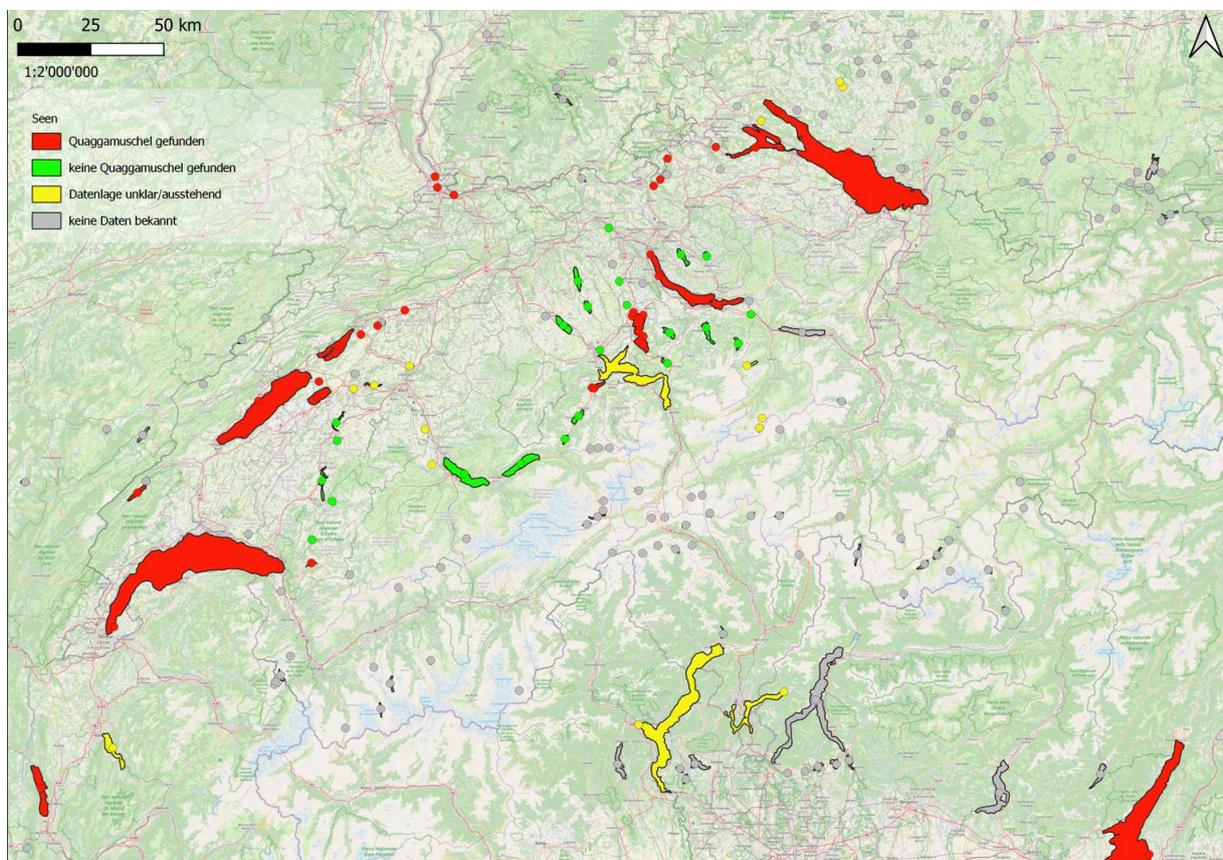


Abbildung 1: Status der Schweizer Gewässer in Bezug auf Vorkommen der gebietsfremden invasiven Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis*), basierend auf Literaturquellen und grauer Literatur (Berichte in Zeitungen usw.). Stand der Daten: September 2024.

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 geussert¹.

¹ 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 Ökobüros² 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.

² 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/Ereignisse	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

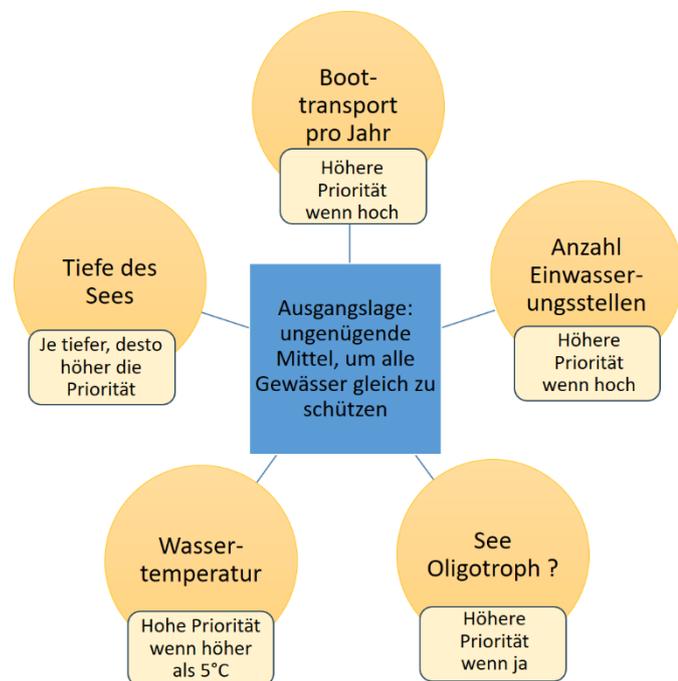


Abbildung 2: Hilfestellung zu einer allfälligen Priorisierung von noch nicht befallenen Gewässern, Stand September 2024 (Bitte beachten sie auch Text von Kapitel 5.1.3)

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"> Informationstafeln/-plakate an Gewässern Infoprodukte für Vereine (Flyer, Sticker etc.) Information über Handel, Verleihe, Shops Information via Ausbildungen / Weiterbildungen ('train the trainers') Fachmedien, Special Interest Medien 	<ul style="list-style-type: none"> Einige Kantone und Stakeholder sind in diesem Bereich schon sehr aktiv: Wieder-erkennungseffekt für Zielgruppe steigt Plakate/Tafeln vor Ort werden als besonders wirksam beurteilt (siehe Evaluationen Kt. AG/ZH, auf Anfrage) 	<ul style="list-style-type: none"> Harmonisierung der Kampagnen (visuell und inhaltlich) Kaum Evaluation solcher Kampagnen Nicht-Organisierte Gewässernutzende sind schwierig zu erreichen «Konkurrenz» verschiedener Umwelt- Kampagnen an Gewässern 	<ul style="list-style-type: none"> Kampagnen national oder regional vereinheitlichen Kampagnen evaluieren und Erkenntnisse für alle zugänglich machen Fachhandel, Wassersport-Shops einbinden Zielgerichtete Massnahmenplanung, Absprachen zw. Kampagnen
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"> Klassische Medien (Zeitung, TV) Social Media 	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"> Branche ist sensibilisiert Branche ist guter Multiplikator 	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"> • Einleitung Bootswaschwasser in Kanalisation ohne Vorbehandlung (z.B. Spaltanlage) ist möglicherweise problematisch • Unklar, ob aktuelles Angebot an Betrieben ausreicht, Zahlen über faktisch Gewässer-wechselnde Schiffe unbekannt • Experten sind einig, dass Quaggamuschel-Larven nicht in der Lage sein sollten ARA zu überleben, was aber noch nicht direkt untersucht worden ist. • Braucht es eigene Reinigungsplätze für Wassersportgeräte & Equipment? 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfahrungswerte sammeln, Betriebskontrollen verstärken • Ggf. (erneut) Zahlen erheben zu gewässerwechselnden Schiffen • Forschungsarbeit zum Überleben der Quaggamuschel in ARAs
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"> Für Selbstreinigung: anschauliche Anleitungen Reinigung durch fachkundiges Personal: möglichst einheitliche SOPs 		<ul style="list-style-type: none"> Teilweise Wissenslücken und Lücken von praktikablen Reinigungs-empfehlungen Kosten für fachgerechte Reinigung eher hoch 	<ul style="list-style-type: none"> Erfahrungsaustausch Forschungsarbeit zu Weiterentwicklung der Reinigungsempfehlungen oder alternativen Ansätzen
Gebote, Verbote und Kontrollen				
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"> Regelungen für interkantonale und internationale Gewässer Keine schweizweite Lösung bis jetzt 	Übernahme/Ausweitung des Zentralschweiz-Modells auf andere Kantone/Regionen
Einschränkungen bei Schiffsbewegungen	Siehe z.B. Einwasserungs-verbot 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"> Praxis für interkantonale und internationale Gewässer Einschneidend für Gewässernutzende 	
Sperrung von Quaggamuschel-freien Gewässern für gewässerwechselnde Schiffe / Freihaltezonen	siehe z.B. Pilotprojekt Pfäffikersee Kt. ZH, Einwasserungsverbot Greifen-, Pfäffiker- und Türlensee (Kt. ZH, 2024)	Mit Pilotprojekt wurden erste Erfahrungen für die Schweiz gesammelt.	<ul style="list-style-type: none"> Daten zu Auftreten von neuen Arten müssen erhoben und schnell verfügbar sein Einschneidend für Gewässernutzende 	

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"> • Bauliche Massnahmen nötig • Anzahl Einwasserungs-stellen je nach Gewässer sehr unterschiedlich • Häufig besteht keine Übersicht über Standorte und Betreiber. • Akzeptanz möglicherweise schwierig v.a. an bisher öffentlichen Einwasserungsstellen 	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) (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 / Stuserfassung 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 Zebramuschel-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 Stuserfassung 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 Seenbewirtschafter 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 CIPAIIS 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 Zebramuscheln. 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.
- 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.
- 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