

QUAGGAMUSCHELN BEDROHEN VORALPINE SEEN

GRUNDLEGENDE VERÄNDERUNGEN DER SEEN MÖGLICH

In nur fünf Jahren hat die Quaggamuschel den Boden- und den Genfersee vollständig besiedelt, in sechs weiteren Seen wurde sie bereits nachgewiesen. In Wassertiefen von 10 bis 30 Metern findet man mittlerweile bis zu 25 000 Muscheln pro Quadratmeter. Auch an den tiefsten Stellen der Seen gibt es bereits Vorkommen. Die Muscheln verstopfen die Infrastrukturanlagen von Trinkwasserbetrieben und thermischen Nutzungen, was Schäden in Millionenhöhe verursacht. Da das Ausbreitungsmuster der Schweizer Seen vergleichbar mit dem der Grossen Seen in Nordamerika ist, muss mit gravierenden Folgen gerechnet werden.

Piet Spaak, * Eawag, Aquatische Ökologie

RÉSUMÉ

LES MOULES QUAGGA MENACENT LES LACS PRÉALPINS

La moule quagga (*Dreissena rostriformis*) est un mollusque d'eau douce invasif en Europe et en Amérique du Nord qui vit sur un substrat dur. En seulement cinq ans, cette espèce a entièrement colonisé le lac de Constance et le lac Léman, et sa présence a déjà été attestée dans six autres lacs. À des profondeurs d'eau de 10 à 30 m, on trouve désormais jusqu'à 25 000 moules par m². Même au point le plus profond du lac, on en trouve déjà, mais en faible quantité. Ces mollusques sont des filtres efficaces qui se nourrissent d'algues, la nourriture du zooplancton. Cela a des conséquences supplémentaires pour les poissons, qui ont ainsi moins de nourriture. Par ailleurs, les moules bouchent les installations des services d'eau potable et des centrales thermiques, causant des dégâts de l'ordre de plusieurs millions de francs. Les moules quagga se propagent par l'intermédiaire des bateaux de plaisance et autres objets transportés d'un lac à l'autre. Une fois présentes dans le lac, on ne peut plus s'en débarrasser. Il est donc important d'éviter autant que possible de les transporter dans des eaux non colonisées. Le schéma de propagation dans les lacs suisses est comparable à celui qui a eu lieu dans les Grands Lacs d'Amérique du Nord, qui sont infestés par l'espèce depuis quelques décennies. On peut donc s'attendre à des conséquences graves dans nos lacs également.

INVASIVE DREISSENA-MUSCHELN

Die Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis*) und die Zebra- muschel (*D. polymorpha*) gelten in Europa und Nordamerika als invasive Süsswassermuscheln. Ihren Ursprung haben die beiden Arten in der Schwarzmeerregion. Die Quaggamuschel verbreitete sich in den 1940er-Jahren vom Delta des Dnjepr in die Flüsse der Ukraine und Russlands. Vermutlich im Ballastwasser von Frachtschiffen erreichte sie zusammen mit der Zebra- muschel in den 1980er-Jahren die Grossen Seen in den USA [1]. Die 1–40 mm grossen Zebra- und Quaggamuscheln haften sich mit ihren Byssusfäden an Hartsubstrat wie Steine, Baustrukturen oder Boote. Anders als die Zebra- muschel kann die Quaggamuschel sich auch in weichem Substrat ansiedeln.

AUSBREITUNG IN EUROPA UND IN DER SCHWEIZ

In Westeuropa verbreitete sich zuerst die Zebra- muschel. Sie drang in den 1960er-Jahren in die Schweizer Seen ein und etablierte sich flächendeckend. Die Quaggamuschel erreichte den Westen Europas wahrscheinlich über den Main-Donau-Kanal (modernisiert 1992). Möglicherweise ist sie auch über den transatlantischen Seeweg von Amerika zurück nach Europa transportiert worden (ungefähr 2004) [2].

* Kontakt: piet.spaak@eawag.ch

(Titelbild: Genfersee; © Eawag BIS)

MITAUTOREN*

- Josephine Alexander,
Eawag, Aquatische Ökologie
- Lale Baehni,
Eawag, Aquatische Ökologie
- Lyubov E. Burlakova, Great Lakes
Center, SUNY Buffalo State
- Stuart R. Dennis, Eawag, Informatik
- Philine G. D. Feulner,
Eawag, Fischökologie und Evolution
- Sylvie Flämig, Umweltbüro m|u|t
- Linda Haltiner,
Eawag, Aquatische Ökologie
- Alexander Karatayev, Great Lakes
Center, SUNY Buffalo State
- Vadim Karatayev,
University of Kansas
- Benjamin Kraemer, Limnologisches
Institut, Universität Konstanz
- Silvan Roszbacher,
Eawag, Aquatische Ökologie
- Raphael Stöckli,
Eawag, Aquatische Ökologie

* in alphabetischer Reihenfolge

ERSTER NACHWEIS DER QUAGGAMUSCHEL

Der erste Nachweis der Quaggamuschel in der Schweiz wurde 2014 durch eine Umwelt-DNA-Probe im Rhein in der Nähe von Basel erbracht [3], es folgten Genfersee (2015), Bodensee (2016), Neuenburgersee (2017), Bielersee (2019), Lac Hongrin (2019) und Murtensee (2021) [4]. Auch südlich der Alpen, im Lago Maggiore und im Luganersee, wurde die Art mittlerweile über Umwelt-DNA in Wasserproben von 2020 nachgewiesen [5] (Fig. 1).

GROSSE ÖKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN

Zebra- und Quaggamuscheln haben grosse Auswirkungen auf aquatische Ökosysteme, zum Beispiel auf das Nahrungsnetz. Da sie schnell in enorm grosser Zahl vorkommen und effizient Nährstoffe aus dem Wasser filtrieren, fressen sie dem heimischen Zooplankton die Nahrung (Algen) weg. Die Zooplankton-Arten sind wiederum Futterorganismen für Fische. Darum bedeuten viele Muscheln nicht nur eine massive Änderung für das Ökosystem wie weniger Produktion und Umlagerung von Nährstoffen, sondern möglicherweise auch weniger Fische. Zudem verdrängen Zebra- und Quaggamuscheln die einheimischen Muschelarten, die kompliziertere Fortpflanzungsstrategien haben und sich nicht so rasch anpassen können. Weil Muscheln so

effizient filtrieren, wird das Wasser mit ihrer Populationsdynamik zunehmend klarer. Dies bevorteilt Wasserpflanzen in der Uferzone von Seen.

QUAGGAMUSCHEL IM VORTEIL

Im Vergleich zur Zebrauschel ist die Quaggamuschel toleranter gegenüber tiefen Sauerstoffwerten [6] und Temperaturen und kann deshalb auch in tiefe Bereiche eines Sees vordringen, in denen Zebrauscheln nicht gefunden werden. Dort ist die Quaggamuschel zudem geschützt vor Prädation durch Wasservögel und Fische. Zudem reproduziert sie sich auch im Winter und kann auch weiches Substrat besiedeln.

Durch diese Vorteile können enorme Bestände der Quaggamuschel entstehen – mit entsprechenden ökologischen Folgen. Diese dürften schwerwiegender sein als die der Zebrauschel.

QUAGGAMUSCHEL**ÖKONOMISCHE FOLGEN**

Auch die ökonomischen Folgen der Quaggamuschel-Invasion sind im Vergleich zu denen der Zebrauschel gravierender. Es können Millionen-schäden an Anlagen für Trinkwasser- und zur Wärme-/Kälte-Gewinnung ent-

stehen. Beispielsweise wurden in den vergangenen Jahrzehnten Ansaugröhren für Trinkwasser- sowie Wärme-/Kälte-nutzung rund 80 m tief im See verlegt, da diese Tiefe als «zebramuschelsicher» galt. Die Quaggamuschel dringt allerdings in alle Seetiefen vor, solange es genügend Sauerstoff hat, und besiedelt somit auch tiefer liegende Infrastruktur. Dies führt zu grossen Problemen, da diese Anlagen nicht einfach zu reinigen sind. Gefahr besteht auch, wenn Seewasser direkt in Anlagen benutzt wird und nicht durch einen Wärmetauscher vom Rest der Installation getrennt ist. Dann könnten Quaggamuscheln auch Verteilnetze und geschlossene Leitungssysteme besiedeln und hohe Kosten verursachen. Aufseiten der Fischerei wird befürchtet, dass durch die Ausbreitung der Quaggamuschel die Fangerträge weiter zurückgehen.

WIE KAM SIE IN DIE SCHWEIZ?

2014 wurden in Umwelt-DNA-Proben vom Rhein bei Basel zum ersten Mal Quaggamuscheln nachgewiesen. In den darauffolgenden Jahren wurden sie in mehreren Schweizer Seen entdeckt (Fig. 1). Daraus ergibt sich die Frage, ob die Quaggamuschel via Basel die Schweizer Seen besiedelt hat oder ob es mehrere «Einschleppungsereignisse» gab, die sich zur

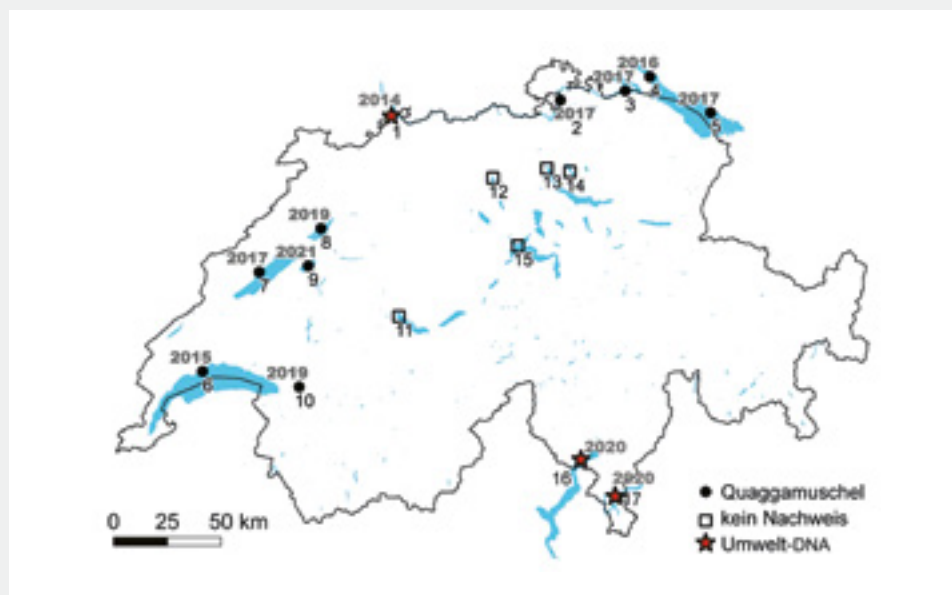


Fig. 1 Aktuelle bestätigte Verbreitung der Quaggamuschel in Schweizer Seen (gefüllte Punkte) und Seen, in denen keine Quaggamuscheln gefunden wurden (leere Quadrate). Die Jahreszahlen neben den Symbolen geben das Jahr der Erstentdeckung an. Seen ohne Symbole wurden nicht beprobt (Karte: Bundesamt für Landestopografie). Die Zahlen bezeichnen die Seen und die Probenahmestellen: 1: Rhein, Basel; 2: Rhein, Rheinau; 3: Unterer Bodensee, Stein am Rhein; 4: Überlinger See, Wallhausen; 5: Oberer Bodensee, Langenargen; 6: Genfersee; 7: Neuenburgersee; 8: Bielersee; 9: Murtensee; 10: Lac Hongrin; 11: Thunersee; 12: Hallwilersee; 13: Zürichsee, Limmat; 14: Greifensee; 15: Vierwaldstättersee; 16: Lago Maggiore; 17: Luganer See (überarbeitet von [4]).

gleichen Zeit abspielten. Um diese Frage zu beantworten, wurden für einer Studie Quaggamuscheln aus verschiedenen Seen gesammelt, um mit molekularbiologischen Methoden die Verwandtschaft zwischen diesen Populationen zu untersuchen. Bei nur einem «Einschleppungsereignis» war zu erwarten, dass die Muscheln der Seen, die gleichzeitig besiedelt wurden, ein ähnliches genetisches Muster zeigten.

DNA von Muschelindividuen aus Bodensee, Neuenburgersee, Genfersee, Rhein und aus Norddeutschland wurde extrahiert und anschliessend genotypisiert [7]. So konnten genetische Unterschiede zwischen den Quaggamuschel-Populationen in Genfersee, Neuenburgersee, Rhein und Bodensee (Ober- und Untersee) nachgewiesen werden [7]. Dies weist darauf hin, dass entweder zwischen den Populationen dieser Seen nur beschränkt genetischer Austausch stattfindet oder dass die Populationen in Genfer-, Neuenburger- und Bodensee von unterschiedlichen Ursprungspopulationen abstammen.

Andererseits sind die Populationen aus dem Bodensee (Komplex aus Ober- und Untersee), Rhein und aus Norddeutschland genetisch sehr ähnlich [7]. Dies deutet darauf hin, dass zwischen diese Populationen genetischer Austausch stattfindet oder dass die Muscheln von der gleichen Ursprungspopulation abstammen.

VERBREITUNG IN DER SCHWEIZ

Quaggamuscheln werden – bedingt durch ihren Lebenszyklus – höchstwahrscheinlich hauptsächlich mithilfe des Menschen von einem Gewässer zum nächsten verschleppt [8]. Sie pflanzen sich sexuell fort. Jede Muschel produziert im Jahr bis zu einer Million Geschlechtszellen, die sich im Freiwasser treffen. Befruchtete Eizellen entwickeln sich zu Veligerlarven. Diese halten sich passiv, abhängig von der Temperatur, Tage bis Wochen in der Wassersäule auf und verteilen sich im See, bevor sie sich an ein Substrat heften. Diese Larven sind mikroskopisch klein (50–100 µm) und können mithilfe von Wasser, das im Boot zurückbleibt, von einem See in einen anderen verschleppt werden. Muscheln heften sich aber auch an harte Substrate, wie zum Beispiel Bootsrumpfe, und können so transportiert werden. Bootstransporte könnten auch

mit erklären, warum gerade die grossen für Bootssport beliebte Seen in der Schweiz bereits von Quaggamuscheln befallen sind. In der Westschweiz sind zudem viele Seen bereits besiedelt, da die meisten über Flüsse miteinander verbunden sind.

RASCHE AUSBREITUNG IM SEE

Wie schnell die Quaggamuschel sich innerhalb eines grossen Sees ausbreitet, zeigt eine Fallstudie am Bodensee. Seit geraumer Zeit wird dort jährlich in der Uferzone ein *Neobiota*-Monitoring¹ durch-

geführt [9]. Nach dem Erstfund von Quaggamuscheln im Mai 2016 wurde das Ufer des Bodensees im Frühling und Herbst 2017, 2018 und 2019 intensiv nach Quagga- und Zebamuscheln abgesucht. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Quaggamuschel innerhalb von drei Jahren in der Uferzone des ganzen Bodensees ausgebreitet hat (Fig. 2). Leider wurden solche systematischen Untersuchungen in anderen Schweizer Seen nicht durchgeführt, aber es ist anzunehmen, dass die

¹ www.neozoen-bodensee.de

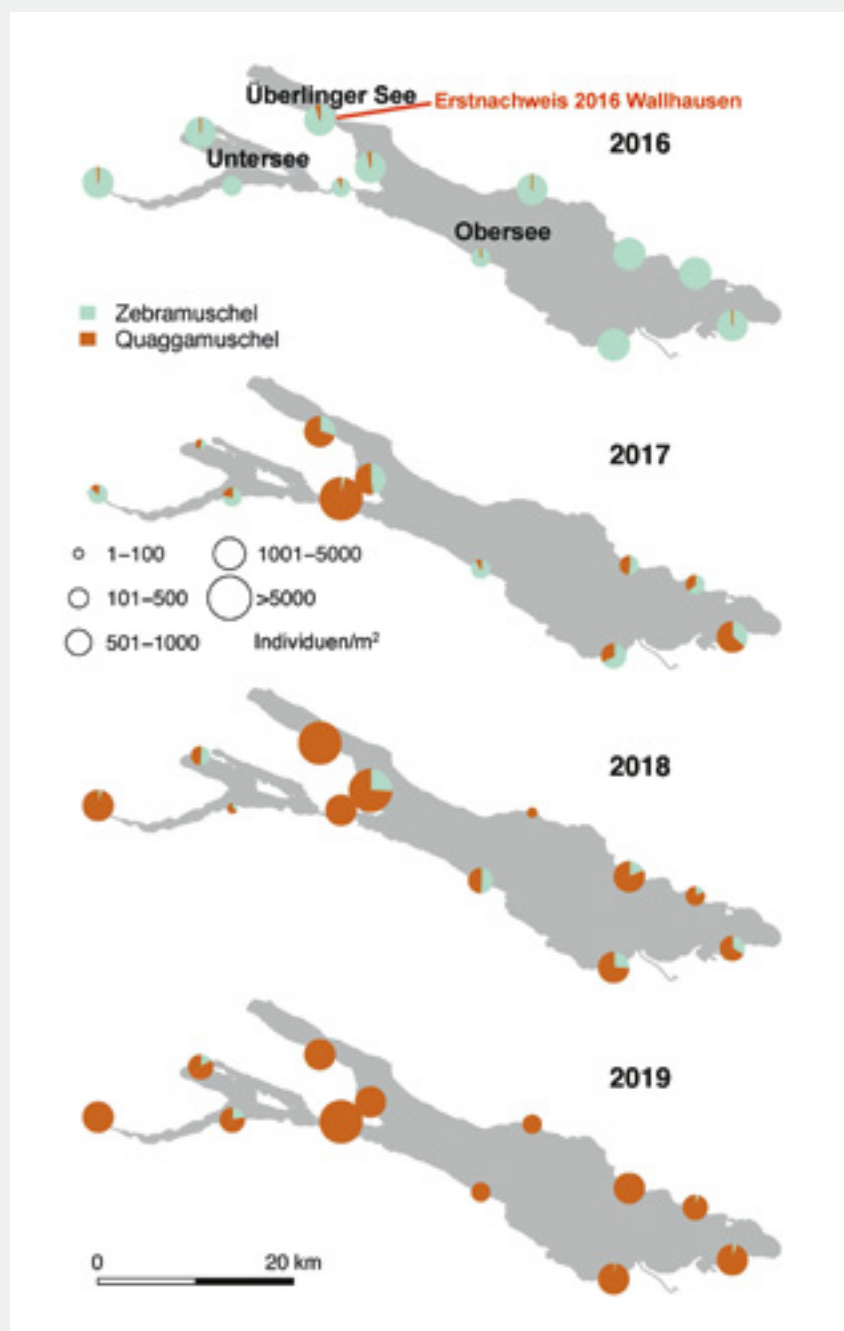


Fig. 2 Quantitative Schätzungen der relativen Häufigkeit von Quagga- (braun) und Zebamuscheln (grün) im Bodensee. Die Grösse der Tortendiagramme gibt die Anzahl der Muscheln an, die pro Quadratmeter an jeder Probenahmestelle gefunden wurden (aus: [4]).

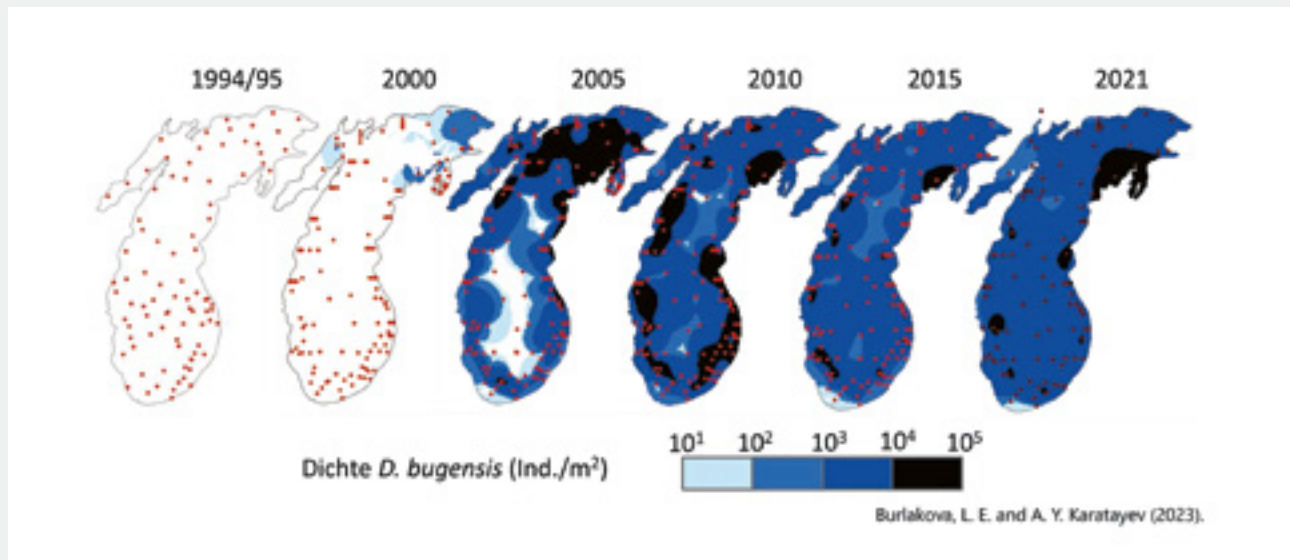


Fig. 3 Dichte (Anzahl pro m^2) von Quaggamuseln im Michigansee auf der Grundlage von seeweiten Erhebungen in den Jahren 1994/1995, 2000, 2005, 2010, 2015 und 2021. Kleine rote Punkte zeigen die Standorte der Probenahmestellen an (aus: [12]).

Ausbreitungsgeschwindigkeit im Bodensee keine Ausnahme, sondern die Regel ist.

Innerhalb eines Sees wurde oft beobachtet, dass sich Quaggamuseln aus tiefen Bereichen von denen aus weniger tiefen Bereichen unterscheiden. Quaggamuseln aus der Tiefe sind länger, haben dünnere Schalen und längere Siphons [10]. Gleichwohl weisen sie keine genetische Differenzierung auf. Dies geht aus einer Studie hervor, die am Beispiel Bodensee genetische Unterschiede innerhalb eines Sees untersuchte [7]. Das bedeutet, dass die Muscheln nicht an die Tiefe angepasst sind, sondern gedeihen, egal ob die Eltern aus 1 m oder aus 250 m Tiefe stammen. Des Weiteren lässt sich schlussfolgern, dass sich die Larven im Bodensee völlig zufällig an einem Ort niederlassen. Demzufolge sind Quaggamuseln, die auf demselben Stein leben, nicht miteinander verwandt und junge Larven, z. B. von Bregenz, können mit der Strömung zur anderen Seeseite transportiert werden und sich dort niederlassen. Die Unterschiede im Aussehen der Muscheln, die zwischen verschiedenen Tiefen beobachtet werden, sind also höchstwahrscheinlich eine Anpassung an die unterschiedlichen Umweltbedingungen.

VERGLEICH ZUR QUAGGA-INVASION IN NORDAMERIKA

In den nordamerikanischen Grossen Seen, die bezüglich Tiefe, Nährstoffgehalt und Sauerstoffverteilung vergleichbar sind mit unseren voralpinen Seen, hat die Populationsdichte und Biomasse der Quaggamuschel in den letzten 25 Jahren stetig zugenommen. So hat sich im Michigansee, der 100-mal grösser ist als der Bodensee, aber eine vergleichbare Tiefe und Nährstoffkonzentration aufweist, die Quaggamuschel seit 2000 dramatisch ausgebreitet (Fig. 3).

Um zu untersuchen, ob Quaggamuseln in den Schweizer Seen ein ähnliches Entwicklungsmuster aufzeigen, wurden in drei Seen detaillierte Quagga- und Zebromuschel-Beprobungen durchgeführt. Im Bodensee wurden im Oktober 2021 und 2022 an 52 Stellen Proben genommen. Im Bielersee wurden im Dezember 2021 28 Stellen beprobt und im Genfersee im Frühling 2022 80 Stellen. In allen Seen wurden die Probestellen entlang Transekten festgelegt, die vom Ufer bis in die Tiefe verlaufen.

An jeder Stelle wurden mindestens drei Sedimentproben (Fig. 4A/B) genommen und drei Videoaufnahmen gemacht. Dazu wurden zwei in den USA entwickelte und dort auch verwendete Methoden eingesetzt: die BIS-Methode (*Benthic Information System*, Fig. 4C) [11], bei der aus Videoaufnahmen Bilder vom

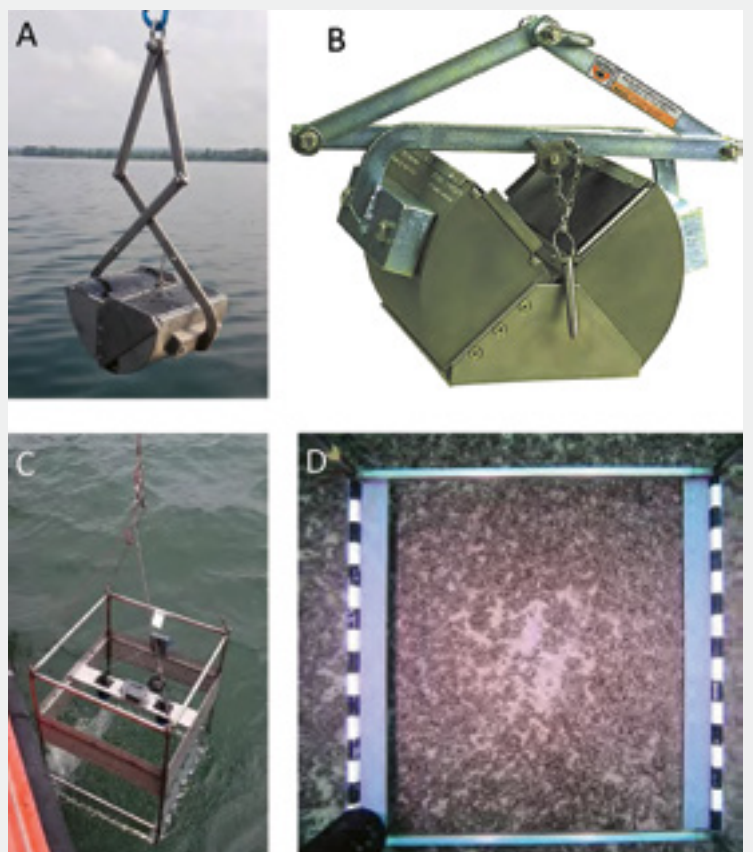


Fig. 4 Geräte, die für das Quaggamuschel-Monitoring eingesetzt wurden:

A) geschlossener Ponar-Sediment-Greifer; B) offener Ponar-Sediment-Greifer. So wird er am Seeboden abgesetzt. Beim Hochziehen schliesst der Greifer und füllt sich mit Sediment. C) Benthic Imaging System (BIS) (s. Text) mit senkrecht und zur Seite ausgerichteter Kamera und Leuchten. D) Beispiel von einem BIS-Bild: Seegrund Bodensee.

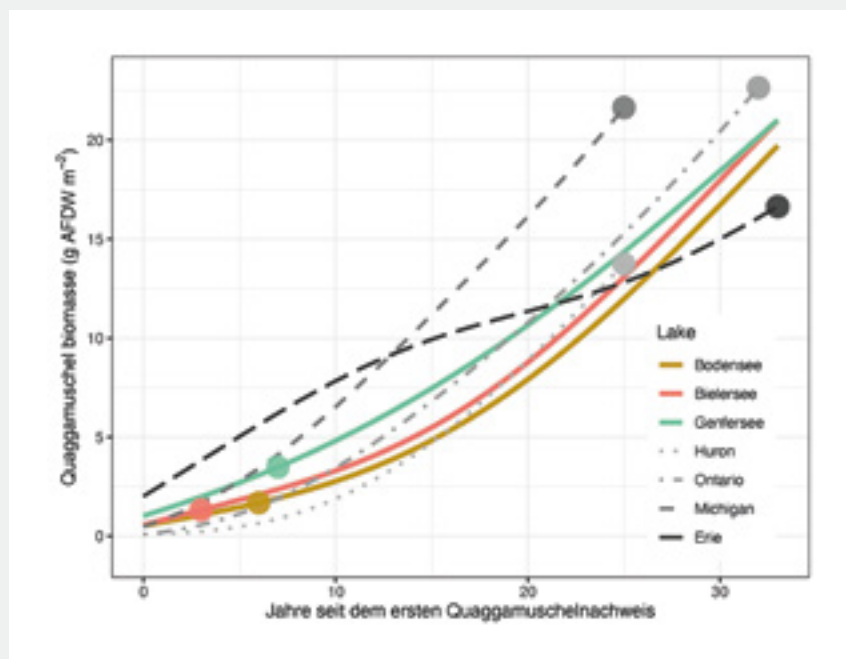


Fig. 5 Die potenzielle Zukunft der Quaggamuschel-Populationen in drei Schweizer Seen (Bodensee, Bielersee und Genfersee) im Vergleich mit vier nordamerikanischen Seen. Die vorhergesagte Biomasse der Quaggamuscheln pro Quadratmeter in jedem See über einen Zeitraum von 33 Jahren basiert auf Beobachtungen in Seebecken mit unterschiedlicher Morphometrie (See-Breite-Tiefe-Verhältnis). Jede Linie stellt den Mittelwert der vorhergesagten Biomasse an allen Standorten in jedem See dar. Die Abbildung zeigt, dass die Biomasse der Quaggamuscheln in Zukunft wahrscheinlich zunehmen wird, wobei es jedoch Unterschiede zwischen den Seebecken hinsichtlich des Ausmasses dieser Zunahme gibt [13].

Seegrund geschnitten werden, davon wird die mit Quaggamuscheln bedeckte Fläche bestimmt und die Muscheln gezählt (Fig. 4D). Die Sedimentproben wurden mit einem Ponar-Greifer nach oben geholt, gesiebt und gezählt.

Um die Folgen für Schweizer Seen besser zu verstehen und die zukünftige Ausbreitung der Quaggamuschel in den Schweizer Seen vorhersagen zu können, wurden die Erkenntnisse aus der – teils 35-jährigen – Überwachung der Quaggamuschel-Population in den nordamerikanischen Grossen Seen mit den Daten aus den Schweizer Seen verglichen. Die Analysen zeigen, dass die Biomasse der Quaggamuschel in Bieler-, Bodensee- und Genfersee in den nächsten 25 Jahren höchstwahrscheinlich um den Faktor 8–12 zunehmen wird (Fig. 5). Wie in Nordamerika wird dieser Anstieg wahrscheinlich durch eine Verlagerung zu grösseren Individuen und grössere Tiefen gekennzeichnet sein. Es ist zu befürchten, dass diese schnelle Ausbreitung von Quaggamuscheln in den kommenden Jahrzehnten ähnlich gravierende Auswirkungen auf die grossen Schweizer Seen haben kann wie die Eutrophierungsperiode in der Mitte des 20. Jahrhunderts.

HANDLUNGSBEDARF UND AUSBLICK

Die Quaggamuschel ist bereits in sechs grosse Schweizer Seen (Bodensee, Genfersee, Murtensee, Lac Hongrin, Neuenburgersee, Bielersee) eingedrungen, von zwei Seen (Lago Maggiore, Luganersee) sind eDNA-Befunde gemeldet (Proben von 2020). Hier konnten jedoch bei einer Beprobung Ende 2022 keine Quaggamuscheln nachweisen werden. Es scheint nur eine Frage der Zeit zu sein, bis Quaggamuscheln weitere Seen besiedeln werden.

VORBEUGENDE BAUMASSNAHMEN

In den von Quaggamuscheln befallenen Seen gibt es jetzt schon grosse Probleme. Dort müssen Ansaugrohre von Trinkwasserentnahmestellen generell schon so gebaut werden, dass sie von Muscheln gereinigt werden können; Aufbereitungssysteme oder Verteilnetze dürfen für Veligerlarven nicht passierbar sein (z.B. durch Mikrofiltration); und Anlagen für thermische Nutzungen müssen so konstruiert werden, dass Quaggamuscheln die Leitungen eines Gebäudes nicht besiedeln können. Auch in aktuell noch nicht von Quaggamuscheln befall-

lenen Seen müssten jetzt vorbeugende Massnahmen getroffen werden, um Installationen zu schützen.

Durch den Vergleich mit den Grossen Seen Nordamerikas wächst die Befürchtung, dass die Auswirkungen der Quaggamuschel auf die Ökosysteme der Schweizer schwerwiegend sein werden (weitere Oligotrophierung, verringerte Produktion, Dezimierung der Fischerei). Quaggamuscheln werden das Gleichgewicht in den Seen weiter verschieben: weniger Plankton, weniger Fische und somit auch geringere Fischerträge.

REINIGUNGSPFLICHT VON BOOTEN

Es sollte alles Mögliche getan werden, um die Ausbreitung der Quaggamuschel zu verlangsamen und die Quaggamuschel davon abzuhalten, in gefährdete Seen, Stauseen, Teiche und andere Gewässer einzudringen. Öffentlichkeitskampagnen weisen inzwischen darauf hin, Boote und andere Gegenstände, die von einem Gewässer zu einem anderen transportiert werden, zu reinigen. Leider sind diese Kampagnen in der Schweiz relativ spät gestartet und es sollte weiter in Aufklärung und Sensibilisierung investiert werden. Dennoch sind auch Erfolge zu verbuchen: So wurde im Hallwilersee beispielsweise 2021 eine Bootreinigungspflicht² eingeführt. Weitere Kantone prüfen ebenfalls die Einführung einer solchen Pflicht.

DANKSAGUNG

Die in diesem Artikel beschriebene Studien wurden unterstützt vom Forschungsprojekt «SeeWandel: Leben im Bodensee – gestern, heute und morgen» im Rahmen des *Interreg-V*-Programms «Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein» (D/A/CH/LIE), das Mittel aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung sowie Fördergelder vom Schweizer Bund und den Kantonen erhält. Es bestand keine aktive Mitwirkung seitens der Geldgeber bei der Entwicklung des Studiendesigns, der Datenerfassung und -analyse, der Entscheidung zur Veröffentlichung oder bei der Erstellung des Manuskriptes. Das Quaggamuschel-Monitoring in Boden-, Bieler- und Genfersee sowie im Lago Maggiore und im Luganersee wurde vom Bundesamt für Umwelt Schweiz (BAFU) sowie von der Eawag unterstützt.



Für den Hallwilersee besteht seit 2021 eine Bootsreinigungspflicht, um eine Ausbreitung der Quaggamuscheln zu verhindern. Weitere Kantone prüfen nun ebenfalls die Einführung einer solchen Pflicht. (© AdobeStock)

Die Zusammenarbeit unter den Kantonen, die für die Gewässer zuständig sind, sollte weiter gefördert werden.

EINHEITLICHE NACHWEISMETHODEN

Auch braucht es einheitliche und damit vergleichbare Nachweismethoden für sowohl noch freie als auch schon von Quaggamuscheln befallene Seen. Zur Früherkennung sollten einheitliche gesammelte Planktonproben auf Umwelt-DNA analysiert werden. Um Quaggamuscheldichten bestimmen und die Entwicklung in besiedelten Seen verfolgen zu können, braucht es vergleichbare Probenahmemethoden und -geräte. Der Bund unterstützt die kantonalen und weiteren betroffenen Behörden: In einem neuen Projekt der Eawag³ sollen gemeinsam Schutz-, Management- und Überwachungsmassnahmen (weiter-)entwickelt werden, mit dem übergeordneten Ziel der Verhinderung und Verlangsamung der Ausbreitung der Quaggamuschel in der Schweiz.

² www.ag.ch/gewässer-neobiota

³ Kontaktperson: Piet Spaak, piet.spaak@eawag.ch

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Son, M.O. (2007): Native range of the zebra mussel and quagga mussel and new data on their invasions within the Ponto-Caspian Region. *Aquatic Invasions*, 2(3): p. 174–184
- [2] Marescaux, J. et al. (2016): Unravelling the invasion pathways of the quagga mussel (*Dreissena rostriformis*) into Western Europe. *Biological Invasions*, 18(1): p. 245–264
- [3] De Ventura, L. et al. (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(1): p. 101–112
- [4] Haltiner, L. et al. (2022): The distribution and spread of quagga mussels in perialpine lakes north of the Alps. *Aquatic Invasions*, 17(2): p. 153–173
- [5] Capelli, C. et al. (2023): Environmental DNA survey indicates arrival of quagga mussel in Ticino River basin. *Journal of Limnology*, 82
- [6] Roe, S.L.; MacIsaac, H.J. (1997): Deepwater population structure and reproductive state of quagga mussels (*Dreissena bugensis*) in Lake Erie. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54(10): p. 2428–2433
- [7] Haltiner, L. et al.: Population genetic insights into dispersal pathways of the invasive quagga mussel within and across lakes. *Evolutionary Applications*, to be submitted to
- [8] De Ventura, L. et al. (2016): Overland transport of recreational boats as a spreading vector of zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *Biological Invasions*: p. 1–16
- [9] App, P.; Hesselschwerdt, J. (2023): Wirbellose Neozoen im Bodensee - Untersuchungsjahre 2004 bis 2022. Aufarbeitung des Neozoen-Monitorings Bodensee im Auftrag der IGKB. Hydra: Konstanz
- [10] Dermott, R.; Munawar, M. (1993): Invasion of Lake Erie offshore sediments by *Dreissena*, and its ecological implications. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50(11): p. 2298–2304
- [11] Karatayev, A.Y. et al. (2021): Rapid assessment of *Dreissena* population in Lake Erie using underwater videography. *Hydrobiologia*, 2021. 848(9): p. 2421–2436
- [12] Burlakova, L.E.; Karatayev, A.Y. (2023): Lake Michigan Benthos Survey Cooperative Science and Monitoring Initiative 2021, in Technical Report. USEPA-GLRI GL00E02254.: Buffalo, NY
- [13] Kraemer, B.M. et al. (2023): An abundant future for Quagga mussels in deep European lakes. In preparation