

# Erfolgskontrolle Inkwilersee

## Muschelmonitoring 2024

Datum: 27.01.2025



## Impressum

Auftraggeber:in:	Katrin Guthruf Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern Gewässer- und Bodenschutzlabor Schermenweg 11, 3014 Bern <a href="http://www.be.ch/awa">www.be.ch/awa</a> <a href="#">Gewässerqualität</a> <a href="mailto:katrin.guthruf@be.ch">katrin.guthruf@be.ch</a>
Projektleitung & Taucharbeiten:	Corinna von Kürthy <a href="mailto:vonkuerthy@unabern.ch">vonkuerthy@unabern.ch</a>
Mitarbeit Feld:	Katrin Guthruf (Gewässer- und Bodenschutzlabor) Evelina Hiltunen (Gewässer- und Bodenschutzlabor) Valentin Schwartz (Praktikant, Gewässer- und Bodenschutzlabor)
Interne Projektnummer:	3095.0
Verwendete Fotos:	Katrin Guthruf, Corinna von Kürthy, Arno Schwarzer, Tauchclub Redsnappers

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Hintergrund, Auftrag und Ziele</b>	<b>4</b>
1.1 Hintergrund - Situation Inkwilersee	4
1.2 Auftrag und Ziele	5
1.3 Grundlagen	5
<b>2. Biologie von <i>Anodonta cygnea</i></b>	<b>6</b>
2.1.1 Biologie	6
2.1.2 Auffindbarkeit und Wandermuster	6
2.1.3 Fortpflanzung	6
2.1.4 Grösse und Alter	6
<b>3. Zusammenfassung: Vorarbeiten &amp; Eingriffe</b>	<b>8</b>
3.1 Pilotversuch – Umsiedlung im Jahr 2011	8
3.2 Seerosenmahd und Seerosenbestände	8
3.3 Umsiedlung der Schwanemuschel im 2018	9
3.4 Technischer Eingriff – Schlammabsaugung im Uferbereich	11
<b>4. Erfolgskontrolle 2024</b>	<b>12</b>
4.1 Methode	12
<b>5. Resultate</b>	<b>13</b>
5.1 Etappe 1: 23.02.2024	14
5.2 Etappe 2: 07.05.2024	14
5.3 Etappe 3: 17.10.2024	14
5.4 Etappe 4: 08.11.2024	15
5.5 Lebende Muscheln & Grössenklassen	17
<b>6. Diskussion</b>	<b>18</b>
<b>7. Fazit Muschelmonitoring Inkwilersee 2024</b>	<b>22</b>
<b>8. Literatur</b>	<b>23</b>
<b>9. Anhang</b>	<b>24</b>

# 1. Hintergrund, Auftrag und Ziele

## 1.1 Hintergrund - Situation Inkwilersee

Der Inkwilersee gehört mit einer Fläche von 0.1 km<sup>2</sup> und einer maximalen Tiefe von ca. 5-6m zu den eutrophen (stark produktiven) Kleinseen im Kanton Bern. Aufgrund der Nährstoffkonzentrationen kommt es regelmässig zu starkem Algenwachstum und zeitweise zu einer Massenentfaltung einzelner Arten (Algenblüten). Beim Abbau der Biomasse wird in den Sommermonaten der im Wasser gelöste Sauerstoff regelmässig und über längere Zeit vollständig aufgebraucht (Zustand der Kleinseen, 2013). Zusätzlich entstehen reduzierte Verbindungen (wie Ammonium oder Sulfid). Diese reichern sich in den untersten Metern des Sees an. Der Wasserkörper ist dort vollständig sauerstofflos und weist zudem hohe Konzentrationen an z.T. toxischen Verbindungen wie Schwefelwasserstoff auf (Zustand der Kleinseen, 2013). Aufgrund der Nährstoff- und Sauerstoffverhältnisse konzentrieren sich die Lebensgemeinschaften im Inkwilersee vor allem auf die flacheren, wenigen Meter im Uferbereich. Durch die starke Sauerstoffzehrung und Produktion von toxischen chemischen Verbindungen ist es im Inkwilersee in den letzten Jahren zu mehreren grossen Fischsterben gekommen.

Aufgrund des schlechten Zustandes des Sees haben sich die Standortgemeinden und Anrainerkantone (BE, SO) auf ein Sanierungskonzept geeinigt. Das Ziel dieser Massnahme war es, den Verlandungsprozess des Sees zu verlangsamen und Biomasse, Nährstoffe und Partikel aus dem See zu entfernen. Dadurch sollten die ökologischen Funktionen des Sees langfristig stabilisiert und zukünftige katastrophale Faunensterben verhindert werden. Als eine der Hauptmassnahmen, um die Situation des Sees zu verbessern, wurde neben technischen Massnahmen (Tiefenwasserableitung, Optimierung Rückhaltebecken) auch das Absaugen von Seesedimenten im Uferbereich für das Jahr 2018 geplant.

Im Ufergürtel des Inkwilersees lebt die Schwanenmuschel (*Anodonta cygnea*). Die Filtrationsrate der, als sehr gross eingeschätzten Population (siehe Kapitel 3.0), dürfte einen wichtigen Faktor im Zusammenhang mit dem Stoffhaushalt und der Stabilität des Inkwilersees spielen. Muscheln können feine Schwebstoffe und Detritus aus dem Wasser filtrieren und die Phytoplanktonbiomasse und den Phosphatgehalt nutzen, respektive reduzieren. Damit tragen sie erheblich zur Sauberkeit eines Sees bei. Ein Umstand, der insbesondere im Inkwilersee eine grosse Rolle für das ökologische Gleichgewicht spielt. Dies begründete die späteren Anstrengungen bei der Umsiedlung (Kapitel 3.3), um die Muschelpopulation möglichst vor den Auswirkungen der technischen Eingriffe zu schützen.

## 1.2 Auftrag und Ziele

UNA AG wurde beauftragt, eine Erfolgskontrolle in Form eines Muschelmonitorings für die Schwanenmuschel (*Anodonta cygnea*) im Inkwilersee durchzuführen. Der Hauptauftrag bestand darin zu überprüfen, ob sich der Schwanenmuschelbestand von dem durchgeführten technischen Eingriff (Umsiedlung, Seerosen-Mahd und Schlammabsaugung im 2018, Kapitel 3) wieder erholen konnte. Neben den Ergebnissen der Wirkungskontrolle soll in diesem Bericht auch ein Überblick über die einzelnen Etappen des Gesamtprojektes inkl. Pilot-Projekte, Umsiedlung der Muscheln und technische Eingriffe gegeben werden. Diese sollen dabei helfen, die Ergebnisse der Wirkungskontrolle besser in den Gesamtkontext einordnen und interpretieren zu können.

## 1.3 Grundlagen

Für die Erarbeitung dieses Berichtes standen folgende Grundlagendaten zur Verfügung:

- Projektskizze Muschelmonitoring Inkwilersee – Erfolgskontrolle 2024
- Bericht zum Pilotprojekt im 2011 (Arno Schwarzer)
- Fotos und Dokumentation des Tauchvereins Redsnapper
- Technische Dokumentation-Sanierung Inkwilersee, 2019
- Daten Wirkungskontrolle 2024 durch UNA AG
- Gespräche / Mails mit Katrin Guthruf (GBL, Kanton Bern), Arno Schwarzer (Gewässerökologe), Reto Zünd (Kanton SO), Christoph Angst (Biberfachstelle)
- Sedimentresultate Inkwilersee, Gewässer und Bodenschutzlabor 2018

## 2. Biologie von *Anodonta cygnea*

### 2.1.1 Biologie

Die Schwanenmuschel (*Anodonta cygnea*, Familie Unionidae), auch Grosse Teichmuschel genannt, lebt in Stillgewässern wie Moortümpeln, Weihern und Seen, kommt aber auch im Brackwasser vor. Sie bevorzugt nährstoffreiche Sedimente, die gut mit Sauerstoff versorgt sind und toleriert bis zu einem gewissen Grad auch organische Belastungen. Anthropogene Verunreinigungen im Wasser, Industrieabwasser, Schwermetalle, Düngemittel oder auch Pestizide setzen die Schwanenmuscheln und ihre Verwandten (Unioniden) zunehmend unter Druck (Arter, 1989).

### 2.1.2 Auffindbarkeit und Wandermuster

Individuen der Schwanenmuschel sind häufig in Uferbereichen anzutreffen, können aber generell in Wassertiefen von 0.2m bis mehrere Meter beobachtet werden. Die höchsten Dichten an Individuen werden, bei entsprechender Verfügbarkeit von Sauerstoff, zwischen 0.2 und 5m erwartet (Patzner et al. 1993; Chojnacki et al. 2007). Die Schwanenmuschel ist gerne mit Makrophyten assoziiert (z.B. Seerosen), wurde aber auch in Makrophyten-freien Zonen beobachtet, was sie von anderen Unioniden unterscheidet (Chojnacki et al, 2007). Jüngere Muscheln graben sich gerne im sauerstoffhaltigen Sediment ein, während ältere Individuen häufig an der Sedimentoberfläche gefunden werden (Jonsson et al., 2013). Es ist anzunehmen, dass die Schwanenmuscheln im Inkwilersee insbesondere für die reproduktive Phase im Herbst vermehrt an die Sedimentoberfläche kommen. Jungmuscheln sind für die sauerstoffreichen Flachwasserbereiche zu erwarten (oberhalb oder/und im Sediment), teilweise auch an Stängeln von Wasserpflanzen oder an Steinen und Grobsubstrat. In Seen, in denen der Sauerstoffgehalt mit zunehmender Tiefe abnimmt, ist Sauerstoff der limitierende Faktor für das Vorkommen, die Verteilung und auch die Wanderungen von *A. cygnea*.

### 2.1.3 Fortpflanzung

Die Geschlechtsreife setzt bei der zwittrigen Schwanenmuschel mit ca. 4-5 Jahren ein. Ein geschlechtsreifes Individuum kann zwischen 100'000 - 600'000 Eier produzieren, welche in den Kiemen befruchtet werden und als Larve im Muttertier überwintern. Im Frühling (~Jan-April) werden die als Glochidien bezeichneten Larven an die Wassersäule abgegeben. Diese sind nun auf einen Wirtsfisch angewiesen, von dem sie nach ca. 10-28 Tagen wieder abgestossen werden oder selber lösen. Eine gesunde Population der Schwanenmuschel ist demnach nicht nur von den physikalischen und chemischen Bedingungen in einem See abhängig, sondern auch von der Verfügbarkeit von Wirtstieren (Watters et al., 1996).

Es gibt bei verschiedenen Unioniden-Arten Indizien dafür, dass sich Eingriffe in eine Population (z.B. Handling) auf deren Stresslevel, ihre Immunantwort und damit verbunden höchstwahrscheinlich auf deren Reproduktion auswirken kann (Jonsson et al. 2013). Gleichzeitig wird aber angenommen, dass sich die Muscheln nach einer gewissen Zeit in der Regel wieder erholen.

### 2.1.4 Grösse und Alter

Die Schale der Schwanenmuschel ist flach und kann bis zu 26 cm gross werden. Die Farbe der Schale variiert von grünlich bis braun- schwarz und ist oft mit feinen Wachstumsringen versehen (Abbildung 1).



*Abbildung 1: Die Schwanenmuschel - Grosse Teichmuschel (Anodonta cygnea) gehört zu den grössten Muscheln Europas. Die Abbildung links zeigt ein ~12cm grosses Individuum und rechts ein ca. 15.5cm grosses, älteres Individuum aus dem Inkwilersee (Fotos: Muschelmonitoring 2024).*

Es gibt zahlreiche Faktoren und Umwelteinflüsse (Temperatur, Nährstoffverhältnisse, Wassertiefe, Verschmutzungen u.a.) die sich auf das Wachstum von Unioniden auswirken können. Altersmessungen anhand der Schalenringe sind möglich, aber aufgrund der genannten Faktoren immer mit Vorsicht zu interpretieren. Bis zu einem Alter von ca. 8 Jahren, so die allgemeine Annahme (persönliche Kommunikation mit diversen Muschel-expert:innen in der Schweiz), kann das Alter dennoch grob eingeschätzt werden. Danach nimmt die Genauigkeit mit der Schalengrösse stark ab. Mit der Grösse und den Altersringen kann somit durchaus angeschaut werden, welche Grösse- und Altersverteilungen es in einer Population grob gibt und, ob in den letzten z.B. <5 Jahren in einem Gewässer reproduziert wurde.

### 3. Zusammenfassung: Vorarbeiten & Eingriffe

#### 3.1 Pilotversuch – Umsiedlung im Jahr 2011

Bei einer ersten Pilot-Sammelaktion wurden im März 2011 durch vier, durch Arno Schwarzer angeleitete Taucher, die Uferbereiche des Inkwilersee bis in eine Tiefe von bis zu 1.5m nach Muscheln abgesucht. Alle Individuen der Schwanemuschel (*Anodonta cygnea*) wurden in Grössenklassen eingeteilt und an 2 Stellen um die grosse Insel herum, an denen später keine Eingriffe stattfinden sollten, in einer Tiefe von 0.5-1.5m wieder ausgesetzt. Insgesamt konnten durch die vier Taucher 3100 lebende Muscheln gesammelt und umgesiedelt werden. Das grösste gemessene Tier war 21.5cm gross und somit älter als 15 Jahre. Die gefundenen Muscheln wurden durch A. Schwarzer in 3 Grössenklassen eingeteilt (siehe auch Abbildung 7 im Anhang):

Klasse 1 (<12 cm) < 10 Jahre:	50 Tiere
Klasse 2 (12-16 cm) 10-15 Jahre:	346 Tiere
Klasse 3 (>16 cm) > 15 Jahre:	2704 Tiere
(<5cm) <5 Jahre:	Keine Befunde berichtet

Kleinere Tiere (<5cm) wurden nicht gefunden, weil diese – so die Begründung – insbesondere im März tiefer im Seesediment vergraben sind.

#### 3.2 Seerosenmahd und Seerosenbestände

Im August 2018 wurden im Inkwilersee in einem ca. 20m breiten Mähstreifen Seerosen mit Hilfe eines Mähbootes gemäht. Im Oktober wurden anschliessend die Rhizome der Seerosen durch Abrechen entfernt. Hierzu wurde mit einem Schwimmbagger mit Schaufelrechen das Sediment regelrecht durchkämmt (Technischer Bericht, 2019). Das anhaftende Sediment wurde beim Abrechen mittels Schwenken der Baggerschaufel leicht abgewaschen. Bei der Mahd wurden lebende Muscheln an den Stängeln der Seerosen vorgefunden. Kleinere Muscheln wurden nicht gesichtet und auch nicht auf Fotos dokumentiert. Die Muscheln wurden an Land aus den Seerosen ausgelesen und ins Wasser zurückgebracht.

Mit Hilfe von Orthofotos wurde durch UNA versucht, die Entwicklung und Mahd der Seerosenbestände über die Jahre hinweg zu vergleichen. Bis im Sommer 2022 konnte keine erkennbare Wiederausbreitung der See- und Teichrosenbestände beobachtet werden. Wie lange die Erholung dauern wird, kann nicht abgeschätzt werden. Es wurden seit der Entschlammungsaktion 2018 keine Seerosen gemäht. Der Fischereiverein sammelt jährlich auftreibende Rhizome ein und deponiert sie in der Nähe eines Fischplatzes am Ufer.



Abbildung 2: Die Abbildung zeigt den Seerosenbestand im Jahr 2018 vor der Seerosenmahd und im Juli 2022 (LB im Auftrag v. Kanton SO), nach der grossflächigen Entfernung von Seerosen und Rhizomen im Inkwilersee (Quelle Fotos: GBL).

### 3.3 Umsiedlung der Schwanenmuschel im 2018

Vor den geplanten technischen Eingriffen im Inkwilersee (Schlammabsaugung, Kapitel 3.4) wurden in vier gestaffelten Etappen Schwanenmuscheln aus den Entnahmesektoren (Sektoren 1-25, Abbildung 3) in die Schutzbereiche (apricotfarbene Bereiche, Abbildung 3) umgesiedelt. Die Arbeiten wurden von Mitgliedern des Tauchvereins Redsnappers durchgeführt. Die Arbeiten erfolgten nicht systematisch und es wurden auch keine Tiere vermessen. Die Muscheln der ersten drei Etappen wurden in den Schutzbereichen wieder ausgebracht. Als Schutzbereiche (Schutzbereiche, Abbildung 3) wurden jene Bereiche betitelt, in denen keine Eingriffe (weder Seerosenmahd noch Schlammabsaugungen) durchgeführt wurden. Die Anzahl Muscheln, welche jeweils in die verschiedenen Schutzbereiche umgesiedelt wurde, kann der Abbildung 3 entnommen werden. Die Muscheln wurden am Uferstrand auf einer Tiefe von 80cm ausgesetzt, wo mit einer ausreichenden Sauerstoffversorgung gerechnet werden konnte. Insgesamt wurden bei der Umsiedlung ca. 5'300, vor allem adulte Muscheln, umgesiedelt (Technische Dokumentation - Sanierung Inkwilersee, 2019). 4050 Muscheln wurden in die Schutzbereiche gebracht, davon 3070 Muscheln in den Bereich der grossen Insel wo im 2011 bereits 3100 Muscheln ausgesetzt worden waren. 950 Muscheln wurden in den Schutzbereich um die kleine Insel gebracht. 1250 Muscheln wurden in die Bereiche 10-12 gebracht, wo bereits im Jahr 2014, also 4 Jahre zuvor, ein Pilotversuch für die Schlammabsaugung stattgefunden hatte (Technischer Bericht, 2019). Hier war das Substrat demnach sowohl frei von Seerosenrhizomen und ein Teil der Ablagerungen (Schlamm) waren ebenfalls abgesaugt worden.

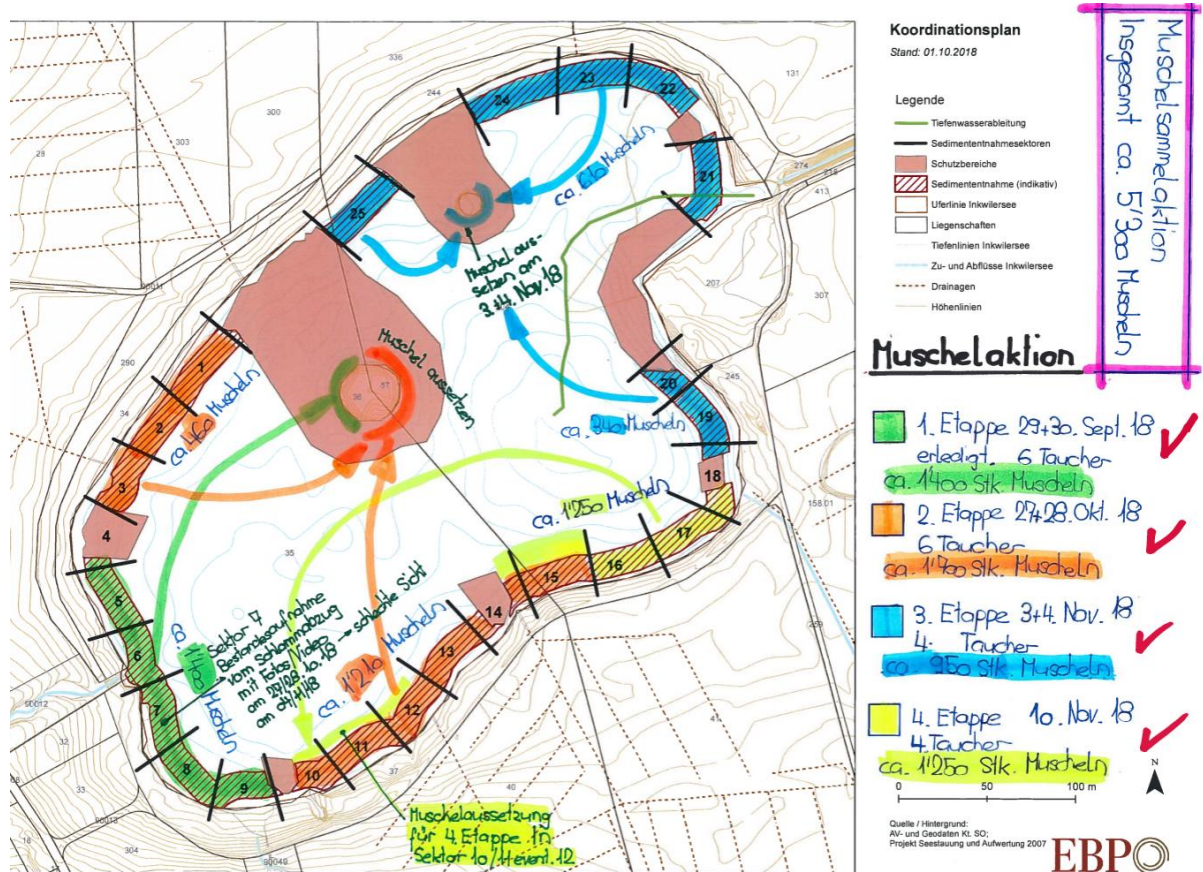


Abbildung 3: Umsiedlungsetappen im 2018. Die Pfeile symbolisieren jeweils, wohin / wie viele Muscheln innerhalb der verschiedenen Etappen umgesiedelt wurden. In Apricot sind die Schutzbereich angegeben, bei denen keine Schlammabsaugungen stattfanden. Einzig die Muscheln aus Sektor 15-17 wurden in einen Bereich (Sektor 10-12) gebracht, in dem zuvor (2014) bereits Schlamm abgesaugt worden war.

Die Informationen zur Umsiedlung im Jahr 2018 stellen eine wichtige Grundlage für die Wirkungskontrolle im 2024 dar und werden bei der Diskussion der Wirkungskontrolle nochmals aufgegriffen.



Abbildung 4: Auf den Fotos der Sammel- und Umsiedlungsaktion der Schwanemuschelein im Jahr 2018 sind nur grosse Muscheln zu sehen. Bei einzelnen Muscheln (linke Eimerhälfte) ist zu erkennen, dass die Schalen bereits leer (tot) sind.

### 3.4 Technischer Eingriff – Schlammabsaugung im Uferbereich

Entsprechend der Technische Dokumentation - Sanierung Inkwilersee (2019) wurden in vorgegebenen Bereichen in einem 15m breiten Uferstreifen die abgelagerten Sedimente ~1m tief abgesaugt. Die Saugarbeiten wurden bei der Einwasserungsstelle begonnen und gegen den Uhrzeigersinn sektorenweise fortgeführt. Die Saugarbeiten erfolgten ohne Unterbruch für rund 10 Stunden pro Tag, mehrere Tage am Stück. Vor der Absaugung des Sediments wurde durch Taucher bereits im See pro Sektor je eine Sediment-Stichprobe genommen und durch die Lebensmittelkontrolle (LMK) des Kantons Solothurn analysiert (siehe Technischer Bericht 2019).

Auf der abgesaugten Sohle bildete sich eine Übergangsschicht zwischen dem Wasser- und dem Sedimentkörper aus (aufgewirbeltes, meist organisches Feinmaterial, sank wieder ab). Kontrollmessungen haben gezeigt, dass sich der Seegrund nach der kontrollierten Absaugung innert weniger Tage an einzelnen Stellen um bis zu 60 cm wieder anhob (Technischer Bericht & persönliche Kommunikation GBL). Die Ursache der festgestellten Anhebung ist nicht vollständig geklärt. Unter anderem könnte die Entlastung des Untergrunds, hydraulische Effekte durch nachströmendes Wasser oder Quellungen der entlasteten organischen Materialien eine Rolle gespielt haben. Auf Letzteres deutet der Umstand hin, dass der Anhebungseffekt in Sektoren mit erhöhten mineralischen Gehalten im Bereich der Bacheinläufe schwächer ausgeprägt war (Technischer Bericht 2019 und persönliche Kommunikation mit GBL).

## 4. Erfolgskontrolle 2024

Mit der Wirkungskontrolle im Inkwilersee im Jahr 2024 sollte im Rahmen eines Muschelmonitorings untersucht werden, ob sich der Schwanenmuschelbestand von den im Jahr 2018 durchgeführten technischen Eingriffen (Umsiedlung, Seerosen-Mahd, und Schlammabsaugung, siehe Kapitel 3) wieder erholen konnte. Dabei sollten folgende Fragestellungen untersucht werden:

- Welchen Einfluss hatte die Umsiedlung der Muscheln und der technische Eingriff von 2018 insgesamt auf die Muschelpopulation im Inkwilersee?
- Konnte sich die Population von den Eingriffen erholen?
- Gibt es Jungtiere im Inkwilersee, die auf eine Fortpflanzung nach dem Eingriff im Jahr 2018 hinweisen?
- Welche Jahrgänge und Grössenklassen sind vertreten (Jungtiere vs. ältere Tiere)?
- Wie viele Jahrgänge von Adulttieren sind vertreten (geschlechtsreife > / = 4 Jahre)?
- Fehlen Jahrgänge oder sind sie deutlich schlechter vertreten?
- Wie ist das Verhältnis der gefundenen lebenden vs. toten Tiere?

### 4.1 Methode

Das Muschelmonitoring im Inkwilersee fand an vier verschiedenen, übers Jahr verteilten Tagen statt. Die Zeitfenster wurden basierend auf den aus der Literatur bekannten Bewegungsmustern von *Anodonta cygnea* und anderen Unioniden gewählt, um die Chance möglichst zu erhöhen, viele lebende Muscheln von verschiedenen Grössenklassen auffindig zu machen. Die Untersuchungen fanden an den folgenden vier Tagen statt (siehe auch Abbildung 5):

Etappe 1: 23.02.2024 (Untersuchte Fläche = A)

Etappe 2: 07.05.2024 (Untersuchte Fläche = B)

Etappe 3: 17.10.2024 (Untersuchte Fläche = S 1-2 (Abb.3Abbildung 3), gr. Insel E-G, kl. Insel H-I, Schutzbereich J1-J2)

Etappe 4: 08.11.2024 (Untersuchte Fläche = K-N)

Das Projektteam bestand jeweils aus 3 Personen (1 Taucherin, 2 Personen auf dem Boot), um die Sicherheit und den erfolgreichen Ablauf der Arbeiten sicherstellen zu können. Bei allen Untersuchungen wurden die Uferbereiche bis ca. 1m (-1.5m) Wassertiefe abgetaucht und nach lebenden Muscheln abgesucht. Teilweise wurden die Muschelschalen schon auf dem Sediment aufliegend vorgefunden (tot und lebendig), teilweise wurden auch keine Muscheln gesehen und es musste mit den Händen bis in eine Tiefe von ca. 30 cm im Schlamm nach Individuen gesucht werden. Während der verschiedenen Tauchtage wurden die Sektoren (mit Ausnahmen) im Uhrzeigersinn abgetaucht (Abbildung 5). Bei den Arbeiten wurden jeweils die Koordinaten und/oder Sektoren (Abbildung 3) eingelesen und Fundstellen dokumentiert, in denen lebende Muscheln gefunden wurden. Diese Muscheln wurden von der Taucherin an die Mitarbeiter:innen auf dem Boot übergeben und dort anschliessend vermessen und für die späteren Altersschätzungen fotografiert. Alle Daten zu den Feldarbeiten und Analysen wurden dem Kanton gemeinsam mit dem vorliegenden Bericht abgegeben.

## 5. Resultate

Innerhalb des Muschelmonitorings am Inkwiliersee im Jahr 2024 wurden deutlich weniger lebende Muscheln als tote Muscheln gefunden (Tabelle 1). Im Folgenden werden die verschiedenen Untersuchungsergebnisse nach Datum der Etappe und nach Untersuchungsbereich einzeln dargestellt. Zur Orientierung können, die in Abbildung 3 (Sektoren Umsiedlung) und Abbildung 5 (Bereiche Wirkungskontrolle) dargestellten Bereiche hinzugezogen werden. Eine Übersicht der Ergebnisse ist in Tabelle 1 zu finden.

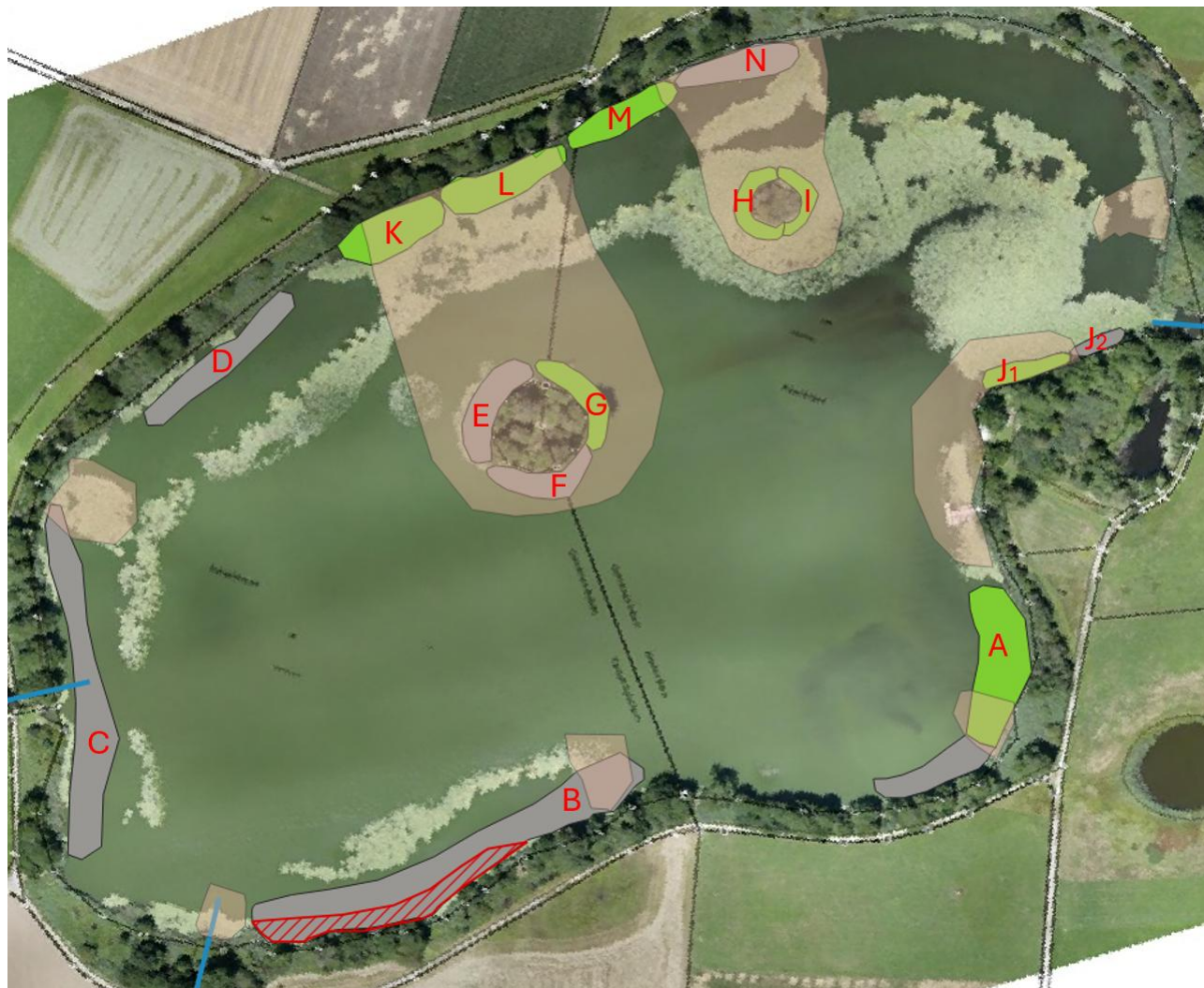


Abbildung 5: Untersuchungsflächen des Muschelmonitorings (A-N) im Jahr 2024, welche mehrheitlich im Uhrzeigersinn am Seeufer entlang durchgeführt wurden. Die grauen Bereiche stellen die Sektoren dar, in denen entweder keine oder (fast) nur tote Muscheln gefunden wurden. Die grünen Bereiche markieren Bereiche in denen lebende Muscheln gefunden wurden. Ebenfalls dargestellt sind die Schutzbereiche in transparent-apricot. Das Hintergrundbild stammt aus dem Sommer 2022 (LB, Auftrag v. Kanton SO).

### 5.1 Etappe 1: 23.02.2024

Im Bereich A (Abbildung 5, Tabelle 1) wurde der Uferbereich zwischen dem Bootsanlegesteg und den Sektoren ~20-16 (Abbildung 3) abgesucht. In diesem Bereich war das Sediment schlickig bis schlammig oder auch erdig-sandig und teilweise mit organischen Material, Wurzeln und Stöckchen durchsetzt. Das Substrat war stellenweise leicht glibberig in der Konsistenz und an diesen Stellen voraussichtlich sauerstoffarm. Es wurden insgesamt sehr wenig Muscheln gefunden, darunter befanden sich 5 lebende Individuen (> 12cm) und grob geschätzt ~40 tote Muschelschalen (ca. 13-17cm). Jungtiere (tot oder lebendig) wurden nicht gefunden.

### 5.2 Etappe 2: 07.05.2024

Im Mai wurden im Uferbereich B (Sektoren 15-10, inkl. Schutzbereich 14) in einer Wassertiefe zwischen 0.5-1.5m, 3 lebende Muscheln gefunden (> 12 cm). Weiter wurden (insbesondere im rot gestrichelten Bereich, Abbildung 5, Tabelle 1), mehr als 1000 tote Muscheln gefunden (hochgerechnet). Diese lagen im Uferbereich dicht nebeneinander. Zwischen den Schalen wurden keine lebenden Individuen gefunden und auch durch wiederholtes Abtasten des Bodens wurden keine weiteren lebenden Muscheln ausfindig gemacht. Die Muschelschalen hatten alle eine Grösse von mehr als 12 cm. Es wurde keine kleinen Muscheln gefunden, die auf eine Reproduktion in den letzten 6 Jahren hinweisen würden.

Das Substrat im Bereich B war vorwiegend im Uferbereich mit Wurzelgeflecht, Holz und auch Blättern durchsetzt. An den vegetationsarmen Stellen, aber auch teilweise zwischen den Wurzeln, bestand das Substrat häufig aus einer glibbrigen Masse. Diese kann in Bezug auf die Konsistenz am ehesten mit Wackelpudding verglichen werden und war vermutlich sauerstoffarm. Die Taucherin konnte stellenweise mit dem Arm mehr als 40 cm in die glibberige Masse hinein fassen. Dabei wurden keine Muscheln gefunden. Die meisten toten Muscheln lagen dem Substrat auf.

### 5.3 Etappe 3: 17.10.2024

Im Oktober 2024 wurden in den Bereichen C (Sektor 5-7) und D (Sektoren 1-2; Abbildung 3 und 5) die Schalenreste von 17 toten Muscheln, aber keine lebenden Muscheln gefunden. Insbesondere in den Sektoren ~5-7 war das Substrat relativ steinig und teilweise sehr hart ausgeprägt (Siehe Anhang, Tabelle 1). Es ist daher davon auszugehen, dass sich die Muscheln in diesem Bereich auch nicht wirklich ins Sediment eingraben konnten.

Am gleichen Tag wurden an der nord-westlichen und süd-westlichen Seite der grösseren der beiden Inseln in den Untersuchungsbereichen E und F (Abbildung 5, Tabelle 1) wenige (>10) tote Muschelschalen gefunden (ca. 5). In diesem Bereich wurden keine lebenden Individuen aufgespürt. Das Substrat war in Bereich E und F hart und steinig und mit einigen Pfahlbauten-Resten durchsetzt.

Beim Tauchen vom nördlichen Ufer zur nördlichen Seite der Insel wurde festgestellt, dass sich der Seegrund innerhalb des Schutzbereiches in keinem guten Zustand befand und deutliche Zeichen von Nährstoffbelastungen und Sauerstoffzehrung aufzeigte (siehe Abbildung 6).



*Abbildung 6: Der Seegrund war insbesondere zwischen dem nördlichen Ufer und der grossen Insel mit Algen- und Bakterienmatten überzogen, die auf einen hohen Nährstoffeintrag und Sauerstoffzehrung hinweisen.*

Im östlichen Teil der grossen Insel wurden ebenfalls nur einzelne Überreste von toten Muschelschalen gesichtet (>10). In einem kleineren, etwas schlammigeren Bereich südlich eines toten Baumes (süd-östl. der Insel) konnten zwei lebende Individuen mit einer Schalengrösse von >15cm gefunden werden. In diesem Bereich der Insel wurden ebenfalls nur wenige tote Muscheln gefunden (<20). Diese hatten meist eine Schalengrösse von >14cm seltener ca. 12cm. Jungtiere wurden im Uferbereich der grossen Insel nicht aufgespürt.

Am 17.10.2024 wurden auch die Uferbereiche der kleineren der beiden Inseln im Inkwilersee (bis ca. 1m Tiefe) untersucht (Abbildung 5, Tabelle 1). Das Substrat war hier ringsum mittelfest, leicht schlammig (aber nicht glibbrig) und mit Wurzeln und Seerosenrhizomen locker durchsetzt. Überall im Uferbereich konnten lebende Muscheln gefunden werden. Insgesamt wurden 70 Muscheln aufgespürt und vermessen. Ein Teil der Tiere hatte sich im Sediment leicht eingegraben. Vermutlich wurde deshalb nur geschätzt 1/3 der Muscheln wirklich gefunden und die tatsächlichen Anzahlen dürften in diesem Bereich deutlich mindestens dreimal so hoch sein.

Bei den lebenden Muscheln handelte es sich um Individuen mit einer Grösse von 9.7 - 18.5cm. Die Schalen wurden vorwiegend in einer Wassertiefe von <1m gefunden und erschienen optisch meist in einem guten Zustand (hellere Färbung). Die lebenden Muscheln waren in grösserer Anzahl vertreten (70) als die toten Muscheln (<50). Es wurden keine Jungtiere im Uferbereich der kleinen Insel gefunden.

Weiter wurde der Bereich J1 und J2 im/am Schutzbereich zwischen den Sektoren 20 und 21 untersucht (siehe Abbildung 3, Abbildung 5, Tabelle 1). In diesem Bereich war das Substrat mittelfest und leicht sandig und mit Schilf und Seerosenrhizomen durchsetzt. Es wurden 9 lebendige Tiere (13.6-16cm) und 17 tote Muschelschalen gefunden. Jungtiere wurden auch hier nicht gesichtet.

#### **5.4 Etappe 4: 08.11.2024**

Während der letzten Untersuchungen im November 2024 wurden die Uferbereiche zwischen dem Ende von Bereich D und dem uferseitigen, grossen Schutzbereich der gr. Insel (siehe Abbildung 3, Tabelle 1) abgesucht. Es wurde 1 lebende Muschel und ca. 40 tote Muscheln gefunden. Vor dem Schilfgürtel im Uferbereich befindet sich ein schlammiges Substrat. Dem Schilf sind Seerosen vorgelagert.

In den Untersuchungsbereichen K-L (Abbildung 5, Tabelle 1), welche sich uferseitig im grossen Schutzbereich nördlich der grossen Insel befinden, wurden 53 lebende Muscheln (~12-15cm) und deutlich weniger tote (~25) Muscheln gefunden. In diesem Bereich war das Substrat sandiger und mit Hölzern und einem Wurzelgeflecht durchsetzt. Es kamen viele Seerosen vor. Aufgrund der Substrateigenschaften kann davon ausgegangen werden, dass die Anzahlen in diesem Bereich deutlich höher sind und sich einige Muscheln ins Substrat eingegraben hatten. Die tatsächliche Anzahl wird auf das dreifache geschätzt.

Im Bereich M (~Sektor 25, Abbildung 3, Tabelle 1) wurden 2 lebende Muscheln (12 cm) gefunden. Tote Tiere oder Schalenreste wurden nicht gefunden. Dem glibberigen Substrat lagen Hölzer und Blätter auf. Im Bereich N, der sich uferseitig im Schutzbereich der kleinen Insel befindet, wurden weder lebende noch tote Muscheln gefunden. Das Substrat entsprach jenem im Bereich M. In keinem der beiden Bereiche wurden Jungtiere gefunden.

*Tabelle 1: Dargestellt werden die in den verschiedenen Untersuchungsbereichen A-N gefundenen toten oder lebenden Muscheln nach Untersuchungsetappe. Die Zahlen der lebenden Muscheln beziehen sich auf die tatsächlich gesammelte Individuen (in grünen Klammern tatsächlich angenommene Anzahl), die der toten auf Unterwasser gefundenen und/oder grob hochgerechneten Individuen pro Untersuchungsfläche (siehe auch Abbildung 5).*

Datum	Monitoringbereiche /Sektor #	Lebende Muscheln (+ Schätzungen)	Tote Muscheln (grob)
23.02.2024	A (~20-16)	5	~ 40
07.05.2024	B (15- ca.10)	1	>1000
07.05.2024	Schutzbereich 14	1	< 30
17.10.2024	C (Sektor 7-6)	0	17
17.10.2024	C (Sektor 5)	0	0
17.10.2024	D (Sektor 1-2)	0	0
17.10.2024	E - F (Gr. Insel)	0	5
17.10.2024	G (Gr. Insel)	2	>20 (+50)
17.10.2024	H - I (Kl. Insel)	70 (>210)	<30
17.10.2024	J1, J2 (Schutzbereich zw. 20-21)	9	17
08.11.2024	Sektor 7 bis gr. Schutzbereich	1	~40
08.11.2024	K-L (Gr. Schutzbereich)	53 (>160)	~25
08.11.2024	M (Kantonsgrenze, Sektor 25)	10	>6
08.11.2024	N (Kleiner Schutzbereich, Grenze Sektor 24)	0	0

## 5.5 Lebende Muscheln & Grössenklassen

Beim Muschelmonitoring im Inkwilersee wurden an 4 Tagen durch eine Taucherin insgesamt 159 lebende Muscheln gefunden und gemessen und grob ~1300 tote Muscheln gefunden. Die Tiere, von denen Vermessungen vorhanden sind, wurden entsprechend dem Vorgehen bei der Pilotstudie im Jahr 2011, in 3 Grössenklassen eingeteilt (Tabelle 2).

*Tabelle 2: Einteilung der gemessenen Muscheln im Inkwilersee in die 3 Alterstklassen (siehe Pilotstudie 2011).*

Gr.-Klasse	Grösse (cm)	Alter	# Tiere
1	< 12	< 10	3
2	12-16	10-15	89
3	>16	>15	14

Für die gemessenen und fotografierten Tiere wurde anhand der Wachstumsringe zusätzlich das Alter geschätzt. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass bei Muscheln >8 Jahre die Genauigkeit der Schätzung stark abnimmt und auch die Umweltbedingungen einen enormen Einfluss auf das Wachstum von Muscheln haben können. Es handelt sich bei den Daten somit nur um eine grobe Schätzung.

*Tabelle 3: Einteilung der im Inkwilersee gemessenen Muscheln anhand von Altersschätzungen mit Wachstumsringen und der Körpergrösse.*

Grösse (cm)	Alter	# Tiere
9.7 - 14.5	8-9	9
11.5 - 15.8	10-11	40
11.5 - 16.7	12-13	45
15.5-19	14-15	4

Die Ergebnisse der Altersschätzung zeigen ein ähnliches Bild wie die Einteilung nach Grössenklassen. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass nur Individuen mit einem Alter zwischen 8 und 15 Jahren gefunden wurden. Es wurden keine jüngeren Tiere <7 Jahre oder < 9.7cm gefunden. Unter der Annahme einer Normalverteilung wurden vor allem die grossen Muscheln im Alter von ca. 10-13 Jahren und 12-16cm gefunden. Ein grosser Teil der Population, nämlich die Individuen mittleren Alters (<10 Jahre / <12 cm) und insbesondere die ganz jungen Individuen (linke Seite der Normalverteilung) wurden nicht, respektive kaum gefunden und sind deutlich unterrepräsentiert.

## 6. Diskussion

Beim Muschelmonitoring im Inkwilersee wurden im Jahr 2024 159 (Schätzung 400) lebende Muscheln und grob ~1300 tote Muscheln gefunden. Es ist davon auszugehen, dass durch die Taucherin an den vier Tagen insgesamt nur ein Bruchteil der im See vorhandenen Schalen gefunden wurde. Das Verhältnis von lebenden zu toten Muscheln dürfte aber dennoch repräsentativ sein. Mit ~11% Anteil lebender Muscheln und knapp 89% toter Muscheln zeigte die Schwanenmuschel-Population im Jahr 2024 immense Verluste im Vergleich zu den beiden Pilot-, respektive Umsiedlungsetappen (2011 und 2018). Der Zustand der Population hat sich somit deutlich verschlechtert.

Im Jahr 2011 wurde der Anteil toter Muscheln auf grob 5% geschätzt (A. Schwarzer). Bei der Umsiedlungsaktion im Jahr 2018 gingen die Beteiligten ebenfalls von einem Anteil von 5% toter Muscheln aus (mündliche und schriftliche Kommunikation). Die Selektion der Muscheln in tot/lebendig fand im 2018 direkt unter Wasser statt. Es wurden nur schwerere Schalen eingesammelt, die aufgrund ihres Gewichtes als lebendig eingestuft wurden. Leere Schalen, die mit Seewasser gefüllt sind, kleben häufig leicht zusammen (Vakuum). Öffnet man die Schalen nicht, könnte es dazu kommen, dass Laien diese Schalen fälschlicherweise als lebende Muscheln einstufen, da die Wasserfüllung selber ein gewisses Gewicht aufweist. Ob dies im Jahr 2018 passiert ist, kann im Nachhinein aber nicht mehr festgestellt werden. Ein Blick auf die Fotodokumentation lässt jedoch vermuten, dass der Anteil toter Muscheln damals höher war als 5%. Dadurch, dass uns die Umsiedlungsdaten nur bedingt ein Bild über das Verhältnis lebender zu toter Muscheln und über die Grössenklassen geben, fehlt hier jedoch eine wichtige Information, um sicher sagen zu können, zu welchem Zeitpunkt nach 2011 die Sterberaten der Muschelpopulation im Inkwilersee rapide anstiegen. Die Aussage, dass es der Population im Jahr 2018 zum Zeitpunkt der Umsiedlung jedoch deutlich besser ging als im 2024, erscheint dennoch realistisch.

Unter der Annahme, dass sich eine Population innerhalb von 1-2 Jahren nach einer Störung wieder erholt und zumindest reduziert reproduzieren kann (z.B. Jonsson et al., 2013), wurden für den Inkwilersee auch junge Individuen mit einer Körpergrösse von ca. 1-5cm erwartet. Das kleinste gefundene Individuum war jedoch noch 9.7cm gross. Jungtiere <5cm wurden nicht gefunden. Eine Herausforderung für die Interpretation der Daten ist, dass auch für die Umsiedlung im Jahr 2018 nicht sicher gesagt werden kann, ob Jungtiere (<5cm) gefunden wurden, da die Umsiedlung damals nicht systematisch durchgeführt wurde und kleinere Individuen auch nicht fotografisch dokumentiert wurden. Einen zuverlässigen Nachweis für juvenile Individuen (<5cm) gab es somit weder im 2011 noch im 2018.

Eine schlechte Sauerstoffsituation in eutrophen Seen wirkt sich sowohl als begrenzender Faktor auf die Tiefenverteilung aus, als auch auf die Mortalitätsrate bei juvenilen Muscheln. Da Jungmuscheln einen höheren Sauerstoffbedarf haben als adulte Tiere (Ornatowski, 1967), gehen sie in eutrophen Habitaten (z.B. mit hohem Faulschlammanteil) viel eher zu Grunde als in einem gut durchlüfteten Sediment (Arter, 1989). Anhand der Befunde im Inkwilersee muss befürchtet werden, dass sich die Schwanenmuschel nach dem Eingriff in den See (ggf. auch schon vorher) nicht mehr ausreichend reproduziert hat. Es scheint aufgrund der vielerorts glibberigen, nährstoffbelastete und sauerstoffarmen Sedimente vermutlich nur noch wenige Bereiche im See zu geben, die für die jüngere und empfindlicheren Individuen geeignete Substrate und Bedingungen mit ausreichend Sauerstoff bieten.

Kein limitierender Faktor für die Fortpflanzung der Schwanenmuschel im Inkwilersee dürften hingegen die Wirtsfische sein, auf welche die Glochidien-Larven der Schwanenmuschel angewiesen sind. Trotz grösserer

Fischsterben in der Vergangenheit, verzeichnet der See weiterhin stabile Bestände von Egli, Schleie, Hecht, Rotaugen, Alet, Gründling und Sonnenbarsch (mündliche Kommunikation GBL und Hans Urben).

Der Umstand, dass bei der Erfolgskontrolle im Jahr 2024 fast alle lebenden Muscheln in den Schutzbereichen (z.B. nördliche Ufer, oder um die kl. Insel) gefunden wurden, kann verschiedene Gründe haben. Zum einen fanden in den Schutzbereichen keine Eingriffe (weder Seerosenmahd noch Absaugungen) statt. Zum anderen war das Substrat in diesen Bereichen, zumindest an einigen Stellen, durchaus für Muscheln geeignet und schien auch weniger Ablagerungen (Glibber) und Sauerstoffzählung aufzuweisen. Auch wurden im 2011 durch Arno Schwarzer die meisten lebenden Muscheln im nördlichen Teil des Sees beobachtet. Gleichzeitig wurden bei der Umsiedlung im Jahr 2018 aber auch fast alle Muscheln in genau diese Schutzbereiche gebracht und waren somit (tot oder lebendig) aufgrund der Umsiedlung auch hier zu erwarten. Die Fundorte überraschten somit nicht unbedingt, auch wenn gemäss der Daten der Umsiedlung gesamthaft deutlich höhere Individuenzahlen erwartet wurden.

Einzig die Befunde bei der grossen Insel wurden so nicht erwartet. Um diese Insel wurden im Jahr 2018 > 3000 Individuen ausgesetzt, im Jahr 2011 ebenfalls 3100 Muscheln. Zu diesen Individuen können weitere ca. 1000 Muscheln hinzugezählt werden, die Urs Gaschet (Naturschutzbeauftragter, Unterhalt) bereits im 2010/2011 persönlich aus dem Abfluss des Seebach gesammelt und ebenfalls zur grossen Insel umgesiedelt hatte. Gesamthaft sollten laut Dokumentation im Uferbereich der grossen Insel somit im Laufe der Jahre 7100 Individuen ausgesetzt worden sein.

Es erscheint daher äusserst erstaunlich, dass im Bereich rund um die grosse Insel nur knapp über 20 Schalen, davon 3 lebendige, gefunden wurden. Die lebendigen Muscheln hielten sich an einem Ort auf, wo das Substrat eine gut geeignete, leicht schlammige Konsistenz hatte und mit organischen Material und Stöckchen durchsetzt war. In den restlichen Bereichen um die grosse Insel war das Substrat häufig steinig, hart und mit Pfahlbauten-Resten durchsetzt (UNESCO-Welterbe aus der Bronzezeit). Aufgrund der Härte des Substrates ist nicht zu erwarten, dass sich besonders viele Muscheln im Substrat eingraben konnten und deshalb beim Monitoring durch die Taucherin übersehen wurde. Es gibt stellenweise jedoch auch einen schlackigen Gürtel um die Insel herum, wo weitere Schalen vermutet werden.

Die Archäologen, welche im November 2024 nördlich der grossen Insel Tauchuntersuchungen durchführten berichteten, dass sie ebenfalls kaum Muscheln auf der Nordseite der Insel gesichtet hätten (mündliche Kommunikation). Allerdings wurden im Schlamm-Schlickgürtel der Insel in den Vorjahren immer wieder Muscheln gefunden (L. Schärer, Archäologischer Dienst des Kantons Bern). Dabei handelte es sich laut Einschätzung aber primär um leere Schalen. Diese sind ggf. mit der Zeit im Schlick abgesunken. Dennoch wäre insgesamt eine deutlich höhere Anzahl zu erwarten gewesen. Der Bereich um die grosse Insel erschien jedoch, mit dem Wissen über die Umsiedlungszahlen, stellenweise wie «leergeputzt».

2018 stellten Taucher des Archäologischen Dienstes des Kantons Bern an der grossen Insel fest, dass die Pfahlbauten-Fundstelle wegen Grabarbeiten von Bibern, die die Insel als ihren Wohnbau nutzten, in ihrer Substanz gefährdet war. Die Nager hatten sich beim Bau von 14 Tunnelleingängen vom Wasser her durch mehrere Lagen von Bauhölzern aus der Bronze- und Jungsteinzeit durchgearbeitet. Weiter wurde berichtet, dass die Biber am Südufer der Insel für ihre Verbauungen im und über Wasser Muscheln einbauen würden (mündliche Kommunikation, GBL und Urs Gaschet). Dementsprechend liegt der Gedanke nahe, dass ein Teil der Muscheln ihren ursprünglichen Standort durch den Biber unfreiwillig gewechselt hat und ggf. sogar als Bausubstanz verwendet wurden. In welchem Ausmass dies geschehen ist und wo die restlichen Muscheln verblieben sind, bleibt jedoch weiter unklar. Es ist bekannt, dass Biber am Grund von Gewässern

Schlamm holen und auch regelmässig Muscheln auf Burgen transportieren (persönliche Kommunikation mit C. Angst). Das ein Biber aber mehrere hundert bis tausend Muscheln abtransportiert, erscheint unvorstellbar. Die zukünftig geplanten Bauarbeiten an der gr. Insel zum Schutz der Pfahlbauten könnten ggf. mehr Licht in die Sache bringen.

In den Sektoren 10-12 im südlichen Uferbereich des Inkwilersees wurde im Jahr 2014 im Rahmen eines Testversuches Schlammabsaugungen vorgenommen. Anschliessend wurden im Jahr 2018 bei der Umsiedlung der Schwanemuscheln ~1210 Individuen genau in diesen zuvor abgesaugten Bereich gebracht. Für diesen Bereich B ergab das Monitoring im Jahr 2024 ein auffälliges Ergebnis. Es wurde eine, der Anzahl der ausgesetzten Muschel entsprechende, Anzahl Schalen vorgefunden (>1000, Hochrechnung). Dabei handelte es sich jedoch vollständig um tote Muscheln, die dem Substrat auflagen. Auffällig war zum einen die grosse Dichte der Tiere und zum anderen, dass das Substrat stellenweise eine sehr glibbrige Substanz hatte, die bis >30 tief in den Boden verlief. Inwiefern die Seerosenmahd, der zuvor erfolgte Eingriff im 2014, oder der Haupteingriff im 2018 einen Einfluss auf das Sterben der Muscheln nach der Ansiedlung hatte, kann an dieser Stelle dennoch nicht sicher gesagt werden.

Es ist anzunehmen, dass schon das Abbrechen und Mähen der Seerosen einen erheblichen Eingriff in den Seegrund darstellte. Das Sediment, insbesondere an den Südufern, wurde dadurch ordentlich durchgepflügt und dabei viel Sediment aufgewirbelt. Weiter waren die umgesiedelten Muscheln im Inkwilersee während der Absaugarbeiten im 2018 teils 10 Stunden pro Tag, über mehrere Tage hinweg, den aufgewirbelten Schwebstoffen und Schadstoffen im See ausgesetzt. Das Ausmass dieser Exposition dürfte in den Sektoren 10-12, d.h. im südlichen Uferbereich des Sees, deutlich stärker gewesen sein, als im nördlichen Teil des Sees und in den Schutzbereichen. Allein die Menge der nicht gelösten Stoffe (org. Feinstoffe) können die Filtrationsleistung der Muscheln in den Sektoren 10-12 überfordert haben. Hinzu kommen weitere Abbauprodukte und Schadstoffe innerhalb des Sedimentes, die aufgewirbelt wurden. Für die Muscheln in den Abschnitten 10-12 sind möglicherweise die langandauernden Arbeiten im See verhängnisvoll gewesen. Eine grundsätzliche Frage ist daher, ob zukünftige Eingriffe dieser Art nicht über einen längeren Zeitraum und in mehreren Etappen durchgeführt werden sollten, um die Flora und Fauna nicht zu gefährden.

Das häufig aufgefundene glibbrige Substrat im Inkwilersee, kam an vielen Stellen, v.a. aber an den südlich gelegenen Uferstreifen des Inkwilersees vor. Dort, wo das Substrat diese glibbrige Konsistenz hatte, wurden keine oder nur einzelne lebende Muscheln gefunden. Im Umkehrschluss wurde bei allen lebenden Muscheln in den meisten Fällen ein deutlich gesünder wirkendes Substrat vorgefunden. Dieses hatte zwar schlammige Anteile, war gleichzeitig aber auch mit Sand und Holzstückchen oder Seerosenrhizomen durchsetzt.

Kontrollmessungen haben gezeigt, dass sich der Seegrund nach der kontrollierten Absaugung im 2018 innert weniger Tage an einzelnen Stellen um bis zu 60 cm wieder anhob. Es ist anzunehmen, dass sich über dem Grund eine Übergangsschicht zwischen dem Wasser- und dem Sedimentkörper ausbildete (aufgewirbeltes, organisches Feinmaterial sank wieder auf den Grund). Dabei war die von den Sedimententnahmen betroffene Fläche vermutlich länger von sauerstofffreiem Wasser überdeckt. Dieser sauerstofffreie Bereich stellte vermutlich für die Muscheln eine Herausforderung dar und könnte, neben den weiteren genannten Faktoren, u.a. zum Verlust der Muscheln in Sektor 12 und 13 beigetragen haben. Weiter stellt sich nach der Anhebung des Sedimentes die Frage, wie sich der Seegrund zukünftig verhalten wird.

Im Nachhinein kann nur spekuliert werden, ob die Seerosenmahd, das Umsiedeln, oder die Schlammabsaugung der Schwanemuschelpopulation am meisten zugesetzt hat. Analysen des See-

Substrates und ein Vergleich der Daten mit den Substratanalysen aus dem Jahr 2018 (Technischer Bericht, 2018) könnten zumindest Aufschluss über die Prozesse und mögliche Veränderungen der Substrateigenschaften und Chemie in der Wassersäule nach den Absaugungen im Inkwilersee geben. Diese Erkenntnisse wären für vergleichbare Herausforderungen in der Zukunft wertvoll.

Etwas rätselhaft erscheint der gesamthafte Rückgang der Anzahl Muscheln seit der Umsiedlung im 2018 und insbesondere die geringe Anzahl Muscheln rund um die grosse Insel. Der drastische Rückgang der lebenden Muscheln nach den Eingriffen im 2018 ist jedoch ein deutlicher und beunruhigender Trend. Es ist anzunehmen, dass die Verkleinerung der Population zukünftig Auswirkungen auf die Filtrationsleistung der Muscheln und damit auf das ökologische Gleichgewicht des Sees haben wird.

In Hinblick auf die nicht nachweisbare Reproduktion, die stark angestiegenen Mortalitätsraten und die immer noch bestehenden Nährstoff- und Pestizideinträge in den See, wird der Muschelbestand langfristig Mühe haben sich zu erholen.

## 7. Fazit Muschelmonitoring Inkwilersee 2024

1. Der Zustand der Population hat sich im Vergleich zu 2011 und 2018 drastisch verschlechtert.
  2. Die toten Individuen machen nun den grössten Teil der Population aus.
  3. Grössenmessungen und Altersschätzungen wiesen mehrheitlich ältere adulte Tiere auf.
  4. Es konnte 2024 kein Nachweis dafür gefunden werden, dass sich die Schwanemuschel im Inkwilersee noch reproduziert.
  5. Einen verlässlichen Nachweis dafür, ob und zu welchem Grad sich die Muscheln zwischen 2011 und 2018 noch reproduziert haben, gibt es jedoch auch nicht (wurde nicht systematisch erfasst).
  6. Selbst wenn sich die Schwanemuschel noch geringfügig reproduzieren sollte, sind die Bedingungen für das Überleben der Jungtiere kaum (nur an wenigen Stellen im See) gegeben.
  7. Es gibt jedoch noch Bereiche im See, an denen die adulten Tiere überleben konnten.
  8. Lebenden Muscheln wurden mehrheitlich in den 2018 ausgeschiedenen Schutzzonen gefunden. Diese wiesen Seerosenbewuchs und/oder Substrat mit geeigneter Beschaffenheit und Sauerstoffsättigung auf. Diese Bedingungen sind nur noch an wenigen Stellen im See gegeben.
  9. In den Bereichen, in denen Sediment abgesaugt wurde und/oder eine glibbrige Konsistenz aufwies, wurden kaum oder v.a. tote Muscheln gefunden.
  10. Die an der grossem. Insel ausgesetzten >6000 Tiere sind zu einem grossen Anteil verschwunden (tote und lebendige). Der Bereich erscheint wie «leergeputzt». Wanderungen, das Versinken von Muscheln im Schlamm und/oder Biberaktivitäten könnten einen Teil der Erklärung sein, aber wohl nicht vollständig.
- => Die zum Schutz der Grossmuscheln ausgeführten Umsiedlungen innerhalb des Inkwilersees haben, wenn überhaupt nur in geringem Mass funktioniert. Ob dies wegen ungeeigneter Schutzzonen, wegen des Stresses durch die Umsiedlung selbst und/oder weiterer Faktoren bedingt ist, bleibt offen.

### **Ausblick:**

11. Der Rückgang lebender Individuen wird sich vermutlich auf die Filtrationsleistung der Population im See, gerade im Sommer, stark negativ auswirken.
12. In Hinblick auf die nicht nachweisbare Reproduktion, die stark angestiegenen Mortalitätsraten und die immer noch bestehenden Nährstoff- und Pestizideinträge in den See, wird die Muschelpopulation im Inkwilersee langfristig Mühe haben sich zu erholen.

**Empfehlungen:**

13. Die Bedingungen für die Muscheln im Inkwilersee waren schon vor dem Eingriff im 2018 herausfordernd. Neue Sedimentanalysen und ein Vergleich mit den im 2018 beim Eingriff gesammelten Sedimentproben sowie erneute Aufnahmen des Seeuntergrundes könnten wichtige Erkenntnisse über die Prozesse im See nach der Absaugung generieren.
14. Kontrolle der Muschelbestände mindestens an den heutigen Hotspots in ca. 5 Jahren (2029). Die Ufer, die 2024 aus Zeitgründen nicht systematisch untersucht wurden (Strecken zwischen Zone N und bis und mit J2 sowie Strecke zwischen Zone A und B), sollten wenn möglich einbezogen werden.
15. Neues Luftbild ca. alle 4 Jahre wiederholen, um die mögliche Erholung der Seerosenbestände zu erfassen.
16. Schutzzonen mit lebenden Muscheln unbedingt weiterhin schützen (keine Mahd, keine Rhizome entfernen, keine Entschlammung, nicht begehen). Wo Schutzzonen von Massnahmen (z.B. Ostseite grosse Insel) betroffen sind, die wenigen lebenden Muscheln vorsichtig in eine der anderen Schutzzonen überführen, bevor der Eingriff stattfindet.
17. Generell im Uferbereich vorsichtig arbeiten, damit eventuell lebende Muscheln nicht beschädigt werden.
18. Zukünftigen Ausbaggerungen in anderen Seen mit Grossmuschelbeständen müssen kritisch beurteilt werden. Da es bei Umsiedlungen zu einer nachhaltigen Verschlechterung des Bestandes kommen kann.

## 8. Literatur

Arter, H. E., 1989. Effect of eutrophication on species composition and growth of freshwater mussels (Mollusca, Unionidae) in Lake Hallwil (Aargau, Switzerland). *Aquat. Sci.* 51: 87-99.

Chojnacki J. C., Lewandowska A., Rosinska B, 2007. Biometrics of the mussel *Anodonta cygnea* (L.) inhabiting the Binowo and Bobolin Lakes near Szczecin. *Oceanological and Hydrobiological Studies International Journal of Oceanography and Hydrobiology* 36, 3, (21-37), 24.

Jonsson A., Bertilsson A. and Rydgard M. 2012. Spacial distribution and age structure of freshwater unionid mussels *Anodonta anatina* and *Unio tumidus* : implications for environmental monitoring. *Hydrobiologia*. Volume 711, pages 61–70.

Muller D. and Patzner R.A., 1996. Growth and age structure of the swan mussel *Anodonta cygnea* (L.) at different depths in lake Mattsee (Salzburg, Austria). *Hydrobiologia* 341: 65-70.

Ornatowski Z (1967) Oxygen consumption in several species of freshwater mussels (Bivalvia). *Bull Soc Amis Sci Lett Poznan Ser D-8:143–148*.

Patzner R. A., Loidl B., Glechner R. and Hofrichter R., 1993. Abundanz und Tiefenverteilung von Najaden (Mollusca: Bivalvia: Unionidae) in den Seen des Salzburger Alpenvorlandes (Osterreich). *Natur und Landschaft* 68: 58-62.

Watters G, O'Dee S and Chordas S, 1996. Shedding of Untransformed Glochidia by Fishes Parasitized by *Lampsilis fasciola* Rafinesque (Mollusca: Bivalvia: Unionidae): Evidence of Acquired Immunity in the Field? *Journal of Freshwater Ecology* 11(4):383-389

## 9. Anhang



Abbildung 7: Verschiedene Grössenklassen der Schwanenmuschel (*Anodonta cygnea*), welche beim Pilotversuch im Jahr 2011 im Inkwilersee gesammelt werden konnten. Die Bilder zeigen eine Grössenvariation von ~6 – 13cm (Fotos: Arno Schwarzer)

*Tabelle 4 Bereich der Wirkungskontrolle im 2024 mit Angaben zu lebenden und toten Individuen sowie den vorgefundenen Substrateigenschaften in den verschiedenen Bereichen.*

Datum	Bereich Monitoring /Sektor #	lebende Muscheln	Tote Muscheln (grob)	Substrat	Seerosen
23.02.2024	A (~20-16)	5	~ 40	Viel Laub, Hölzchen, schlammig, kein Glibber	wenig
07.05.2024	B (15- ca.10)	1	>1000	Ufer mit Wurzeln und Holz, Rest stark glibbrige Masse >30 cm	Gemäht, nicht erholt
07.05.2024	Schutzbereich 14	1	Wenige (~30)	Hölzchen, mehr Sand, weniger Schlammig	einige Seerosen
17.10.2024	C (Sektor 7-6)	0	17	Steiniges Substrat, Hölzer, Debris, Blätter	Wenig Seerosen
17.10.2024	C (Sektor 5)	0	0	Totholz, Blätter, teilweise steinig	Wenige Seerosen
17.10.2024	D (Sektor 1-2)	0	0	Totholz, Blätter, viel Glibber	Wenige Seerosen
17.10.2024	E-F (Gr. Insel)	0	0	Steinig, Pfahlbauten	Seerosen
17.10.2024	G (Gr. Insel)	2	3	Steinig, Pfahlbauten	Seerosen
17.10.2024	H-I (Kl. Insel)	<b>70</b>	< 50	Fest, sandig, etwas Schlamm, Wurzeln	Seerosengürtel
17.10.2024	J1+J2 (Schutzbereich zw. 20-21)	9	17	Sandig, Totholz, mittelfest	Schilf und teilweise Rhizome, Seerosen
08.11.2024	Sektor 7 bis gr. Schutzbereich)	1	~40	Schlammig, vor Schilf	1m breites Schilf, davor Seerosen
08.11.2024	K-L (Gr. Schutzbereich)	<b>53</b>	~25	Sand mit Hölzern und Wurzelgeflecht,	Seerosen vorhanden

				teilweise etwas Schlamm	
<b>08.11.2024</b>	M (Kantonsgrenze, Sektor 25)	10	>6	Grosse Rhizome, lockeres Material, Glibber, Hölzchen/ Blätter	Vereinzelt Seerosen, aber viele Rhizome
<b>08.11.2024</b>	N (Kleiner Schutzbereich, Grenze Sektor 24)	0	0	Hölzchen, Blättchen ca. 0.2., darunter beginnt Glibber	Im Uferbereich wenig Seerosen