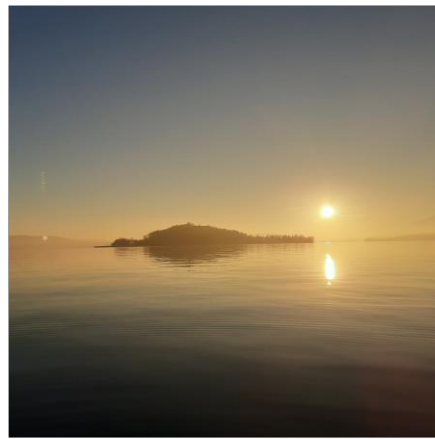


# Muschelmonitoring Thuner- und Bielersee

## Grossmuscheln und invasive Muscheln

21. Februar 2022





## Impressum

### **Auftraggeber:**

Fischereiinspektorat des Kantons Bern  
Daniel Bernet  
Schwand 17  
3110 Münsingen

### **Auftragnehmer:**

UNA AG  
Nadine Sarbach  
Schwarzenburgstrasse 11  
3007 Bern  
[sarbach@unabern.ch](mailto:sarbach@unabern.ch)

### **Projektteam:**

Arno Schwarzer, Ecologis  
Corinna von Kürthy, UNA Bern  
Thomas Kreienbühl, Ecqua GmbH  
Nadine Sarbach, UNA Bern

### **Autoren:**

Nadine Sarbach: [sarbach@unabern.ch](mailto:sarbach@unabern.ch)

Thomas Kreienbühl: [thomas.kreienbuehl@ecqua.ch](mailto:thomas.kreienbuehl@ecqua.ch)

interne Projektnummer: 2455

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>1. Ausgangslage</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Ziele</b>	<b>8</b>
<b>2. Methoden</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Allgemeines Vorgehen</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Standortwahl</b>	<b>8</b>
2.2.1 Grobkartierung	8
2.2.2 Feinkartierung	12
<b>2.3 Vorgehen im Feld</b>	<b>12</b>
<b>2.4 Laboranalysen</b>	<b>14</b>
<b>2.5 Durchführung der Feldarbeiten</b>	<b>15</b>
<b>3. Resultate Bielersee</b>	<b>16</b>
<b>3.1 Einheimische Grossmuscheln</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Überblick über die invasiven Kleinmuscheln</b>	<b>18</b>
<b>3.3 <i>Dreissena polymorpha</i> und <i>Dreissena rostriformis bugensis</i></b>	<b>20</b>
3.3.1 Besiedlung in Abhängigkeit des Substrates	21
3.3.2 Besiedlung in Abhängigkeit der Gewässertiefe	24
<b>3.4 <i>Corbicula fluminea</i></b>	<b>26</b>
3.4.1 Besiedlung in Abhängigkeit der Gewässertiefe	27
<b>4. Resultate Thunersee</b>	<b>28</b>
<b>4.1 Einheimische Grossmuscheln</b>	<b>28</b>
<b>4.2 Invasive Kleinmuscheln: <i>Dreissena polymorpha</i></b>	<b>29</b>
<b>5. Diskussion</b>	<b>33</b>
<b>5.1 Methodische Aspekte</b>	<b>33</b>
5.1.1 Grobkartierung	33
5.1.2 Feinkartierung	33
5.1.3 Grossmuscheln	33
5.1.4 Weiteres Vorgehen	34
<b>5.2 Einheimische Grossmuscheln</b>	<b>34</b>
5.2.1 Bielersee	34
5.2.2 Thunersee	35
<b>5.3 Invasive Kleinmuscheln</b>	<b>35</b>
5.3.1 Bielersee	35
5.3.2 Thunersee	37
<b>5.4 Fazit und Empfehlungen</b>	<b>38</b>
5.4.1 Grossmuscheln	38
5.4.2 Invasive Kleinmuscheln Bielersee	38
5.4.3 Invasive Kleinmuscheln Thunersee	38
<b>6. Literatur</b>	<b>39</b>

<b>Anhang 1: Protokoll Grobkartierung - Phase I, Bielersee</b>	<b>41</b>
<b>Anhang 2: Protokoll Grobkartierung - Phase I, Thunersee</b>	<b>43</b>
<b>Anhang 3: Protokoll Feinkartierung - Phase II, Bielersee</b>	<b>45</b>
<b>Anhang 4: Protokoll Grobkartierung Phase II, Thunersee</b>	<b>46</b>
<b>Anhang 5: Standortfotos Bielersee - Phase II</b>	<b>47</b>
<b>Anhang 6: Standortfotos Thunersee - Phase II</b>	<b>49</b>

## Zusammenfassung

Die Populationen der einheimischen Grossmuscheln in Schweizer Seen sind einem drastischen Rückgang unterworfen. Unter anderem kann auch die Verbreitung von invasiven, gebietsfremden Muscheln als Ursache genannt werden. Während die Zebramuschel *Dreissena polymorpha* und die asiatische Körbchenmuschel *Corbicula fluminea* seit längerem in der Schweiz vorkommen, verbreitet sich die Quaggamuschel *Dreissena rostriformis bugensis* erst seit wenigen Jahren in der Schweiz. Im Jahr 2019 wurde sie erstmals im Bielersee dokumentiert. Insgesamt fehlen jedoch systematische und quantitative Daten zur Populationsdynamik von Grossmuscheln und invasiven Muscheln. Die vorliegende Untersuchung möchte diese Lücke schliessen und schlägt ein standardisiertes Vorgehen vor, welches im Bieler- und Thunersee angewendet wurde. In einem ersten Schritt wurden Transsekte abgetaucht und Grossmuscheln sowie die Substratbeschaffenheit notiert. In einem zweiten Schritt wurden pro Transsekt drei Grossquadrate von 2,5 x 2,5 m auf 0-12 m Tiefe nach Grossmuscheln abgesucht und Substratproben (3 x 0,25 x 0,25 m) für die Erfassung der invasiven Muscheln entnommen.

Im Bielersee konnten drei einheimischen Grossmuschelarten gefunden werden: Die Grosse Teichmuschel *Anodonta cygnea* (nicht gefährdet), die Flache Teichmuschel *Anodonta anatina* (verletzlich) und die Aufgeblasene Flussmuschel *Unio tumidus* (stark gefährdet). Die Funde wurden an drei Standorten gemacht, wobei die Individuenzahl im Naturschutzgebiet südlich der St. Petersinsel am höchsten war. Alle lebend gefundenen Grossmuscheln waren durch *Dreissena*-Arten direkt besiedelt.

Im Thunersee wurde an fünf Standorten ausschliesslich die Flache Teichmuschel *A. anatina* gefunden. In den Proben waren ausserdem auch Bruchstücke von Schalen der Aufgeblasenen Flussmuschel *U. tumidus* vorhanden, was auf ein mögliches Vorkommen im Thunersee schliessen lässt. Auch hier wiesen die Funde nicht auf dichte Grossmuschelpopulationen hin.

Unter den invasiven Muscheln im Bielersee ist die Quaggamuschel sehr dominant gegenüber der Zebramuschel sowie der asiatischen Körbchenmuschel und hat sich bereits in sehr hoher Zahl im gesamten See verbreitet. Die Spitze der Besiedlungsdichte der Quaggamuschel wurde bei Tüscherz und beim Nidau-Büren-Kanal erreicht. Bei Tüscherz auf 10 m Tiefe erreichte die Quaggamuschel eine Dichte von 55'979 Individuen/m<sup>2</sup>, die Zebramuschel die Besiedlungsspitze von 1365 Individuen/m<sup>2</sup>. An Stellen mit sehr dichtem Armleuchteralgenbewuchs waren beide Arten weniger häufig und die Population hauptsächlich von kleinen Jungmuscheln geprägt. Eine Abhängigkeit zu Hart- oder Feinsubstrat konnte nicht festgestellt werden und die Quaggamuschel bildet durch Aufsitzen auf leeren Muschel- oder Schneckenschalen oder anderen harten Untergründen auch im Feinsubstrat Aggregat mit hohen Individuenzahlen. Wie in diversen anderen Studien dokumentiert, wurde im Datensatz ist ein signifikanter Zusammenhang zwischen Besiedlungsdichte der Quaggamuschel und der Seetiefe festgestellt. Diese Abhängigkeit kann verschiedene Gründe haben: Kühlere und ausgeglichene Temperaturen in der Tiefe, stärkere Strömungen auf 10 m Tiefe sowie eine bessere Nährstoffverfügbarkeit (insbesondere bei Tüscherz und beim Nidau-Büren-Kanal) und weniger Prädationsdruck durch Wasservögel. Die asiatische Körbchenmuschel *C. fluminea* erreichte die Besiedlungsspitze hinter einem Wellenbrecher beim Nidau-Büren-Kanal mit 661 Individuen/m<sup>2</sup>. An dieser Stelle fehlte die Quaggamuschel und die Zebramuschel war nur vereinzelt vertreten.

Im Thunersee ist unter den invasiven, gebietsfremden Muscheln bis jetzt nur die Zebramuschel *D. polymorpha* präsent und erreichte eine maximale Besiedlungsdichte von 320 Individuen/m<sup>2</sup>. Aufgrund der Ökologie der Quaggamuschel, die als die Kaltwasserart unter den beiden *Dreissena*-Arten gilt, ist aber die Ausbreitung der Quaggamuscheln zu erwarten.

Die Resultate weisen darauf hin, dass die einheimischen Grossmuscheln im Thuner- und Bielersee einem starken Besiedlungsdruck durch die invasiven Muscheln ausgesetzt sind. Der Zustand der Populationen ist besorgniserregend und ohne gezielte Förder- und Schutzmassnahmen ist davon auszugehen, dass die Grossmuscheln aus dem Bieler- und Thunersee in nicht allzu ferner Zukunft verschwinden werden.

Gleichzeitig breitet sich die Quaggamuschel in einem enormen Tempo aus und dürfte, sollte der Thunersee nicht mit restriktiven Massnahmen geschützt werden, sich auch dort etablieren.

Um die Entwicklung der Ausbreitung aller gebietsfremder Muscheln, die Besiedlungsdichte sowie das Vorkommen der einheimischen Grossmuscheln zu dokumentieren und allfällige Schutz- und Fördermassnahmen zu überprüfen, wird eine regelmässige Untersuchung der Muschelpopulationen in Thuner- und Bielersee empfohlen.

# 1. Ausgangslage

Die Fauna in Fliessgewässern und Seen der Schweiz ist zahlreichen Beeinträchtigungen unterworfen und die Kenntnis über die Verbreitung von Arten ist unabdingbar für den Erhalt und die Förderung der Biodiversität.

Über den Zustand der Wirbellosenfauna in Seen fehlt das Wissen weitgehend. Sofern das Makrozoobenthos in Seen periodisch untersucht wird, dienen die angewendeten Methoden aber nicht für eine Inventarisierung der Grossmuscheln. Ebenso bestehen auch keine offiziellen, standardisierten Methoden zur Untersuchung der Grossmuschelbestände.

Dabei sind insbesondere die Grossmuscheln starkem Rückgang unterworfen: Von acht einheimischen Grossmuschelarten in der Schweiz gelten sieben als Arten von Nationaler Priorität, die in der Roten Liste aufgeführt sind (BAFU, 2019). Um diese Arten vor weiterem Rückgang zu bewahren und ihr Vorkommen zu fördern, sind Kenntnisse über die Lokalisation und die Grösse von Populationen sowie über den Zusammenhang mit möglichen Einflussfaktoren notwendig. Die Gründe für den Gefährdungsstatus der meisten Grossmuscheln sind vielschichtig, ihr Vorkommen hängt von verschiedenen Faktoren ab. Zentrale Punkte sind der Verlust des Lebensraumes sowie seiner Qualität: Seeregulierungen, Nährstoffeinträge, Uferverbauungen, Entnahme von Sedimenten oder Gewässerverschmutzungen (vgl. Bogan 1993). Zudem sind Wechselwirkungen mit anderen Arten ebenfalls wichtige Faktoren für den Rückgang. So ist beispielsweise das Vorkommen von Wirtsfischen, an denen die Muschellarven (Glochidien) parasitieren, für die Reproduktion von zentraler Bedeutung. Als gesichert gilt insbesondere, dass die gebietsfremden Kleinmuscheln einen dramatischen Einfluss auf Populationen einheimischer Grossmuscheln haben (Burlakova et al. 2000).

Die Bivalvien-Fauna in den grossen Schweizer Seen ist seit langer Zeit grossen Veränderungen unterworfen (u.a. diverse Seeregulierungen oder Eutrophierungsphase). Während der fortschreitende Rückgang der Grossmuschelpopulationen Fakt ist, verbreiten sich seit den früheren 1980er-Jahren die aus dem Schwarzen Meer stammende Wandermuschel *Dreissena polymorpha* und seit Mitte der 2000er-Jahre die asiatische Körbchenmuschel *Corbicula fluminea* in der Schweiz (Kartenserver info fauna - CSCF, Abruf, 14.12.2020). Seit dem Jahr 2019 wurde eine weitere invasive, gebietsfremde Muschel festgestellt: Die Quaggamuschel *Dreissena rostriformis bugensis*.

Während von der asiatischen Körbchenmuschel hauptsächlich eine Nahrungskonkurrenz ausgeht, schaden die *Dreissena*-Arten den Grossmuscheln zusätzlich, in dem sie diese als Substrat nutzen (Burlakova et al. 2000, Haag et al. 1993, Hebert 1991). *Dreissena*-Arten heften sich mit starken Byssusfäden an harte Oberflächen. Dies können Steine, Felsen, Infrastruktureinrichtungen, aber auch andere Muscheln sein. Das Aufsitzen führt zu einer Gewichtsbelastung, die zum Umkippen und Ersticken der als Substrat benutzten Muschel führen kann (Strayer 1999; Karatyev et al. 1997; Burlakova et al. 2000).

Die Veränderungen der Muschelfauna wurde bisher entweder in einzelnen Teilprojekten oder durch subjektive Wahrnehmungen von Naturbeobachtern und Biologen festgestellt. Ein standardisiertes Monitoring, welches vergleichende Daten liefert, gab es bis heute nicht. Das vorliegende Projekt schliesst diese Lücke, in dem nach einem standardisierten Verfahren im Bieler- und im Thunersee die Muschelfauna erhoben und analysiert wird.

## 1.1 Ziele

Mit den Untersuchungen im Bieler- und Thunersee werden folgende Ziele verfolgt:

- Erarbeitung einer reproduzierbaren Feldmethode zur standardisierten Suche nach Muscheln resp. Grossmuscheln in Seen
- Verbesserung der Kenntnisse über Verbreitung und Populationsstruktur von Grossmuscheln.
- Erstellung von Verbreitungskarten der gefundenen Grossmuscheln
- Aufzeigen von Verbreitung und Besiedlungsdichten von invasiven Muscheln
- Dominanzverhältnisse von Dreikant- und Quaggamuschel
- Beobachtungen zum Auftreten der Quaggamuscheln in Bezug auf das Substrat und die Seetiefe

Aufbauend auf den quantitativen Daten der Feinkartierungen können in regelmässigen Abständen die Aufnahmen wiederholt werden, um die Artenvielfalt sowie die Populationsentwicklung der verschiedenen Muschelarten in den beiden Seen einzuschätzen. Damit erhalten die kantonalen Behörden eine solide Datengrundlage für das Management der Seen und ein vertieftes Wissen über die lokalen Muschelpopulationen und deren Entwicklung.

## 2. Methoden

### 2.1 Allgemeines Vorgehen

Die Methodik richtete sich nach den folgenden Teilschritten:

1. Standortwahl Grobkartierung – Phase I
2. Feldarbeit Grobkartierung – Phase I
3. Standortwahl Feinkartierung – Phase II
4. Feldarbeit Feinkartierung – Phase II
5. Laboranalysen invasive Muscheln

### 2.2 Standortwahl

#### 2.2.1 Grobkartierung

Die Standortwahl für die Phase I basiert auf die Seeuferökomorphologie der Flachwasserzone und die Ausdehnung der Flachwasserzone im See. Die Anzahl Probestellen sollen den prozentualen Anteil an naturnahen und beeinträchtigten Flachwasserzonen repräsentieren (Tabelle 1). Zusätzlich wird darauf geachtet, dass sowohl Flach- als auch Steilufer in beiden Kategorien (naturnah und beeinträchtigt) vertreten sind und die untersuchten Abschnitte über alle Bereiche des Sees verteilt sind.

Bei der Auswahl der Stellen wurden zudem Abschnitte gewählt.

- in denen seit dem Jahr 2000 ein Grossmuschelvorkommen beim CSCF gemeldet wurde (Info fauna – CSCF, 2020).



- die entsprechende Kategorie der Flachwasserzone (naturnah/beeinträchtigt) über mindestens 150 m konstant bleibt.

Für die Auswahl wurde der GIS-Datensatz des Kantons Bern zur Seeuferökomorphologie (AWA, 2018) sowie die bathymetrischen Daten verwendet (AWA 2017; AWA 2020)

Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen die Lage der gewählten Untersuchungsabschnitte sowie die Tabelle 3

Tabelle 1: Ökomorphologie der Flachwasserzonen

Kategorien Ökomorphologie Flachwasserzone		Thunersee		Bielersee	
Kategorie	Güteklasse gemäss MSK	Prozent	Anzahl Stellen	Prozent	Anzahl Stellen
naturnah	natürlich – wenig beeinträchtigt	61 %	12	70 %	14
beeinträchtigt	beeinträchtigt - künstlich	39 %	8	30 %	6

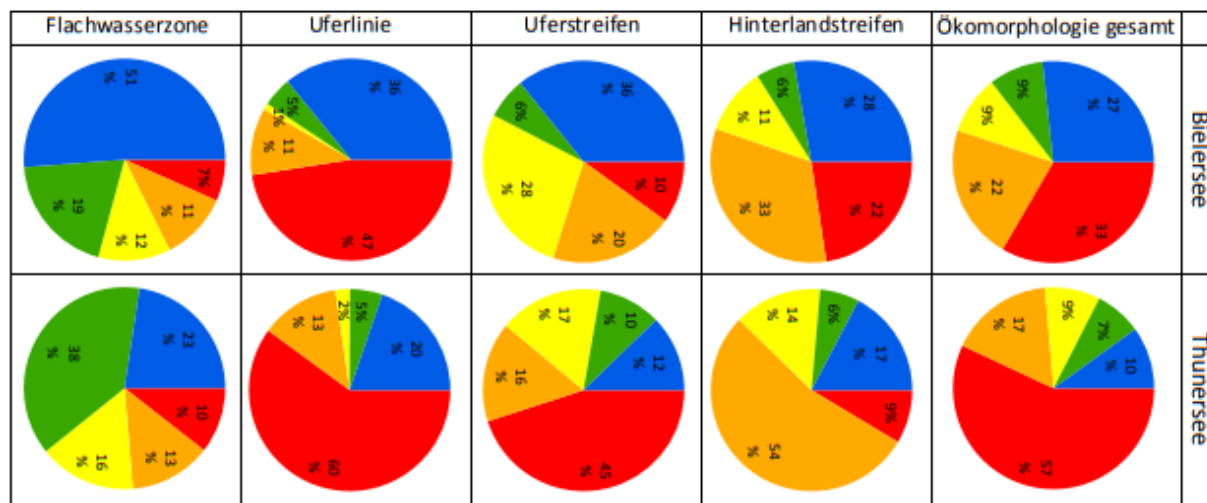


Abbildung 1: Darstellung der Ökomorphologie von Bieler- und Thunersee. rot: künstlich, orange: naturfremd, gelb: beeinträchtigt, grün: wenig beeinträchtigt, blau: naturnah, natürlich.



Abbildung 2: Lage der Untersuchungsabschnitte im Bielersee für Phase I. Rote Standorte = Flachwasserzone beeinträchtigt - künstlich; grüne Standorte = Flachwasserzone natürlich – wenig beeinträchtigt.

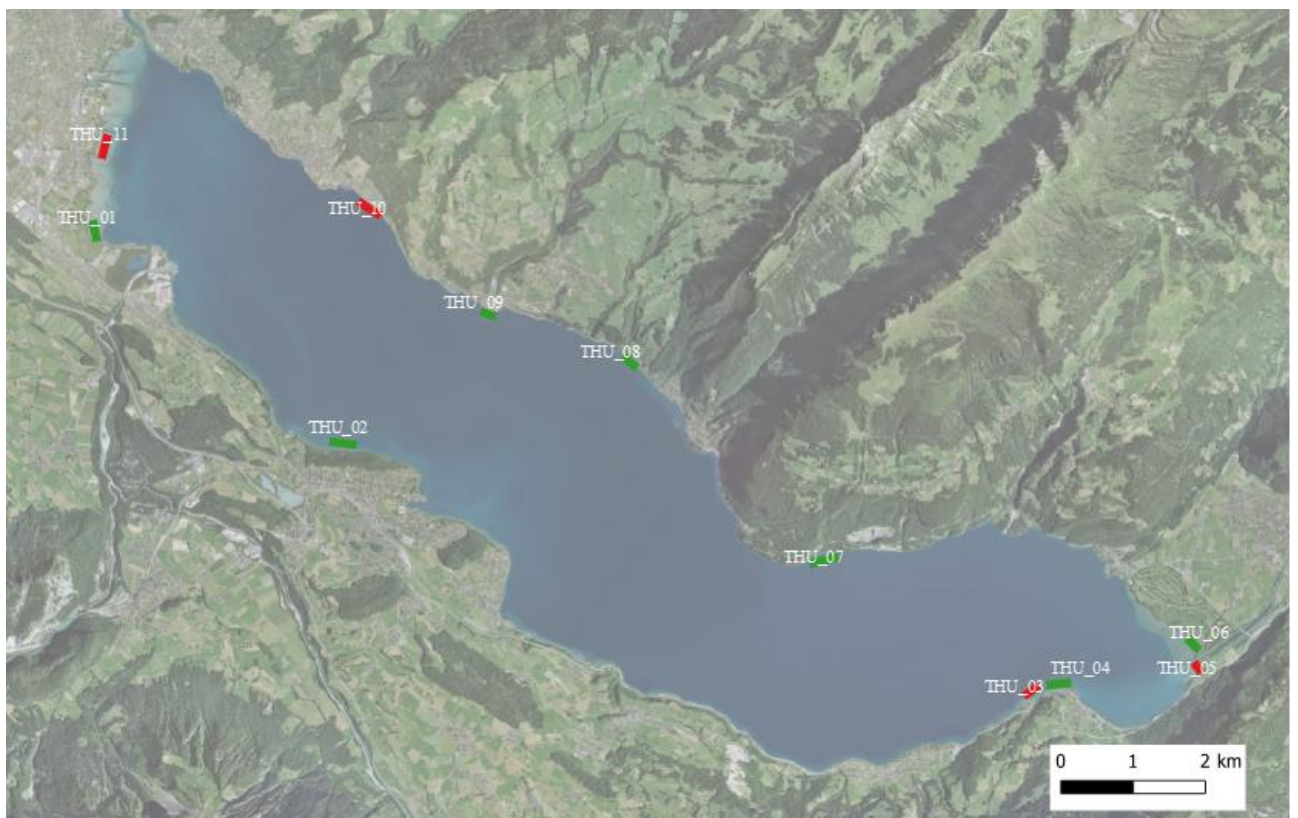


Abbildung 3: Lage der Untersuchungsabschnitte im Thunersee für Phase I. Rote Standorte = Flachwasserzone beeinträchtigt - künstlich; grüne Standorte = Flachwasserzone natürlich – wenig beeinträchtigt.

Tabelle 2: Beschaffenheit Flachwasserzone (FWZ); Ausdehnung der Flachwasserzone: gering = bis zu 20 m (=Steilufer); mittel = 20-100 m; gross > 100 m (=Flachufer); Uferbeschaffenheit; jüngste Muschelfunde gemäss Datenbank info fauna (20.5.2020); Anzahl der Tranksekte für die Grobkartierung – Phase I (GK); Wahl des Abschnittes für die Feinkartierung – Phase II (FK).

Standort	Zustand FWZ	FWZ Ausdehnung	Ufer	Muschelfunde bisher (jüngste)	Länge Abschn.	GK	FK
BIE_01	naturnah	gross	Hartverbau	<i>A. anatina</i> , 2004	367	2	nein
BIE_02	beeinträchtigt	gross	Hartverbau		425	2	ja
BIE_03	naturnah	gering	Hartverbau		261	2	ja
BIE_04	beeinträchtigt	mittel	Hartverbau		256	2	ja
BIE_05	naturnah	mittel	Wald	<i>U. tumidus</i> , 2006	279	2	ja
BIE_06	naturnah	gross	Wald	<i>U. tumidus</i> , 2014	187	2	ja
BIE_07	naturnah	mittel	Wald/Schilf		263	2	ja
BIE_08	naturnah	gross	Wald	<i>U. tumidus</i> , 2002		1	nein
BIE_09	naturnah	gross	Schilf	<i>U. tumidus</i> , 2002	373	2	ja
BIE_10	beeinträchtigt	gross	Sandbank/Schilf		163	1	nein
BIE_11	naturnah	gross	Sandbank/Schilf		254	1	nein
BIE_12	beeinträchtigt	gross	Teilw. Hartverbau		169	1	ja
THU_01	naturnah	gross	Schilf	<i>A. cygnea</i> , 2020	185	2	ja
THU_02	naturnah	mittel	Wald		267	1	ja
THU_03	beeinträchtigt	mittel	Hartverbau		141	2	ja
THU_04	naturnah	mittel	Hartverbau		226	2	nein
THU_05	beeinträchtigt	gross	Hartverbau		57	1	nein
THU_06	naturnah	gross	Schilf		126	2	ja
THU_07	naturnah	gering	Wald		297	1	ja
THU_08	naturnah	gering	Hartverbau		143	1	ja
THU_09	naturnah	mittel	Hartverbau	<i>A. anatina</i> , 1986	110	1	ja
THU_10	beeinträchtigt	gering	Hartverbau	<i>A. anatina</i> , 1986	255	1	ja
THU_11	beeinträchtigt	gross	Hartverbau			2	nein

### 2.2.2 Feinkartierung

Nachdem in einem ersten Schritt in Phase I pro Standort ein bis zwei Transsekte mittels ROV oder schnorchelnd kartiert und mit GPS vermessen wurden, erfolgt die Auswahl der Standorte für die Grobkartierung. Ausschlaggebend dafür sind:

- Grossmuschelfunde
- Substrattypen
- Steil- und Flachufer
- Ökomorphologie Seeufer
- Räumliche Verteilung der Probestellen über den See

Zu beachten bei der Auswahl ist, dass die Probenahmestellen repräsentativ für den betreffenden See ausgewählt werden. Beispielsweise orientiert sich die Anzahl zu betauchender Grossquadrate pro Tiefenklasse am Vorkommen der entsprechenden Tiefenklasse (3 Klassen: 0-4, 4-8 und 8-12 m) im entsprechenden See. Dazu kann vorab beispielsweise die Bathymetrie eines Sees analysiert werden. Ebenfalls sollten die Probenahmestellen sinnvoll über den See verteilt sein, so dass räumliche Zusammenhänge allenfalls sichtbar werden.

Das Ziel bei der Auswahl der Standorte für die Feinkartierung ist, die Grundlage für eine quantitative Analyse der unterschiedlichen Muschelarten zu legen. Dank diesen quantitativen Daten ist es möglich, eine Standortbestimmung bezüglich Artenvielfalt und Populationsdichte für einen bestimmten See durchzuführen. Sind die Standorte repräsentativ ausgewählt, ermöglicht dies zudem zukünftig weitere Erhebungen durchzuführen und die Daten mit der vorliegenden Studie zu vergleichen. Damit ist es zukünftig möglich, Veränderungen im zeitlichen Verlauf beispielsweise der Artenvielfalt, Populationsdichte oder Altersstruktur sichtbar zu machen, um allenfalls notwendige Schutz- beziehungsweise Fördermassnahmen besser planen zu können.

## 2.3 Vorgehen im Feld

Das Vorgehen beinhaltet zwei unterschiedliche Erfassungsmethoden, bei dem in Phase I eine Grobkartierung mittels ROV (engl. remotely operated vehicle; «Unterwasserdrohne») und/oder Schnorcheln vorgenommen wird und in Phase II eine Feinkartierung durch Tauchen. Ein vergleichbares Vorgehen wird bis heute auch am Bodensee verwendet (Rey et al. 2005).

Phase I ermöglicht, Vorkommen von Grossmuscheln und v.a. invasiven Kleinmuscheln zu lokalisieren und deren Dichte abzuschätzen, indem mehrere Transsekte pro Standort schnorchelnd oder mit einer Drohne abgetaucht werden. Zusätzlich wird die Bodenabdeckung in Anteilen von Substrattypen grob geschätzt (Substrat, Totholz, Makrophyten).

Acht bis neun Standorte werden in einer Feinkartierung (Phase II) quantitativ untersucht (Tabelle 3), wobei an mindestens drei Stellen Grossquadrate in einer Grösse von je 2,5 x 2,5 m nach Grossmuscheln abgesehen werden und innerhalb dieser Grossquadrate an drei Stellen 0,25 x 0,25 m Substrat ausgehoben wird. Die Substratproben werden im Boot gereinigt und die invasiven Muscheln in Ethanol konserviert.

Bei sehr dichtem Makrophytenbewuchs wird zusätzlich auch etwas Bewuchs der Probe beigelegt. Je nach Pflanzenmassen ist es nicht möglich, den gesamten Bewuchs des Kleinquadrates zu konservieren.

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Methoden aus Phase I und Phase II

	Phase I - Grobkartierung	Phase II - Feinkartierung
<b>Ziel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erfassen der Vorkommen von Grossmuscheln und invasiven Kleinmuscheln</li> <li>- Abschätzung Substrattyp und Makrophytenbewuchs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Artbestimmung</li> <li>- Populationsgrössen</li> <li>- Altersstruktur</li> <li>- Besiedlungsdichten von invasiven Muscheln</li> <li>- Verhältnis Besiedlung von <i>D. polymorpha</i> zu <i>D. rostriformis bugensis</i></li> </ul>
<b>Methode</b>	ROV, Schnorcheln	Tauchen
<b>Untersuchte Fläche pro Transekt</b>	<p>Schnorcheln: 2-3 Flächen à 20 x 20 m</p> <p>ROV: 5 Punkte auf Transekt à 2 x 2 m → siehe Abbildung 4</p>	<p>3 Flächen à 2.5 x 2.5 m in 0-4 m, 4-8 m, 8-12 m Wassertiefe</p> <p>Pro Fläche werden 3 (gepoolte) Laborproben mit invasiven Muscheln (25 x 25 cm) entnommen.</p> <p>→ siehe Abbildung 5</p>
<b>Tauchtiefe</b>	abhängig von Methode und lokalen Bedingungen (Wassertiefe, Makrophytenbewuchs)	<p>Tauchgänge bis max. 12 m</p> <p>Tiefe &gt; 12 m: Probenahme mit ROV-Greifer</p>
<b>Erhobene Parameter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Koordinaten X/Y</li> <li>- Datum</li> <li>- Unionidae: ja/nein</li> <li>- Dreissenidae: ja/nein, Abschätzung Besiedlungsdichte in %</li> <li>- Corbiculidae: ja/nein, Abschätzung Besiedlungsdichte in %</li> <li>- Substrattyp in %</li> <li>- Wassertiefe</li> </ul>	<p>Allgemein</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Koordinaten X/Y</li> <li>- Datum</li> </ul> <p>Grossquadrat (2,5 x 2,5 m):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Art Grossmuschel</li> <li>- Länge Individuum</li> <li>- Gewicht Individuum</li> <li>- Anzahl</li> <li>- Besiedelte Fläche in % des Grossquadrats für invasive Kleinmuscheln</li> <li>- Substrat (in % Gesamtfläche bei mehreren Substraten) Tiefenklasse: 0-4 m, 4-8 m, 8-12 m</li> </ul> <p>Kleinquadrate (0,25 x 0,25):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Art Kleinmuscheln</li> <li>- Gesamtgewicht pro Art</li> </ul> <p>Berechnete Werte</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dichte Unionidae</li> <li>- Dichte invasive Kleinmuscheln</li> </ul>
<b>Anzahl Transekte</b>	ca. 20 bis 30 pro See	ca. 8 Transekte pro See



Abbildung 4: Übersicht zur Grobkartierung mittels ROV.

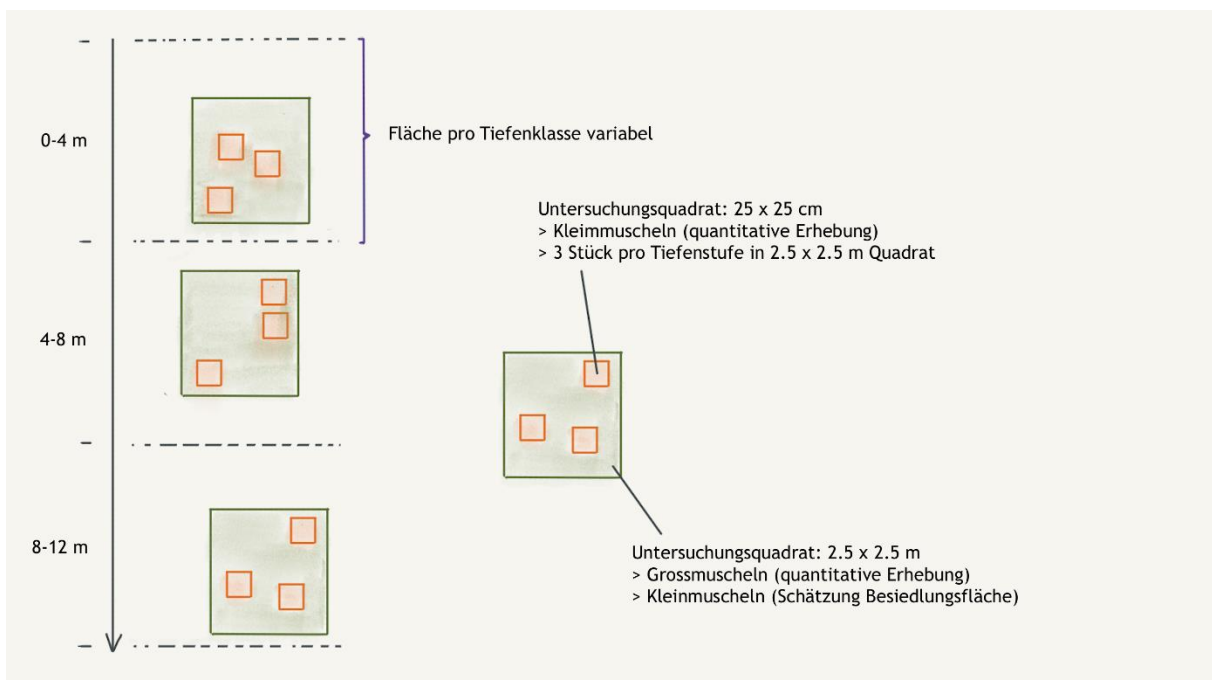


Abbildung 5: Übersicht zur Feinkartierung.

## 2.4 Laboranalysen

Im Labor werden die invasiven Muscheln der Kleinquadrate aus den Substratproben herausgesucht. Für das Sortieren und den Grossteil der Arbeiten genügt ein Bestimmen von blossen Auge. Ein Binokular wird höchstens für die Unterscheidung von sehr kleinen Individuen von *Corbicula fluminea* und Kleimuscheln der Familie Sphaeriidae benötigt.

Die Muscheln werden in verschiedenen Grössenklassen erfasst: 0-0,5 cm / 0,5 – 1 cm / 1- 1,5 cm / 1,5 – 2 cm / > 2 cm

Diese Information kann benötigt werden um:

- Um die Stabilität des besiedelten Lebensraumes zu definieren
- In frisch besiedelten Gewässern das Alter der Populationen zu bestimmen
- Hochrechnungen auf das Gewicht zu machen

In Seen mit sehr hohen Besiedlungsdichten müssen im Labor Teilproben genommen werden. Dafür hat sich das folgende Vorgehen bewährt:

- Reinigung der Probe (sofern nicht bereits im Feld gemacht) und Entfernen der groben Substratbestandteile wie Steine, Äste, Vegetation
- Aussortieren von Grössenklassen und Arten, die in geringer Abundanz in der Probe vorkommen (z. B. Individuen von *C. fluminea* > 2 cm).
- Wägen der Probe und Entnahme einer Teilprobe von z.B. ¼, 1/8 oder 1/16 (auf das Gewicht bezogen).

Ist die Abundanz von einzelnen Grössenklassen in der Teilprobe immer noch sehr hoch (z. B. Anteil an Individuen von 0,5-1 cm), kann eine weitere Teilprobe für diese Grössenklasse vollzogen werden.

## 2.5 Durchführung der Feldarbeiten

Die Grobkartierung des Bielersees wurde am 12. und 13. August 2020 durchgeführt. Die Feinkartierung resp. die Entnahmen der Muschelproben erfolgten anschliessend am 23. und 24. September 2020 sowie 17. und 18. November 2020.

Die Grob- und Feinkartierung wurden am Thunersee aus Kostengründen am 17. und 18. August sowie am 8. und 9. September 2021 kombiniert durchgeführt. Weitere Kartierungen mittels ROV ("Unterwasserdrohne") erfolgten am 7. Dezember 2021.

### 3. Resultate Bielersee

#### 3.1 Einheimische Grossmuscheln

Der Bestand an einheimischen Grossmuscheln war insgesamt sehr gering. Es konnten allerdings vereinzelte Individuen der stark gefährdeten **(EN)** Aufgeblasenen Flussmuschel *Unio tumidus*, der als verletzlich **(VU)** eingestuften Flachen Teichmuschel *Anodonta anatina* und der Grossen Teichmuschel *Anodonta cygnea* (nicht gefährdet/**LC**) mit einem Alter zwischen 4 und 7 Jahren gefunden werden (Rüetschi et al. 2010). Alle Exemplare waren mit 5 bis 15 Individuen von *Dreissena* sp. besiedelt (Tabelle 4).

Alle Grossmuscheln wurden an Standorten mit mehrheitlich Sand als Substrat gefunden, wobei auch ein dichter Bewuchs durch Makrophyten möglich war.

Ein Zusammenhang mit der Beeinträchtigung der Flachwasserzone gemäss dem Datensatz Seeufermorphologie (AWA, 2017) wurde nicht festgestellt. Grossmuscheln wurden sowohl in beeinträchtigten wie auch natürlichen Flachwasserzonen gefunden.

Die höchste Anzahl an Grossmuscheln wurde auf der Südseite der St. Petersinsel im Naturschutzgebiet Heidenweg-St. Petersinsel (Flachmoor von nationaler Bedeutung) beobachtet. Hier wurden drei Arten verzeichnet: Die Flache Teichmuschel *A. anatina* (VU), die Grosse Teichmuschel *A. cygnea* (LC) und die Aufgeblasene Flussmuschel *U. tumidus* (EN). Drei davon wurden in Phase II gefunden, wobei es sich in zwei Fällen um Zufallsfunde bei der Aushebung der Kleinquadrate handelte. Dies gibt einen Hinweis darauf, dass die Dichte der Grossmuscheln hier noch grösser sein dürfte. Dass zwei Exemplar rein zufällig in den Kleinquadraten gefunden wurden zeigt auch, dass das Auffinden der Grossmuscheln methodisch schwierig ist. Insbesondere, wenn diese zusätzlich durch aufsitzende invasive Muscheln getarnt sind.



Abbildung 6: Dichte Besiedlung einer Flachen Teichmuschel beim Camping Bellerive zwischen Le Landeron und La Neuveville (BIE\_04).



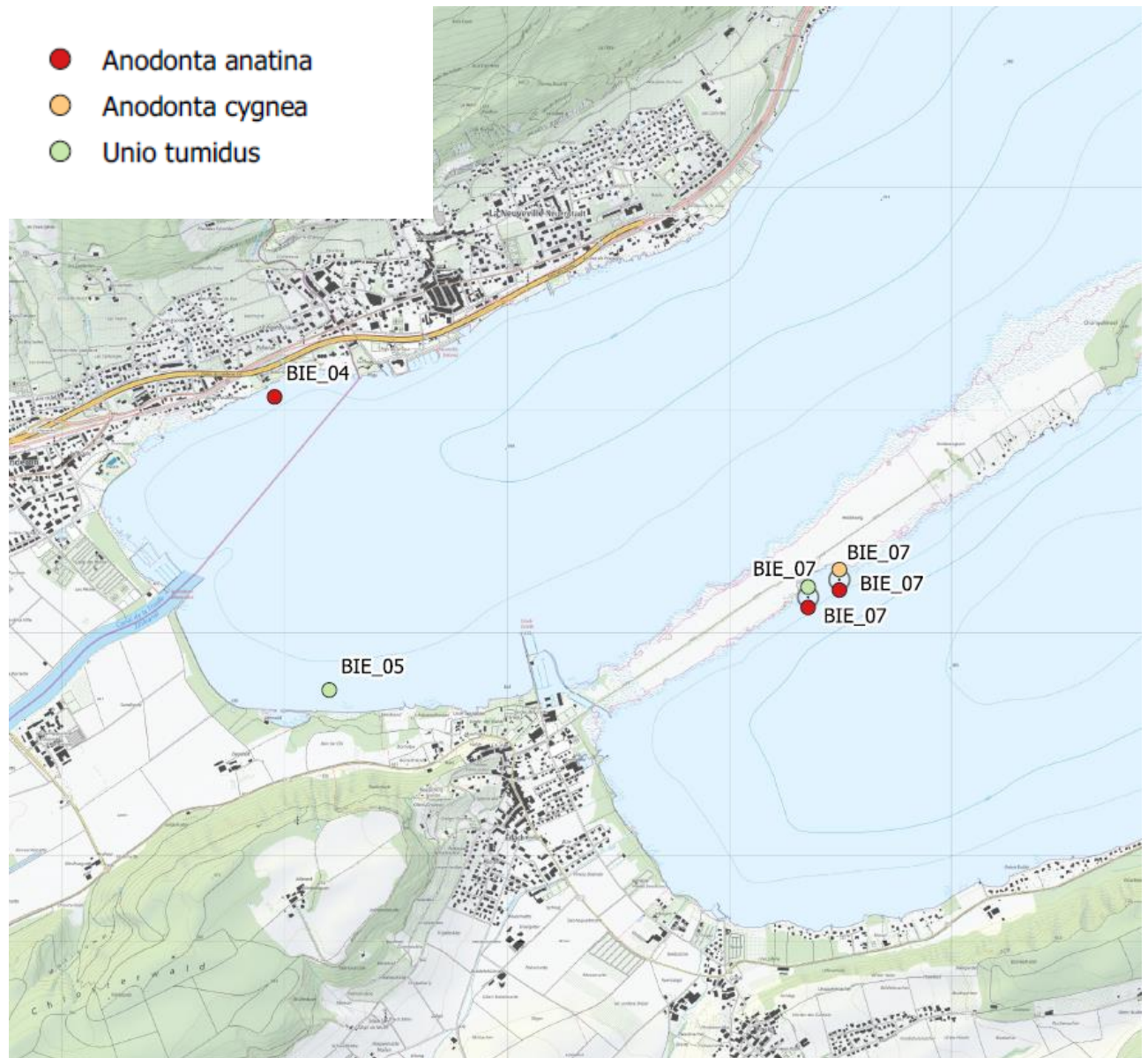


Tabelle 4: Fundorte von einheimischen Grossmuscheln im August (Phase I), September und November 2020 (Phase II). Bei jedem Standort wurde jeweils nur ein Individuum beobachtet.

Standort	X-Koord.	Y-Koord	Tiefe [m]	Art	Deutscher Name	Länge [cm]	Gewicht [g]	Alter [Jahre]
BIE_07	2575510.2	1211218.9	6.0	<i>Anodonta anatina</i>	Flache Teichmuschel	8	50	
BIE_07	2575351	1211157	1.7	<i>Anodonta anatina</i>	Flache Teichmuschel	6.6	20	4
BIE_07	2575351	1211157	1.7	<i>Unio tumidus</i>	Aufgeblasene Flussmuschel	5.1	12.5	6
BIE_04	2572954	1212057	9.4	<i>Anodonta anatina</i>	Flache Teichmuschel	8.9	-	7
BIE_07	2575473	1211252	0-2	<i>Anodonta cygnea</i>	Grosse Teichmuschel			
BIE_05	2573200	1210740	0-2	<i>Unio tumidus</i>	Aufgeblasene Flussmuschel			

### 3.2 Überblick über die invasiven Kleinmuscheln

An allen beprobten Standorten wurden invasive Muscheln festgestellt. Insbesondere die erst seit 2019 im See festgestellte Quaggamuschel *D. rostriformis bugensis* fast überall vertreten und dominant (Abbildung 7 und Abbildung 8). Es fällt auf, dass insbesondere an Stellen mit sehr dichtem Bewuchs durch Armelechteraigen (komplett zugewachsener Seeboden mit > 40 cm hohen Bewuchs) die Besiedlungsdichten der Quaggamuschel geringer sind (Abbildung 7).

Die beprobten Substrate und Seetiefen aus Abbildung 7 und Abbildung 8 sind in Tabelle 5 aufgeführt.

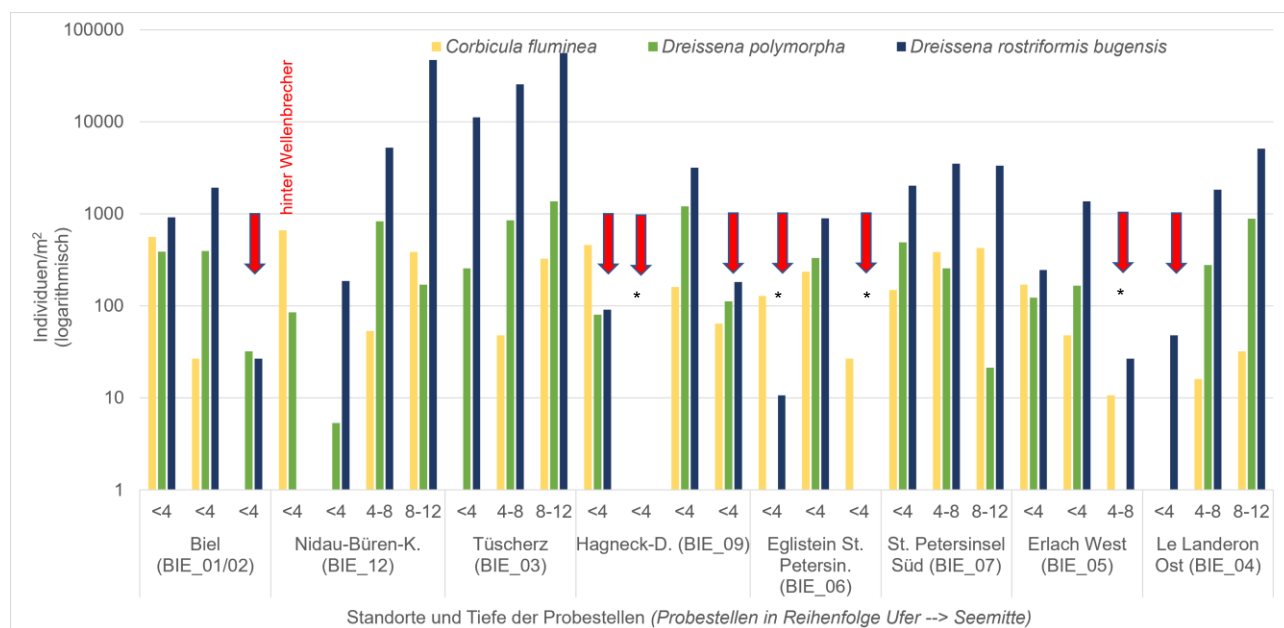


Abbildung 7: Anzahl Individuen der invasiven Muscheln pro Standort und Probestelle (Angabe der Wassertiefe). Die Probestellen sind von links nach rechts in Reihenfolge von Ufer nach Seemitte aufgeführt. Rote Pfeile markieren die Stellen mit 100 % Bewuchs durch Armelechteraigen. Siehe Tabelle 5 für Details zum Substrat und zur Seetiefe.

\* Probe nur an Seegrund, ohne Teile von Wasserpflanzen

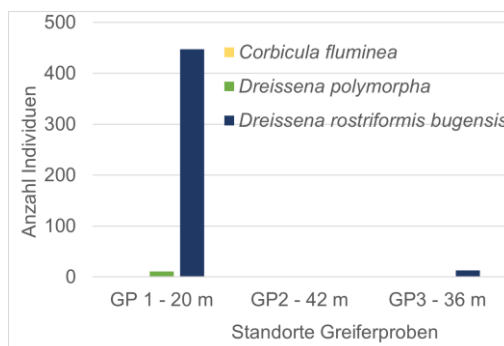


Abbildung 8: Anzahl Individuen der invasiven Muscheln in den Greiferproben (Probe ohne Flächenbezug)

Tabelle 5: Beprobte Substrate und Seetiefen bei der Feinkartierung im Bielersee.

ID	Reihenfolge Ufer -> See	Tiefe m	X-Koord.	Y-Koord.	Sand/Fein	Kies	Steine	Blöcke	Fels	Makrophyten	Typ Makrophyten
BIE_01/02	1	1.1	2584154	1220247	100					<5	Characeen
	2	1.9	2584116	1220185	100					40	haupts. Characeen
	3	2.8	2514004	1220049	100					100	haupts. Characeen
BIE_03	1	3.7	2584244	1217858	20		20	20	40	70	Makroph. ganzjährig
	2	7.6	2581236	1217842	50				50	10	Makroph. ganzjährig
	3	10.1	2581240	1217846	80		20			5	Makroph. ganzjährig
BIE_04	1	3.9	2572915	1212089	100					100	gemischt
	2	5.9	2572940	1212085	100					90	gemischt
	3	9.4	2572954	1212057	100					0	
BIE_05	1	1.7	2573291	1210698	95		5			0	
	2	2.2	2573236	1210768	100					0	
	3	5.3	2573181	1210797	100					100	Characeen
BIE_06	1	1	2577765	1213888	10	5	45	30	10	0	Characeen
	2	2.8	2577881	1213918			5		95	90	Characeen
	3	3.5	2578042	1214125	100					100	Characeen
BIE_07	1	1.7	2575351	1211157	85		15			<5	
	2	6	2575510	1211219	95	5				<5	
	3	8.2	2575549	1211203	100					0	
BIE_09	1	1.5	2580870	1213043	100					100	gemischt
	2	2.2	2580685	1213043	100					100	Characeen
	3	2	2580574	1213211	100					100	Makroph. ganzjährig
	4	3.2	2580497	1213192	100					100	Characeen
BIE_12	1	1.5	2584017	1219143	100					10	
	2	1.5	2583954	1219110	100					10	
	3	4.6	2583939	1219138	100					30	
	4	10.1	2583915	1219141	100					0	
GP1	1	20	2577965	1215410							
GP2	3	42	2578861	1215023	100						
GP3	2	36	2578520	1215203	100						

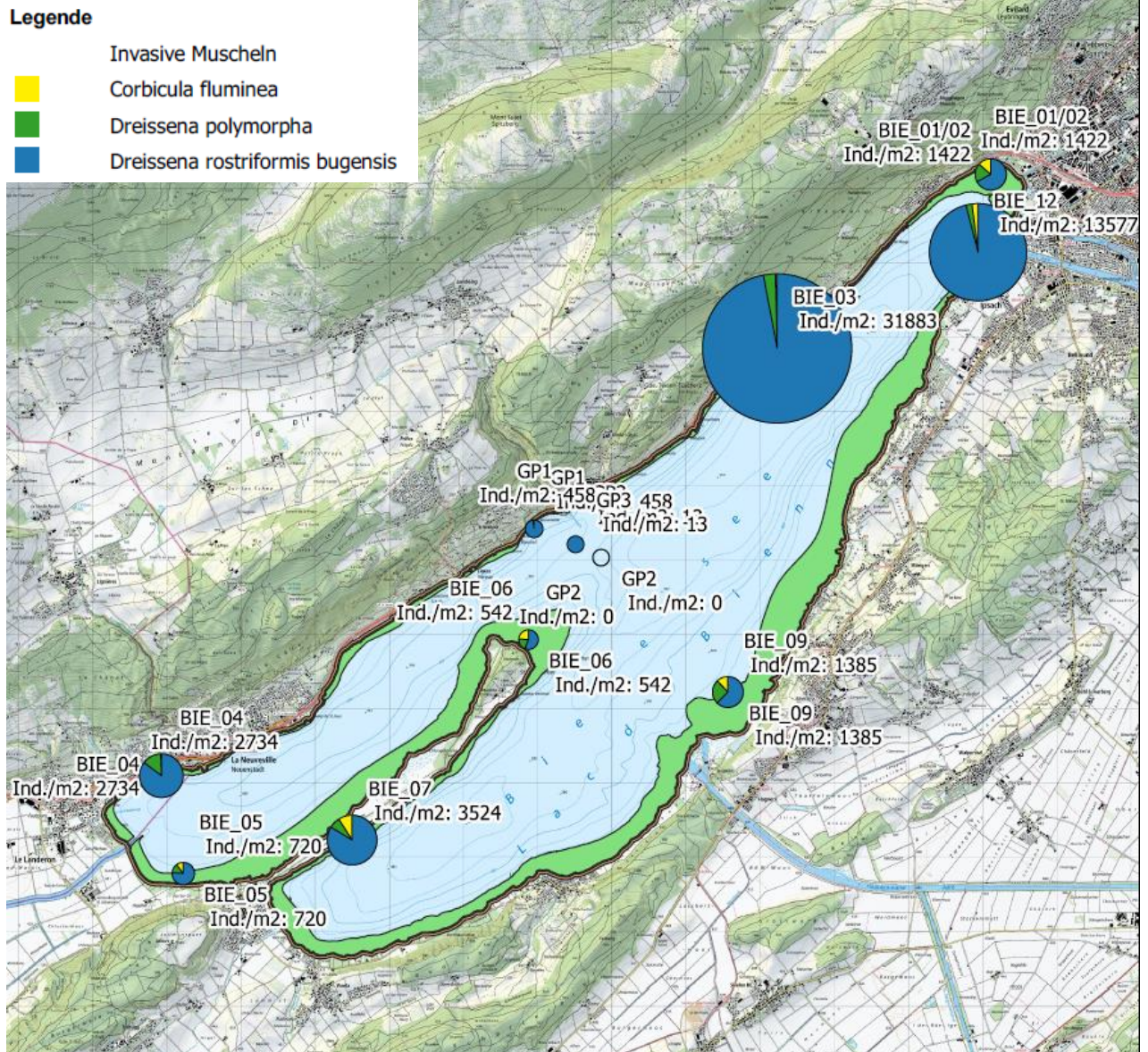


Abbildung 9: Durchschnittliche Besiedlungsdichten der invasiven Kleinmuscheln und Verhältnis der Arten zueinander. In Grün dargestellt sind die Flachwasserzonen bis 4 m Tiefe

### 3.3 *Dreissena polymorpha* und *Dreissena rostriformis bugensis*

Die Quaggamuschel *Dreissena rostriformis bugensis* ist bereits in allen Teilen des Sees zahlreich vertreten und ist gegenüber der bisher vorkommenden Zebra- oder Rostmuschel *Dreissena polymorpha* sehr dominant (Abbildung 9). Die Besiedlungsspitzen von 55979 Individuen/m<sup>2</sup> erreichte die Quaggamuschel bei Tüscherz sowie 46720 Individuen/m<sup>2</sup> südlich vom Nidau-Büren-Kanal, beides auf 10 m Tiefe.

Einzig an vier von 68 beprobten Stellen fehlte die Quaggamuschel in den Proben:

- Hinter den Wellenbrechern beim Nidau-Büren-Kanal (BIE\_12 – Q4, wobei sie vor den Wellenbrechern in sehr hoher Zahl vorkam.
- In einem der Grossquadranten bei der Petersinsel/Eglisberg (BIE\_06). Der Standort war dicht mit Armleuchteralgen bewachsen.

- In einem der Grossquadrate beim Hagneckdelta (BIE\_09) an einer Stelle mit sehr dichtem Armeleuchterbewuchs.
- In einer Greiferprobe auf 42 m Tiefe, wo das Substrat sehr schlammig war.

### 3.3.1 Besiedlung in Abhängigkeit des Substrates

Obwohl beide Arten mit ihren Byssusfäden an hartes Substrat wie Steine und Pflanzen heften, sind sie auch auf Sandbänken sehr häufig, insbesondere wenn darin auch harte Strukturen wie Baumstämme und Leerschalen von Grossmuscheln vorkommen. An jedes kleinste Stück Harts substrat, sei es auch nur ein Stein oder eine Schneckenschale, heften sich Individuen von *Dreissena* sp. an und bilden Aggregate. Individuen von *Corbicula fluminea* wurden ebenfalls besiedelt, wobei keine grösseren Aggregate auf lebendigen Körbchenmuscheln gefunden wurden.

Eine Abhängigkeit der Besiedlungsdichten zum Anteil an Fein- resp. Harts substrat konnte für keine der drei invasiven Muschelarten festgestellt werden ( $R^2 < 0.5$ ). Auch nicht, wenn die Standorte mit dichtem Bewuchs durch Armelechteralgen von der Regressionsanalyse ausgeschlossen wurden.

Hingegen hat die Art des Makrophytenbewuchses einen Einfluss auf die Besiedlungsdichte durch *Dreissena*-Arten. So war die Populationsdichte an Stellen mit sehr dichtem Armelechteralgenbewuchs deutlich tiefer als an anderen Stellen. An Stellen mit winterharten Makrophyten, wie die Schmalblättrige und die Kanadische Wasserpest *E. nutallii* und *E. canadensis*, war die Besiedlungsdichte aber insgesamt höher als an Stellen mit Armelechteralgen (Abbildung 7). Zu erwähnen ist hier auch, dass an den Stellen mit vielen winterharten Makrophyten immer noch eine Besiedlung des Seegrunds möglich war im Gegensatz zu den Stellen mit sehr dichtem Armelechteralgenbewuchs.



Abbildung 10: Junge Quaggamuscheln heften sich an die Stern-Armelechteralge *Nitellopsis obtusa*.

Das Substrat hat einen Einfluss auf die Grössen- resp. Altersstruktur der Besiedlung. Ältere, über 2 cm grosse Exemplare der Quaggamuschel wurden nur an Stellen mit Anteilen an Harts substrat (Steine, Blöcke, Fels) sowie ausschliesslichem Feinsubstrat gefunden. An Stellen mit Feinsubstrat und Makrophyten waren die prozentualen Anteile an sehr kleinen, jungen Tieren am höchsten (Abbildung 11).

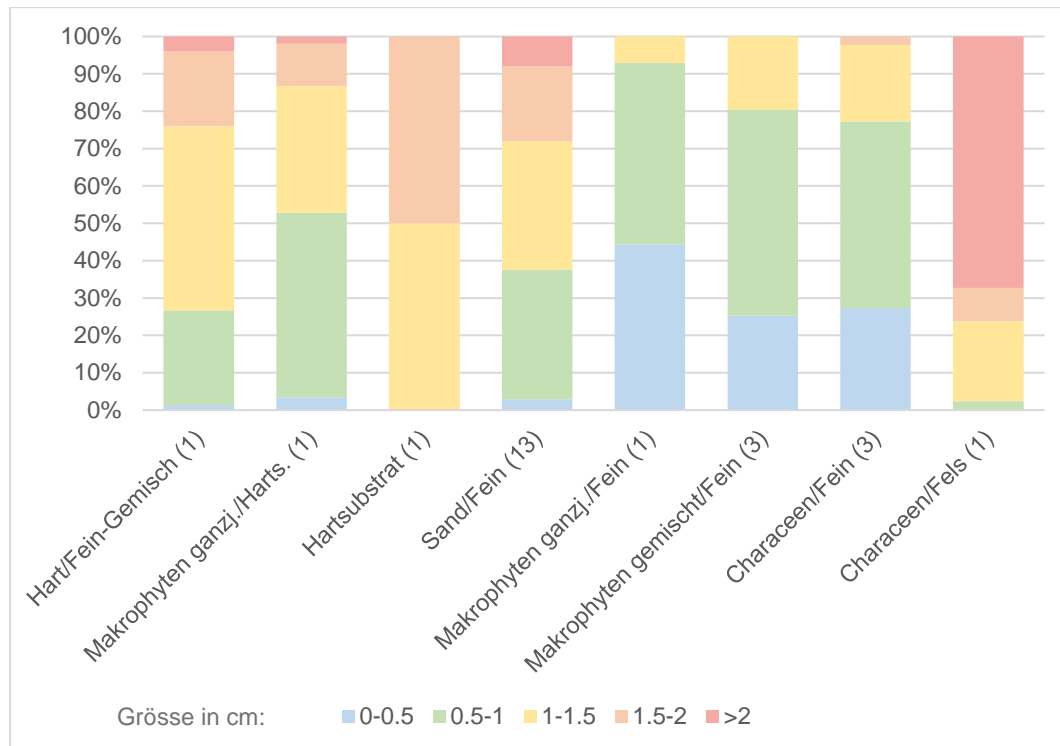


Abbildung 11: Zusammensetzung der Grössenstruktur von Quaggamuscheln auf verschiedenen Substraten mit und ohne Makrophyten (unterschieden in ganzjährige Wasserpflanzen und im Winter absterbende Characeen/Armlauchalgen). Angabe zur Anzahl der Probestellen in Klammern.

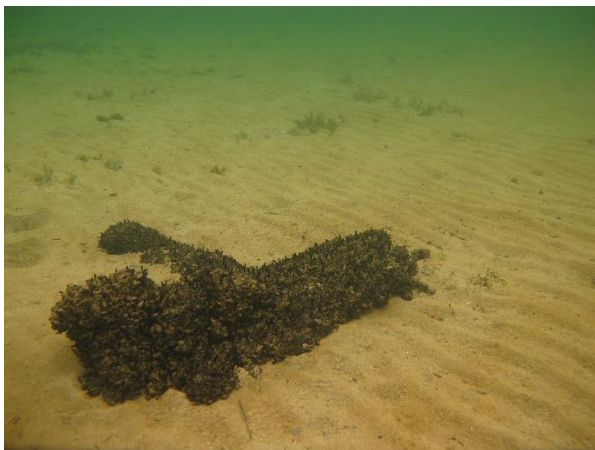


Abbildung 12: Links: Ein Stück Totholz wird auf der ausgedehnten Sandbank von BIE\_02 vor Biel dicht besiedelt. Rechts: Die zahlreichen Leerschalen von Grossmuscheln auf der Sandbank am westlichen Teil der St. Petersinsel bei Erlach wird stark von Dreissena sp. besiedelt.



Abbildung 13: Auch *Corbicula fluminea* wird von *Dreissena polymorpha* besiedelt.



Abbildung 14: Standort BIE\_03 auf 10 m Tiefe. Der Standort mit der höchsten Dichte von *D. rostriformis bugensis* und *D. polymorpha*.

### 3.3.2 Besiedlung in Abhängigkeit der Gewässertiefe

Quagga- und Zebrauscheln wurden in allen Tiefenstufen von Phase II, bis zu 10 m Tiefe gefunden. Insbesondere an den beiden dicht besiedelten Standorten Tüscherz (BIE\_03) und Nidau-Büren-Kanal (BIE\_12) nimmt die Besiedlungsdichte mit steigender Tiefe zu. Im Datensatz zeigt sich bei der Quaggamuschel eine signifikante Abhängigkeit der Individuendichte zur Seetiefe ( $R^2 = 0.503$ ; Abbildung 15). Bei der Zebrauschel konnte keine Abhängigkeit festgestellt werden ( $R^2 = 0.148$ ; Abbildung 16).

Proben in grösseren Tiefen auf 20, 33 und 42 Meter Tiefe wurden mit dem ROV-Greifer entnommen. Da es sich um qualitative Proben ohne Flächenbezug handelt, kann davon keine Besiedlungsdichte abgeleitet werden.

- 20 m Tiefe: Präsenz von Quagga- und Zebrauschel. Es wurde ein Aggregat beider Arten, das sich um eine Blasenschneckengehäuse gebildet hatte, entnommen (Abbildung 17).
- 33 m Tiefe: Vereinzelt kleine Individuen bis zu 1 cm Grösse der Quaggamuschel auf schlammigem Untergrund, kein Aggregat bildend.
- 42 m Tiefe: keine Muscheln auf schlammigem Untergrund, einzig Zuckmückenlarven der Gattung *Chironomus* vertreten.

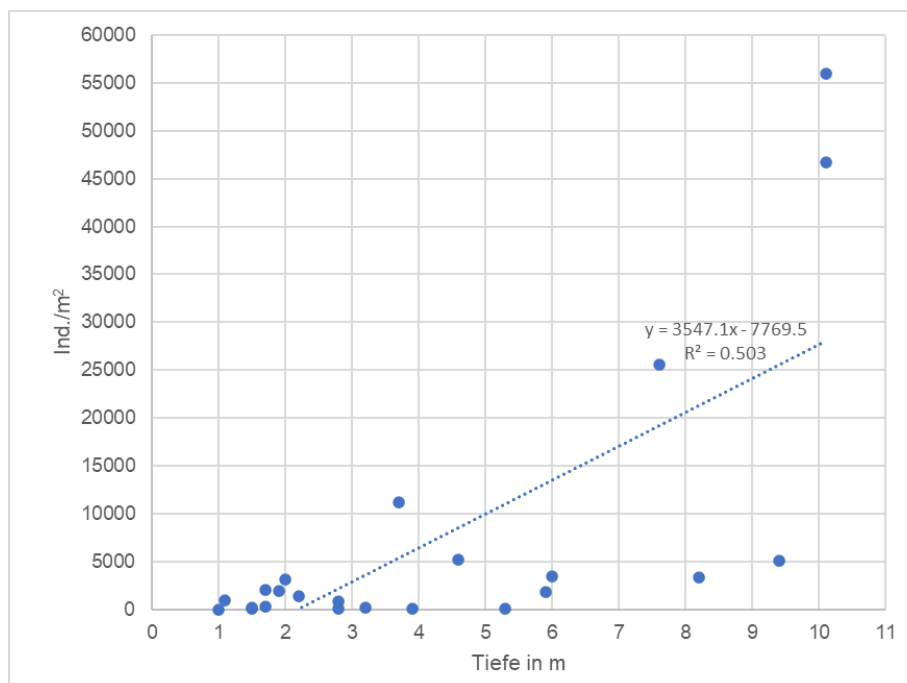


Abbildung 15: Individuendichte der Quaggamuschel im Bielersee in Abhängigkeit der Seetiefe.



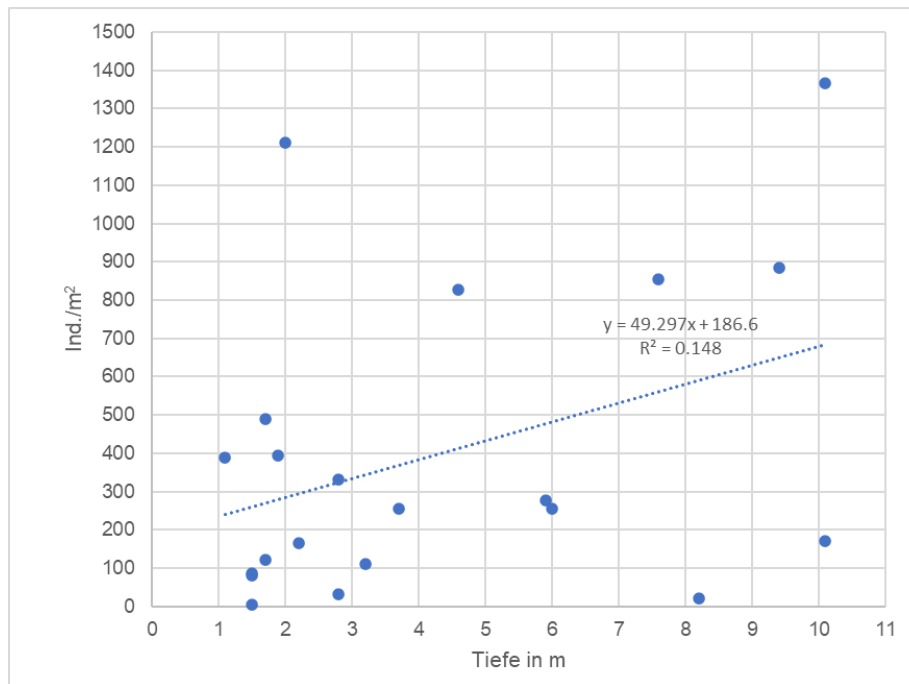


Abbildung 16: Individuendichte der Zebrauschel *D. polymorpha* in Abhängigkeit der Tiefe zwischen 1 und 10 m.



Abbildung 17: Links – Greiferprobe auf 20 m (bei Ligerz) mit total 458 Individuen; Mitte – gezählte Individuen in einer 1:1 Probe (*D. polymorpha* 0.5– 2 cm und *D. rostriformis bugensis* > 1 cm); rechts – gezählte Individuen in einer 1:4 Probe (*D. rostriformis bugensis* in drei Grössenklassen 0 – 0,5 / 0,5 – 1 / 1 – 1,5 cm)

### 3.4 *Corbicula fluminea*

Die asiatische Körbchenmuscheln *C. fluminea* ist im gesamten See vertreten. Die Individuenzahlen sind jedoch viel geringer als die von *Dreissena* sp. Sehr niedrige Individuenzahlen bis zu einem stellenweisen Fehlen der Art konnte im schlammigen Substrat, unterhalb des dichten Bewuchses von Armluchteralgen festgestellt werden. Dieses Milieu scheint für die am Grunde lebenden Muscheln eher ungünstig, zumal sie in dem sehr weichen und schlammigen Substrat wohl zu tief versinken, um weiterhin mit ihren Luftröhren atmen zu können.

An Standort BIE\_12, südlich des Nidau-Büren-Kanals befindet sich ein aus Blocksteinen aufgeschütteter Wellenbrecher. Dahinter wurden in Phase I (Juli 2020) sehr grosse Bestände an *C. fluminea* festgestellt, die Ende November bei den Detailaufnahmen in Phase II nicht mehr in so ausgeprägter Form vorhanden waren. Vermutlich wurden sie durch die Wasservögel dezimiert, die sich gerne in dem stillen Bereich hinter den Wellenbrechern aufhalten. Trotz dieser Dezimierung erreichte die asiatische Körbchenmuschel an dieser Stelle hinter den Wellenbrechern die maximale Besiedlungsdichte von 661 Individuen/m<sup>2</sup>.



Abbildung 18: Hinter den Wellenbrechern bei BIE\_12 (Nidau-Büren-Kanal) war die Dichte von *C. fluminea* am höchsten. Die Quaggamuschel fehlte hier jedoch und wurde nur vor den Wellenbrechern gefunden.

### 3.4.1 Besiedlung in Abhängigkeit der Gewässertiefe

Die asiatische Körbchenmuschel war in allen Tiefen von 1-10 m vertreten. Eine Abhängigkeit der Besiedlungsdichte zur Seetiefe konnte aber nicht festgestellt werden ( $R^2 = 0.002$ ; Abbildung 19). In der Greiferprobe auf 20 m war sie nicht enthalten, da hier nur ein *Dreissena*-Aggregat und kein Sediment beprobt wurde. Auch auf dem schlammigen Untergrund der Greiferproben auf 33 und 42 m fehlte die Art (Abbildung 8).

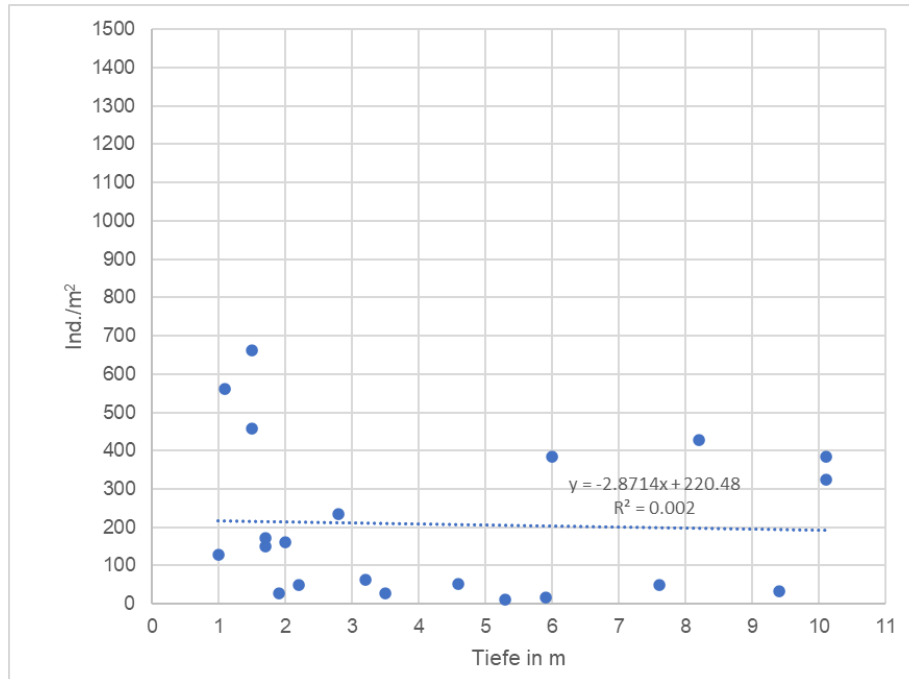


Abbildung 19: Besiedlungsdichten der asiatischen Körbchenmuschel im Bielersee in Abhängigkeit der Seetiefe.

## 4. Resultate Thunersee

### 4.1 Einheimische Grossmuscheln

An fünf Standorten im Thunersee wurden lebende Exemplare der als verletzlich eingestuft (VU) Flachen Teichmuschel *Anodonta anatina* gefunden (Abbildung 20, Tabelle 6). Damit kann bestätigt werden, dass die Art bei THU\_08 und THU\_10 immer noch vorkommt. Die letzten, in der Datenbank des CSCF erfassten Funde der Flachen Teichmuschel datieren hier auf das Jahr 1986 zurück. Im Jahr 2020 wurde die Art zudem auch bei Thun festgestellt.

Alle Lebendfunde betrafen *A. anatina* und waren von *D. polymorpha* bewachsen (Abbildung 21). Ausserdem wurden an den Standorten THU\_3 und THU\_08 auch Bruchstücke von Leerschalen der stark gefährdeten Aufgeblasenen Flussmuschel von *U. tumidus* entdeckt.

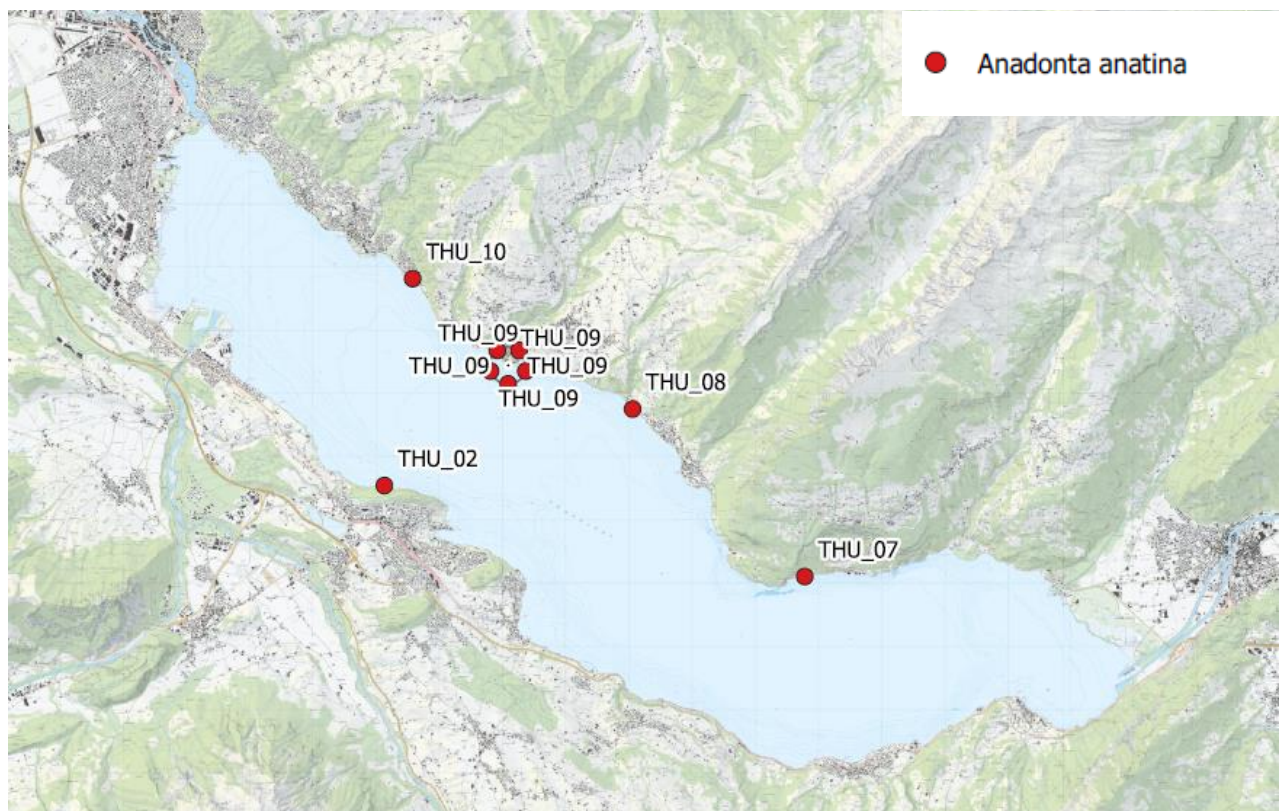


Abbildung 20: Funde der Flachen Teichmuschel *A. anatina* im Thunersee.

Tabelle 6: Muschelfunde (lebend) im Rahmen der Kartierung des Thunersees im Jahr 2021.

Standort	X-Koord.	Y-Koord	Tiefe [m]	Art	Deutscher Name	Länge [cm]	Gewicht [g]
THU_09	2620082	1173456	7.1	<i>Anadonta anatina</i>	Flache Teichmuschel	5	10
THU_09	2620082	1173456	7.1	<i>Anadonta anatina</i>	Flache Teichmuschel	5.8	16
THU_09	2620082	1173456	7.1	<i>Anadonta anatina</i>	Flache Teichmuschel	5.8	14
THU_09	2620082	1173456	7.1	<i>Anadonta anatina</i>	Flache Teichmuschel	6.9	21
THU_09	2620066	1173470	10	<i>Anadonta anatina</i>	Flache Teichmuschel	6.8	21
THU_10	2618566	1174831	7.9	<i>Anadonta anatina</i>	Flache Teichmuschel	3.2	4
THU_08	2622050	1172768	6.2	<i>Anadonta anatina</i>	Flache Teichmuschel	6.4	20
THU_02	2618119	1171558	7.2	<i>Anadonta anatina</i>	Flache Teichmuschel	7.7	35
THU_07	2694777	1170118	12	<i>Anadonta anatina</i>	Flache Teichmuschel	7	30



Abbildung 21: Links: Lebendfund *A. anatina* auf Waage. Die Byssusfäden auf der Grossmuschel sind noch sichtbar. Rechts: *A. anatina*, bewachsen mit *D. polymorpha*.

#### 4.2 Invasive Kleinmuscheln: *Dreissena polymorpha*

Im Thunersee wurden im Gegensatz zum Bielersee ausschliesslich die Zebra­muschel *D. polymorpha* gefunden. Die Besiedlungsdichten durch diese invasive, gebietsfremde Art waren im Thunersee beträchtlich tiefer als im Bielersee, in dem die Quaggamuschel *D. rostriformis bugensis* dominiert. Im Thunersee erreichte die Zebra­muschel am Standort THU\_10 bei Längenschachen (südöstlich von Oberhofen) auf 10 m Tiefe die höchste Besiedlungsdichte von 320 Ind./m<sup>2</sup> auf einem Substrat aus Sand-Kies-Steingemisch (Abbildung 23; Tabelle 7).

Der Makrophytenbewuchs fällt im Thunersee allgemein deutlich weniger üppig aus als im Bielersee. An Probestellen mit mehr als 40 % Bewuchs und zusätzlich sandigem Untergrund zeigt sich ebenfalls eine Tendenz, dass diese weniger dicht besiedelt werden. So z. B. bei allen Stellen von THU\_01 Gwatt Seewinkel und THU\_06 bei Unterseen (Abbildung 23, Fotos Substrat in Anhang). Zudem weisen diese beiden Standorte auch die Gemeinsamkeit auf, dass der Uferbereich durch Schilf bewachsen ist und Hartsubstrate allgemein weniger vertreten sind.

Die Besiedlungsdichten an den Standorten weisen auf keinen Zusammenhang mit dem Zustand der Flachwasserzonen hin. Auch eine Abhängigkeit zur Seetiefe konnte, wie auch im Bielersee, nicht festgestellt werden ( $R^2 = 0.173$ ; Abbildung 24)

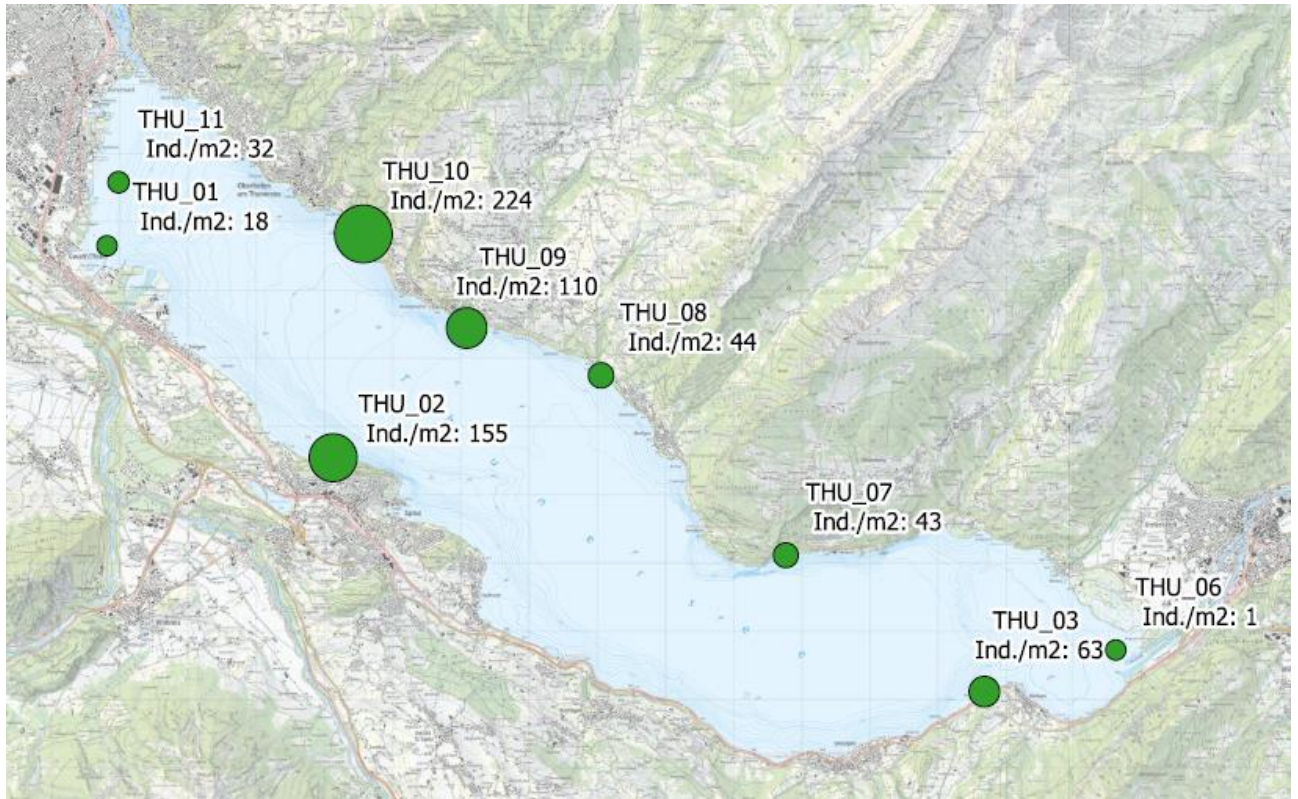


Abbildung 22: Durchschnittliche Besiedlungsdichten der Zebrauschel *D. polymorpha* an den Standorten im Thunersee.

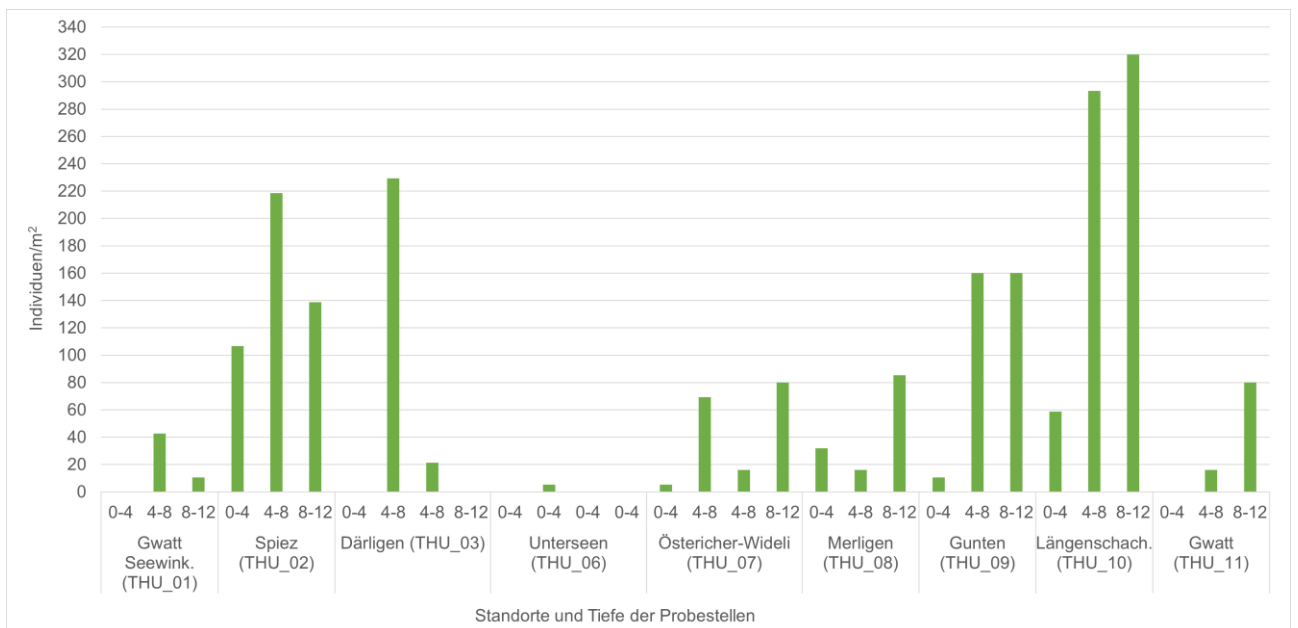


Abbildung 23: Besiedlungsdichten der Zebrauscheln *D. polymorpha* an den Probestandorten im Thunersee in Seetiefen von 0-4 m, 4-8 m und 8-12 m.

Tabelle 7: Beprobte Substrate und Seetiefen bei der Feinkartierung im Thunersee.

Standort	Tiefe m	X-Koord.	X-Koord.	Sand/Fein	Kies	Steine	Blöcke	Fels	Makrophyten	Totholz	Typ Makrophyten
THU_01	1.3	2614745	1174583	100					60		Characeen
	6.1	2614807	1174653	100					50		Characeen
	11.5	2614134	1174192	100					40		Characeen
THU_02	3.9	2618126	1171545	100					30	20	
	7.2	2618119	1171558	95		5			0	20	
	11	2618119	1171567	95		5			0	10	
THU_03	2.4	2627687	1168121	100					10		
	5.6	2627688	1168135	95		5			40		Characeen
	7	2627660	1168131	100					100		Characeen
	11	2627664	1168148	100					15	5	
THU_06	1.6	2629712	1168679	95		5			45		Characeen
	1.7	2629829	1168809	99		1			60		Characeen
	1.8	2629613	1168728	95		5			50		Characeen
	1.9	2629721	1168832	100					70	1	Characeen
THU_07	2.4	2624757	1170118	10		20	70		5		Makrophyten ganzj.
	4.5	2624747	1170110	20		20	60		2		
	6.7	2624736	1170105	20		80			0		
	12	2694778	1170118	60		40			0		
THU_08	3.6	2622071	1172753	100					5	5	
	6.2	2622050	1172768	99			1		5	5	gemischt
	9.6	2622058	1172756	100					10	10	
THU_09	3.9	2620087	1173452	95		5			70	5	Makrophyten ganzj.
	7.1	2620082	1173456	95		5			5	0	Makrophyten ganzj.
	10	2620066	1173470	90	5	5			1	0	
THU_10	3.8	2618542	1174844	75	5	10			0	5	
	7.9	2618566	1174831	50	10	40			0	5	
	10	2618544	1174844	50	10	40			0	5	
THU_11	1.5	2614132	1175105	30		70			5		Characeen
	4.5	2614950	1175556	100					85		Characeen
	9.2	2614977	1175589	100					20		

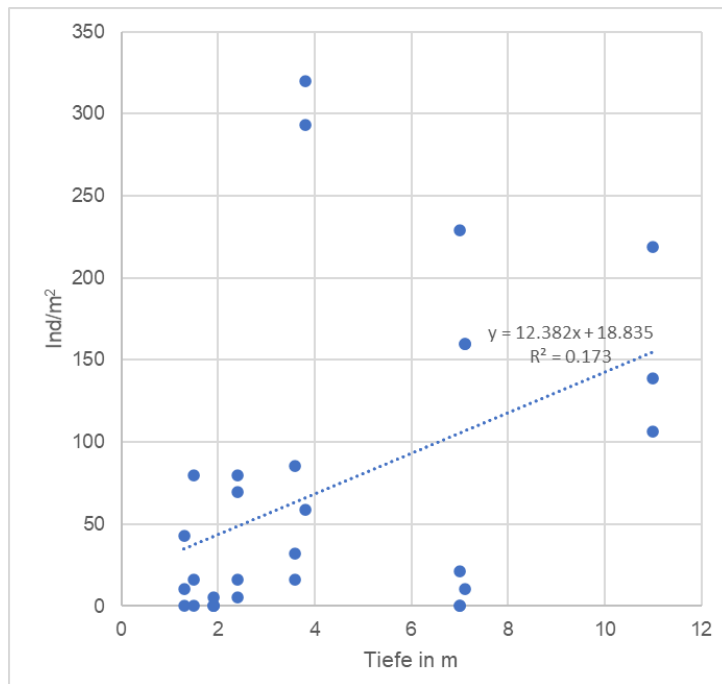


Abbildung 24: Besiedlungsdichte der Zebrauschel im Thunersee in Abhängigkeit der Seetiefe.



## 5. Diskussion

### 5.1 Methodische Aspekte

#### 5.1.1 Grobkartierung

Auf der Basis der Grobkartierung wurden die Standorte der Feinkartierung repräsentativ ausgewählt. Bei zukünftigen Projekten erübrigt sich folglich eine erneute Grobkartierung. In reduzierter Form kann an geeigneten Standorten jedoch weiterhin eine Grobkartierung durchgeführt werden. Dies vor allem, um Grossmuscheln zu kartieren und ihr Vorkommen zu dokumentieren. Es können für die Grobkartierung folgende Empfehlungen gemacht werden:

- Die Flächen sind schnorchelnd abzusuchen, damit allfällige Grossmuschelfunde direkt bestimmt werden können
- Die Sichttiefe sollte gut und die Gewässertiefe entsprechend gering sein (max. 2 m)
- Für Flachuferzonen (v.a. Sandbänke) geeignet
- An Standorten mit viel Makrophyten ungeeignet

#### 5.1.2 Feinkartierung

Da die Grossmuscheln von *Dreissena* sp. bewachsen sind, ist es nicht einfach, sie schnorchelnd von der Oberfläche her zu erkennen. Das gleiche gilt auch bei der detaillierten Absuche von Grossquadraten in Phase II, bei der einzelne Grossquadrate von 2.5 x 2.5 m abgesucht wurden. Auch hier ist es erforderlich, jedes *Dreissena*-Aggregat in die Hand zu nehmen, um zu überprüfen, ob es sich dabei um eine besiedelte Grossmuschel handelt.

Eine weitere Herausforderung besteht im Erkennen von Grossmuschelbeständen in Makrophyten, auch hier sind die Individuen nur schwer oder nicht unter dem Bewuchs erkennbar. Bei Standort BIE\_04 zwischen Le Landeron und La Neuveville wurde per Zufall eine Teichmuschel *A. anatina* in einem Kleinquadrat mit dichten Makrophytenbewuchs (25 x 25 cm zur Bestimmung der Kleinmuschelbestände) gefunden. Dies zeigt den Nutzen der zufällig platzierten Grossquadrate. Diese müssen an Standorten mit dichtem Bewuchs daher eingehend untersucht und mit den Händen abgetastet werden.

#### 5.1.3 Grossmuscheln

Die angewendeten Methoden geben einen sehr guten Überblick über das Vorkommen und die grobe Populationsstruktur der Grossmuscheln. Allerdings sind die Dichten der Grossmuschelpopulationen in den beiden untersuchten Seen zu gering, so dass die Populationsstruktur nur ungenügend erfasst werden kann. Für ein vollständiges Bild der Besiedlungsverhältnisse müsste eine grössere Fläche abgetaucht und im Detail untersucht werden. Dies ist aber nur mit sehr grossem Zeitaufwand möglich.

### 5.1.4 Weiteres Vorgehen

Es ist möglich, dass sich die Besiedlungsdichten in den beiden untersuchten Seen mit der Zeit verändern und auch die Abundanz der Quaggamuschel im Bielersee abnimmt, sobald sich das Ökosystem auf ihre Besiedlung eingestellt hat (Abbildung 25). Gleichzeitig ist nicht auszuschliessen, dass sich die Art im Thunersee ansiedeln könnte. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Untersuchungen in periodisch zu wiederholen.

Für die reine Anwesenheitsbestimmung der Quaggamuscheln im noch nicht besiedelten Thunersee könnten allenfalls preisgünstigere Methoden, wie Larvenfunde oder eDNA, herbeigezogen werden. Sobald die Anwesenheit der neuen Art nachgewiesen wurde, kann die vorliegende quantitative Methode angewendet werden, um die Geschwindigkeit der Besiedlung durch die invasive Art zu dokumentieren.



Abbildung 25: Fünf mögliche Entwicklungsszenarien am Beispiel der Zebra- und Quaggamuschel (aus Kopp und Klappert 2010, modifiziert nach Strayer und Malcolm 2005).

Für die wiederholte Kartierung des Bieler- und Thunersees sollte geprüft werden, ob allenfalls noch eine weitere Probestelle bei Ligerz (Bielersee) und bei Krattigen (Thunersee) festgelegt werden sollte, damit die Probestellen noch regelmässiger über den See verteilt sind und somit ein Grossteil der Strömungsverhältnisse erfasst wird. Denn die Ergebnisse im Bielersee (hohe Dichten der Quaggamuschel beim Nidau-Büren-Kanal und bei Tüscherz, geringe Dichten im oberen, südlichen Seebecken) lassen darauf schliessen, dass Strömungsmuster und entsprechende Nährstoffverfügbarkeit bei der Besiedlungsdichte eine Rolle spielen könnten (vgl. Kapitel 5.3.1). Zudem würden mit den zusätzlichen Probestellen an den Steilufern weitere Grossquadrate in grösseren Tiefen beprobt. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Besiedlungsdichten der Quaggamuschel von Relevanz.

## 5.2 Einheimische Grossmuscheln

### 5.2.1 Bielersee

Erfreulicherweise wurden noch an diversen Stellen Grossmuschelfunde gemacht. Da keine grossen Flächen abgesucht wurden, bedeutet eine Abwesenheit in den Proben bzw. in den Protokollen von Phase I (Grobkartierung) nicht, dass die Art nicht vorkommt. Beim Standort BIE\_07 auf der Südseite der St. Petersinsel im Naturschutzgebiet wurden allerdings am meisten Grossmuscheln gefunden. Dies deutet darauf hin, dass hier die Population im Vergleich zu den anderen Standorten höher sein dürfte.

Sehr wahrscheinlich ist die hohe Anzahl auf das Naturschutzgebiet (Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung, Objekt Nr. 2383, Heidenweg) zurückzuführen, da hier Störungen der Gewässersohle durch Anker ausgeschlossen sind. Die Grossmuscheln waren jedoch alle von Individuen der Quagga- und Zebra- und Quaggamuschel bewachsen.

Die stark gefährdete Art *U. tumidus* kommt sowohl im Naturschutzgebiet auf der Südseite der St. Petersinsel, als auch am Standort BIE\_05 westlich von Erlach vor. Es ist zu erwarten, dass sie noch an weiteren Standorten rund um die St. Petersinsel vorkommt und diese Populationen abgeklärt werden müssten. In Gebieten ausserhalb von Naturschutzgebieten sollten weitere Schutzmassnahmen abgeklärt werden. Die Besiedlung der *Dreissena*-Arten dürfte den Grossmuschelpopulationen in den letzten Jahrzehnten bereits sehr stark zugesetzt haben (vgl. Burlakova et al. 2000), so dass weitere Beeinträchtigungen durch Anker oder bauliche Massnahmen vermieden werden sollten.

## 5.2.2 Thunersee

Im Thunersee wurden unter den Grossmuscheln nur lebende Exemplare der Flachen Teichmuschel *A. anatina* gefunden, was sich mit den bisherigen Fundmeldungen beim CSCF deckt. Neu ist jedoch, dass potenziell auch die Aufgeblasene Flussmuschel *U. tumidus* im See vorkommen könnte, da Leerschalen gefunden wurden. Da es sich hierbei um eine stark gefährdete Art handelt, sollte ihr Vorkommen in weiterführenden Untersuchungen abgeklärt werden.

## 5.3 Invasive Kleinmuscheln

### 5.3.1 Bielersee

#### Allgemeine Beobachtungen

Im Bielersee wurden beträchtliche Massen an Muschelmaterial der Quaggamuschel gefunden. An der dichtesten besiedelten Stelle bei Tüscherz (BIE\_03, 8-12 m) wog die Rohprobe aus drei Kleinquadraten 1,4 kg (Abbildung 26). Dies entspricht 7.5 kg/m<sup>2</sup> an lebendigen Muscheln und Leerschalen. Solch hohe Massen an leerem Schalenmaterial werden in den kommenden Jahren die Substrateigenschaften des Seegrundes stark verändern. Da sowohl die Quagga- als auch die Zebramuschel gerne auf Hartsubstrat anhaften, wird das leere Schalenmaterial möglicherweise die Besiedlung noch weiter begünstigen. Das massenhafte Vorkommen der Quaggamuschel wird offensichtlich auch einen starken Einfluss auf die Nährstoffkreisläufe im See haben. Interessant wäre hier eine Auswertung der Sichttiefen seit der Besiedlung des Bielersees durch die Quaggamuschel.



Abbildung 26: Rohprobe aus den drei Kleinquadraten bei Tüscherz auf 8-12 m.

Die sehr hohen Individuenzahlen an den Standorten Tüscherz (BIE\_03) und beim Nidau-Büren-Kanal (BIE\_12) hängen mit verschiedenen Faktoren zusammen:

- Die Substratzusammensetzung bei Tüscherz besteht in den ersten zwei Tiefenstufen von 0-4 m aus 80 % Hartsubstrat und auf 4-8 m aus 50 % Hartsubstrat, was die Besiedlung hier begünstigen könnte. Jedoch konnte im Datensatz keine Abhängigkeit der Besiedlungsdichte zum Anteil an Hart- resp. Feinsubstrat festgestellt werden. So beträgt auch der Anteil an Hartsubstrat an der Stelle mit der höchsten Dichte (Tüscherz BIE\_03 auf 10 m Tiefe) nur 20 % und beim Nidau-Büren-Kanal (BIE\_12) wurden alle Proben im Feinsubstrat entnommen.
- An beiden Standorten wurden auch Stellen auf 10 m Tiefe beprobt. Hier sind die Besiedlungsdichten besonders hoch und der Datensatz zeigt eine signifikante Abhängigkeit der Individuendichte zur Seetiefe. Im Bielersee liegt auf 10 m Tiefe zudem der Einschichtbereich der Zuflüsse, die Nährstoffe in den See einbringen und von Sommer bis Herbst werden in diesem Tiefenbereich die grössten Strömungsgeschwindigkeiten gemessen (Nydegger, 1976).
- Die normale Fliessrichtung im Bielersee von Süd nach Nord (von Zihl- in Richtung Nidau-Büren-Kanal), wie auch die Strömungsbewegungen im unteren Seebecken (Nydegger, 1976; myscience.ch 2020) begünstigen die Durchmischung und entsprechend die Zuströmung von Nährstoffen an den Standorten Tüscherz (BIE\_03) und beim Nidau-Büren-Kanal.

Bemerkenswert sind die Besiedlungsmuster der invasiven Muscheln beim Nidau-Büren-Kanal (BIE\_12). Auf 10 m Tiefe erreichte die Quagga- und die Zebrauschel hier die zweithöchsten Besiedlungsdichten. Hinter den Wellenbrechern hingegen, im strömungsarmen Millieu, fehlte die Quaggamuschel gänzlich, die asiatische Körbchenmuschel erreichte hier aber die höchsten Besiedlungsdichten. Auch in Bereichen von ausgeprägten Flachwasserzonen waren die Besiedlungsdichten der *Dreissena*-Arten, insbesondere der Quaggamuschel, tiefer und die von *C. fluminea* erhöht.

#### Besiedlungsdichte in Abhängigkeit von Seetiefe, Nährstoffverhältnissen und Prädation

Der Datensatz zeigt ausserdem eine signifikante Abhängigkeit der Besiedlungsdichte der Quaggamuschel zur Seetiefe ( $R^2 = 0.503$ ). Diese Beobachtung deckt sich mit diversen bisherigen Studien, in welchen die Quaggamuschel insbesondere die grösseren Seetiefen besiedelte. Andere Studien wie Quinn et al. 2014 oder Mills et al. 1996 führten den Zusammenhang mit der Seetiefe auf die geringere Temperaturtoleranz der Quaggamuschel zurück (Quinn et al. 2014; Mills et al. 1996).

Wir vermuten zudem, dass im Bielersee auch die Strömungsverhältnisse und entsprechend die Nährstoffverfügbarkeit die Besiedlung auf 10 m Tiefe begünstigt haben dürfte, insbesondere im unteren Seebecken (siehe Absatz oben). Ein weiterer Aspekt ist auch der geringere bis fehlende Prädationsdruck durch Wasservögel in grösseren Tiefen, was durch Werner et al. (2004) am Bodensee beobachtet wurde. Die ufernahen Zonen, bis ca. 3 m Tiefe sind durch Blässhüner und Tauchenten gut zu erreichen und entsprechend sind die *Dreissena*-Populationen hier einem starken Frassdruck ausgesetzt. Die Beweidung beginnt nahe am Ufer und rückt erst später im Winter an tiefere Stellen vor (Werner et al. 2004). Hierbei muss aber bemerkt werden, dass die Besiedlungsdichte der Zebrauschel an den Standorten Tüscherz (BIE\_03) und Le Landeron (BIE\_04) mit steigender Tiefe zwar zunahm, es jedoch keinen signifikanten Zusammenhang zur Tiefe gibt ( $R^2 = 0.148$ ) wie bei der Quaggamuschel. Somit dürften die Aspekte Nährstoffverfügbarkeit und Prädation eine sekundäre Rolle spielen.

### Besiedlungsdichte in Abhängigkeit von Makrophytenvorkommen

Geringe Besiedlungsdichten durch *Dreissena*-Arten wurden an Stellen mit dichtem Armelechteralgenbewuchs von *Nitellopsis obtusa* (Stern-Armelechteralgen) festgestellt (Abbildung 7, rote Pfeile). Diese tritt in sehr dichten Beständen und hohen Wuchshöhen auf und stirbt im Winter ab. Entsprechend finden auch die an den Trieben haftenden Jungmuscheln im schlammig-fauligen Substrat darunter einen eher ungeeigneten Grund zur Besiedlung und im Sommer dürfte die Nährstoffversorgung am Grund unter dem dichten Teppich der Armelechteralgen auch entsprechend schlecht sein.

Andere Standorte mit Makrophyten, wie z.B. mit der Kanadischen Wasserpest *Elodea canadensis* und der Schmalblättrigen Wasserpest *Elodea nutalii* waren hingegen gut besiedelt. Diese Triebe verschwinden im Winter nicht alle und die Pflanze lebt in reduzierter Form weiter. Ein noch wichtigerer Faktor spielt hier allerdings die Bewuchsdichte. Auch bei hohen Deckungsgraden waren diese Standorte nicht so dicht bewachsen und ein Aufsitzen am Grund durch die Muscheln war immer noch möglich.

### 5.3.2 Thunersee

Der Thunersee wird aktuell einzig von der Zebrauschel *D. polymorpha* besiedelt. Die maximale Besiedlungsdichte lag bei 320 Ind./m<sup>2</sup> bei Längenschachen (THU\_10) auf 10 m Tiefe. Im Vergleich erreichte die Art im Bielersee bei Tüscherz (BIE\_03), ebenfalls auf 10 m Tiefe eine maximale Individuendichte von 1365 Ind./m<sup>2</sup> bei Tüscherz (BIE\_03).

Das Fehlen der asiatischen Körbchenmuschel ist am wahrscheinlichsten auf die kühleren Wassertemperaturen zurückzuführen. So hat beispielsweise McDowell et al. 2014 die klimatischen Bedingungen als wichtigsten Faktor bei der Besiedlung von Gewässern durch die asiatische Körbchenmuschel analysiert.

Unter den *Dreissena*-Arten gilt die Quaggamuschel als die Kaltwasserart und kann sich einerseits bei tieferen Temperaturen als die Zebrauschel fortpflanzen, andererseits weist sie eine geringere Temperaturtoleranz auf, insbesondere was die Temperaturmaxima betrifft (Mills et al. 1996). Entsprechend ist zu erwarten, dass auch der Thunersee noch von der Quaggamuschel besiedelt wird, möglicherweise in geringerem Ausmass als der Bielersee.

## 5.4 Fazit und Empfehlungen

### 5.4.1 Grossmuscheln

Der Zustand der einheimischen Grossmuscheln muss leider als schlecht bezeichnet werden. Wenig dichte Grossmuschelbestände sind jedoch noch vorhanden. Als «Hotspot» der untersuchten Standorte gelten das Naturschutzgebiet auf der südlichen Seite der St. Petersinsel und im Thunersee das Gebiet bei der Badi Gunten. Im Bielersee kommt die stark gefährdeten Art *U. tumidus* (Aufgeblasene Flussmuschel) vor. Im Thunersee liegen für diese Art bis jetzt keine Fundmeldungen vor. Daher sollten die Funde der Schalenbruchstücke von *U. tumidus* im Thunersee näher untersucht werden. Weitere Grossmuschelvorkommen rund um die St. Petersinsel (Bielersee) sollten ebenfalls abgeklärt werden.

Um die stark bedrohten Grossmuschelvorkommen zu erhalten, müssen so rasch wie möglich Schutz- und Fördermassnahmen definiert und umgesetzt werden. Ansonsten ist davon auszugehen, dass die Grossmuscheln in naher Zukunft aus dem Bieler- und Thunersee verschwinden.

### 5.4.2 Invasive Kleinmuscheln Bielersee

Der Bielersee wurde bereits in hohem Masse von der Quaggamuschel *D. rostriformis bugensis* besiedelt, welche die mittlerweile die dominante Art im See ist. Über das Ausmass der Besiedlung unterhalb von 10 m Tiefe fehlen im Moment noch Daten, Individuen auf 33 m wurden aber bereits festgestellt. Wichtig wäre, den Stand der Invasion dieser gebietsfremden Art auch im Murten- und Neuenburgersee zu erfassen und in allen drei Seen regelmässig quantitative Proben zu nehmen, um Erfahrungen über die Besiedlungsdichten mit der Zeit zu sammeln.

Um die Besiedlungsdynamik sowie die Auswirkungen der Präsenz der Quaggamuschel auf den Bielersee abschätzen zu können, wird empfohlen, das Monitoring in spätestens vier Jahren zu wiederholen (Jahr 2025). Das Monitoring liefert darüber hinaus wichtige Informationen in Bezug auf die zwingend notwendigen Förder- und Schutzmassnahmen für die stark gefährdeten einheimischen Grossmuscheln (Erfolgskontrolle).

### 5.4.3 Invasive Kleinmuscheln Thunersee

Im Thunersee wurde die Quaggamuschel noch nicht festgestellt, eine Besiedlung ist jedoch zu erwarten. Es empfehlen sich regelmässige Analysen zur Überprüfung der Situation und im Falle von positiven Befunden, quantitative Untersuchungen, sowohl in den Flachwasserzonen wie auch in tieferen Bereichen. Es ist davon auszugehen, dass eine Besiedlung der Quaggamuschel das Ökosystem des Thunersees empfindlich stören wird.

Um eine zukünftige Besiedlung des Thunersees mit Quaggamuscheln zu verhindern, wird dringend empfohlen, restriktive Schutzmassnahmen für den Thunersee zu ergreifen. Als Beispiel für solche Schutzmassnahmen kann beispielsweise das Vorgehen am Hallwilersee dienen. Hier existieren stricte Vorschriften für die Zulassung von Booten sowie deren Reinigung.

Für den Thunersee sollte das Monitoring in spätestens vier Jahren wiederholt werden (vgl. Bielersee).

## 6. Literatur

- AWA 2017. Geoprodukt Bathymetrie Bielersee. Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, Stand 2017, Version 1.0
- AWA 2018. Geoprodukt Ökomorphologie der Seeufer. Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, Stand 2018, Version 2.0
- AWA 2020. Geoprodukt Bathymetrie Thunersee. Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, Stand 2020, Version 1.0
- BAFU 2019. Liste der National Prioritären Arten und Lebensräume. In der Schweiz zu fördernde prioritäre Arten und Lebensräume. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1709: 99 S
- BAG 2015. Verordnung über die Sicherheit der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Arbeiten im Überdruck vom 15. April 2015 (Stand am 1. Januar 2022). 832.311.12 Der Schweizerische Bundesrat, gestützt auf Artikel 83 Absatz 1 des Bundesgesetzes vom 20. März 1981 über die Unfallversicherung (UVG), verordnet: SR 832.20
- Bogan, A. E. 1993. Freshwater bivalve extinctions (Mollusca: Unionidae): a search for causes. *American Zoologist* 33: 599–609.
- Burlakova, L. E., Karatayev, A. Y., Padilla, D. K. 2000. The impact of *Dreissena polymorpha* (Pallas) invasion on unionid bivalves. *Int Rev Hydrobiol* 85: 529–541.
- Haag, W. R., Berg, D. J., Garton, D. W., Farris, J. L. 1993. Reduced survival and fitness in native bivalves in response to fouling by the introduced zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in western Lake Erie. *Can J Fish Aquat Sci* 50: 13–19.
- Hebert, P. D. N., Wilson, C. C., Murdoch, M. H., Lazar, R. 1991. Demography and ecological impacts of the invading mollusk *Dreissena polymorpha*. *Can J Zoo* 69: 405–409.
- Hruska, J. 1995. Problematik der Rettung ausgewählter oligotropher Gewässersysteme und deren natürlichen Lebensgemeinschaften in der Tschechischen Republik. *Lindberger Hefte* 5: 98-123.
- Info fauna - CSCF 2020. Kartenserver <http://lepus.unine.ch/cartol/> (Abruf: 15.12.2020)
- Karatayev, A. Y., Burlakova, L. E., Padilla, D. K. 1997. The effects of *Dreissena polymorpha* (Pallas) invasion on aquatic communities in eastern Europe. *J Shellfish Res* 16: 187–203.
- Kopp K. und Klappert K. 2010. Invasive Arten – Störenfriede der Diversität?. *Eawag News* 69d, Juni 2010.
- McDowell, W.G., Benson, A.J. and Byers, J.E. 2014. Climate controls the distribution of a widespread invasive species: implications for future range expansion. *Freshw Biol*, 59: 847-857.
- Mentzen, R. 1926. Bemerkungen zur Biologie und Ökologie der mitteleuropäischen Najaden. *Archiv für Hydrobiologie* 17: 381-394.
- Mills E. L., Rosenberg G. Spidle A. P., Ludyanskiy M., Pligin Y., May B. 1996. A Review of the Biology and Ecology of the Quagga Mussel (*Dreissena bugensis*), a Second Species of Freshwater Dreissenid Introduced to North America, *American Zoologist*, Volume 36, Issue 3, June 1996, Pages 271–286

- myscience.ch 2020. Einfluss des Winds auf Unterwasser-Rutschungen im Bielersee. 29.10.2020, Abruf: 20.1.2022 ([https://www.myscience.ch/news/2020/einfluss\\_des\\_winds\\_auf\\_unterwasser\\_rutschungen\\_im\\_bielersee-2020-eawag](https://www.myscience.ch/news/2020/einfluss_des_winds_auf_unterwasser_rutschungen_im_bielersee-2020-eawag))
- Nydegger P. 1976. Strömungen in Seen - Untersuchungen in situ und an nachgebildeten Modellseen. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich
- Quinn, Alex & Gallardo, Belinda & Aldridge, D. 2014. Quantifying the ecological niche overlap between two interacting invasive species: The zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) and the quagga mussel (*Dreissena rostriformis bugensis*). Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 24. 10.1002/aqc.2414.
- Rey, P., Mürle, U., Mörtel M., Ostendorp W., Ostendorp J. 2005. Wirbellose Neozoen im Bodensee. Neu eingeschleppte invasive Benthos-Arten. Monitoringprogramm Bodenseeufer 2004. Auftrag: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Institut für Seenforschung. 46 S.
- Rüetschi J., Stucki P., Müller P., Vicentini H., Claude F. 2012. Rote Liste Weichtiere (Schnecken und Muscheln). Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern, und Schweizer Zentrum für die Kartografie der Fauna, Neuenburg. Umwelt-Vollzug Nr. 1216: 148 S
- Strayer D.L., Malcom H.M. 2005. Long-term demography of a zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) population. Freshwater Biology 51, 117–130.
- Strayer, D. L. 1999. Effects of alien species on freshwater mollusks in North America. J N Am Benthol. Soc 18: 74–98.
- Turner, H., Kuiper, G. J., Thew, N., Bernasconi R., Rüetschi, J., Wüthrich, M., Gosteli, M. 1998. Atlas der Mollusken der Schweiz und Liechtensteins. CSCF, SEG Neuchâtel, WSL, Birmensdorf. 527 p.
- Werner S., Bauer H. G., Jacoby H., Stark H., Mörtl M., Schmieder K. 2004. Einfluss überwinternder Wasservögel auf Chara- Arten und *Dreissena polymorpha* am westlichen Bodensee. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg



Anhang 1: Protokoll Grobkartierung - Phase I, Bielersee

ID	Transekt	Datum	Koordinaten		Daten Strecke [m]			Substrat [%]					Makrophyten	Grossmuscheln			Kleimuscheln		Bemerkungen					
			X	Y	Entfernung Ufer [m]	Tiefe [m]	Methode	Sand/Fein (< 2 mm)	Kies (2-16 mm)	Steine (16-250 mm)	Blöcke (>250 mm)	Fels		GM_Art	Lebend/Leerschalen	Bemerkung_GM	Corbicula	Dreissena		Bemerkung_KM				
BIE_01	1.1	13.08.2020	584208	220223	90	1.6	Schnorcheln	90	10								< 10			wenig	wenig		Potamogeton perf. & pec., Chara glob.	
BIE_01	1.2	13.08.2020	584228	220267	50	1.4	Schnorcheln	90	10					90	A. anatina	leere Schalen				wenig				
BIE_01	1.3	13.08.2020	584242	220303	5	1.2	Schnorcheln	90	10					50						x			Blockschuetzung am Ufer, mit corbicula	
BIE_01	2.1	13.08.2020	584299	220176	90	1.8	Schnorcheln	100						60						mittel	wenig			
BIE_01	2.2	13.08.2020	584332	220196	50	1.6	Schnorcheln	100						90						mittel	wenig			
BIE_02	1.1	13.08.2020	583941	220222	50	2.2	Schnorcheln	100						90						x	x	nur Corbicula, Dreissena an Uferschüttung	Characeen, v.a. Nitellopsis	
BIE_02	1.2	13.08.2020	583960	220184	100	2.5	Schnorcheln	100						90										
BIE_02	1.3	13.08.2020	583920	220258	2	0-1.5	Schnorcheln				100									x			Corbicula	
BIE_03	1.1	13.08.2020	581236	217862	3	2.0	Drohne				100										x		Dreissena	
BIE_03	1.2	13.08.2020	581236	217862	10	4.8	Drohne	90			10			60						mittel			mittel Dreissena	
BIE_03	1.3	13.08.2020	581236	217862	20	7.8	Drohne	90		10										mittel			mittel Dreissena	
BIE_03	1.4	13.08.2020	581236	217862	30	8.3	Drohne	x		x										mittel			mittel Dreissena	
BIE_03	1.5	13.08.2020	581236	217862	50	12.0	Drohne	90		10				0						mittel			mittel Dreissena	
BIE_04	1.1	12.08.2020	572925	212099	0	1.2	Drohne			50	10	10											kleiner Privathafen mit Bojenfeld	
BIE_04	1.10	12.08.2020	572925	212099	45	7.0	Drohne	x						x									Characeen und Elodea, kleiner Privathafen mit Bojenfeld	
BIE_04	1.11	12.08.2020	572925	212099	50	7.5	Drohne	x						x									kleiner Privathafen mit Bojenfeld	
BIE_04	1.2	12.08.2020	572925	212099	5	2.0	Drohne							100									Elodea nuttali, Privathafen mit Bojenfeld	
BIE_04	1.3	12.08.2020	572925	212099	10	4.3	Drohne							100									kleiner Privathafen mit Bojenfeld	
BIE_04	1.4	12.08.2020	572925	212099	15	2.5	Drohne							100									kleiner Privathafen mit Bojenfeld	
BIE_04	1.5	12.08.2020	572925	212099	20	2.0	Drohne							100									kleiner Privathafen mit Bojenfeld	
BIE_04	1.6	12.08.2020	572925	212099	25	2.0	Drohne							100									kleiner Privathafen mit Bojenfeld	
BIE_04	1.7	12.08.2020	572925	212099	30	4.0	Drohne							100									kleiner Privathafen mit Bojenfeld	
BIE_04	1.8	12.08.2020	572925	212099	35	4.0	Drohne							100									kleiner Privathafen mit Bojenfeld	
BIE_04	1.9	12.08.2020	572925	212099	40	7.0	Drohne	x						x									Characeen, Schlamm, Privathafen, Bojenfeld	
BIE_05	1.1	12.08.2020	573200	210740	100	2.5	Schnorcheln	95	5					5	U. tumidus	lebend	viele Leerschalen		(x)	(x)			KM vorhanden	
BIE_05	1.2	12.08.2020	573200	210740	95	2.5	Schnorcheln	90	5					60	U. tumidus	leere Schalen			(x)	(x)			KM vorhanden	
BIE_05	1.3	12.08.2020	573203	210692	50	2.0	Schnorcheln	40							U. tumidus	leere Schalen	wenig Leerschalen		x	x			90% Dreissena, 10% Corbicula	
BIE_05	2.1	12.08.2020	573260	210699	50	2.0	Schnorcheln	80	20						U. tumidus	leere Schalen	wenig Leerschalen		x	x			80% Dreissena, 20% Corbicula	
BIE_05	2.2	12.08.2020	573242	210766	100	2.0	Schnorcheln	98	2						U. tumidus	leere Schalen	viele Leerschalen		x	x			90% Dreissena, 10% Corbicula	
BIE_06	1.1	12.08.2020	577802	213931	100	2.5	Schnorcheln	20		80				<5	U. tumidus	leere Schalen	alte Leerschalen		x	x			80% Dreissena, 20% Corbicula; hohe Dichte	
BIE_06	1.2	12.08.2020	577775	213896	50	1.2	Schnorcheln	50		25	25			<10	U. tumidus	leere Schalen	alte Leerschalen		x	x			60% Dreissena, 40% Corbicula; geringe Dichte	
BIE_06	2.1	12.08.2020	577854	213881	100	3.0	Schnorcheln	20		40		60			U. tumidus	leere Schalen	alte Leerschalen		x	x			80% Dreissena, 20% Corbicula; Dreissena auf allen Steinen dicht	
BIE_06	2.2	12.08.2020	577831	213856	50	1.6	Schnorcheln	20		60	10		10										80% Dreissena, 20% Corbicula; hohe Dichte KM-Schalen	
BIE_07	1.1	12.08.2020	211271	575457	20	1.4	Schnorcheln	100						10						x			Naja marina, keine GM, keine Dreissena	
BIE_07	1.2	12.08.2020	211271	575457	25	1.8	Schnorcheln	100						mittel						x	x		Dreissena auf Corbicula	
BIE_07	1.3	12.08.2020	575473	211252	50	2.2	Schnorcheln	100						80	A. cygnea	lebend				x				Najas marina Bewuchs
BIE_07	2.1	12.08.2020	575376	211181	25	2.0	Schnorcheln	95		5				10	U. tumidus / A. cygnea	leere Schalen	viele Schalen Ut, wenige Ac		x	x			Dreissena auf Steinen, sonst C. fluminea	
BIE_07	2.2	12.08.2020	575351	211223	50	3.0	Schnorcheln	95		5					U. tumidus	leere Schalen			mittel	x			Dreissen auf Steinen	

ID	Transekt	Datum	Koordinaten		Daten Strecke [m]			Substrat [%]				Makrophyten	Grossmuscheln			Kleimuscheln		Bemerkungen	
			X	Y	Entfernung Ufer [m]	Tiefe [m]	Methode	Sand/Fein (< 2 mm)	Kies (2-16 mm)	Steine (16-250 mm)	Blöcke (>250 mm)		Fels	GM_Art	Lebend/Leerschalen	Bemerkung_GM	Corbicula		Dreissena
BIE_08	1.1	12.08.2020	579549	211652	100	1.5	Schnorcheln	100				wenig	U. tumidus	leere Schalen		wenig	x		
BIE_08	1.2	12.08.2020	579591	211638	50	1.1	Schnorcheln	100				40		leere Schalen		(x)	(x)	KM vorhanden	Najas marina Bewuchs
BIE_09	1.1	12.08.2020	580931	213102	100	1.5	Schnorcheln	100				100				vielen		viele Corbicula	Characeen, Eisensulfid in Sand
BIE_09	1.2	12.08.2020	580974	213086	50		Schnorcheln	100								vielen			alles wie bei 1.1
BIE_10	1.1	13.08.2020	581323	214001	130	2.3	Schnorcheln	100				90				wenig	wenig	wenig Dreissena und Corbicula	Characeen
BIE_10	1.2	13.08.2020	581350	213983	100	1.8	Schnorcheln	100				90	U. tumidus	leere Schalen	leerschalen	wenig	wenig	wenig Dreissena und Corbicula	va. Characeen
BIE_10	1.3	13.08.2020	581394	213942	0-50	0-1.4	Schnorcheln		20	80		50				wenig	viel	viel Dreissena, wenig Corbicula	Characeen, Potamogeton, Myriophyllum
BIE_11	1.1	13.08.2020	582639	216695	50	2.2	Schnorcheln	100				80				wenig	viel	viel Dreissena, wenig Corbicula	Corbicula als Substrat für Dreissena
BIE_11	1.2	13.08.2020	582664	216689	25		Schnorcheln	90		10		40	U. tumidus	leere Schalen	alte leerschalen, wenig		viel	viel Dreissena	
BIE_11	1.3	13.08.2020	582683	216675	0-10	<1	Schnorcheln			100		5				wenig	mittel	mittel Dreissena, wenig Corbicula	
BIE_12	1.1	13.08.2020	583996	219132	100	2.0	Schnorcheln	100				<5				vielen!	wenig	Innenseite Blockwurf ganz wenige Dreissena, Aussenseite stark mit D. bugensis bewachsen	viel Fadenalgen, 100% Schlamm, Blockwurf nach 100 m
BIE_12	1.2	13.08.2020	584012	219136	75	2.0	Schnorcheln									vielen	mittel	Aussenseite des Blockw. stark mit D. bugensis bewachsen	
BIE_12	1.3	13.08.2020	584033	219132	50	2.0	Schnorcheln									vielen			danach kommt der Schilf

**Anhang 2: Protokoll Grobkartierung - Phase I, Thunersee**

ID	Transekt	Datum	Koordinaten		Daten Strecke			Substrat [%]					Grossmuscheln		Kleimuscheln			
			X	Y	Entfernung Ufer [m]	Tiefe [m]	Methode	Sand/Fein (< 2mm)	Kies (2-16mm)	Steine (16-250mm)	Blöcke (>250mm)	Fels	Makrophyten	Bemerkung	GM_Art	Bemerkung GM	KM_Art	Bemerkung KM
THU_01	1.1	09.09.2021	2614663	1174755	50	1.8	Schnorcheln	96		4			60		nein		D. polymorpha	<1%
THU_01	1.2	09.09.2021	2614760	1174789	80	3.0	Schnorcheln	40		60			30		nein		D. polymorpha	mittel, va. auf Steinen
THU_01	2.1	09.09.2021	2614671	1174565		1.6	Schnorcheln	100					75	2% Totholz	nein		D. polymorpha	<1%
THU_01	2.2	09.09.2021	2614698	1174584		2.0	Schnorcheln	100					90	1% Totholz	nein		D. polymorpha	3%
THU_01	2.3	09.09.2021	2614769	1174601		2.6	Schnorcheln	100					90	1% Totholz	nein		D. polymorpha	3%
THU_02	1.1	07.12.2021	2618149	1171532		0.5	Drohne			85	15		50		nein		D. polymorpha	wenig
THU_02	1.2	07.12.2021	2618149	1171532		2.5	Drohne	100					90		nein		nein	
THU_02	1.3	07.12.2021	2618149	1171532		4.0	Drohne	100					15	Totholz/organisches Mat. 1%	nein		nein	
THU_02	1.4	07.12.2021	2618149	1171532		6.0	Drohne	100					0	Totholz/organisches Mat. 5%	nein		D. polymorpha	wenig
THU_02	1.5	07.12.2021	2618149	1171532		8.0	Drohne	100					0	Totholz/organisches Mat. 1%	nein		D. polymorpha	vereinzelt
THU_02	1.6	07.12.2021	2618149	1171532		11.0	Drohne	100					0		nein	Spuren GM? Anker?	nein	
THU_02	1.7	07.12.2021	2618149	1171532		15.0	Drohne	100					0		nein		nein	
THU_02	1.8	07.12.2021	2618149	1171532		19.5	Drohne	100					0		nein		nein	
THU_03	1.1	09.09.2021	2627676	1168102		1.0	Schnorcheln			20	60	20	0	0%Totholz	A. anatina	Leerschale	D. polymorpha	wenig
THU_03	1.2	09.09.2021	2627649	1168093		2.4	Schnorcheln			20	60	20	0	0%Totholz	A. anatina	Leerschalen	D. polymorpha	wenig
THU_03	2.1	09.09.2021	2627628	1168046		1.5	Schnorcheln	50		30	20		2	wenig Totholz 2-3%	U. tumidus	Leerschalen Ut & Aa	D. polymorpha	wenig
THU_03	2.2	09.09.2021	2627599	1168065		2.4	Schnorcheln	97		3			2	vereinzelt Totholz 3%	A. anatina	Leerschalen Ut & Aa	D. polymorpha	wenig
THU_04	1.1	07.12.2021	2628119	1168211		0.5	Drohne			100			0		nein		nein	
THU_04	1.2	07.12.2021	2628119	1168211		3.5	Drohne	85		15			80	Totholz/organisches Mat. 30%	nein		nein	
THU_04	1.3	07.12.2021	2628119	1168211		5.5	Drohne	100					5		nein		nein	
THU_04	1.4	07.12.2021	2628119	1168211		9.0	Drohne	95		5			0	Totholz/organisches Mat. 1%	nein		D. polymorpha	wenig
THU_04	1.5	07.12.2021	2628119	1168211		10.5	Drohne	95		5			0	Totholz/organisches Mat. 1%	nein		D. polymorpha	wenig
THU_04	1.6	07.12.2021	2628119	1168211		15.0	Drohne	100					0	Totholz/organisches Mat. 1%	nein		nein	
THU_04	1.7	07.12.2021	2628119	1168211		16.0	Drohne	100					0	Totholz/organisches Mat. 1%	nein		nein	
THU_05	1.1	09.09.2021	2629902	1168512		0.5	Schnorcheln	5	75	20			30	Totholz 4 %				
THU_05	1.2	09.09.2021	2629843	1168493		2.2	Schnorcheln	5	80	15			80	Totholz 5%				
THU_06	1.1	09.09.2021	2629621	1169006		0.8	Schnorcheln	98		2			10	1% Totholz, 2 cm Sand darunter anoxisch	nein		nein	
THU_06	1.2	09.09.2021	2629626	1168898		1.2	Schnorcheln	98		2			10	2 cm Sand darunter anoxisch	nein		nein	
THU_06	2.1	09.09.2021	2629806	1168833		0.6	Schnorcheln	98		2			30	1% Totholz, 2 cm Sand darunter anoxisch	nein		D. polymorpha	<1%
THU_06	2.2	09.09.2021	2629778	1168731		1.3	Schnorcheln	98		2			55	1% Totholz, 2 cm Sand darunter anoxisch	nein		D. polymorpha	<1%
THU_08	1.1	07.12.2021	2622066	1172770		0.5	Drohne	10	60	30			0		nein		D. polymorpha	wenig
THU_08	1.2	07.12.2021	2622066	1172770		3.0	Drohne	30	70				?		nein		nein	
THU_08	1.3	07.12.2021	2622066	1172770		6.0	Drohne		90	10			0		nein		nein	
THU_08	1.4	07.12.2021	2622066	1172770		8.5	Drohne	30	70				0	Totholz/organisches Mat. 1%	nein		nein	
THU_08	1.5	07.12.2021	2622066	1172770		12.0	Drohne	30	70				0	Totholz/organisches Mat. 1%	nein		nein	leere Dreissena
THU_08	1.6	07.12.2021	2622066	1172770		16.0	Drohne	100					0	Totholz/organisches Mat. 5%	nein		nein	
THU_08	1.7	07.12.2021	2622066	1172770		19.0	Drohne	100					0	Totholz/organisches Mat. 1%	nein		nein	

ID	Transekt	Datum	Koordinaten		Daten Strecke			Substrat [%]					Grossmuscheln		Kleimuscheln			
			X	Y	Entfernung Ufer [m]	Tiefe [m]	Methode	Sand/Fein (< 2mm)	Kies (2-16mm)	Steine (16-250mm)	Blöcke (>250mm)	Fels	Makrophyten	Bemerkung	GM_Art	Bemerkung GM	KM_Art	Bemerkung KM
THU_09	1.1	07.12.2021	2620115	1173429	0.5	Drohne			100				10		nein		nein	Geschiebe zu frisch?
THU_09	1.2	07.12.2021	2620115	1173429	3.0	Drohne	20	10	70				0		nein		nein	Geschiebe zu frisch?
THU_09	1.3	07.12.2021	2620115	1173429	5.5	Drohne	50	20	20				0		nein		nein	Geschiebe zu frisch?
THU_09	1.4	07.12.2021	2620115	1173429	8.0	Drohne	50	20	20				0	Totholz/organisches Mat. 30%	nein		nein	
THU_09	1.5	07.12.2021	2620115	1173429	11.5	Drohne	30	10	60				0	Totholz/organisches Mat. 15%	nein		nein	
THU_09	1.6	07.12.2021	2620115	1173429	13.5	Drohne	60		40			1		Totholz/organisches Mat. 5%	nein		D. polymorpha	vereinzelt
THU_09	1.7	07.12.2021	2620115	1173429	15.0	Drohne	80		20				0	Totholz/organisches Mat. 5%	nein		nein	
THU_09	1.8	07.12.2021	2620115	1173429	19.5	Drohne	100						0	Totholz/organisches Mat. 1%	nein		nein	
THU_10	1.1	07.12.2021	2618421	1174937	0.5	Drohne			50	50			0		nein		D. polymorpha	viel
THU_10	1.2	07.12.2021	2618421	1174937	2.5	Drohne	80		5	15		80			nein		D. polymorpha	wenig
THU_10	1.3	07.12.2021	2618421	1174937	5.5	Drohne	10	10	40	40			0		nein		D. polymorpha	wenig
THU_10	1.4	07.12.2021	2618421	1174937	12.0	Drohne	90		10				0	Totholz ca. 10%	nein		D. polymorpha	vereinzelt
THU_10	1.5	07.12.2021	2618421	1174937	16.0	Drohne	100						0	Totholz 1%	nein		nein	
THU_10	1.6	07.12.2021	2618421	1174937	20.0	Drohne	100						0		nein		nein	
THU_11	1.1	09.09.2021	2614750	1175797	0.5	Schnorcheln	10		90				0		nein		nein	
THU_11	1.2	09.09.2021	2614825	1175778	1.6	Schnorcheln	15		85			3			nein		D. polymorpha	<1%
THU_11	2.1	09.09.2021	2614758	1175713	0.8	Schnorcheln	5		95				0		nein		nein	
THU_11	2.2	09.09.2021	2614816	1175699	1.0	Schnorcheln	5		95			3			nein		D. polymorpha	1 Stk auf 20x20m

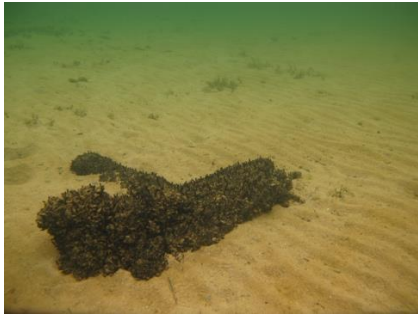
**Anhang 3: Protokoll Feinkartierung - Phase II, Bielersee**

REF-ID	ID	Datum	Gross-quadrat	Taucher	Tiefe_m	Tiefenklasse	Koord_x	Koord_y	Bemerkung Standort	Sand, Fein	Kies	Steine	Blöcke	Fels	Total Hartsubstrat	Makrophyten	Typ Makrophyten	Bemerkung Substrat	Bemerkung Probenahme
BIE_06-Q1	BIE_06	23.09.20	Q1	NS	3.5	T1_0-4	2'578'042	1'214'125		100					0	100	Characeen		
BIE_06-Q2	BIE_06	23.09.20	Q2	NS	2.8	T1_0-4	2'577'881	1'213'918				5		95	100	90	Characeen	KK2 auf kahler Stelle	
BIE_06-Q3	BIE_06	23.09.20	Q3	NS	1	T1_0-4	2'577'765	1'213'888		10	5	45	30	10	90	0	Characeen		
BIE_05-Q1	BIE_05	23.09.20	Q1	NS	5.3	T2_4-8	2'573'181	1'210'797		100					0	100	Characeen	keine GM-Leerschalen, MPH hüfthoch, M. optusa/Sternarmleuchteralg.	
BIE_05-Q2	BIE_05	23.09.20	Q2	NS	2.2	T1_0-4	2'573'236	1'210'768		100					0	0	kein		
BIE_05-Q3	BIE_05	23.09.20	Q3	NS	1.7	T1_0-4	2'573'291	1'210'698		95		5			5	0			
BIE_05-Q4	BIE_05	23.09.20	Q4	TK	1.2	T1_0-4	2'573'319	1'210'656		100					0	5			
BIE_09-Q1	BIE_09	24.09.20	Q1	NS	3.2	T1_0-4	2'580'497	1'213'192		100					0	100	Characeen	Schlamm	
BIE_09-Q2	BIE_09	24.09.20	Q2	AS	2	T1_0-4	2'580'574	1'213'211		100					0	100	Makro_ganzj	Schlamm	
BIE_09-Q3	BIE_09	24.09.20	Q3	NS	2.2	T1_0-4	2'580'685	1'213'043		100					0	100	Characeen		
BIE_09-Q4	BIE_09	24.09.20	Q4	AS	1.5	T1_0-4	2'580'870	1'213'043		100					0	100	beides		
BIE_07-Q1	BIE_07	24.09.20	Q1	AS	8.2	T3_8-12	2'575'549	1'211'203		100					0	0			
BIE_07-Q2	BIE_07	24.09.20	Q2	AS	6	T2_4-8	2'575'510	1'211'219		95	5				5	<5			
BIE_07-Q3	BIE_07	24.09.20	Q3	AS	1.7	T1_0-4	2'575'351	1'211'157	ausserhalb Ankerplatz in Naturschutzgebiet	85		15			15	<5		Sand bis Schlamm	
BIE_02-Q3	BIE_02	18.11.20	Q3	AS	2.8	T1_0-4	2'514'004	1'220'049		100					0	100	Characeen	95% Characeen, 5% Elodea nutalii, darunter sandiger Schlamm	Siebsätze von 0.6 mm verwendet um Probe zu sieben.
BIE_02-Q2	BIE_02	18.11.20	Q2	AS	1.9	T1_0-4	2'584'116	1'220'185		100					0	40	Characeen	80% Characeen, 20% Elodea nutalii	Siebsätze von 0.6 mm verwendet um Probe zu sieben.
BIE_02-Q1	BIE_02	18.11.20	Q1	AS	1.1	T1_0-4	2'584'154	1'220'247		100					0	<5	Characeen	Characeen, Sandrippel	Siebsätze von 0.6 mm verwendet um Probe zu sieben.
BIE_03-Q1	BIE_03	17.11.20	Q1	AS	3.7	T2_4-8	2'584'244	1'217'858		20		20	20	40	80	70	Makro_ganzj	Elodea canadensis/nutalii, M. spicatum, F. antipyretica	Siebsätze von 0.6 mm verwendet um Probe zu sieben.
BIE_03-Q2	BIE_03	17.11.20	Q2	AS	7.6	T2_4-8	2'581'236	1'217'842		50				50	50	10	Makro_ganzj	Elodea nutalii, teilweise Eisensulfid (schwarzer Sand)	Siebsätze von 0.6 mm verwendet um Probe zu sieben.
BIE_03-Q3	BIE_03	17.11.20	Q3	AS	10.1	T3_8-12	2'581'240	1'217'846		80		20			20	5	Makro_ganzj	Elodea nutalii	Siebsätze von 0.6 mm verwendet um Probe zu sieben.
BIE_04-Q1	BIE_04	17.11.20	Q1	AS	3.9	T2_4-8	2'572'915	1'212'089	Vegetationsgrenze auf 6.5 m	100					0	100	beides	viel Eisensulfid, Elodea nutalii, Nitelloptis optusa	Siebsätze von 0.6 mm verwendet um Probe zu sieben.
BIE_04-Q2	BIE_04	17.11.20	Q2	AS	5.9	T2_4-8	2'572'940	1'212'085	rote Chironomus; Vegetationsgrenze auf 6.5 m	100					0	90	beides	viel Eisensulfid, Elodea nutalii, Nitelloptis optusa, Ceratophyllum demersum	Siebsätze von 0.6 mm verwendet um Probe zu sieben.
BIE_04-Q3	BIE_04	17.11.20	Q3	AS	9.4	T3_8-12	2'572'954	1'212'057	Vegetationsgrenze auf 6.5 m	100					0	0		weniger Eisensulfid, Elodea nutalii, Nitelloptis optusa	Siebsätze von 0.6 mm verwendet um Probe zu sieben.
BIE_12-Q1	BIE_12	18.11.20	Q1	AS	1.5	T1_0-4	2'583'954	1'219'110	viele Leerschalen Dreissena	100					0	10			Siebsätze von 0.6 mm verwendet um Probe zu sieben.
BIE_12-Q2	BIE_12	18.11.20	Q2	AS	4.6	T2_4-8	2'583'939	1'219'138		100					0	30		oberste 2 cm Sand hell, dann grau-schwarz (Eisensulfid)	Siebsätze von 0.6 mm verwendet um Probe zu sieben.
BIE_12-Q3	BIE_12	18.11.20	Q3	AS	10.1	T3_8-12	2'583'915	1'219'141		100					0	0		lehmiger Schlamm	Siebsätze von 0.6 mm verwendet um Probe zu sieben.
BIE_12-Q4	BIE_12	18.11.20	Q4	AS	1.5	T1_0-4	2'584'017	1'219'143	innerhalb Wellenbr. viel weniger Corbicula als im Sommer	100					0	10		Sand nicht schwarz	Siebsätze von 0.6 mm verwendet um Probe zu sieben.

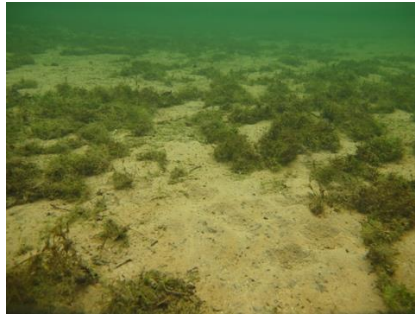
## Anhang 4: Protokoll Feinkartierung Phase II, Thunersee

REF-ID	ID	Datum	Grossquadrat	Taucher	Tiefe_m	Tiefenklasse	Koord_x	Koord_y	Sand, Fein	Kies	Steine	Blöcke	Fels	Makrophyten	Totholz	Bemerkung Substrat	Bemerkung Probenahme
THU_10-Q1	THU_10	19.08.21	Q1	AS/CVK	3.8	T1_0-4	2618542	1174844	75	5	10			0	5		
THU_10-Q2	THU_10	19.08.21	Q2	AS/CVK	7.9	T2_4-8	2618566	1174831	50	10	40			0	5		
THU_10-Q3	THU_10	19.08.21	Q3	AS/CVK	10	T3_8-12	2618544	1174844	50	10	40			0	5		
THU_09-Q1	THU_09	19.08.21	Q1	AS/CVK	7.1	T2_4-8	2620082	1173456	95		5			5	0	org. Schlamm, Elodea, Dreissena auf den Steinen	
THU_09-Q2	THU_09	19.08.21	Q2	AS/CVK	3.9	T1_0-4	2620087	1173452	95		5			70	5	v.a. Elodea und Potamogetum	
THU_09-Q3	THU_09	19.08.21	Q3	AS/CVK	10	T3_8-12	2620066	1173470	90	5	5			1	0		
THU_08-Q1	THU_08	19.08.21	Q1	AS/CVK	3.6	T1_0-4	2622071	1172753	100					5	5		
THU_08-Q2	THU_08	19.08.21	Q2	AS/CVK	9.6	T3_8-12	2622058	1172756	100					10	10		
THU_08-Q3	THU_08	19.08.21	Q3	AS/CVK	6.2	T2_4-8	2622050	1172768	99			1		5	5	Caracean und Elodea	
THU_02-Q3	THU_02	18.08.21	Q3	AS	11	T3_8-12	2618119	1171567	95		5			0	10	lehmig-schlammiger Boden	
THU_02-Q1	THU_02	18.08.21	Q1	AS	7.2	T2_4-8	2618119	1171558	95		5			0	20	lehmig-schlammiger Boden	
THU_02-Q2	THU_02	18.08.21	Q2	AS	3.9	T1_0-4	2618126	1171545	100					30	20	Bodenabdeckung +50% Laub	
THU_11-Q1	THU_11	18.08.21	Q1	AS/CVK	1.5	T1_0-4	2614132	1175105	30		70			5		v.a. Characean	
THU_11-Q2	THU_11	18.08.21	Q2	AS/CVK	9.2	T3_8-12	2614977	1175589	100					20			
THU_11-Q3	THU_11	18.08.21	Q3	AS/CVK	4.5	T2_4-8	2614950	1175556	100					85		v.a. Characean, wenig Potamogetum	
THU_01-Q1	THU_01	18.08.21	Q1	AS/CVK	1.3	T1_0-4	2614745	1174583	100					60		lehmig, v.a. Characean	
THU_01-Q2	THU_01	18.08.21	Q2	AS/CVK	6.1	T2_4-8	2614807	1174653	100					50		org. Schlück, v.a. Characean, wenig Potamogetum	
THU_01-Q3	THU_01	18.08.21	Q3	AS/CVK	11.5	T3_8-12	2614134	1174192	100					40		org. Schlück	
THU_03-Q1	THU_03	08.09.21	Q1	AS/CVK	7	T2_4-8	2627660	1168131	100					100		Armleuchteralgen, vereinzelt Potamogetum	A- anatina lebend ausserhalb GK
THU_03-Q2	THU_03	08.09.21	Q2	AS/CVK	2.4	T1_0-4	2627687	1168121	100					10		Substrat dunkel, anoxisch	
THU_03-Q3	THU_03	08.09.21	Q3	AS/CVK	5.6	T2_4-8	2627688	1168135	95		5			40			
THU_03-Q4	THU_03	08.09.21	Q4	AS/CVK	11	T3_8-12	2627664	1168148	100					15	5	v.a. Lehm	
THU_06-Q1	THU_06	08.09.21	Q1	AS/CVK	1.9	T1_0-4	2629721	1168832	100					70	1		
THU_06-Q2	THU_06	08.09.21	Q2	AS/CVK	1.8	T1_0-4	2629613	1168728	95		5			50			
THU_06-Q3	THU_06	08.09.21	Q3	AS/CVK	1.6	T1_0-4	2629712	1168679	95		5			45			
THU_06-Q4	THU_06	08.09.21	Q4	AS/CVK	1.7	T1_0-4	2629829	1168809	99		1			60		Armleuchteralgen	
THU_07-Q1	THU_07	08.09.21	Q1	AS/CVK	2.4	T1_0-4	2624757	1170118	10		20	70		5		Potamogetum	
THU_07-Q2	THU_07	08.09.21	Q2	AS/CVK	12	T3_8-12	2694778	1170118	60		40			0		FNM, sandiger Lehm	
THU_07-Q3	THU_07	08.09.21	Q3	AS/CVK	6.7	T2_4-8	2624736	1170105	20		80			0		organisch/lehmiger Schlamm	
THU_07-Q4	THU_07	08.09.21	Q4	AS/CVK	4.5	T2_4-8	2624747	1170110	20		20	60		2			

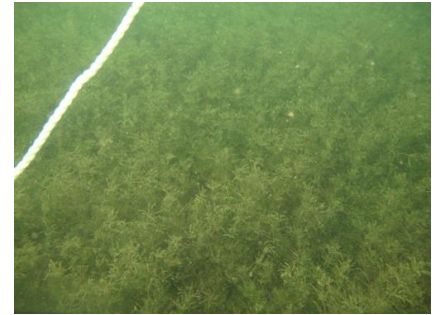
## Anhang 5: Standortfotos Bielersee - Phase II



BIE\_02 - Q1 (0-4 m)



BIE\_02 - Q2 (0-4 m)



BIE\_02 - Q3 (0-4 m)



BIE\_03 - Q1 (0-4 m)



BIE\_03 - Q2 (4-8 m)



BIE\_03 - Q3 (8-12 m)



BIE\_04 - Q1 (0-4 m)



BIE\_04 - Q2 (4-8 m)



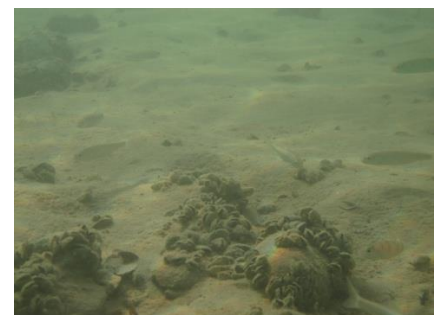
BIE\_04 - Q3 (8-12 m)



BIE\_05 - Q1 (4-8 m)



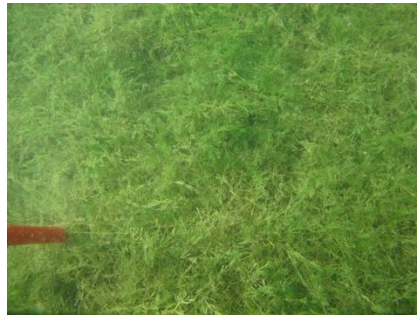
BIE\_05 - Q2 (0-4 m)



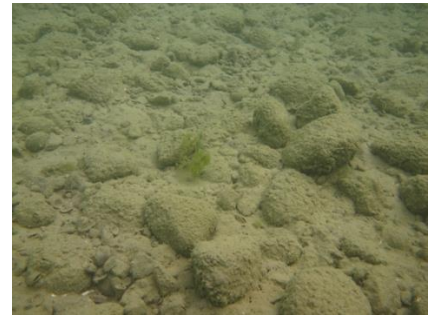
BIE\_05 - Q3 (0-4 m)



BIE\_06 - Q1 (0-4 m)



BIE\_06 - Q2 (0-4 m)



BIE\_06 - Q3 (0-4 m)

Kein Foto

Kein Foto

Kein Foto

BIE\_07 - Q1 (8-12m)



BIE\_09 - Q1 (0-4 m)

BIE\_07 - Q2 (4-8 m)



BIE\_09 - Q2 (0-4 m)

BIE\_07 - Q3 (0-4 m)

Kein Foto

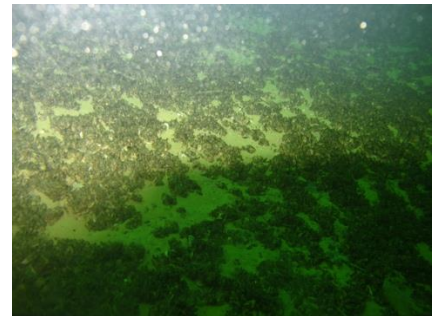
BIE\_09 - Q3 (0-4 m)



BIE\_12 - Q1 (0-4 m)



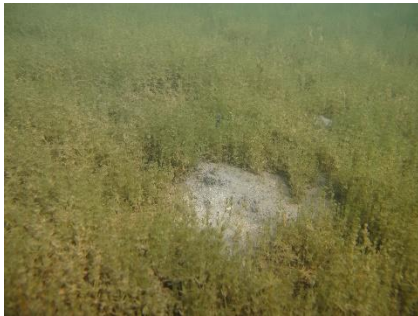
BIE\_12 - Q2 (4-8 m)



BIE\_12 - Q3 (8-12 m)



## Anhang 6: Standortfotos Thunersee - Phase II



THU\_01 – Q1 (0-4 m)



THU\_01 -Q2 (4-8 m)



THU\_01 – Q3 (8-12 m)



THU\_02 – Q2 (0-4 m)

Kein Foto

Kein Foto



THU\_03 – Q2 (0-4 m)



THU\_03 – Q1 (4-8 m)



THU\_03 – Q3 (4-8 m)



THU\_06 – Q1 (0-4 m)



THU\_06 – Q2 (0-4 m)



THU\_06 – Q3 (0-4 m)



THU\_07 – Q1 (0-4 m)

Kein Foto



THU\_07 – Q3 (4-8 m)

Kein Foto

Kein Foto



THU\_08 – Q2 (8-12 m)



THU\_09 – Q2 (0-4 m)



THU\_09 – Q1 (4-8 m)



THU\_09 – Q3 (8-12 m)

Kein Foto



THU\_10 – Q2 (4-8 m)

Kein Foto



THU\_11 – Q1 (0-4 m)

Kein Foto



THU\_11 – Q3 (4-8 m)