



Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Studiengang Biologie B. Sc.

Bestandessituation der Bachmuschel *Unio crassus* (PHILIPSSON 1788) im Seegraben im Klettgau



Bachelorarbeit
von
Sarah Litschka

Angefertigt am Institut für Zoologie,
Arbeitsgruppe für Fließgewässerökologie

Datum der Abgabe: 16.08.2011
Prüfer: Prof. Dr. G. Bauer



1 Inhaltsverzeichnis

2	Zusammenfassung	3
3	Einleitung.....	4
4	Material und Methoden	8
4.1	Das Untersuchungsgebiet	8
4.2	Erfassung des Muschelbestandes	11
4.2.1	Wahl der Transekte	11
4.2.2	Suche der Muscheln	12
4.2.3	Markierung der Muscheln	13
4.2.4	Bestimmung der Populationsgröße	14
4.2.5	Altersbestimmung	14
4.2.6	Vermessung der Muscheln und der Jahresringe.....	14
4.2.7	Wachstumsanalyse	15
4.2.8	Trächtigkeitskontrolle	15
4.3	Hydrologische Untersuchungen	16
4.3.1	Wahl der Messstellen	16
4.3.2	Messungen.....	17
4.4	Datenverarbeitung und statistische Auswertung	18
4.5	Genehmigung.....	18
5	Ergebnisse.....	19
5.1	Hydrologische Untersuchungen	19
5.2	Populationsgröße	19
5.3	Altersstruktur	21
5.4	Ford-Walford-Plot	22
5.5	Trächtigkeit.....	23
5.6	Methodenvergleich	25
6	Diskussion.....	28
6.1	Hydrologische Untersuchungen	28
6.2	Populationsgröße	28
6.3	Altersstruktur	29
6.4	Ford-Walford-Plot	32
6.5	Trächtigkeit.....	32
6.6	Methodenvergleich	33
7	Literatur	35
8	Anhang.....	38
9	Erklärung	43



2 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Bachmuschelbestand im deutschen Teil des Seegrabens, im Klettgau/Baden-Württemberg, untersucht. Dabei wurde die Bestandessituation von *Unio crassus* unter dem Gesichtspunkt erfasst, dass vier Jahre zuvor die Abwassereinleitung aus der kommunalen Kläranlage Osterfingen eingestellt wurde.

Die über den Lincoln-Index geschätzte Populationsgröße beträgt im etwa 4500m langen deutschen Seegraben zwischen 63000 und 89139 Individuen. Fünf Jahre zuvor schätzte Stefan Heitz die Population auf 1183 Muscheln. Die Zunahme der Individuenzahl in den letzten 5 Jahren könnte darauf hinweisen, dass sich die Lebens- oder Fortpflanzungsbedingungen der Muschel nach dem Umbau der Kläranlage in ein Pumpwerk stark verbessert haben. Die hydrologischen Untersuchungen des Amts für Lebensmittelkontrolle und Umweltschutz Schaffhausen (Amt für L & U Schaffhausen) unterstützen diese Aussage. So war das Wasser ab diesem Zeitpunkt deutlich weniger belastet, insbesondere mit Ammonium, welches für eine hohe Mortalitätsrate der Jungmuscheln verantwortlich sein soll.

Auch die Altersstruktur spricht für einen sprunghaften Populationsanstieg nach dem Stopp der Abwassereinleitung im Juli 2007. So sind nur wenige Tiere über vier Jahre alt, was darauf schließen lässt, dass die Muscheln erst nach dem Einstellen des Klärbetriebes überleben konnten. Aufgrund dessen ist die Population im deutschen Teil des Seegrabens mit einem Durchschnittsalter von $3,53 \pm 1,19$ Jahren sehr jung.

Die Trächtigkeitskontrolle ergab, dass ausgehend von einem Geschlechterverhältnis von 1:1, bei 92% der Weibchen Brut eingelagert war und der Bestand somit eine sehr hohe Reproduktionsrate aufweist. Des Weiteren wurde ersichtlich, dass bereits 3-jährige Muscheln die juvenile Phase abgeschlossen haben, da in dieser Altersklasse alle gefundenen Weibchen trächtig waren.

Zusätzlich zeigte sich, dass die Muscheln in einem Bachlauf unregelmäßig vorkommen können, weshalb mehrere Transekte über das Untersuchungsgebiet verteilt werden sollten. Auch stellte sich heraus, dass durch rein visuelle Suche die Populationsgröße stark unterschätzt werden kann, weswegen die Bachsohle ergänzend abgetastet und durchgegraben werden sollte.



3 Einleitung

Die Süßwassermuschel *Unio crassus* ist allgemein auch unter dem Namen Bachmuschel, Gemeine, Dicke oder Kleine Flussmuschel bekannt. Sie gehört neben den Arten *Unio pictorum* (Malermuschel) und *Unio tumidus* (Aufgeblasene Flussmuschel) zur Gattung *Unio*, die zusammen mit den Gattungen *Anodonta* und *Pseudanodonta* zur Familie der Unionidae zählen. Diese Familie wird von der Überfamilie Unionoidea beinhaltet, welcher auch die Familie der Margaritiferidae, mit dem Vertreter der Flussperlmuschel (*Margaritifera margaritifera*), angehört. Die Unionoidea werden im Volksmund als Großmuscheln oder auch Najaden bezeichnet (SCHMIDT 1990).

Die Bachmuschel gehört zusammen mit *Margaritifera margaritifera*, *M. auricularia* und *Pseudanodonta complanata* zu den am stärksten gefährdeten Najadenarten in Zentraleuropa (HOCHWALD 2001).

In einem Artenschutzabkommen der europäischen Union, der sogenannten Fauna-Flora-Habitats-Richtlinie (FFH-Richtlinie) [Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume, sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen], wurde *U. crassus* als „streng zu schützende Art von gemeinschaftlichem Interesse“ und als „Tierart von gemeinschaftlichem Interesse, für deren Erhaltung besondere Schutzgebiete ausgewiesen werden müssen“, eingestuft (Auflistung in den Anhängen II und IV der Richtlinie).

In Deutschland steht die Bachmuschel unter noch strengem Schutz. So ist sie in der Roten Liste unter der Kategorie 1 „vom Aussterben bedroht“ aufgeführt (MÄKERT 2010).

Dieser Schutzstatus besteht jedoch erst seit den dramatischen Bestandseinbußen im 20. Jahrhundert, bei denen *U. crassus* fast überall 90% ihres Vorkommens verlor (ZETTLER & WACHLIN 2010).

Der gravierende Rückgang der ehemals in Europa zahlreich vertretenen Tiere (SCHMIDT 1990) ist auf anthropogene Veränderungen der Lebensräume zurückzuführen und auf ihre Lebensweise, welche stark an biotische und abiotische Parameter gebunden ist. Dies führt dazu, dass schon minimale Veränderungen die notwendigen Lebensbedingungen zerstören.

Die Bachmuschel kommt in kleinen Bächen und Gräben mit geringer bis mäßiger Fließgeschwindigkeit vor (VICENTINI 2004) oder in strömungsberuhigten Bereichen von schnell fließenden Bächen und Flüssen (ZETTLER & WACHLIN 2010). Die Adulttiere sind in sandig-kiesigem bis schlammigem Sediment anzutreffen, bevorzugt in fein- bis mittelsandigem



(BAUER ET AL. 1980), in welchem sie sich bis zur Atemöffnung eingraben (HOCHWALD 1997) und Detritus und Mikroplankton filtrieren (VICENTINI 2004). Die Jungmuscheln sind auf ausreichende Sauerstoffversorgung angewiesen, weshalb sie schlammige Untergründe meiden (BAUER ET AL. 1980). Die Ansprüche von *U. crassus* an die Wasserqualität sind sehr hoch. So wird sie im Saprobiensystem der Gewässergüteklasse I-II (oligo- bis beta-mesosaprob) zugeordnet (VICENTINI 2004) und reagiert empfindlich auf zu hohe Nitratwerte (SCHMIDT 1990).

Auch über den Entwicklungszyklus (Abbildung 1) ist die Bachmuschel eng mit der Biozönose ihres Habitats verknüpft, da die Fortpflanzung, wie bei allen Großmuscheln, über Glochidienlarven erfolgt, welche auf spezifische Wirtsfische angewiesen sind (HOCHWALD 1997). Die getrenntgeschlechtlichen Tiere pflanzen sich im Frühjahr fort, indem die Männchen Spermien ins Wasser abgeben, welche von den Weibchen in geringer Konzentration mit dem Atemwasser eingestrudelt werden und die Eier befruchten. Die bis zu 70000 Eier (NAGEL 2002) werden von den Gonaden zu den äußeren Kiemenblättern transportiert. Wo genau die Befruchtung stattfindet, ist noch nicht geklärt. Nach Angaben von HOCHWALD & BAUER (1990) findet diese vermutlich in den zu Bruttaschen (Marsupien) umgebildeten äußeren Kiemenblättern statt. Aus den befruchteten Eiern entwickeln sich die 0,2 mm großen Glochidienlarven, welche im Zeitraum von April bis Juli von den Weibchen schubweise ins freie Wasser abgegeben werden. Nach HOCHWALD (1997) können Bachmuscheln in einer Fortpflanzungsperiode bis zu fünfmal hintereinander Larven produzieren (Mehrfachträchtigkeit). Die ins freie Wasser abgegebenen Larven müssen für eine erfolgreiche Weiterentwicklung innerhalb von 1 bis 3 Tagen von Wirtsfischen aufgenommen werden, indem sie mit dem Atemwasser zu den Kiemen gelangen, wo sie sich mit ihren Schalenhaken verankern (HOCHWALD & BAUER 1990).

Die Anheftung der Glochidien erfolgt wirts-unspezifisch (BISCHOFF 1987), allerdings kommt es nur bei Wirtsfischen zu einer Wucherung des umliegenden Gewebes, so dass die Larven von einer Cyste eingeschlossen sind, in welcher sich die 28-tägige Umwandlung zur Jungmuschel vollzieht. Nach Abschluss der Metamorphose fallen die Jungmuscheln vom Fisch ab und graben sich für 2 bis 3 Jahre ins Sediment ein, bis sie das adulte, reproduktionsfähige Alter mit 3-4 Jahren erreicht haben (HOCHWALD & BAUER 1990). Die Lebenserwartung der Bachmuschel kann über 30 Jahre betragen (NAGEL 1991).

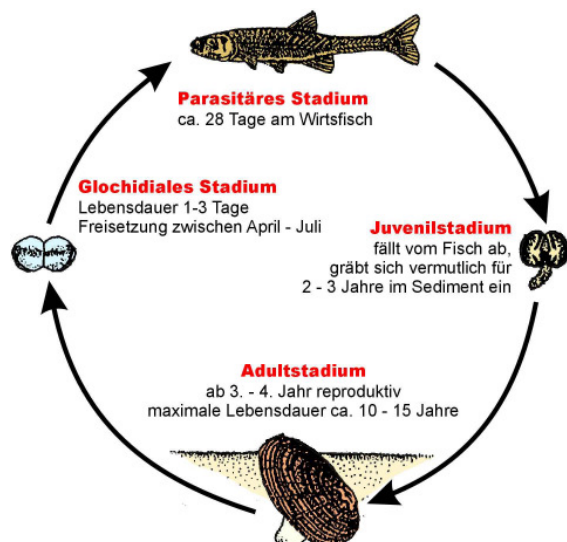


Abbildung 1:
Wirtsfischzyklus von *U. crassus*.
Bild Susanne Hochwald [WASSERWIRTSCHAFTSAMT BAYREUTH].

Die Mortalitätsraten der Bachmuschel sind im Larval- und Jungmuschelstadium am höchsten. Ursachen dafür sind die geringen Glochidien-Wirtsfisch-Kontakte und die Immunabwehr, welche bei bereits mit Glochidien infizierten Fischen auftreten kann, wodurch eine erfolgreiche Anheftung verhindert wird. Die Muscheln sind also auf Jungfische oder neu zugewanderte Fische angewiesen, d.h. auch auf gut vernetzte Gewässersysteme (VICENTINI 2004). Im Weiteren sterben viele Jungmuscheln, wenn sie an ungeeigneten Habitaten vom Wirtsfisch abfallen (HIRSCHBERG 2002) oder von Insektenlarven, Krebsen und anderen Tiergruppen gefressen werden (HOCHWALD 1997).

Die Lebensbedingungen der Bachmuschel werden durch anthropogene Einflüsse wie gewässerbauliche Maßnahmen (Eindolung, Begradigung, Verbauung, Tieferlegung) und Gewässerverschmutzungen verschlechtert. Die Minderung der Wasserqualität kommt durch Einleitung von Abwässern und Schadstoffen, sowie Eintrag von Dünger, Pestiziden und organischen Materialien zustande, wodurch es zu Bachgrundverschleimmungen mit einhergehender Sauerstoffzehrung kommt. Besonders für Jungmuscheln ist dies tödlich (VICENTINI & PFÄNDLER 2001). Die anthropogenen Einflüsse wirken sich nicht nur direkt auf die Lebensbedingungen der Muschel, sondern auch, über die Verschlechterung der Wirtsfischhabitate, auf die Fortpflanzungsrate der Adulttiere aus (ZETTLER & WACHLIN 2010).

Weitere Bedrohungen bilden die vom Menschen eingeschleppte epizoische Zebra- muschel (*Dreissena polymorpha*) und die räuberische Bismartratte (*Ondatra zibethicus*) (VICENTINI 2004). Die Bismartratte kann als Fressfeind die Muschelbestände bedrohlich dezimieren und stellte auch im Seegraben ein großes Problem dar, weshalb sie dort seit mehreren Jahren bejagt wird (VICENTINI & PFÄNDLER 2001).



In der vorliegenden Arbeit wurde die Bestandessituation einer Bachmuschelpopulation im Seegraben im Klettgau untersucht, nachdem vier Jahre zuvor der Zufluss aus einer kleinen kommunalen Kläranlage eingestellt wurde. Da die Abwasserreinigungsanlage über keine Nitrifikationsstufe verfügte, ist anzunehmen, dass sich die Wassereinleitung negativ auf die Muscheln ausübte. Die Annahme wird dadurch gestützt, dass in einer Untersuchung von Stefan Heitz im Jahre 2006 (REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG 2008) nur wenige Muscheln unterhalb der Kläranlage gefunden wurden, obwohl sich oberhalb der Kläranlage der größte Bachmuschelbestand der Schweiz befindet (UEHLINGER 2008). Zusätzlich wurde geprüft, inwiefern sich die Methode zur Muschelsuche auf die Ergebnisse auswirkt. Nach Angaben von PFEIFFER & NAGEL (2010) werden durch die Methode „Tasten und Graben“ viel mehr Muscheln erfasst (bis zum 26-fachen), als bei einer rein visuellen Begehung.



4 Material und Methoden

4.1 Das Untersuchungsgebiet

Als Untersuchungsgewässer diente der Seegraben, der sowohl durch die Schweiz, als auch durch Deutschland fließt. Der deutsche Teil des Baches liegt in dem 1462 Hektar großen Natura-2000-Gebiet „Klettgaurücken“ (FFH-Gebiet 8316-341) in der Gemeinde Klettgau im Landkreis Waldshut-Tiengen/Baden-Württemberg. Der schweizerische Bachabschnitt befindet sich im Kanton Schaffhausen.

Die Landschaft, in welcher der Seegraben liegt, wurde vor ca. 12000 Jahren vom Rhein durchflossen und später mit Alpenschotter aufgefüllt. Heute ist das geographische Gebiet „Klettgau“ (von Tiengen bis kurz vor Schaffhausen) ein breites Tal ohne Fluss, in welchem sich ein Netzwerk von vielen kleinen Bächen, sowie ein bedeutender Grundwasserstrom befinden (AMT FÜR LEBENSMITTELKONTROLLE UND UMWELTSCHUTZ SCHAFFHAUSEN 2005/06). Das Tal liegt 390 bis 670 m über dem Meeresspiegel (GEMEINDE KLETTGAU) und ist mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8-9°C eine wärmebegünstigte Region. Die Niederschlagsrate beträgt im Jahresmittel 850-900mm (REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG 2008).

Der Bach erstreckt sich vom hinteren Teil des Wangentals in der Schweiz (Abbildung 2) bis zur Einmündung in den Schwarzbach bei Griesen in Deutschland (Abbildung 3).

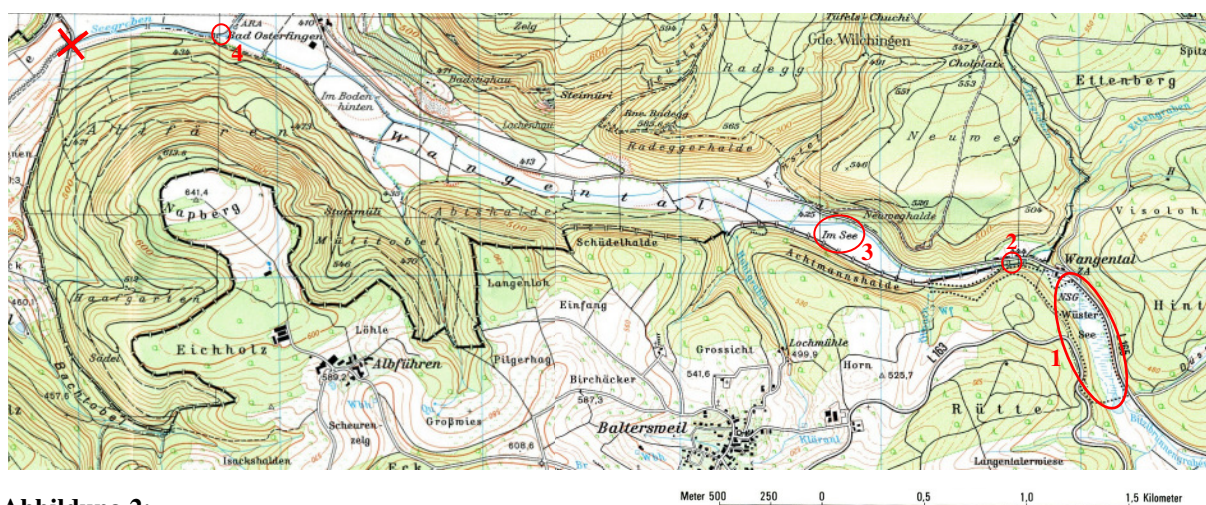


Abbildung 2:

Karte des Seegrabens im schweizer Gebiet. Rot umkreist sind der Anfang des Seegrabens im Wüster See (1), der Geschiebesammler (2), das Biotop „im See“ (3), sowie der ehemalige Zufluss aus der Kläranlage (4). Die deutsche Grenze ist durch ein rotes Kreuz markiert (verändert nach LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 2008a und 2008b).

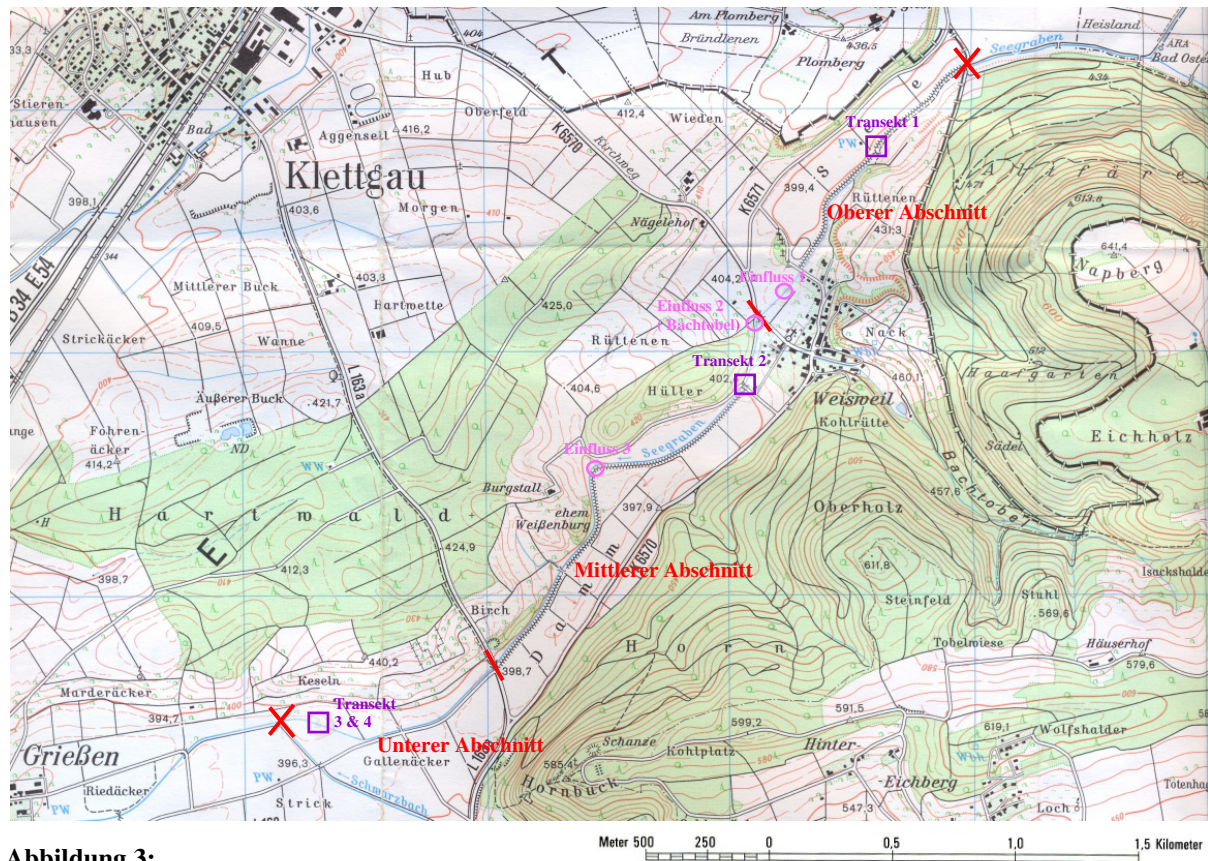


Abbildung 3:

Karte des Seegrabens auf deutschem Gebiet. Die schweizer Grenze und die Einmündung in den Schwarzbach sind durch rote Kreuze markiert. Die einzelnen Abschnitte des deutschen Seegrabens sind durch rote Striche voneinander getrennt und die entsprechenden Transekte sind durch lila Vierecke angegeben. Die rosa Kreise markieren die Messstellen für die hydrologischen Untersuchungen (verändert nach LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 2008b).

Im schweizer Gebiet hat der Seegraben ungefähr eine Länge von 5100m und im deutschen Gebiet etwa von 4500m.

Der Seegraben beginnt in dem Feuchtgebiet „Wüster See“ im hinteren Teil des Wangentals. Im Oberlauf befindet sich kurz hinter der Einmündung des Ättigrabens in der Schweiz ein Geschiebesammler, um grobes Geschiebe abzufangen. Etwa 1km unterhalb davon mündet der Seegraben in das Hochwasserrückhaltebecken „im See“, welches nach BERTILLER & URBSCHAIT (2002) als Feuchtgebiet und Biotop einen hohen ökologischen Stellenwert hat. Ungefähr 750m vor der deutschen Grenze wurden bis 2007 die Abwässer der kleinen kommunalen Kläranlage Osterfingen eingeleitet. Da die Abwasserreinigungsanlage (ARA) über keine Nitrifikationsstufe verfügte, waren im Seegraben hohe Ammoniumwerte anzutreffen, was zu einer hohen Sterberate der Jungmuscheln führte. Ab Juli 2007 wurde die ARA Osterfingen in ein Pumpwerk mit Kanalisationsanschluss an den Verbundkanal der ARA Hallau umgebaut (AMT FÜR L & U SCHAFFHAUSEN 2005/06 und 2009). Seit diesem Zeitpunkt konnte



die Wasserqualität im Seegraben nachhaltig verbessert werden und die Bachmuschel konnte sich bachabwärts ausbreiten (AMT FÜR L & U SCHAFFHAUSEN 2009/10).

Der Seegraben hat in der Schweiz einen großen Stellenwert, so befindet sich in ihm der größte bekannte Bachmuschelbestand der Schweiz. Im Jahre 2006 ergaben Untersuchungen von H. Vicentini und U. Pfändler eine Populationsdichte von ungefähr 65000 Individuen (UEHLINGER 2008). Damit war der Bestand deutlich höher als auf der deutschen Seite, welcher nach Untersuchungen im Sommer 2006 geschätzte 1185 Muscheln ergab (REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG 2008).

Meine Untersuchungen wurden ausschließlich im deutschen Gebiet durchgeführt. Die Populationsentwicklung im Verlauf der letzten Jahre und die Altersstruktur sind im deutschen Teil des Seegrabens besonders interessant, da nach dem Abschalten der Kläranlage in Osterfingen eine Bestandsausbreitung, ausgehend vom schweizer Gebiet oberhalb der Kläranlage, zu verzeichnen ist (AMT FÜR L & U SCHAFFHAUSEN 2009/10).

Der deutsche Teil des Seegrabens ist über fast die ganze Strecke mit Sohl- und Uferbefestigungen (Trapezprofil) versehen. Naturnahe Gebiete sind nur über kurze Strecken vorhanden. Die Gewässersohle besteht im Seegraben aus Steinen, Mittelkies, Lehm und Schlamm. Streckenweise befinden sich große Mengen organischer Substanzen wie Blätter, Stroh und Gras im Gewässer. Diese stammen wahrscheinlich von überhängenden Bäumen und aus landwirtschaftlichen Einträgen, da der Bach durch bewaldete Gebiete führt und viele Felder direkt an das Gewässer grenzen. Im Seegraben sind zahlreiche Wirtsfische der Bachmuschel, sowohl Jungfische, als auch Adulttiere, vorhanden. Die häufigsten potentiellen Wirtsfische sind die Elritze (*Phoxinus phoxinus*), der Döbel (*Leuciscus cephalus*), die Bachforelle (*Salmo trutta fario*) und der Stichling (Gasterosteidae) (MÜRLE & ORTLEPP 2004).

Der deutsche Teil des Seegrabens gliedert sich strukturell in drei Abschnitte (Abbildung 3).

Der obere Abschnitt (Abbildung 4) ist am Ufer mit Steinplatten eingefasst und am Boden betoniert (Trapezprofil). Auf dem Betonboden ist entweder überhaupt kein Substrat anzutreffen, oder eine dicke Feinschlammauflage mit einem großen Anteil von organischem Material und anaeroben Bedingungen.

Der mittlere Abschnitt (Abbildung 5) ist ebenfalls von großen Steinplatten eingefasst. Jedoch sind stellenweise durch überhängende Ufer Buchten anzutreffen und eine dicke Sohle ist vorhanden, welche von lehmig, über sandig und kiesig, bis hin zu kleineren Steinen reicht.



Die Ufer des unteren Abschnitts (Abbildung 6, Abbildung 7) sind sowohl streckenweise gar nicht eingefasst, als auch komplett befestigt. Größtenteils ist jedoch nur eine Uferseite durch große Steine oder Steinplatten begradigt und an der anderen Uferseite sind naturbelassene Buchten anzutreffen. Der Untergrund besteht hier überwiegend aus Lehm- und Schlammhängen auf einer sandig-kiesigen Bachsohle.



Abbildung 4: Transekt 1 im oberen Abschnitt.



Abbildung 5: Transekt 2 im mittleren Abschnitt.



Abbildung 6: Transekt 3 im unteren Abschnitt. Das rechte Ufer ist uneingefasst, das linke mit Steinen befestigt.



Abbildung 7: Transekt 4 im unteren Abschnitt. Das rechte Ufer ist unbefestigt, das linke mit Steinplatten eingefasst.

4.2 Erfassung des Muschelbestandes

Am 21. April 2011 und am 13. Mai 2011 wurde ein Fang-Wiederfang-Versuch (Capture-Recapture-Experiment) durchgeführt. Dazu wurden vier Gewässerabschnitte in einem Abstand von 22 Tagen von derselben Person mit der gleichen Methode und bei möglichst ähnlichen äußeren Bedingungen abgesucht.

Zwischen den beiden Fängen blieb genug Zeit, damit sich die Muscheln nach dem Aussetzen mit ihrem Fuß zu einem geeigneten Aufenthaltsort bewegen und sich dort ins Sediment eingraben konnten.

4.2.1 Wahl der Transekte

Da in einem Bachverlauf nicht an jeder Stelle die gleiche Anzahl von Muscheln vorkommt, ist es wichtig, mehrere Probestellen über das gesamte Gebiet zu verteilen. Nach Angaben von PFEIFFER & NAGEL (2010) sollten mindestens 5% des Gewässers untersucht werden. Da dies im Rahmen einer Arbeit nicht immer durchführbar ist, sollte darauf geachtet werden, dass



möglichst unterschiedliche Strecken beprobt werden, damit sowohl gute, als auch schlechte Muschelabschnitte in den Ergebnissen enthalten sind. Nach einer Gesamtbegehung konnte ich den Fluss in drei Hauptabschnitte gliedern (oberer Abschnitt, mittlerer Abschnitt, unterer Abschnitt), die sich vom Lebensraum stark unterscheiden (Abbildung 3).

In jedem Abschnitt wurde ein Transekt von jeweils 5m Bachstrecke gelegt. Da im unteren Abschnitt die Anzahl der gefundenen Muscheln deutlich niedriger war als im mittleren Abschnitt, wurde zur genaueren Ermittlung der Populationsgröße ein weiteres Transekt von 5m untersucht und in die Ergebnisse mit einbezogen. Im oberen Abschnitt war die Anzahl der gefundenen Muscheln, mit einem Tier auf 5m Bachstrecke, so gering, dass auch mit einem zweiten Transekt keine zuverlässige Aussage hätte getroffen werden können.

Die Transekte wurden über die gesamte Gewässerbreite bearbeitet, da der Bach mit einer maximalen Breite von 1,80m und einer maximalen Wassertiefe von 0,55m im Bereich der Untersuchungsflächen leicht nach Muscheln abzusuchen war.

4.2.2 Suche der Muscheln

Um möglichst günstige Sichtverhältnisse zu erhalten, wurden die Untersuchungen beide Male an einem sonnigen Tag mit wenigen Wolken, sowie bei einem niedrigen Wasserstand mit klarem Wasser durchgeführt. Zudem wurden die Gewässerabschnitte stets bachaufwärts begangen, damit die Wassertrübung durch Sedimentaufwirbelung minimiert wurde. Um zusätzlich Sichtbeeinträchtigungen durch Lichtreflexionen und Strömung zu verhindern, wurde zum Teil ein Sichtkasten verwendet. Dazu diente eine Kunststoffkiste, deren Boden durch eine Plexiglasscheibe ersetzt wurde. Bei der Suche mit dem Sichtkasten (Abbildung 8) ist zu beachten, dass sich etwas Wasser in der Kiste befindet, damit die Scheibe immer bedeckt ist und somit eine optimale Sicht gewährleistet ist. Bei sehr flachem Wasser oder starkem Uferbewuchs war der Sichtkasten jedoch eher hinderlich, da er das Sediment aufwirbelte und so die Sicht verschlechterte. Auch ist die Suche mit dem Sichtkasten nicht immer ganz einfach, da die Muscheln bis zu den Ein- und Ausstromöffnungen im Substrat eingegraben sind (Abbildung 9). Da durch die visuelle Methode die Bestandesgröße nach PFEIFFER & NAGEL (2010) stark unterschätzt werden kann, wurde die obere Sedimentschicht vorsichtig nach Muscheln durchgetastet. Dabei wurde in Abtasten der Bachsohle und in oberflächliches Graben unterschieden. Der Nachteil dieser „Tasten-Graben-Methode“ war die stärkere Gewässertrübung. Um die Methoden optimal zu kombinieren, wurde innerhalb des Transektes in einem



1. Durchgang abschnittsweise mit dem Sichtkasten geschaut, dann das Sediment abgetastet und zuletzt mit der Hand durchgegraben (Abbildung 10). Besonders aufmerksam wurde bei Pflanzen, großen Steinen, Buchten, sowie in Sandbänken gesucht. Auch Stellen, an denen eine Muschel gefunden wurde, sind gründlicher kontrolliert worden, da die Tiere oftmals in sogenannten „Muschelnestern“ (lokale Häufungen) vorkommen (PFEIFFER & NAGEL 2010).



Abbildung 8:
Muschelsuche mit Hilfe des Sichtkastens.



Abbildung 9:
Ansicht einer Muschel durch den Sichtkasten. Der Finger zeigt auf das Tier, welches lediglich an der dunklen Aus- und Einstromöffnung zu erkennen ist.



Abbildung 10:
Die im Schlamm verborgene Muschel wurde durch Graben gefunden. Der rote Pfeil zeigt auf das mit Schlamm bedeckte Tier.

Bei der Muschelsuche wurde eine Zeitsammelmethode angewandt, um sowohl für den Wiederfang, als auch zum Vergleich der einzelnen Transekte möglichst gleiche Bedingungen zu haben. Die Zeitspanne für jedes Transekt betrug mit Ausnahme des oberen Abschnittes 30 Minuten. Da der obere Abschnitt ein Trapezprofil hat, war das Transekt in 20 Minuten komplett abgesucht. Nachdem sich die Gewässertrübung gelegt hatte, wurde abschließend jedes Transekt ein zweites Mal (2. Durchgang) für maximal 5 Minuten mit dem Sichtkasten abgesucht, da durch das Graben Muscheln an die Oberfläche gewirbelt wurden. Auch Muscheln, die aufgrund der Begehung ihre Atemöffnungen verschlossen hatten, konnten später gesehen werden.

4.2.3 Markierung der Muscheln

Die Muscheln wurden für das Fang-Wiederfang-Experiment markiert, indem eine Schalenhälfte trockengerieben und mit einem weißen, wasserfesten Lackstift (Edding 750) nummeriert wurde. Nach ca. 10 Minuten, wenn die Farbe vollständig getrocknet war und nicht mehr verwischte, wurden die Muscheln von einer anderen Person in dem entsprechenden Transekt verteilt.



4.2.4 Bestimmung der Populationsgröße

Aus dem Fang-Wiederfang-Experiment kann mit Hilfe des Lincoln-Index die Populationsgröße berechnet werden (RÖCK 2008):

$$N = m \cdot \frac{c}{r}$$

N : geschätzte Individuenzahl der Gesamtpopulation

m : Gesamtzahl der gefundenen Tiere nach dem ersten Fang

c : Gesamtzahl der gefundenen Tiere nach dem zweiten Fang

r : Zahl der markierten Wiederfunde beim zweiten Fang

Anhand der Populationsgröße des untersuchten Gebiets, lässt sich die Anzahl der Muscheln pro laufenden Meter berechnen, indem man die Muschelzahl durch die Meterzahl dividiert. Mit diesem Wert kann eine theoretische Populationsgröße in größeren Abschnitten geschätzt werden. Dazu wird die Anzahl pro laufenden Meter mit der Meterzahl multipliziert. Eine Ungenauigkeit kommt dadurch zustande, dass die Muscheln nicht überall gleichmäßig verteilt sind, weshalb ein exakteres Ergebnis entsteht, wenn mehrere Transekte bearbeitet werden.

4.2.5 Altersbestimmung

Beim zweiten Fang der Muscheln wurde das Alter anhand der sogenannten Jahresringe bestimmt und daraus die Altersstruktur der Population ermittelt. Die Jahresringe entstehen durch das verlangsamte Wachstum im Winter und bleiben als dunkle Ringe auf dem Periostracum gut sichtbar (BAUER 2001). Als Jahresring wurden nur komplett durchgängige, etwas dickere Ringe gezählt.

4.2.6 Vermessung der Muscheln und der Jahresringe

Neben der Altersbestimmung wurden die Jahresringe vermessen, um Aussagen über den jährlichen Zuwachs machen zu können. Dazu wurde der größtmögliche Durchmesser jedes Jahresringes mit einer Schiebelehre gemessen (Abbildung 11). Die Schiebelehre wurde immer am äußeren Rand jedes Ringes angesetzt und bis auf die dritte Nachkommastelle abgelesen. Zusätzlich wurde die Gesamtlänge der Muschel vermessen, indem sie vom posterioren zum anterioren Ende in die Schiebelehre gelegt wurde und zwar an der Stelle des größtmöglichen Abstandes (Abbildung 12).



Abbildung 11:
Vermessung eines Jahresringes an der Stelle des größten Durchmessers. Die Schiebelehre wird an die Außenkante des Ringes angesetzt.



Abbildung 12:
Die Gesamtlänge der Muschel wird mit Hilfe der Schiebelehre an der Stelle des größtmöglichen Abstandes gemessen.

4.2.7 Wachstumsanalyse

Mit Hilfe des Ford-Walford-Plots kann die jährliche Zuwachsrate der Muschelschale dargestellt werden. Dazu wird die Länge eines Jahresringes (L_t) gegen die Länge des nächsten Jahresringes (L_{t+1}) aufgetragen, wodurch eine Punktwolke entsteht, durch die eine Regressionsgerade mit der Gleichung $L_{t+1} = a + b \cdot L_t$ gelegt wird. Mit Hilfe der Regressionsgeraden lassen sich zwei wichtige Kenngrößen der Bertalanffy'schen Wachstumsgleichung bestimmen.

Die asymptotische Länge $L_\infty = \frac{a}{(1-b)}$ ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der Winkelhalbierenden ($y = x$). An dem Schnittpunkt gilt: $L_t = L_{t+1}$, was bedeutet, dass kein Wachstum mehr stattfindet. Damit gibt die asymptotische Länge die theoretisch zu erwartende Maximallänge an.

Der Wachstumskoeffizient k wird mit Hilfe der Steigung b der Regressionsgeraden über die Gleichung $k = -\ln b$ bestimmt und kann als Maß für die Wachstumsgeschwindigkeit verwendet werden. Je größer k ist, desto schneller wird die asymptotische Länge erreicht (HOCHWALD 1997).

4.2.8 Trächtigkeitskontrolle

Muscheln ab 3 Jahren wurden auf Trächtigkeit kontrolliert, indem die äußeren Kiemen auf eingelagerte Eier untersucht wurden. Dazu wurde die Muschel mit einem Doppelspatel so weit geöffnet, dass die Muschelzange in den Spalt passte. Bei der Zange handelte es sich um eine umgebaute Sicherungsrings-Zange der Marke CONNEX, die mit zwei dünnen Metallplättchen am Ende versehen wurde, mit welchen die Muschelschalen auseinanderge-



drückt werden können. Es muss dabei beachtet werden, dass die Muscheln nicht zu weit geöffnet werden, damit der Schließmuskel nicht verletzt wird.

Zwischen den Griffen der Zange wurde eine Metallschiene mit Kerben angebracht, mit der man die Zange bei einer bestimmten Position arretieren kann (Abbildung 13).

Die Brut der Muschel wird in den beiden äußeren Kiemen eingelagert. Befinden sich Eier in den Kiemen, sind diese verdickt und weisen bei unreifen Eiern eine regelmäßige, weiße Steifung und bei reifen Eiern eine unregelmäßige, rötlichbraune Streifen auf (HOCHWALD 1997). Um die Trächtigkeit der Muscheln besser zu erkennen, ist ein Vergleich der äußeren Kiemen mit den inneren Kiemen hilfreich, da die inneren niemals eine eingelagerte Brut haben. Wenn die äußeren Kiemen nicht zu sehen waren, musste mit Hilfe des Spatels vorsichtig die innere Kieme runter geklappt werden (Abbildung 14).

In meinen Untersuchungen wurde lediglich die Trächtigkeit der Muscheln notiert und nicht der Reifegrad der eingelagerten Brut.

Nach den Vermessungen und Trächtigkeitskontrollen wurden die Muscheln umgehend in den entsprechenden Untersuchungsabschnitt zurückgesetzt.



Abbildung 13:

Eine Muschel wird einen Spalt breit mit der Muschelzange geöffnet, um die Kiemen auf Trächtigkeit zu untersuchen. Die Zange ist mit dem angebrachten Hebel arretiert, so dass sie sich nicht weiter öffnen kann.



Abbildung 14:

Mit Hilfe eines Spatels werden die Kiemen vorsichtig nach unten geklappt, um einen ungehinderten Blick auf die äußeren Kiemen zu erhalten, damit sie auf eingelagerte Eier untersucht werden können.

4.3 Hydrologische Untersuchungen

4.3.1 Wahl der Messstellen

Es wurden in sechs verschiedenen Gewässerabschnitten hydrologische Untersuchungen gemacht. Dazu wurde in jedem der Untersuchungstranekte eine Messung vorgenommen, um die Lebensbedingungen der gefundenen Muscheln aufzeigen zu können. Da die Tranekte im unteren Abschnitt sehr nahe beieinander liegen, wurden dort nur im Transekt 4 Messungen



durchgeführt, so dass im Transekt 1 im oberen Abschnitt, im Transekt 2 im mittleren Abschnitt und eine im Transekt 4 im unteren Abschnitt Messungen gemacht wurden. Im Weiteren wurde nach jeder Wassereinleitung und nach jedem Zufluss in den Seegraben (Abbildung 3) eine Messung vorgenommen, um zu untersuchen, ob dadurch die Wasserqualität des Baches verändert wird. Die erste Wassereinleitung -Einfluss 1- (Abbildung 15) befindet sich im oberen Abschnitt, etwas unterhalb davon, auf der Grenze vom oberen zum mittleren Abschnitt, mündet der Bachtobel in den Seegraben -Einfluss 2- (Abbildung 16), eine weitere Wassereinleitung -Einleitung 3- mündet im mittleren Abschnitt in den Bach (Abbildung 17).

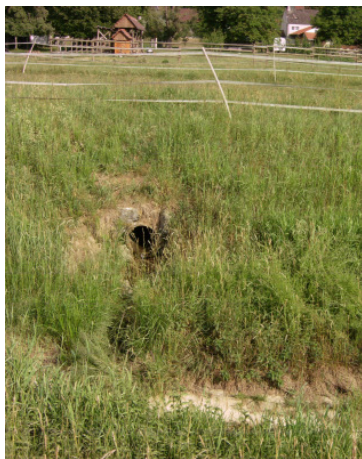


Abbildung 15:
Einfluss 1 im oberen Abschnitt.
Unterhalb einer Pferdeweide wird
Wasser aus einem Rohr eingeleitet.



Abbildung 16:
Einfluss 2 auf der Grenze vom oberen
zum mittleren Abschnitt. Zufluss des
Bachtobels.



Abbildung 17:
Einfluss 3 im mittleren Abschnitt.
Aus einem Rohr fließt Wasser in
den Seegraben.

4.3.2 Messungen

Am 21. April 2011 wurden die Gewässerbreiten mit einem Maßband vermessen. Am 07. Mai 2011 wurden vor Ort mit dem Gerät WTW Multi 340i mit verschiedenen Sonden die Leitfähigkeit, der pH-Wert, die Wassertemperatur und der O₂-Gehalt gemessen. Die Strömungsgeschwindigkeit wurde mit einem Messflügel (MiniAir2) der Firma Schiltknecht bei ungefähr 60% der Gewässertiefe bestimmt. Zusätzlich wurden die Uhrzeiten der Messungen notiert, sowie die Wassertiefen mit einem Zollstock gemessen.



4.4 Datenverarbeitung und statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe von IBM SPSS Statistics 19. Die Graphiken und Diagramme wurden mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2003 und SigmaPlot 8.0 erstellt.

Fehlerberechnungen beziehen sich immer auf die Standardabweichung.

Erläuterung verwendeter Abkürzungen:

N beschreibt die Stichprobengröße

p gibt die Irrtumswahrscheinlichkeit an, dabei gilt:

$p \leq 0,001$ (***), das Ergebnis ist hoch signifikant

$0,001 < p \leq 0,01$ (**), das Ergebnis ist signifikant

$0,01 < p \leq 0,05$ (*), das Ergebnis ist schwach signifikant

$p > 0,05$, das Ergebnis ist nicht signifikant

(HOCHWALD 1997)

Bei der Berechnung der Irrtumswahrscheinlichkeit für den Vergleich der Altersverteilung des mittleren und des unteren Abschnittes mussten jeweils die 1-2 Jährigen und die 4-8 Jährigen zusammengefasst werden, damit der χ^2 -Test angewandt werden konnte. Der obere Abschnitt wurde wegen der sehr geringen Muschelfunde nicht mit einbezogen.

4.5 Genehmigung

Für die Untersuchungen an den lebenden Bachmuscheln im deutschen Teil des Seegrabens im Klettgau, wurde vom Regierungspräsidium Freiburg eine Ausnahmegenehmigung gemäß dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) § 20g, Abs. 6, Ziff. 3 vom Verbot des § 20f BNatSchG erteilt.



5 Ergebnisse

5.1 Hydrologische Untersuchungen

Die hydrologischen Untersuchungen (Tabelle 1) ergaben einen sehr hohen Sauerstoffgehalt in allen Abschnitten des Seegrabens (Abbildung 3). Die Messungen nach den Rohreinleitungen (Einfluss 1 und 3) und dem Zufluss des Bachtobels (Einleitung 2) ergaben ähnliche O₂-Werte wie im übrigen Seegraben. Der pH-Wert zeigte eine leichte Basizität des Wassers. Die Fließgeschwindigkeit war mäßig.

Tabelle 1: Hydrologische Untersuchungen in den einzelnen Abschnitten des deutschen Seegrabens und nach jedem Einfluss (Abbildung 3).

Probestelle	oberer Abschnitt	Einfluss 1	Einfluss 2 (Bachtobel)	mittlerer Abschnitt	Einfluss 3	unterer Abschnitt
Uhrzeit	18:31	19:18	19:44	15:44	20:13	12:31
Gewässerbreite [cm]	180	-	-	140	-	170
Wassertiefe [cm]	10	8,8	8	16	10,5	54,3
Strömungsmessung [m/s]	0,16	0,27	0,33	0,11	0,35	0,03
Sauerstoffgehalt [mg/l]	11,3	8,01	9,26	10,64	7,47	14,36
Sauerstoffgehalt [%]	133,9	92,3	102,2	117,4	81,7	150,8
pH-Wert	7,96	7,78	8,07	8,12	7,9	8,19
Leitfähigkeit [µs/cm]	369	375	408	406	400	420
Wassertemperatur [°C]	21,7	20,3	18,1	18,2	17,6	16,2

5.2 Populationsgröße

In den vier untersuchten Transekten (Abbildung 3) wurden im ersten Fang insgesamt 56 und im zweiten Fang 80 Individuen gefangen. Da im zweiten Fang 16 der gefundenen Muscheln bereits im ersten Fang markiert wurden, ergab sich über den Lincoln-Index eine Populationsgröße von 280 Tieren innerhalb der 20m untersuchter Bachstrecke. Rechnet man das Ergebnis von 14 Individuen pro laufenden Meter auf die Gesamtlänge von 4500m des deutschen Seegrabens hoch, erhält man eine Gesamtpopulationsgröße von 63000 Muscheln (Tabelle 2).



Tabelle 2: Anzahl der im Fang-Wiederfang-Experiment gefundenen Muscheln aller Abschnitte und der daraus geschätzten Gesamtmuschelzahl des ganzen deutschen Seegrabens.

Gesamter Seegraben auf Deutschem Gebiet	
Gefundene Tiere bei Fang 1	56
Gefundene Tiere bei Fang 2	80
Davon Wiederfunde	16
Nach Lincoln-Index geschätzte Gesamtzahl/20 lfm	280
Anzahl/lfm	14
Länge des Seegrabens auf deutschem Gebiet [m]	4500
Geschätzte Populationsgröße des Seegrabens auf deutschem Gebiet	63000

Da die Muscheln jedoch nicht gleichmäßig in einem Bachlauf verteilt sind, wurde der Bach in drei Abschnitte gegliedert, in welchen mindestens ein Transekt lag (Abbildung 3).

Mit dem Fang-Wiederfang Experiment der einzelnen Abschnitte lässt sich über den Lincoln-Index eine theoretische Populationsgröße von 11050 Muscheln für das insgesamt 1000m lange untere Gebiet, 77814 Tiere für den 2125m langen mittleren Abschnitt und 275 Muscheln für die 1375m lange Bachstrecke des oberen Gebietes berechnen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Anzahl der im Fang-Wiederfang-Experiment gefundenen Muscheln in den drei Abschnitten des deutschen Seegrabens und der daraus geschätzten Gesamtmuschelzahl der einzelnen Gebiete.

Gewässerabschnitt	oberer Abschnitt	mittlerer Abschnitt	unterer Abschnitt
Gefundene Tiere bei Fang 1	1	38	17
Gefundene Tiere bei Fang 2	1	53	26
Davon Wiederfunde	1	11	4
Nach Lincoln-Index geschätzte Gesamtzahl/Transektlänge	1	183,09	110,50
Transektlänge [lfm]	5	5	10
Anzahl/lfm	0,2	36,62	11,05
Länge des Abschnittes [m]	1375	2125	1000
Geschätzte Populationsgröße im gesamten Abschnitt	275	77814	11050

Addiert man die Muscheln der einzelnen Abschnitte, ergibt sich eine theoretische Gesamtpopulationsgröße von 89139 Individuen im deutschen Gebiet des Seegrabens.

Vergleicht man diese Populationsschätzung mit der ohne Einteilung des Gewässers in verschiedene Abschnitte (Tabelle 2), zeigt sich eine starke Abweichung der beiden Schätzungen von über 26000 Tieren.



5.3 Altersstruktur

Die Altersverteilung (Abbildung 18) zeigt eine deutliche Mehrheit der 3- und 4-jährigen Muscheln, wobei die 3-jährigen wesentlich zahlreicher sind als die 4-jährigen Tiere. Ab 4 Jahren nimmt die Muschelzahl mit zunehmendem Alter kontinuierlich ab. Einjährige Tiere wurden kaum gefunden.

Das Durchschnittsalter der Population liegt bei $3,53 \pm 1,19$ Jahren (Rohdaten siehe Anhang B).

N = 120
Mittelwert = 3,53 Jahre
Standartabweichung = 1,9 Jahre

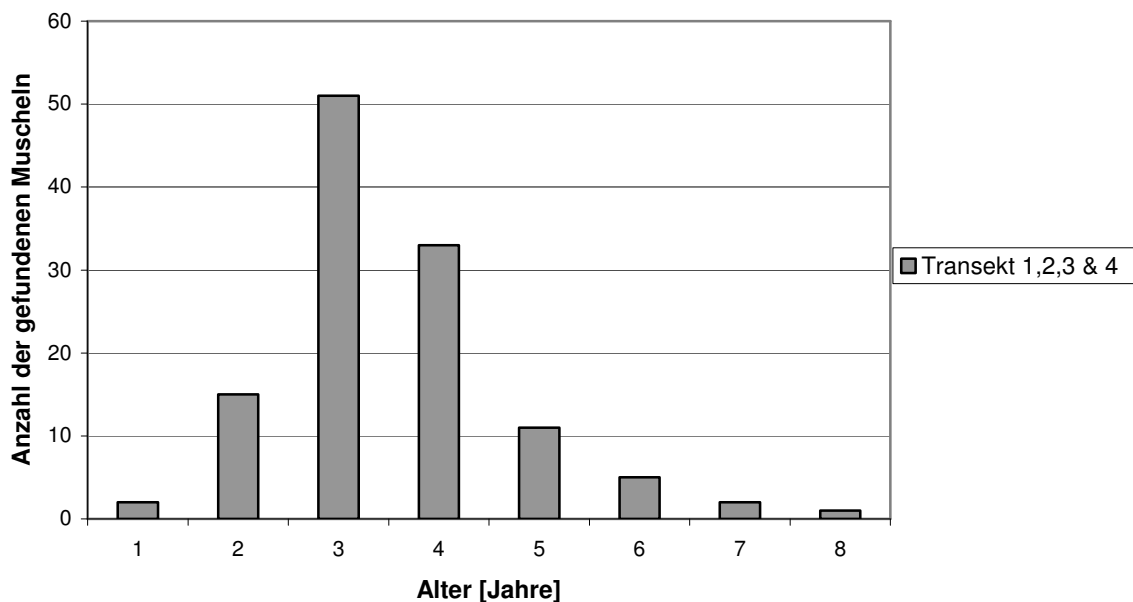


Abbildung 18:
Altersverteilung der Bachmuschel im gesamten deutschen Seegraben.

Vergleicht man die Altersstruktur des unteren und des mittleren Abschnittes mit Hilfe eines χ^2 -Tests, ergibt sich ein signifikanter Unterschied ($p = 0,002$). In Abbildung 19 sieht man, dass im unteren Abschnitt keines der Tiere älter als 4 Jahre ist. Im mittleren Abschnitt hingegen wurden bis zu 8 Jahre alte Muscheln gefunden. Der obere Abschnitt ist aufgrund der sehr geringen Muschelfunde nicht aussagekräftig und wurde nicht in den χ^2 -Test einbezogen.

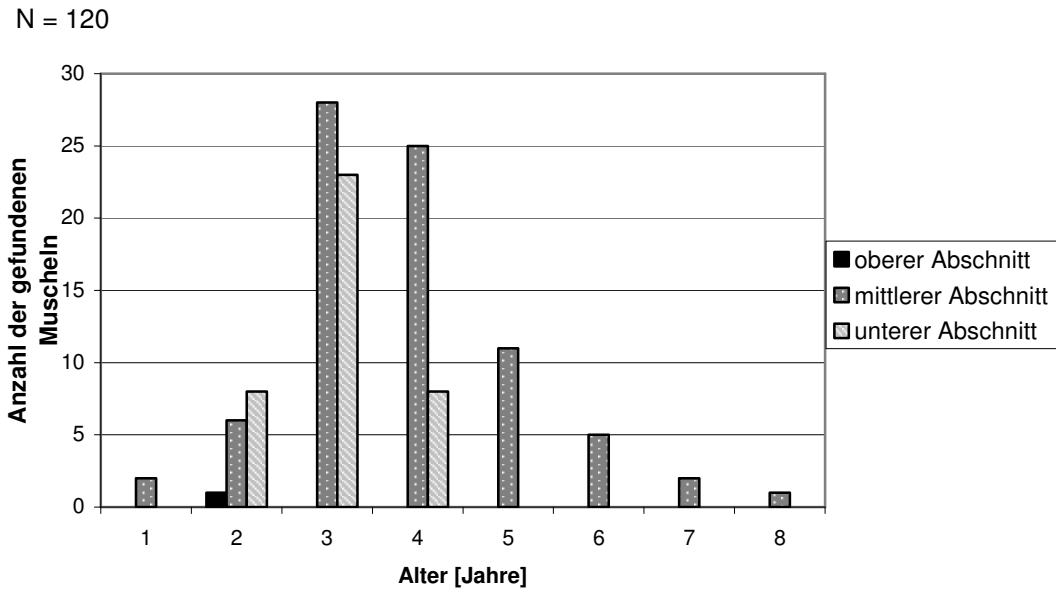


Abbildung 19:
Altersstruktur in den einzelnen Abschnitten des deutschen Seegrabens.

5.4 Ford-Walford-Plot

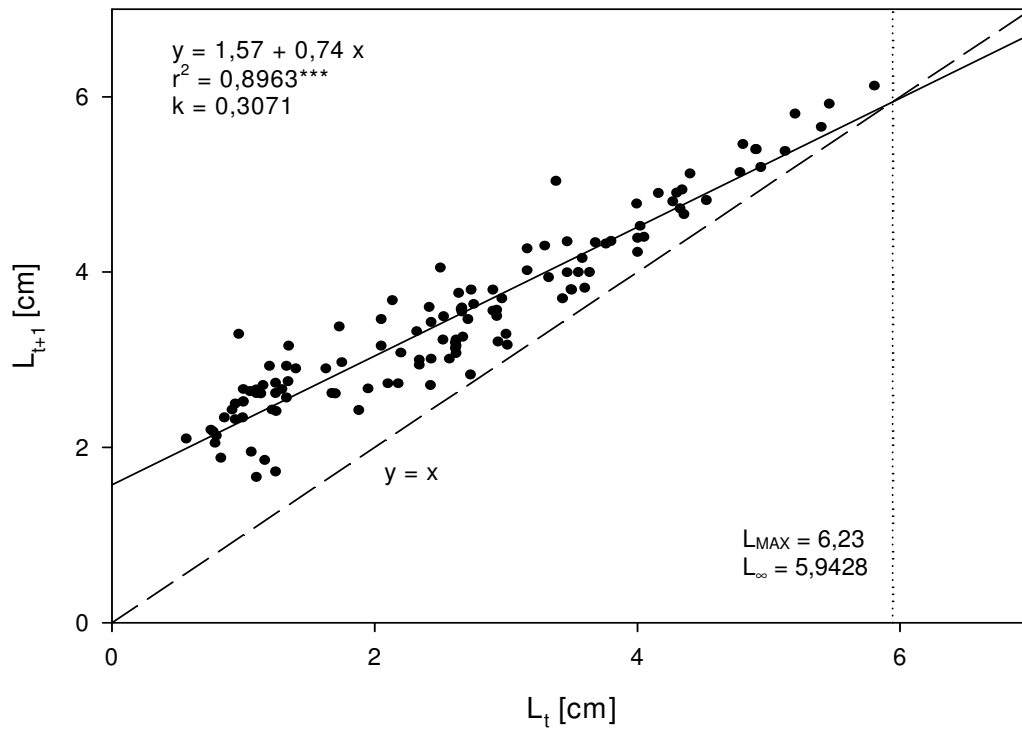


Abbildung 20:

Ford-Walford-Plot der Muscheln im mittleren Abschnitt des deutschen Seegrabens. Auf der x-Achse ist die Länge eines Jahresringes zur Zeit t aufgetragen, auf der y-Achse die Länge eines Jahresringes zur Zeit t+1. k = Wachstumskonstante, L_{∞} = asymptotische Länge, L_{MAX} = gemessene Maximallänge.



Die Wachstumskonstante k hat im mittleren Abschnitt einen Wert von 0,31 (Abbildung 20) und ist damit minimal größer als im unteren Abschnitt mit $k = 0,28$ (Abbildung 21). Auch die asymptotische Länge ist im mittleren Abschnitt mit $L_{\infty} = 5,94$ (Abbildung 20) größer als im unteren Abschnitt mit $L_{\infty} = 5,41$ (Abbildung 21). Die gemessene Maximallänge ist im mittleren Abschnitt (Abbildung 20) etwa genau so lang und im unteren Gebiet (Abbildung 21) etwas kleiner als die theoretische Maximallänge.

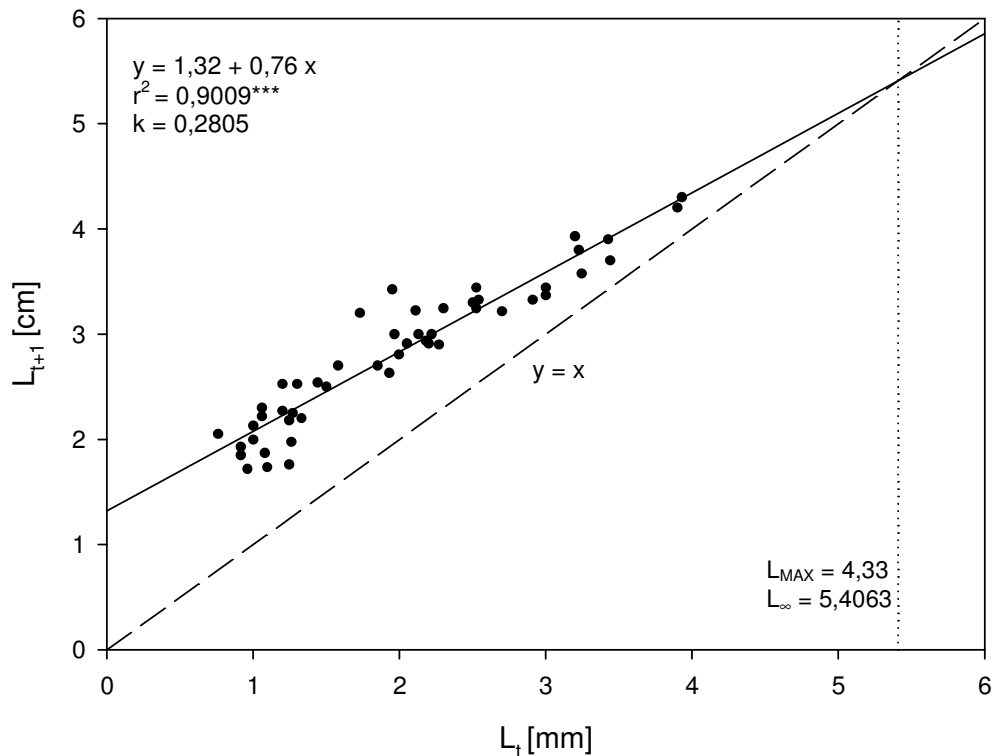


Abbildung 21:

Ford-Walford-Plot der Muscheln im unteren Abschnitt des deutschen Seegrabens. Auf der x-Achse ist die Länge eines Jahresringes zur Zeit t aufgetragen, auf der y-Achse die Länge eines Jahresringes zur Zeit $t+1$. k = Wachstumskonstante, L_{∞} = asymptotische Länge, L_{MAX} = gemessene Maximallänge.

5.5 Trächtigkeit

Die Gesamtzahl der trächtigen Tiere beträgt 30 und die der nicht trächtigen Tiere 35 (Rohdaten siehe Anhang A). Das Verhältnis trächtiger zu nicht trächtiger Muscheln weicht nach dem χ^2 -Test nicht signifikant von einer Gleichverteilung ab ($p = 0,660$).

Im Weiteren sieht man, dass bereits drei Jahre alte Muscheln trächtig werden können. In diesem Fall sind exakt gleich viele Tiere trächtig wie nicht trächtig (Abbildung 22).



N (trächtig) = 30
 N (nicht trächtig) = 35

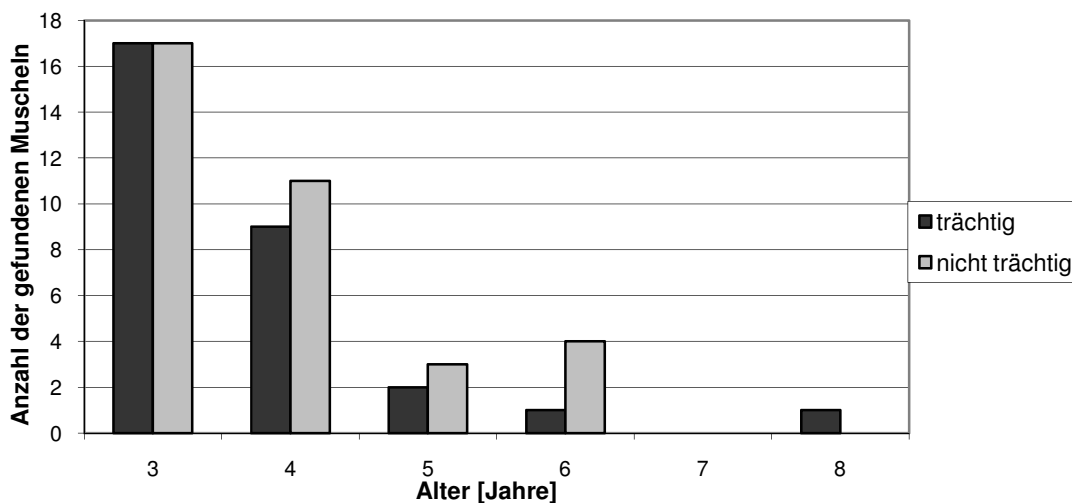


Abbildung 22:
 Trächtigkeitsverteilung der Bachmuschel innerhalb der einzelnen Altersstufen.

Die Durchschnittslänge der 3-jährigen trächtigen Muscheln beträgt $3,51 \pm 0,58\text{cm}$. Das kleinste gefundene trächtige Tier war 2,80cm groß (Rohdaten siehe Anhang A).

Vergleicht man die Trächtigkeitsverteilung in den einzelnen Abschnitten mit dem χ^2 -Test, zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen dem unteren und dem mittleren Abschnitt, da $p = 0,347$ ist. In beiden Gebieten sind etwa die Hälfte der Tiere trächtig (Abbildung 23).

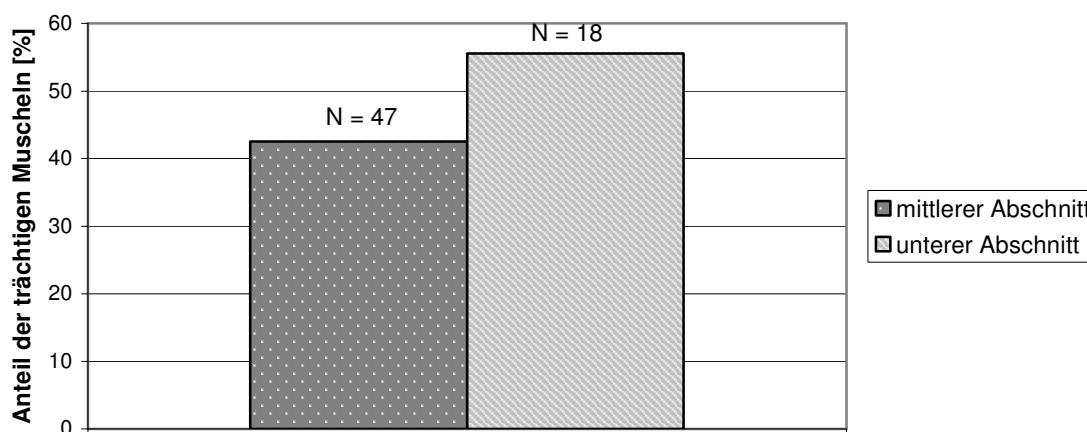


Abbildung 23:
 Prozentualer Anteil der trächtigen Muscheln im unteren und mittleren Abschnitt des deutschen Seegrabens.

Um zu untersuchen, ob ein Längenunterschied zwischen den trächtigen und nicht trächtigen Muscheln der einzelnen Altersklassen besteht (Abbildung 24), wurden sie in einem U-Test gegeneinander getestet. Das Ergebnis zeigt, dass in keiner Altersstufe ein signifikanter Längenunterschied vorliegt.

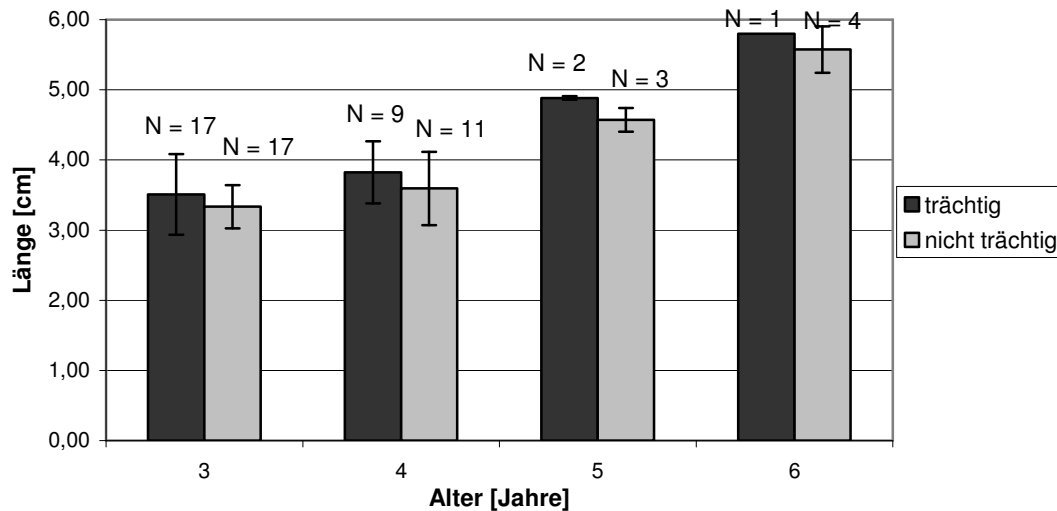


Abbildung 24:
Längenvergleich trächtiger und nicht trächtiger Tiere innerhalb der einzelnen Altersstufen.

5.6 Methodenvergleich

Im unteren Abschnitt des deutschen Seegrabens wurden die meisten Muscheln durch oberflächliches Graben gefunden, durch Tasten konnte ein Viertel der Muscheln entdeckt werden. Keine der Muscheln wurde im 1. Durchgang mit dem Sichtkasten gesehen, obwohl das Wasser klar war. Erst nach dem Graben konnten einige aufgewirbelte Muscheln im 2. Durchgang durch Schauen gefunden werden (Abbildung 25).

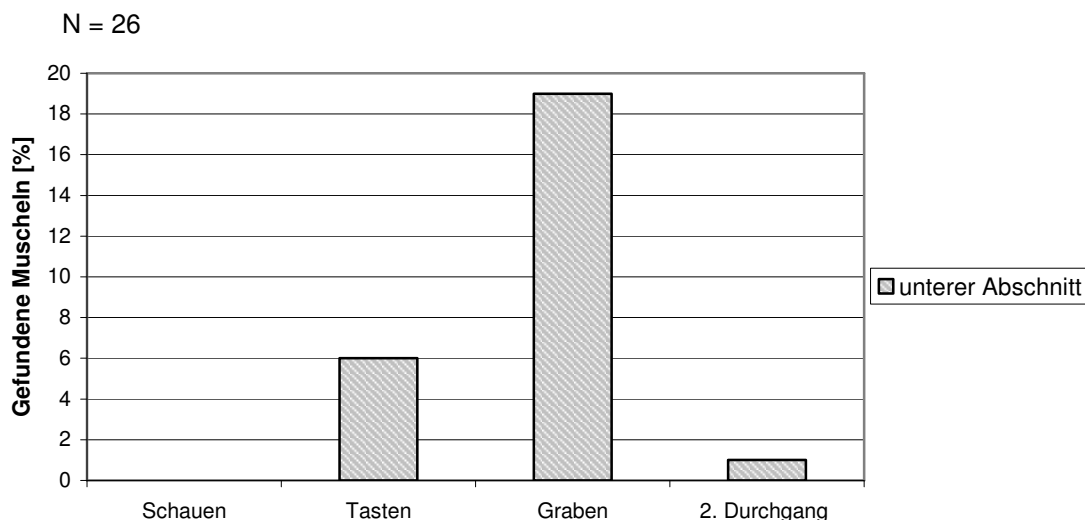


Abbildung 25:
Prozentualer Anteil der gefundenen Muscheln mit den unterschiedlichen Suchmethoden im unteren Abschnitt des deutschen Seegrabens.



Im mittleren Abschnitt wurde ein großer Anteil der Muscheln mit dem Sichtkasten gefunden, jedoch etwas weniger als durch das Graben. Mit Hilfe von Tasten konnten auf dem steinigen Untergrund keine Tiere gefunden werden (Abbildung 26).

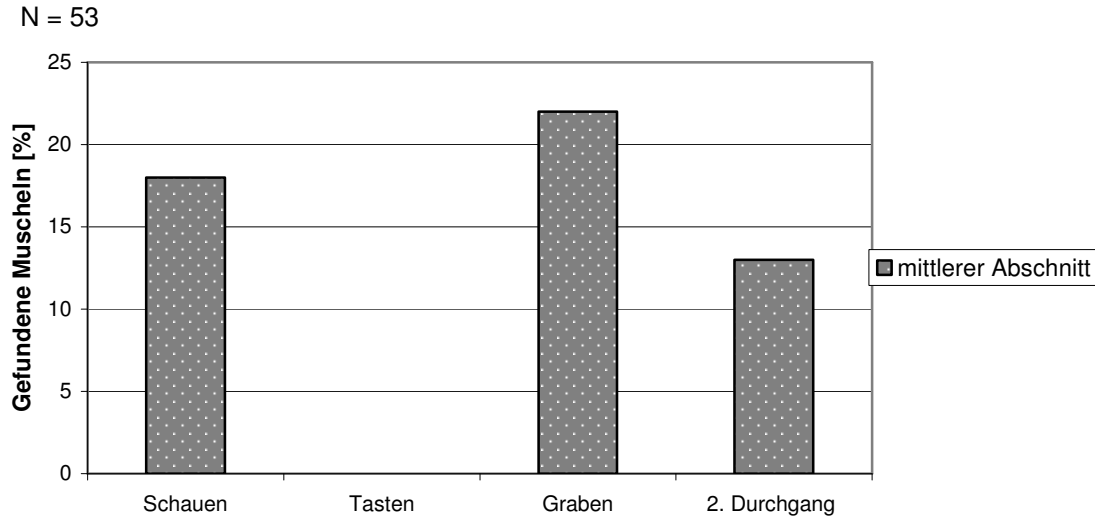


Abbildung 26:

Prozentualer Anteil der gefundenen Muscheln mit den unterschiedlichen Suchmethoden im mittleren Abschnitt des deutschen Seegrabens.

Vergleicht man die Prozentzahlen der trächtigen und nicht trächtigen Muscheln, die mit den einzelnen Methoden gefunden wurden (Abbildung 27), zeigt sich, dass nicht trächtige Tiere häufiger im 1. und 2. Durchgang gesehen werden, während trächtige öfter durch Tasten und Graben gefunden werden.

N (trächtig) = 30

N (nicht trächtig) = 35

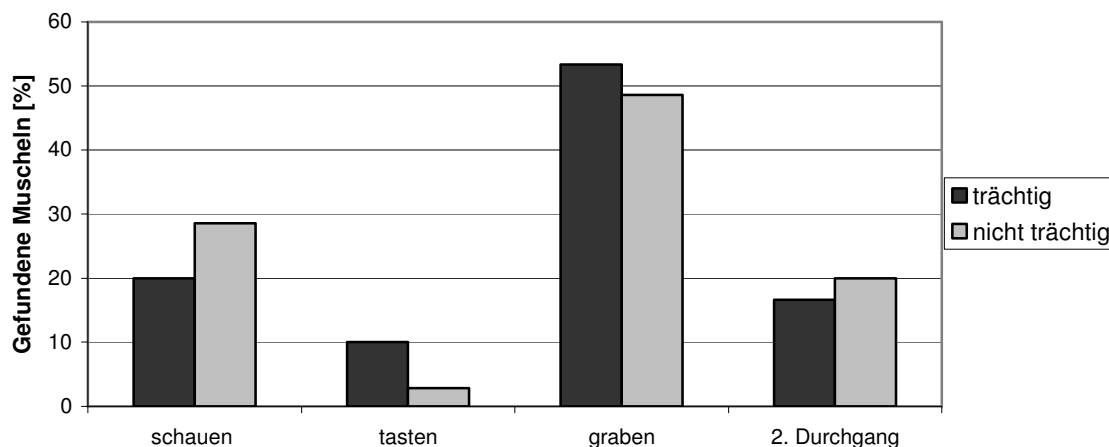


Abbildung 27:

Prozentualer Anteil der gefundenen trächtigen und nicht trächtigen Muscheln mit den unterschiedlichen Suchmethoden. Die trächtigen und nicht trächtigen Muscheln beziehen sich getrennt voneinander auf jeweils 100%.



Im Methodenvergleich bezüglich der Länge der Muscheln (Abbildung 28) wurden kleine Muscheln bis 2cm Länge gegen größere Muscheln über 2cm Länge verglichen. Es zeigte sich, dass die kleineren Muscheln prozentual häufiger gesehen und ertastet wurden, die größeren Tiere jedoch vermehrt durch Graben und im 2. Durchgang gefunden wurden.

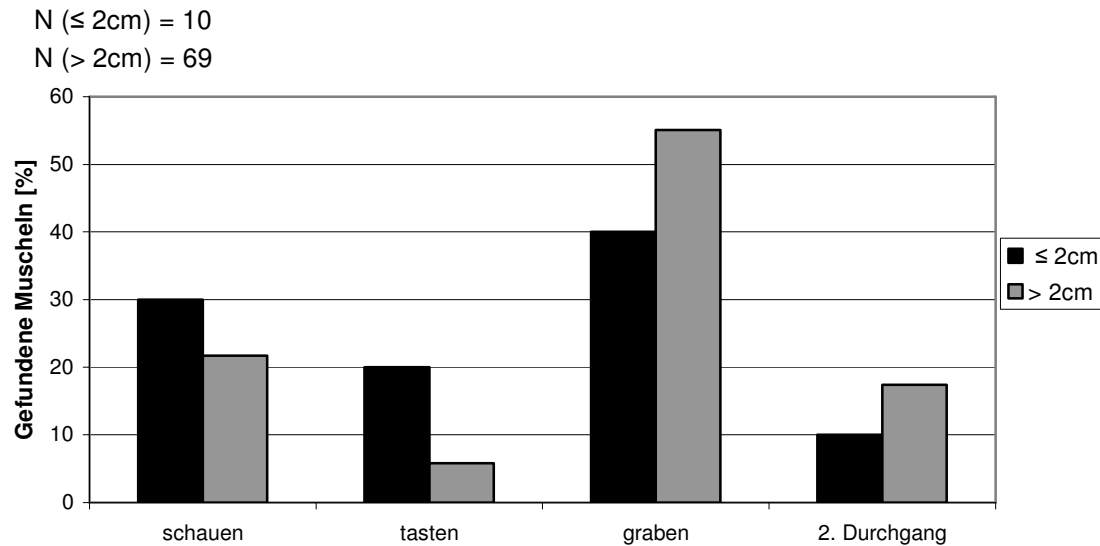


Abbildung 28:

Prozentualer Anteil der Muscheln bis 2cm Länge ($\leq 2\text{cm}$) und über 2cm Länge ($> 2\text{cm}$) die mit den unterschiedlichen Suchmethoden gefunden wurden. Die Tiere $\leq 2\text{cm}$ und $> 2\text{cm}$ beziehen sich getrennt voneinander auf jeweils 100%.



6 Diskussion

6.1 Hydrologische Untersuchungen

Die hydrologischen Untersuchungen (Tabelle 1) ergaben hohe Sauerstoffwerte im Seegraben, welche für Fließgewässer typisch sind und nach BAUER ET AL. (1980) eine wichtige Lebensgrundlage für Jungmuscheln darstellen. Die Strömungsgeschwindigkeit war zur Zeit meiner Untersuchung mäßig und bot den Muscheln eine günstige Lebensbedingung, da diese nach VICENTINI (2004) in Gewässern mit geringer bis mäßiger Fließgeschwindigkeit vorkommen. Der pH-Wert ist leicht basisch, was bei dem Untergrund aus Kalkstein zu erwarten ist.

Bei den Messungen in den verschiedenen Abschnitten hat sich gezeigt, dass durch Rohreinleitungen und dem Zufluss des Bachtobels weder der Sauerstoffgehalt, noch der pH-Wert oder die Leitfähigkeit stark verändert werden. Dies bedeutet, dass somit die Basizität, der Sauerstoffgehalt und der Ionengehalt im gesamten Seegraben gleich zu bleiben scheinen. Ob dies auch für den Nitrit-, Nitrat-, Ammonium-, Phosphat- und den gelösten organischen Kohlenstoff (DOC)-Wert gilt, bleibt zu untersuchen.

6.2 Populationsgröße

Bei der Untersuchung ergab sich eine Populationsgröße von 0,2 Muscheln/lfm im oberen Abschnitt, 36 Muscheln/lfm im mittleren Abschnitt und 11 Muscheln/lfm im unteren Abschnitt (Tabelle 3). Vergleiche mit anderen *U. crassus* Beständen, zeigen, dass die Populationsgrößen des unteren und mittleren Abschnittes höher sind als bei den meisten Populationen in der Literatur (Vergleich HIRSCHBERG 2002, LECHNER 1997, RÖCK 2008, ROTHE 2008) sowie, dass in beiden Gebieten genügend Individuen vorhanden sind, um bei gleichbleibenden Bedingungen den Fortbestand der Population zu sichern.

Die Populationsgröße im deutschen Gebiet des Seegrabens hat sich innerhalb der letzten 5 Jahre von geschätzten 1185 Individuen (REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG 2008) auf 63000 (Tabelle 2) bis 89139 Tiere erhöht (Tabelle 3). Der hohe Reproduktionserfolg der letzten Jahre lässt darauf schließen, dass sich die Lebens- oder Fortpflanzungsbedingungen für die Muscheln in dieser Zeit stark verbessert haben. Dies lässt sich mit dem Einstellen des Klärbetriebs der Abwasserreinigungsanlage Osterfingen, welche die Abwässer bis 2007 kurz vor der deutschen Grenze in den Seegraben leiteten, in Verbindung bringen. Betrachtet man die Ge-



wässerbeurteilungen des AMTS FÜR L & U SCHAFFHAUSEN (Tabelle 4), sieht man bereits 1-2 Jahre nach dem Stopp der Abwässereinleitung eine generelle Verbesserung der Wasserqualität, insbesondere für den Ammoniumwert, der von schlecht auf gut wechselte. Nach Angaben des AMTS FÜR L & U SCHAFFHAUSEN (2009) ist der hohe Ammoniumwert mitverantwortlich für die Mortalität von Jungmuscheln.

Tabelle 4: Gewässergütebewertung für die Jahre 2005 bis 2010 im Seegraben auf schweizer Gebiet kurz hinter dem Zufluss aus der Kläranlage Osterfingen (erstellt nach den Daten vom AMT FÜR L & U SCHAFFHAUSEN 2003-2010. Original Tabellen siehe Anhang C, D & E).

Untersuchungs- jahre	Ammonium	Nitrat	Nitrit	Ortho- Phosphat	Gesamt- Posphat	DOC
2005/06	schlecht	gut	unbefriedigend	schlecht	schlecht	gut
2007/08	gut	gut	gut	schlecht	mäßig	gut
2009/10	sehr gut	gut	sehr gut	unbefriedigend	unbefriedigend	mäßig

Jedoch darf der große Unterschied zwischen der Populationsgröße der Unersuchung von Heitz und meiner nicht überinterpretiert werden, da er sich dadurch relativieren könnte, dass zur Muschelsuche und zur Bestandesschätzung ganz unterschiedliche Methoden angewandt wurden. Heitz schätzte die Population mit Hilfe einer Übersichtsbegehung mit dem Sichtkasten sowie mit Detailerfassungen, bei denen, neben der visuellen Suche, zusätzlich das Feinsediment durchgeseibt wurde (REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG 2008). Auch der Erfahrungswert spielt sehr wahrscheinlich eine Rolle bei der Muschelsuche, so fand ich im 2. Fang bereits mehr Muscheln als im 1. Fang (Tabelle 3). Heitz hat insbesondere bei der visuellen Suche mehr Erfahrung als ich. Trotz unterschiedlicher Methode und Erfahrung kann davon ausgegangen werden, dass der Bestand bei meinen Untersuchungen größer war als noch 2006, da die Altersstruktur ebenfalls dafür spricht.

6.3 Altersstruktur

Bei der *U. crassus* Population im deutschen Seegraben handelt es sich mit einem Durchschnittsalter von $3,53 \pm 1,19$ Jahren um einen sehr jungen Bestand (Rohdaten siehe Anhang B). Auch LANG (1998) bezeichnete ihre *U. crassus* Population mit einem mittleren Alter von 3,9 Jahren als sehr jung. In anderen Populationen reicht das Durchschnittsalter von 3,9 bis 22,6 Jahren (Vergleich HIRSCHBERG 2002, HOCHWALD 1997, LANG 1998, LECHNER 1997, PFEIFFER 2004, RÖCK 2008, ROTHE 2008). Viele dieser Populationen sind überaltert, da nach RÖCK (2008) in überalterten Populationen die Tiere nicht jünger als 5 bis 10 Jahre alt sind und das durchschnittliche Populationsalter 9 bis 11 Jahre beträgt.



Betrachtet man die Altersstruktur der Population (Abbildung 18), sieht man deutlich, dass nur wenige Tiere über 4 Jahre alt sind. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Lebensbedingungen vor dem Umbau der Kläranlage in ein Pumpwerk, sowohl für die Adulttiere, als auch für die Jungmuscheln schlecht waren, weshalb sich die Population erst nach dem Stopp der Klärwassereinleitung erfolgreich fortpflanzen und überleben konnte und dadurch sprunghaft angestiegen ist. Als weitere Erklärung wäre denkbar, dass überproportional viele Adulttiere gestorben sind. Eine häufige Todesursache für Adultmuscheln ist die räuberische Bisamratte. Nach Angaben von VICENTINI & PFÄNDLER (2001) ist der ehemals große Bisambestand des Seegrabens im Jahre 2001 bereits unter Kontrolle gewesen, so dass eine eventuelle Dezimierung durch den eingeschleppten Fressfeind nicht anzunehmen ist. Des Weiteren scheint der Bisambestand heute noch kontrolliert zu werden, da mehrere Warnschilder für Bisamfallen an der Schweizer Grenze anzutreffen sind. Zudem konnten während meiner Untersuchungen keine Fraßspuren des Bisams gefunden werden. VICENTINI & PFÄNDLER (2001) vermuteten, dass das Fehlen von Muscheln ab der Einleitung der ARA Osterfingen bis zur deutschen Grenze, wo ihr Untersuchungsgebiet endete, auf die Belastung durch die Abwässer der Kläranlage, sowie auf periodische Sohlenbaggerungen zurückgeführt werden könnte.

Geht man von der Zunahme des Bachmuschelbestandes nach dem Umbau der Abwasserreinigungsanlage im Juli 2007 aus, könnte der größere Anteil von 3-jährigen Muscheln im Gegensatz zu den 4-jährigen (Abbildung 18) damit zusammenhängen, dass der Zufluss aus der Kläranlage erst gegen Ende der Fortpflanzungsperiode gestoppt wurde, weshalb vermutlich viele Jungmuscheln, die zu Beginn der Fortpflanzungszeit im Jahre 2007 von den Wirtsfischen abgefallen sind, nicht überleben konnten. Des Weiteren wäre es denkbar, dass die Wasserqualität direkt nach dem Stopp der Abwassereinleitung im Juli 2007 weniger belastet war als 2008, weshalb 2007 weniger Jungmuscheln überlebten als im Folgejahr. Nach Angaben des AMTS FÜR L & U SCHAFFHAUSEN (2005/06) ist besonders ein hoher Ammoniumgehalt für die Jungmuscheln tödlich. Wie hoch der Ammoniumwert im Sommer 2007 nach dem Umbau der Kläranlage und im Sommer 2008 war, kann der Tabelle 4 nicht entnommen werden, da diese die beiden Jahre zusammenfasst. Zu erkennen ist jedoch, dass 2009/2010 der Ammoniumgehalt geringer war als 2007/2008, was darauf schließen lässt, dass sich der Ammoniumgehalt langsam verbesserte und demnach 2007 schlechter war als 2008. Der niedrige Anteil der 1- und 2-jährigen gefundenen Muscheln hängt wahrscheinlich mit der geringen Größe dieser Altersklassen zusammen, wodurch sie nur schwer zu finden und dadurch unterrepräsentiert sind (HOCHWALD 1997).



Ein Vergleich mit der Untersuchung von PFEIFFER im Mai und Juni 2010 im Seegraben nahe Weisweil (Abbildung 29) zeigt eine ähnliche Altersstruktur wie mein Transekt 2 im mittleren Abschnitt, das ebenfalls nahe von Weisweil gelegen ist (Abbildung 3). Bei der Altersverteilung von PFEIFFER sind im Jahre 2010 nur wenige Muscheln über 3 Jahre alt, was meinen Untersuchungen entspricht, dass die über 4-jährigen 2011 nur einen geringen Anteil ausmachen (Abbildung 19).

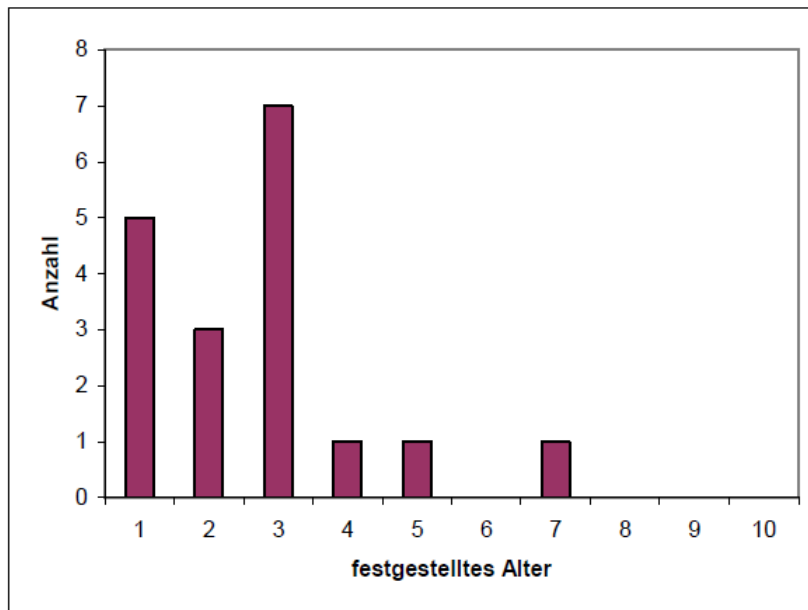


Abbildung 29:
U. crassus Altersstruktur im Seegraben bei Weisweil (PFEIFFER 2010).

Ein signifikanter Unterschied der Altersstruktur in den einzelnen Abschnitten des Seegrabens (Abbildung 19) konnte mit dem χ^2 -Test gezeigt werden. Im unteren Abschnitt wurden keine Muscheln gefunden, die älter als 4 Jahre sind, im mittleren Abschnitt hingegen sind einige Individuen über 4 Jahre alt. Dies könnte damit zusammenhängen, dass sich der Bachmuschelbestand der Schweiz bachabwärts ausgebreitet hat. Das geringe Muschelvorkommen im oberen Abschnitt direkt hinter der Grenze ist auf die schlechten Habitatsbedingungen in diesem Gebiet zurückzuführen und spricht nicht gegen eine Ausbreitung bachabwärts, da die Glochidien durch die Wirtsfische auch über größere Strecken transportiert werden können. Auch das AMT FÜR L & U SCHAFFHAUSEN (2009/10) geht von einer Ausbreitung des Bachmuschelbestandes von der Schweiz nach Deutschland aus.



6.4 Ford-Walford-Plot

Der Vergleich zwischen dem mittleren und dem unteren Gewässerabschnitt zeigt nur minimale Unterschiede zwischen den Werten der Wachstumskonstanten und der asymptotischen Längen, so ist im mittleren Abschnitt $k = 0,31$ und $L_{\infty} = 5,94$ (Abbildung 20) und im unteren Abschnitt $k = 0,28$ und $L_{\infty} = 5,41$ (Abbildung 21). Es kann also gesagt werden, dass die Muscheln in beiden Abschnitten etwa gleich groß werden können und gleich schnell wachsen.

Die größte gemessene Länge der Muscheln im unteren Abschnitt liegt mit $L_{MAX} = 4,33\text{cm}$ (Abbildung 21) im Gegensatz zum mittleren Abschnitt mit $L_{MAX} = 6,23\text{cm}$ (Abbildung 20) deutlich unter der asymptotischen Länge, d.h. sie können noch größer werden. Dies hängt mit der jüngeren Population im unteren Gebiet zusammen, dessen Tiere noch nicht ganz ausgewachsen sind.

Die k - und L_{∞} -Werte des Seegrabens liegen im Bereich von anderen *U. crassus* Populationen, welche von $k = 0,05$ bis $0,446$ und von $L_{\infty} = 5,2\text{cm}$ bis $10,5\text{cm}$ reichen (Vergleich HOCHWALD 1997, LANG 1998, LECHNER 1997, PFEIFFER 2004, RÖCK 2008, ROTHE 2008).

6.5 Trächtigkeit

Die Trächtigkeitskontrolle ergab 30 trüchtige und 35 nicht trüchtige Tiere (Rohdaten siehe Anhang A). Nach dem χ^2 -Test weicht das Verhältnis trüchtiger zu nicht trüchtiger Muscheln nicht signifikant von einer Gleichverteilung ab. Da nach Angaben von LANG (1998) das Geschlechterverhältnis bei *U. crassus* 1:1 ist, müssten alle Weibchen im Seegraben trüchtig gewesen sein. Geht man von einer Anzahl von jeweils 32 bis 33 Männchen und Weibchen aus, waren 91%-94% der weiblichen Muscheln trüchtig. Beide Ergebnisse lassen auf eine sehr gute Reproduktion schließen. Solche hohen Trüchtigkeitszahlen sind für Bachmuschelpopulationen in Deutschland nicht überall gegeben, so hatten bei LECHNER (1997) nur 44% der Weibchen Eier eingelagert.

Die Trüchtigkeitsraten des unteren Abschnittes sind nach dem χ^2 -Test nicht signifikant unterschiedlich zu der Befruchtungsrate des mittleren Abschnittes (Abbildung 23). Dadurch konnte keine direkte Korrelation zwischen Muscheldichte und der Trüchtigkeitsrate aufgezeigt werden. Der etwas muschelärmere untere Abschnitt mit 56% bei 11,05 Tieren/lfm hatte im Gegensatz dazu eine etwas höhere Trüchtigkeitsrate, als der muschelreichere mittlere Abschnitt mit 43% bei 36,62 Tieren/lfm (Tabelle 3).



Des Weiteren konnte bereits bei 3 Jahre alten Muscheln Trächtigkeit festgestellt werden. In diesem Falle waren die Hälfte aller 3-jährigen gefundenen Muscheln trächtig (Abbildung 22), was bei einem Geschlechterverhältnis von 1:1 einer Trächtigkeitsrate von 100% entspricht. Nach diesem Ergebnis kann man sagen, dass die 3 Jahre alten Tiere nicht zu den Jungmuscheln gezählt werden können, wie es in der Literatur oftmals angegeben wird, da sie bereits reproduktionsfähig sind. Ob bei jüngeren Altersklassen trächtige Tiere auftreten, wurde zum Schutz der Tiere nicht untersucht. Nach Angaben von HOCHWALD 1997 wurde jedoch bereits eine 2-jährige trächtige Muschel gefunden und es besteht die Möglichkeit, dass auch 1-jährige Muscheln trächtig werden können. Die kleinste gefundene trächtige Muschel in meiner Untersuchung war 2,80cm lang (Rohdaten siehe Anhang A). Es ist also möglich, dass bereits Tiere von solch einer Größe trächtig werden können. Die 2-jährige trächtige Muschel von HOCHWALD 1997 war mit 2,16cm Länge um noch einige Millimeter kleiner. Die Durchschnittslänge von $3,510 \pm 0,576$ cm der trächtigen 3-jährigen Tiere (Rohdaten siehe Anhang A) lässt darauf schließen, dass mindestens diese Länge ausreicht, damit nicht mehr die gesamte Energie in das Wachstum gesteckt werden muss.

Vergleicht man die Länge der trächtigen und nicht trächtigen Muscheln miteinander (Abbildung 24), ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Es konnte demnach weder nachgewiesen werden, dass Weibchen länger sind als Männchen, noch dass durch die Glochidienproduktion weniger Ressourcen für das Wachstum zur Verfügung stehen. Es könnte jedoch die Möglichkeit bestehen, dass bei Nahrungsknappheit das Wachstum zu Gunsten der Reproduktion verringert wird, was allerdings noch zu untersuchen wäre. Im Weiteren könnte sich die Dicke der Muschel bei trächtigen und nicht trächtigen Tieren unterscheiden.

6.6 Methodenvergleich

Der Methodenvergleich des unteren Abschnittes (Abbildung 25) zeigt deutlich, dass viele Muscheln erst durch Graben gefunden werden können, da sich die Tier nach PFEIFFER & NAGEL (2010) bis in Tiefen von 30cm in den Gewässergrund zurückziehen. Auch die Wiederfangversuche in den Transekten 3 und 4 könnten dafür sprechen, dass sich die Muscheln tief im Substrat eingegraben. So wurde in beiden Transekten im zweiten Fang nur eine geringe Anzahl von markierten Muscheln gefunden (Tabelle 3), da nicht das ganze Transekt mehrere Zentimeter tief durchgraben werden konnte. Des Weiteren fanden PFEIFFER & NAGEL (2010)



alleine durch die Methode „Tasten und Graben,, bis zu 26 Mal so viele Muscheln wie andere Bearbeiter durch rein visuelle Suche.

Auch das Einteilen des Gewässers in verschiedene Abschnitte, sowie das Bearbeiten von mehreren Transekten, sind wichtig für die Populationserfassung, da die Muscheln in einem Bachlauf sehr unterschiedlich verteilt sind (PFEIFFER & NAGEL 2010). Auch in meiner Untersuchung war die Ungleichverteilung der Tiere im deutschen Seegraben erkennbar. So waren im Transekt 1 im oberen Abschnitt kaum Tiere zu finden, im Gegensatz zu den Transekten der anderen Abschnitte. Des Weiteren war die gefundene Muschelzahl im Transekt 2 im mittleren Abschnitt deutlich höher als in den Transekten 3 und 4 im unteren Abschnitt (Tabelle 3). Wird das Gewässer nicht in mehrere Abschnitte gegliedert und in jeden Abschnitt mindestens ein Transekt gelegt, kann die Population deutlich unter- oder überschätzt werden, je nachdem, ob die Untersuchung an einer spärlich oder einer dicht besiedelten Gewässerstelle durchgeführt wird, weshalb nach PFEIFFER & NAGEL (2010) auch mindestens 5% des Gewässers beprobt werden sollten.

Es hat sich auch gezeigt, dass die Methode stark habitatsabhängig ist. So wurden im mittleren, kiesig-steinigen Abschnitt (Abbildung 5) nur etwas weniger Muscheln durch Schauen gefunden, als durch das anschließende Graben (Abbildung 26). Im 2. Durchgang konnte ein weiterer Großteil der Muscheln gesehen werden, jedoch weniger als durch das Schauen oder Graben. Im unteren Abschnitt (Abbildung 6, Abbildung 7) mit lehmig-sandigem Substrat wurden hingegen fast alle Muscheln durch Tasten und Graben gefunden (Abbildung 25). Des Weiteren können in trüben oder stark bewachsenen Gewässern die Muscheln nur sehr schwer gesehen werden, weshalb das Tasten und das Graben auch dort besonders wichtig sind.

Der Methodenvergleich bezüglich der Trächtigkeit ergab (Abbildung 27), dass nicht trächtige Muscheln häufiger im 1. und 2. Durchgang gesehen und trächtige vermehrt durch Tasten und Graben gefunden wurden. Da viele der im 2. Durchgang gefundenen Muscheln durch das vorangegangene Graben an die Substratoberfläche befördert wurden, kann keine sichere Aussage darüber gemacht werden, welche der Tiere sich tiefer im Substrat befanden. Nach Aussage von SCHWALB & PUSCH (2007) steht die Vertikalwanderung vermutlich im Zusammenhang mit dem Fortpflanzungsverhalten, weshalb zusätzlich Untersuchungen außerhalb der Fortpflanzungszeit oder in Populationen mit einer geringeren Trächtigkeitsrate interessant wären.

Des Weiteren konnte nicht gezeigt werden, dass größere Tiere prozentual häufiger gesehen werden als kleinere Muscheln (Abbildung 28), wie es anzunehmen wäre.



7 Literatur

AMT FÜR LEBENSMITTELKONTROLLE UND UMWELTSCHUTZ SCHAFFHAUSEN (2003-2010): Bewertung der Schaffhausener Fließgewässer für die Jahre 2003 bis 2010.

URL: <http://www.interkantlab.ch/index.php?id=188&L=4>. Letzter Zugriff 07. August 2011.

AMT FÜR LEBENSMITTELKONTROLLE UND UMWELTSCHUTZ SCHAFFHAUSEN (2005/06): Phosphat-Zustandsbericht der Schaffhauser Oberflächengewässer.

URL: http://www.interkantlab.ch/fileadmin/filessharing/dokumente/Berichte/Wasser/Phosphor_Zustandsbericht_OW_2007.pdf. Letzter Zugriff 15. August 2011.

AMT FÜR LEBENSMITTELKONTROLLE UND UMWELTSCHUTZ SCHAFFHAUSEN (2009): Wasserwirtschaftsplan Teil Klettgau 2009.

URL: http://www.interkantlab.ch/fileadmin/filessharing/dokumente/Berichte/Wasser/WWP_Klettgau.PDF. Letzter Zugriff 08. August 2011.

AMT FÜR LEBENSMITTELKONTROLLE UND UMWELTSCHUTZ SCHAFFHAUSEN (2009/10): Die Qualität der Fließgewässer im Kanton Schaffhausen. URL: http://www.interkantlab.ch/fileadmin/filessharing/dokumente/Berichte/Wasser/Berichte/Qualitaet%20der%20Schaffhauser%20Flieessgewaesser%20im%20Kanton%20Schaffhausen%202009_2010.PDF. Letzter Zugriff 08. August 2011.

BAUER, G. (2001): Characterization of the Unionoida (= Najads). In: BAUER, G. & WÄCHTLER, K. (HRSG.) (2001): Ecology and Evolution of the Freshwater Mussels Unionoida. Ecol. Stud., Vol. 145. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

BAUER, G., SCHRIMPF, E., THOMAS, W. & HERRMANN, R. (1980): Zusammenhänge zwischen dem Bestandsrückgang der Flußperlmuschel (*Magaritifera margaritifera*) im Fichtelgebirge und der Gewässerbelastung. Arch. Hydrobiol. 88: 505-513.

BERTILLER, R. & URBSCHAIT, S. (2002): Einfluss von Geschiebesammlern auf Lebensräume und Dynamik kleinerer Fließgewässer und Anregungen für naturnahe Alternativen.

URL: <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:24955/eth-24955-01.pdf#search=%22einfluss%20von%20geschiebesammlern%20>. Letzter Zugriff 08. August 2010.

BISCHOFF, A. I.-M. (1987): Ökologische Beziehungen zwischen Fischen und Muscheln. Dissertation an der Tierärztlichen Hochschule Hannover. 125 S.

GEMEINDE KLETTGAU: URL: <http://www.gemeinde-klettgau.de/data/portrait.php>. Letzter Zugriff 28. Juni 2011.

HIRSCHBERG, C. (2002): Bestandessituation der Bachmuschel *Unio crassus* (PHILIPSSON 1788) im Renchflutkanal. Staatsexamensarbeit, Zoologisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 52 S.

HOCHWALD, S. (1997): Das Beziehungsgefüge innerhalb der Größenwachstums- und Fortpflanzungsparameter bayerischer Bachmuschelpopulationen (*Unio crassus* Phil. 1788) und dessen Abhängigkeit von Umweltparametern. Dissertation aus dem Lehrstuhl für Tierökologie I der Universität Bayreuth. 166 S. + Anhang.



HOCHWALD, S. (2001): Plasticity of Life-History Traits in *Unio crassus*. In: BAUER, G. & WÄCHTLER, K. (HRSG.) (2001): Ecology and Evolution of the Freshwater Mussels Unionoida. Ecol. Stud., Vol. 145. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

HOCHWALD, S. & BAUER, G. (1990): Untersuchungen zur Populationsökologie und Fortpflanzungsbiologie der Bachmuschel *Unio crassus* (PHIL.) 1788. Schriftenreihe Bayer. Landesamt für Umweltschutz 97: 31-49.

LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (2008a): Topographische Karte 1:25.000 – 8317/8417 Jestetten.

LANDESVERMESSUNGSAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (2008b): Topographische Karte 1:25.000 – 8316 Klettgau.

LANG, K. (1998): Die Bachmuschel *Unio crassus* (Philipsson 1788) im Niederbach: Bestandessituation, Fortpflanzungsbiologie und Wanderverhalten. Diplomarbeit, Zoologisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 76 S.

LECHNER, S. (1997): Populationsökologische Untersuchungen an der Bachmuschel *Unio crassus* (PHILIPSSON 1788) im Einzugsgebiet der hessischen Kinzig. Diplomarbeit, Zoologisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 91 S.

MÄKERT, R. (2010): Vereinigte Mulde - Großmuscheln. Schriftenreihe des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie 4/10.

URL: http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/2759/LfULG_Schriftenreihe_Heft_%204_2010_Vereinigte_Mulde_Grossmuscheln.pdf. Letzter Zugriff 15. August 2011.

MÜRLE, U. & ORTLEPP, J. (2004): Fischökologisch bedeutende Gewässer im Regierungsbezirk Freiburg. URL: <http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1322435/rpf-ref33-fisch%F6kologisch-bedeutende-gewaesser-regbez-fr.pdf>. Letzter Zugriff 08. August 2011.

NAGEL, K.-O. (1991): Gefährdete Flussmuscheln in Hessen. 1. Wachstum, Reproduktionsbiologie und Schutz der Bachmuschel (*Bivalvia: Unionidae: Unio crassus*). Zeitschrift für Angewandte Zoologie 78: 205-218.

NAGEL, K.-O. (2002): Muschel, Mensch und Landschaft: Zusammenhänge zwischen Landnutzung und Bestandesentwicklung bei Flussmuscheln. Naturschutz und Landschaftsplanung 34(9): 261-269.

PFEIFFER M. (2010): Wiederansiedlung der Bachmuschel (*Unio crassus* PHIL. 1788) im Klingengraben (Landkreis Klettgau). 1. Zwischenbericht für das Regierungspräsidium Freiburg – Referat 56, Naturschutz und Landespflege (unv.).

PFEIFFER, M. & NAGEL, K.-O. (2010): Schauen, tasten, graben. Naturschutz und Landschaftsplanung 42(6): 171-179.

PFEIFFER, R. (2004): Variabilität binomischer Komponenten bei *Unio crassus* (Philipsson 1788). Diplomarbeit, Zoologisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 60 S. + Anhang.



REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG (2008): Pflege- und Entwicklungsplan für das FFH-Gebiet 8316-341 „Klettgaurücken“. URL: http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/36209/pepl_klettgauruecken_endfassung.pdf?command=downloadContent&filename=pepl_klettgauruecken_endfassung.pdf. Letzter Zugriff 15. Juni 2011.

RÖCK, S. (2008): Naturqualität und Bewertung künstlicher Gewässer am Beispiel zweier Flutkanäle in der Oberrheinebene. Schriftenreihe des Instituts für Landespflege der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg 53: 180 S. + Anhang.

ROTHER, A. (2008): Populationsparameter der Bachmuschel *Unio crassus* (Philipsson 1788) im Niederbach. Wissenschaftliche Arbeit, Zoologisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 44 S.

SCHMIDT, H. (1990): Entwicklung eines Artenhilfsprogramms für die beiden Großmuschelarten Flußperlmuschel (*Margaritifera margaritifera* L. 1758) und Bachmuschel (*Unio crassus* PHIL. 1788). Schriftenreihe Bayer. Landesamt für Umweltschutz 97: 5-13.

SCHWALB, A.N. & PUSCH, M.T. (2007): Horizontal and vertical movements of unionid mussels in a lowland river. *Journal of the North American Benthological Society* 26, 261-272.

UEHLINGER, G. (2008): Osterfinger Wangental-Haartel. Kommunales Vernetzungsprojekt Wilchingen. URL: http://www.netz.wangental.ch/netz2_mar_%2008.pdf. Letzter Zugriff 15. Juni 2010.

VICENTINI, H. (2004): Aktionsplan Bachmuschel (*Unio crassus*). Baudirektion Kanton Zürich. Amt für Landschaft und Natur. URL: http://www.aln.zh.ch/internet/baudirektion/aln/de/naturschutz/artenfoerderung/ap_fa/bachmuschel.html. Letzter Zugriff 21. Juli 2011.

VICENTINI, H. & PFÄNDLER, U. (2001): Die Bachmuschel *Unio crassus* (PHILIPSSON 1788) im Seegraben, Kanton Schaffhausen. *Mitt. natf. Ges. Schaffhausen* 46: 85-100

WASSERWIRTSCHAFTSAMT BAYREUTH: Erprobungs- und Entwicklungsprojekt: Maßnahmen zum Schutz der Bachmuschel. URL: http://www.wwa-ho.bayern.de/projekte_und_programme/doc/gew_entw/ailsbach_bachmuschel2.pdf. Letzter Zugriff 16. Juni 2011.

ZETTLER, M. & WACHLIN, V. (2010): *Unio crassus* (PHILIPSSON, 1788). Anhang II und IV, FFH-Code: 1032. URL: http://www.lung.mv-regierung.de/dateien/ffh_asb_unio_crassus.pdf. Letzter Zugriff 28. Juni 2011.



8 Anhang

Anhang A:

Rohdaten der Länge von trächtigen und nicht trächtigen Muscheln innerhalb der einzelnen Altersstufen:

Alter [Jahre]	Nicht trächtig			Trächtig		
	Länge [cm]	Mittelwert [cm]	Standard- abweichung [cm]	Länge [cm]	Mittelwert [cm]	Standard- abweichung [cm]
3	2,780	3,333	0,309	2,800	3,510	0,575
	2,975					
	3,000					
	3,010					
	3,100					
	3,195					
	3,295					
	3,300					
	3,345					
	3,370					
	3,380					
	3,430					
	3,440					
	3,455					
	3,735					
	3,755					
4,000						
4	2,800	3,595	0,522	3,325	3,825	0,442
	2,900					
	3,280					
	3,380					
	3,400					
	3,500					
	3,700					
	3,800					
	4,110					
	4,300					
4,370						
5	4,415	4,572	0,169	4,865	4,883	0,025
	4,550					
	4,750					
6	5,240	5,574	0,330	5,800	5,800	
	5,500					
	5,525					
	6,030					
8				6,230	6,230	

**Anhang B:**

Rohdaten der Altersverteilung in den einzelnen Abschnitten des deutschen Seegrabens.

Alter [Jahre]	Anzahl im oberen Abschnitt	Anzahl im mittleren Abschnitt	Anzahl im unteren Abschnitt	Anzahl aller Abschnitte
1	0	2	0	2
2	1	6	8	15
3	0	28	23	51
4	0	25	8	33
5	0	11	0	11
6	0	5	0	5
7	0	2	0	2
8	0	1	0	1
Mittelwert [Jahre]	2	3,81	3,00	3,53
Standartabweichung [Jahre]		1,29	0,65	1,19



Anhang C:

Bewertung der Schaffhausener Fließgewässer für die Jahre 2005/06 (AMT FÜR LEBENSMITTELKONTROLLE UND UMWELTSCHUTZ SCHAFFHAUSEN 2003-2010).

Bewertung gemäss BAFU Modul für 2005/06

Schleitheim:	Ammonium	Nitrat	Nitrit	ortho-Phosphat	Gesamt-Phosphat	DOC
Eingang Beggingen	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Ausgang Beggingen	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Grenze Beggingen/Schleitheim	mässig	gut	schlecht	schlecht	schlecht	sehr gut
Ausgang Schleitheim	sehr gut	gut	sehr gut	schlecht	unbefriedigend	sehr gut
Drainageleitung (Deponiebach)	sehr gut	mässig	sehr gut	unbefriedigend	schlecht	mässig
Chrebsbach	sehr gut	gut	sehr gut	schlecht	unbefriedigend	mässig
Zwärenbach	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Oberwiesen Rank	sehr gut	gut	sehr gut	mässig	mässig	sehr gut
Wutach Wunderklingen	sehr gut	gut	sehr gut	unbefriedigend	mässig	sehr gut

Klettgau:	Ammonium	Nitrat	Nitrit	ortho-Phosphat	Gesamt-Phosphat	DOC
Wisengraben	sehr gut	mässig	gut	mässig	sehr gut	sehr gut
Seltenbach	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Mühlbach	sehr gut	mässig	gut	sehr gut	sehr gut	mässig
Halbbach vor ARA	sehr gut	schlecht	unbefriedigend	mässig	schlecht	mässig
Halbbach nach ARA	unbefriedigend	schlecht	unbefriedigend	schlecht	schlecht	mässig
Klingengraben Grenze	mässig	unbefriedigend	mässig	schlecht	schlecht	sehr gut
Klingengraben Ende	sehr gut	unbefriedigend	gut	schlecht	schlecht	mässig
Seegraben im Boden	sehr gut	gut	sehr gut	unbefriedigend	mässig	sehr gut
Seegraben Grenze	schlecht	gut	mässig	schlecht	schlecht	sehr gut
Schwarzbach Ende	sehr gut	gut	sehr gut	schlecht	schlecht	mässig

Durach/Fulach:	Ammonium	Nitrat	Nitrit	ortho-Phosphat	Gesamt-Phosphat	DOC
Grenze Merish /Bargen	sehr gut	gut	sehr gut	schlecht	unbefriedigend	sehr gut
Einlauf Weiher*	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Mühlental vor Eindohlung	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Fulach beim Feuerwehrzentrum	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut

* führt nicht immer Wasser!

Biber:	Ammonium	Nitrat	Nitrit	ortho-Phosphat	Gesamt-Phosphat	DOC
Hofen	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Thayngen	sehr gut	gut	sehr gut	schlecht	schlecht	sehr gut
Gottmadinger Dorfbach	sehr gut	unbefriedigend	sehr gut	schlecht	schlecht	mässig
Buch	sehr gut	mässig	sehr gut	schlecht	schlecht	sehr gut
Karollihof	sehr gut	mässig	sehr gut	schlecht	schlecht	sehr gut

Rhein:	Ammonium	Nitrat	Nitrit	ortho-Phosphat	Gesamt-Phosphat	DOC
Stein am Rhein	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Bibermühle	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Salzstadel	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Nohl	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Ellikon	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Thur	sehr gut	gut	sehr gut	mässig	sehr gut	sehr gut
Tössegg links	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut

Legende:

Fließgewässersystem A
Fließgewässersystem B
Fließgewässersystem C

sehr gut
gut
mässig
unbefriedigend
schlecht



Anhang D:

Bewertung der Schaffhausener Fließgewässer für die Jahre 2007/08 (AMT FÜR LEBENSMITTELKONTROLLE UND UMWELTSCHUTZ SCHAFFHAUSEN 2003-2010).

Bewertung gemäss BUWAL Modul für das Jahr 2007/08

Schleitheim:	Ammonium	Nitrat	Nitrit	ortho-Phosphat	Gesamt-Phosphat	DOC	Diatomeen Frühling08
Eingang Beggingen	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Ausgang Beggingen	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Grenze Beggingen/Schleitheim	mässig	gut	schlecht	schlecht	schlecht	sehr gut	mässig
Ausgang Schleitheim	sehr gut	gut	sehr gut	schlecht	schlecht	sehr gut	sehr gut
Drainageleitung (Deponiebach)	sehr gut	mässig	sehr gut	unbefriedigend	unbefriedigend	mässig	sehr gut
Chrebsbach	sehr gut	gut	sehr gut	schlecht	schlecht	sehr gut	sehr gut
Zwärenbach	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Oberwiesen Rank	sehr gut	gut	sehr gut	mässig	mässig	sehr gut	sehr gut
Wutach Wunderklingen	sehr gut	gut	sehr gut	mässig	mässig	sehr gut	sehr gut

Klettgau:	Ammonium	Nitrat	Nitrit	ortho-Phosphat	Gesamt-Phosphat	DOC	Diatomeen Frühling08
Wisengraben	sehr gut	mässig	gut	mässig	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Seltenbach	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Mühlbach	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	mässig	sehr gut
Halbbach vor ARA	sehr gut	gut	sehr gut	unbefriedigend	mässig	sehr gut	sehr gut
Halbbach nach ARA	schlecht	schlecht	schlecht	schlecht	schlecht	unbefriedigend	schlecht
Klingengraben Grenze	schlecht	unbefriedigend	schlecht	schlecht	schlecht	mässig	schlecht
Klingengraben Ende	mässig	gut	sehr gut	schlecht	schlecht	sehr gut	sehr gut
Seegraben im Boden	sehr gut	gut	sehr gut	unbefriedigend	mässig	sehr gut	sehr gut
Seegraben Grenze	sehr gut	gut	sehr gut	schlecht	mässig	sehr gut	sehr gut
Schwarzbach Ende	sehr gut	gut	sehr gut	schlecht	schlecht	mässig	sehr gut

Durach/Fulach:	Ammonium	Nitrat	Nitrit	ortho-Phosphat	Gesamt-Phosphat	DOC	Diatomeen Frühling08
Grenze Merish./Bargen	sehr gut	gut	sehr gut	schlecht	unbefriedigend	sehr gut	sehr gut
Einlauf Weiher*	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	XXX
Mühlental vor Eindöhlung	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	XXX
Fulach beim Feuerwehrzentrum	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	XXX

* führt nicht immer Wasser!

Biber:	Ammonium	Nitrat	Nitrit	ortho-Phosphat	Gesamt-Phosphat	DOC	Diatomeen Frühling08
Hofen	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Thayngen	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	unbefriedigend	sehr gut	sehr gut
Gottmadinger Dorfbach	sehr gut	mässig	sehr gut	schlecht	schlecht	mässig	sehr gut
Buch	sehr gut	mässig	sehr gut	unbefriedigend	unbefriedigend	sehr gut	sehr gut
Karollhof	sehr gut	mässig	sehr gut	mässig	mässig	sehr gut	mässig

Rhein:	Ammonium	Nitrat	Nitrit	ortho-Phosphat	Gesamt-Phosphat	DOC
Stein am Rhein	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Bibermühle	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Salzstadel	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Nohl	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Ellikon	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Thur	sehr gut	gut	sehr gut	mässig	sehr gut	sehr gut
Tössegg links	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut

Legende:

Fließgewässersystem A
Fließgewässersystem B
Fließgewässersystem C

sehr gut
gut
mässig
unbefriedigend
schlecht



Anhang E:

Bewertung der Schaffhausener Fließgewässer für die Jahre 2009/10 (AMT FÜR LEBENSMITTELKONTROLLE UND UMWELTSCHUTZ SCHAFFHAUSEN 2003-2010).

Gewässergütebewertung für 2009/10

	Wasserqualität						Biologie	
	Ammonium	Nitrat	Nitrit	ortho-Phosphat	Gesamt-Phosphat	DOC	Kieselalgen Frühling 2009	Kieselalgen Herbst 2009
Schleitheim:								
Eingang Beggingen	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut
Ausgang Beggingen	sehr gut	gut	sehr gut	mässig	unbefriedigend	gut	sehr gut	sehr gut
Grenze Beggingen/Schleitheim	mässig	gut	schlecht	schlecht	schlecht	gut	mässig	mässig
Ausgang Schleitheim	sehr gut	gut	sehr gut	schlecht	unbefriedigend	gut	sehr gut	sehr gut
Drainageleitung (Deponiebach)	sehr gut	schlecht	sehr gut	unbefriedigend	schlecht	unbefriedigend	mässig	mässig
Chrebsbach	sehr gut	gut	sehr gut	unbefriedigend	schlecht	mässig	sehr gut	sehr gut
Zwärenbach	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	gut	gut	sehr gut	sehr gut
Oberwiesen Rank	sehr gut	gut	sehr gut	unbefriedigend	mässig	gut	sehr gut	sehr gut
Wutach Wunderklingen	sehr gut	gut	sehr gut	unbefriedigend	unbefriedigend	mässig	sehr gut	sehr gut
Klettgau:								
Wisengraben	sehr gut	gut	sehr gut	mässig	unbefriedigend	unbefriedigend	sehr gut	sehr gut
Seltenbach	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	gut	unbefriedigend	sehr gut	sehr gut
Mühlbach	sehr gut	gut	sehr gut	mässig	unbefriedigend	unbefriedigend	sehr gut	sehr gut
Halbbach vor ARA	sehr gut	gut	sehr gut	unbefriedigend	unbefriedigend	unbefriedigend	mässig	mässig
Halbbach nach ARA	schlecht	schlecht	schlecht	schlecht	schlecht	schlecht	unbefriedigend	unbefriedigend
Klingengraben Grenze	schlecht	schlecht	unbefriedigend	schlecht	schlecht	schlecht	mässig	mässig
Klingengraben Ende	schlecht	unbefriedigend	gut	schlecht	schlecht	schlecht	unbefriedigend	schlecht
Seegraben im Boden	sehr gut	gut	sehr gut	mässig	unbefriedigend	unbefriedigend	sehr gut	sehr gut
Seegraben Grenze	sehr gut	gut	sehr gut	unbefriedigend	unbefriedigend	unbefriedigend	sehr gut	sehr gut
Schwarzbach Ende	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	schlecht	unbefriedigend	sehr gut	sehr gut
Fulach/Durach: * führt nicht immer Wasser!								
Grenze Merish./Bargen	mässig	gut	sehr gut	schlecht	schlecht	mässig	sehr gut	sehr gut
Einlauf Weiher*	sehr gut	gut	sehr gut	mässig	gut	gut	sehr gut	sehr gut
Mühlental vor Eindohlung	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut
Biber:								
Hofen	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	unbefriedigend	unbefriedigend	sehr gut	sehr gut
Thayngen	sehr gut	gut	sehr gut	unbefriedigend	unbefriedigend	unbefriedigend	sehr gut	sehr gut
Gottmadinger Dorfbach	sehr gut	mässig	sehr gut	schlecht	schlecht	unbefriedigend	sehr gut	sehr gut
Buch	sehr gut	mässig	sehr gut	unbefriedigend	unbefriedigend	unbefriedigend	sehr gut	sehr gut
Karollihof	sehr gut	mässig	sehr gut	unbefriedigend	unbefriedigend	unbefriedigend	sehr gut	sehr gut
Rhein:								
Stein am Rhein	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut
Bibermühle	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut
Salzstadel	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut
Nohl	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut
Ellikon	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut
Thur	sehr gut	gut	sehr gut	mässig	gut	gut	sehr gut	sehr gut
Tössegg links	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut

Legende:

Fließgewässersystem A
Fließgewässersystem B
Fließgewässersystem C

sehr gut
gut
mässig
unbefriedigend
schlecht
keine Beurteilung

26.1.2010, fl



9 Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die Arbeit bisher oder gleichzeitig keiner anderen Prüfungsbehörde unter Erlangung eines akademischen Grades vorgelegt habe.

Freiburg im Breisgau, 16. August 2011