

Aus dem Department für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der
Veterinärmedizin

der veterinärmedizinischen Universität Wien

Universitätsklinik für Geflügel und Fische

Klinische Abteilung für Fischgesundheit

(Leiter Univ. Prof. Dr.rer.nat. Mansour El-Matbouli)

**Parasitologische Untersuchungen zweier Populationen von
Bachmuscheln (*Unio crassus*)**

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

Vorgelegt von

Farah Arnold

Wien, im April, 2022

Betreuerin und 1. Begutachterin:

Priv.-Doz. Dr.med.vet Eva Lewisch Dipl. ECAAH

Universitätsklinik für Geflügel und Fische

Klinische Abteilung für Fischgesundheit

Veterinärmedizinische Universität Wien

2. Begutachter:

Priv.-Doz. Dr.rer.nat. Hans-Peter Fuehrer

Institut für Parasitologie

Department für Pathobiologie

Veterinärmedizinische Universität Wien

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Material und Methode	8
2.1 Herkunft der Muschen	8
2.2 Untersuchung der Muscheln.....	8
2.3 Statistik.....	12
3. Ergebnisse	15
3.1 Größe.....	16
3.2 Viszeralgewicht	18
3.3 Zusammenhang Größe und Viszeralgewicht	19
3.4 Schalengewicht	21
3.5 Geschlecht.....	22
3.6 Glochidien	23
3.7 Schalendefekte.....	24
3.8 Wassermilben (Hydrachnidia, Acari).....	27
3.9 Europäischer Bitterling (<i>Rhodeus amarus</i>).....	32
3.10 Ciliaten	35
3.10.1 <i>Conchophthirus</i> sp.	35
3.10.2 <i>Trichodina</i> sp.....	36
3.10.3 Kleinere Ciliaten.....	37
3.11 Digene Trematoden (Bucephalidae)	38
3.12 Gesamtparasitenscore ohne <i>Rhipidocotyle</i> sp.	39
3.13 Gesamtparasitenscore ohne Milben	40
4. Diskussion	41
4.1 Größe und Viszeralgewicht.....	41
4.2 Geschlecht	42
4.3 Schalengewicht und Schalendefekte	44
4.4 Parasiten	46
4.4.1 Milben.....	46
4.4.2 Europäischer Bitterling (<i>Rhodeus amarus</i>)	50
4.4.3 Ciliaten	53
4.4.3.1 <i>Conchophthirus</i> sp.	53

4.4.3.2 <i>Trichodina</i> sp.	54
4.4.3.3 Kleinere Ciliaten.....	55
4.4.4 Trematoden	55
4.4.5 Gesamt-Parasitenscore	57
5. Zusammenfassung	59
6. Abstract	60
7. Danksagung	61
8. Abkürzungsverzeichnis	62
9. Literaturverzeichnis	63
10. Abbildungsverzeichnis	72
11. Tabellenverzeichnis	74

1. Einleitung

Unio crassus, die Bachmuschel, auch gemeine oder kleine Flussmuschel genannt, gehört dem Stamm der Weichtiere (Mollusca) an. Sie gehört zur Ordnung der Unionoida, der großen Süßwassermuscheln, von welchen in Europa zwei Familien beschrieben sind, die Margaritiferidae und die Unionidae. Diese beiden Familien umfassen die 16 in Europa heimischen Muschelspezies (Lopes-Lima et al. 2017).

Die Bachmuschel lebt in fließenden Gewässern, hauptsächlich in Bächen aber auch in kleinen Flüssen. Sie besiedelt hauptsächlich die Ufer mit Grobsand und Feinkies, wobei Jungmuscheln im Vergleich zu Adulten etwas feineres Substrat bevorzugen (Hochwald et al. 2012). Eine Studie von Zajac & Zajac (2011) zeigte, dass Muscheln sich aktiv aus seichten Ufergebieten in tiefere Areale bewegen und umgekehrt aus zu tiefen Gebieten in besser geeignete Randgebiete fortbewegen.

Die Bachmuschel erreicht in den meisten Fällen eine Länge von 6 bis 8 cm. Sie besitzen eine ovale, dunkel- bis hellbraune Schale, die manchmal auch grünlich ist. Das Schloss mit seinen Zähnen verhindert ein Verrutschen der beiden Schalenteile. Der Wirbel ist gerunzelt und kann insbesondere in kalkarmen Gewässern abgenutzt oder korrodiert sein (Dümpelmann und Nagel 2015).

Die Abbildungen (Abb.) 1 bis 4 zeigen die wichtigsten anatomischen Merkmale von *U. crassus*.



Abb. 1 - geschlossene Muschel

1 – anterior; 2 – posterior; 3 – Fuß; 4 – Umbo, Wirbel



Abb. 2 - Ansicht von dorsal

1 – Schloss; 2 – Umbo, Wirbel; 3 – anterior; 4 – Fuß



Abb. 3 - eröffnete Muschel

1 – Fuß; 2 – äußere Kiemen mit Marsupien und Glochidien; 3 – innere Kiemen; 4 – Mantel;
5 – M. adductor anterior, vorderer Schließmuskel, durchtrennt

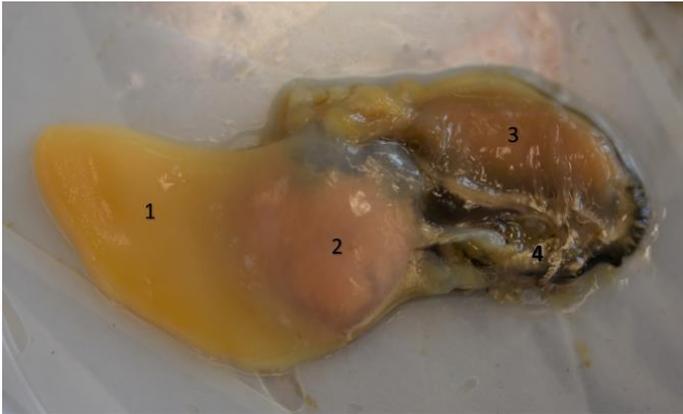


Abb. 4 - Viszera aus Schale gelöst

1 – Fuß; 2 – Viszeralsack mit durchscheinenden Gonaden; 3 – Kiemen; 4 – Mantelanteile

Die weiblichen Muscheln produzieren innerhalb ihrer Ovarien Eier, wo sie in unterschiedlichen Größen und Entwicklungsstadien vorkommen. Über einen Kanal gelangen die Eier in die äußeren Kiemen, in welchen die weitere Entwicklung in Bruttaschen (Marsupien) stattfindet (Carus 1832). Die Spermien der männlichen Muscheln werden über das filtrierte Wasser aufgenommen und die Eier in den Kiemen befruchtet (Coker et al. 1921). Die Befruchtung der Eier findet im Frühjahr statt, Ende des Frühjahrs und im Sommer werden die reifen Larven, Glochidien genannt, ins Wasser abgegeben. Sie sind zu diesem Zeitpunkt ca. 200 µm groß (Bednarczuk 1986). *Unio crassus* kann jährlich bis zu fünf Fortpflanzungszyklen durchlaufen (Hochwald 2001). Eine Untersuchung in Polen zeigte, dass die Reifung der Glochidien im Sommer weniger lange dauerte als noch im Frühjahr, die Dauer verkürzte sich in diesem Fall von 35 Tagen zu Beginn des Frühlings auf neun Tage im Sommer (Zajac und Zajac 2021).

Wenn die Glochidien reif sind, wandern die Muscheln in die Uferregion, um von dort aus einen Strahl Wasser mit den Glochidien in das Wasser zu befördern. Dieses Verhalten dient dazu, Wirtsfische anzulocken. Die Glochidien können im Wasser bis zu 48 Stunden überleben, bis dahin müssen sie einen Wirtsfisch gefunden haben (Aldridge et al. 2018). Glochidien von *U. crassus* haben Haken und können sich somit sowohl auf der Haut, insbesondere an den Flossen, als auch in den Kiemen festsetzen. Die Mortalität von Glochidien am Körper der Fische ist höher als in den Kiemen (Engel 1990; Hochwald 1997). Aktuellere Untersuchungen zeigten jedoch, dass ca. 80 % der Glochidien an den Flossen zu finden sind und nur ca. 20 % an den Kiemen. Die Autoren werfen die Frage auf, ob sich frühere Untersuchungen zu sehr auf die Kiemen fokussierten. Jedoch wurden im Zuge dieser aktuellen Versuche die Glochidien 48 Stunden nach der Infektion untersucht und nicht über einen längeren Zeitraum um

herauszufinden, welche tatsächlich eine vollständige Entwicklung durchmachen (Ćmiel et al. 2018).

Die Dauer dieses parasitären Stadiums variiert sehr stark, abhängig von der Wassertemperatur und beträgt zehn bis 35 Tage. Nach ihrer Metamorphose lösen sich die jungen Muscheln von ihren Wirten und graben sich im Substrat des Flusses ein. Dort verbleiben sie für ein bis drei Jahre, bis sie als adulte Tiere wieder an die Oberfläche kommen (Taeubert et al. 2014).

Der Bestand der Bachmuscheln ist in Europa drastisch zurück gegangen. Die Autoren der roten Liste gehen davon aus, dass sich der Bestand in den letzten 45-60 Jahren um mehr als 50% reduziert hat. Seit 2011 wird *U. crassus* auf der roten Liste der IUCN als gefährdet aufgeführt (IUCN 2021). Die Ursachen für den Rückgang können in umweltbedingte und erregerbedingte Ursachen eingeteilt werden.

In vielen Fällen ist die Zerstörung der Lebensräume von zentraler Bedeutung. Der Lauf der Flussläufe wird oft durch Kanäle und Dämme verändert, dies hat einen Einfluss auf das Sediment, die Temperatur und die Fließgeschwindigkeit des Wassers. All diese Aspekte können einen negativen Einfluss auf die Muscheln haben (Mueller et al. 2011; Geist 2014).

Ebenso werden die als Zwischenwirt wichtigen Fische verdrängt (Douda et al. 2012). Hingegen können die wenig veränderten Nebenarme großer Flüsse den Muschelpopulationen als Rückzugsort dienen (Gómez und Araujo 2007). Auch die Verschmutzung von Gewässern mit verschiedenen Kontaminanten wie beispielsweise Streusalz oder Schwermetallen haben negative Einflüsse auf die Muscheln, insbesondere freischwimmende Glochidien sind empfindlich (Hartmann et al. 2016; Bringolf et al. 2007). Die Landwirtschaft hat erhebliche Auswirkungen auf die Muschelbestände, da durch sie ein Überangebot an Stickstoff und Phosphor besteht und feines Sediment in die Flüsse gespült wird, beides wirkt sich negativ auf die Muscheln aus (Douda 2009).

Zu den erregerbedingten Ursachen zählen Viren, Bakterien, Pilze und Parasiten.

Im Gegensatz zu Salzwassermuscheln scheinen Bakterien und Viren bei Süßwassermuscheln eine geringe Rolle zu spielen. Nur eine virale Erkrankung, die „Lea plague disease“, die bei der chinesischen Perlmuschel (*Hyriopsis cumingii*) vorkommt, war lange bei Süßwassermuscheln bekannt (Zhong et al. 2011). Eine neuere Publikation berichtet von einem Massensterben von *Actinonais pectorosa* im Zusammenhang mit dem Nachweis eines neuen

Densovirus (Richard et al. 2020). Einige potentiell pathogene Bakterien konnten bei Süßwassermuscheln zwar nachgewiesen werden, jedoch konnte keine daraus resultierende Krankheit bewiesen werden (Grizzle und Brunner 2009). Im Zuge der oben bereits genannten Untersuchungen an *A. pectorosa* wurden bei weiteren Untersuchungen signifikant höhere bakterielle Belastung der Hämolymphe moribunder Muscheln im Vergleich zu scheinbar gesunden Muscheln festgestellt (Richard et al. 2021). Auch Starliper (2011) konnte hohe Bakterienkonzentrationen in Muscheln mit kranken oder sterbenden Muscheln assoziieren. Mioduchowska et al. (2020) wiesen Infektionen von *Wolbachia* und *Cardinium* in *U. crassus* nach. Diese Infektionen werden hauptsächlich maternal weitergegeben und können beispielsweise zur Feminisierung von Populationen oder zum Absterben von männlichen Muscheln führen (Engelstädter und Hurst 2009). Sie stellen daher möglicherweise ein Risiko für Zuchtprogramme zur Erhaltung von *U. crassus* dar.

Das Vorkommen von Protozoen bei Süßwassermuscheln ist häufig, meistens handelt es sich um Vertreter des Genus *Conchophthirus*. Diese Ciliaten kommen ausschließlich bei Süßwassermuscheln vor und bewegen sich frei in der Mantelhöhle (Kidder 1934). Sie sind ca. 100 µm groß und die gesamte Oberfläche ist mit Cilien versehen. Sie haben eine ovale Form mit elliptischem Querschnitt und besitzen auf halber Höhe einen Mund, der sich als Einziehung manifestiert (Antipa und Small 1971a). Auch bei hochgradig befallenen Muscheln mit über tausend nachgewiesenen Exemplaren konnten keine schädlichen Auswirkungen auf den Wirt nachgewiesen werden. Die Beobachtungen schließen nicht aus, dass *Conchophthirus* spp. aktiv Muschelgewebe als Nahrung zu sich nehmen, jedoch ist es wahrscheinlich, dass sie hauptsächlich abgestorbene Cilien aus den Kiemen und anderen Zelldetritus der Muscheln konsumieren (Antipa und Small 1971a).

Weitere vorkommende Ciliaten sind Vertreter der Gattung *Trichodina*, *Trichodina unionis* wurde in Europa in der Mantelhöhle von *Unio* spp. und *Anodonta cygnea* nachgewiesen. Sie kommen auf den Mundlappen und etwas weniger häufig in den Kiemen vor. *Trichodina unionis* weisen eine Größe von ca. 70 – 100 µm auf. In manchen Populationen kommen sie mit durchschnittlich zehn Exemplaren pro Muscheln und einer Prävalenz von bis zu 100 % vor (Raabe & Raabe 1961; Fenchel 1965). Histologisch konnten keine eindeutig auf *Trichodina* sp. zurückzuführende Läsionen nachgewiesen werden (Chittick et al. 2001).

Des Weiteren sind verschiedene Familien digener Trematoden beschrieben, die Muscheln als Zwischenwirt nutzen (Overstreet und Curran 2002; Campbell 2008; Grizzle und Brunner 2009).

Unionidae dienen neben Vertretern der Aspidogastridae vor allem auch bucephaliden Trematoden als Zwischenwirt. Diejenigen, die bei Unioniden vorkommen, gehören meist zum Genus *Rhipidocotyle* (Marszewska und Cichy 2015). Sie können ursächlich für die Unfruchtbarkeit adulter Muscheln sein, da durch eine hohe parasitäre Belastung das Gonadengewebe durch Sporozysten ersetzt wird. Zudem kann es zur Fibrosierung von Follikeln und Läsionen im Bereich der Nieren kommen (Kelly 1899).

Rhipidocotyle spp. weisen einen komplexen Lebenszyklus auf. Es gibt drei parasitäre und zwei freie Stadien. Die Adulten leben meist als intestinale Parasiten von Raubfischen, in der Regel Hechten (*Perca fluviatilis*) oder Zander (*Sander lucioperca*). Diese scheiden Eier der Parasiten aus, welche noch im Rectum des Fisches oder im Wasser reifen. Daraus schlüpfen dann freischwimmende Larven, die Miracidien, welche die Süßwassermuscheln als ersten Zwischenwirt infizieren und dort in der Verdauungsdrüse und in den Gonaden zu Sporozysten werden. Diese Sporozysten können bei den Muscheln letztendlich zur Kastration oder anderen Schädigungen führen. Aus den Sporozysten entwickeln sich Zerkarien, diese verlassen die Muscheln und werden von kleinen Fischen, im Falle von *Rhipidocotyle campanula* sind dies Rotaugen (*Rutilus rutilus*), aufgenommen. Innerhalb dieser Fische erfolgt die Entwicklung zu Metazerkarien. Wird der Fisch von einem Raubfisch gefressen, erfolgt die Weiterentwicklung zu adulten Trematoden, welche im Darm des Raubfisches bleiben und dort wiederum Eier produzieren (Richardson 1990).

Zu den anderen bekannten Parasiten von Süßwassermuscheln gehören Wassermilben. Am bedeutendsten für diese Muschelarten sind Vertreter des Genus *Unionicola*. Dieses umfasst derzeit 57 Subgenera und zumindest 260 Spezies (Edwards und Vidrine 2013). Die Milben leben auf den Kiemen, dem Mantel oder dem Fuß der Muscheln und legen dort auch ihre Eier ab (Vidrine 1996). *Unionicola* spp. kommen in unterschiedlichen Lebensstadien vor, aus den Eiern entwickeln sich die zwei Larvenstadien (Prälarve und Larve), dann die drei Nymphenstadien (Proto-, Deuto- und Tritonymphe) und schlussendlich die adulten Milben (Grandjean 1938). In ihrem Leben infizieren sie einen oder mehrere Wirte (Baker 1987). Die meisten Unionicolidae haben in ihrem Lebenszyklus einen Zwischenwirt wie Mücken (Diptera) oder im Wasser lebende Wirbellose (Smith et al. 2010).

Die Ursachen für den Rückgang von *U. crassus* in vielen Gebieten sind komplex und nicht umfassend untersucht. Welche Rolle dabei parasitäre Besiedelungen spielen ist dabei oft unklar. Diese Arbeit soll dazu beitragen, die Parasitenspezies in zwei Populationen von

U. crassus zu erfassen. Dabei soll auch besonderes Augenmerk auf Unterschiede zwischen den Populationen gelegt werden. Zusätzlich wurden in beiden Populationen Schalendefekte beurteilt, um mögliche Zusammenhänge zwischen einem beeinträchtigten Gesundheitszustand der Muschel und einer parasitären Besiedelung zu erkennen.

2. Material und Methode

2.1 Herkunft der Muschen

Diese Arbeit basiert auf der Untersuchung zweier Populationen von Bachmuscheln mit je 30 adulten Tieren. *Unio crassus* ist gemäß der Richtlinie 92/43/EWG 1992 geschützt und ist auf der Liste der International Union for Conservation of Nature als gefährdete Spezies angeführt. Die Muscheln stammen aus zwei Flüssen in Luxemburg, der Sauer (49°52'08.4" N, 5°45'11.1" E) und der Our (50° 04' 37" N, 6° 07' 29" E). Das Sammeln der Tiere wurde von der Regierung des Grand-Duché de Luxembourg, Ministerium für Umwelt, Klima und nachhaltiger Entwicklung (Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable) autorisiert. Die Ethikkommission der Veterinärmedizinischen Universität Wien wurde über die Studie informiert und gab ihre Zustimmung. Die Tiere der Our wurden am 01.04.2019 gesammelt und bis zum 06.05.2019 in Luxemburg in einem Aquarium, das mit Flusswasser der Our betrieben wurde, gehalten und zeitgleich mit den Muscheln aus der Sauer versandt. Die Muscheln aus der Sauer wurden am 06.05.2019 gesammelt und am selben Tag auf Eis gekühlt an die klinische Abteilung für Fischmedizin an der Veterinärmedizinischen Universität Wien gesandt. Die Wassertemperatur zum Zeitpunkt der Sammlung betrug in beiden Gewässern 10 °C. Die Muscheln kamen innerhalb von zwölf Stunden lebend und in guter Verfassung an. Bis zur Euthanasie wurden die beiden Muschelgruppen in je einem 250 l Aquarium mit konstantem Wasserfluss bei einer Temperatur von 10 °C gehalten. Die Untersuchung der Tiere fand im Zeitraum vom 09.05.2019 bis zum 24.05.2019 statt.

2.2 Untersuchung der Muscheln

Für die Untersuchung der einzelnen Tiere wurden diese euthanasiert und eine Sektion durchgeführt. Die Euthanasie erfolgte mittels Triacin-Methansulfonat (gepufferte MS 222-Lösung, Sigma Aldrich Austria) in einer Dosierung von mindestens 300 mg/L Wasser (Leary et al. 2020). Für die Euthanasie wurde ein Glasgefäß verwendet, damit sichtbar war, wann sich die Muschel öffnet und somit vom Tod ausgegangen werden konnte. Dies dauerte bei den meisten Muscheln etwa zehn Minuten. Für die Muscheln aus der Our und aus der Sauer wurden jeweils eigene Gefäße und MS-222-Lösungen für die Euthanasie verwendet. Nach der Euthanasie wurden die Gesamtlänge der Schalen in cm auf eine Dezimalstelle genau und das Gesamtgewicht der Muscheln in Gramm, auf zwei Dezimalstellen, ermittelt und dokumentiert, sowie das äußere Aussehen der Muschel fotografisch festgehalten. Das Gesamtgewicht der Muscheln inkludierte auch in der Muschel enthaltenes Wasser.

Von zwei Muscheln aus der Our wurde ein Geschabsel der Oberfläche des Schalendefekts im Bereich des Wirbels lichtmikroskopisch untersucht um eine mögliche Besiedelung mit Pilzhyphen oder anderen Mikroorganismen zu erkennen. Dafür wurde fünf Mal mit einer Skalpellklinge über die Oberfläche gekratzt und das so gewonnene Material auf einen Objektträger übertragen, mit einem Deckglas abgedeckt und bei 100-facher Vergrößerung im Lichtmikroskop angesehen. Bei dieser Untersuchung konnten keine verdächtigen Mikroorganismen festgestellt werden. Da diese Abklärung kein Forschungsziel dieser Arbeit war, wurde dem nicht weiter nachgegangen.

Nach dem Wägen und Messen wurden die Muscheln durch Durchtrennen des M. adductor anterior sowie des M. adductor posterior mittels Skalpellklinge vollständig eröffnet. Hierbei wurde ein Skalpellgriff der Größe 4 sowie eine 22er Klinge verwendet.

Dann erfolgten eine makroskopische sowie eine stereomikroskopische Oberflächenbeurteilung der Muschel (Olympus SZX 10, Olympus Austria). Makroskopisch oder mit dem Stereomikroskop erkennbare Parasiten wurden gezählt, fotografisch dokumentiert, mit sterilem Wasser in Petrischalen gespült oder mit sterilen Pasteur-Pipetten entnommen und mikroskopisch untersucht. Pools mit Milben von einzelnen Muscheln wurden in 2 ml Eppendorf-Röhrchen in 70 % Ethanol sowie einer 1:1 Mischung aus sterilem Wasser und Glycerin bei -20 °C tiefgefroren um für weitere Untersuchungen zur Verfügung zu stehen, die nicht Teil dieser Arbeit sind. Für eine histologische Untersuchung wurde mittig ein Stück der inneren Kieme sowie ein Stück Mantel (jeweils ca. 5x5 mm groß) am posterioren Ende entnommen. Die Stelle der Probenentnahme des Mantels ist in Abb. 5 mit einem roten Stern gekennzeichnet, die Stelle der Probenentnahme an der inneren Kieme mit einem grünen Stern. In diesem Stück Mantel sind auch die Ein- und Ausflussöffnungen für das Wasser enthalten, die sogenannten Siphone, welche anhand kleiner Zacken erkennbar sind.

Das Geschlecht der Muscheln konnte meist bereits an der Farbe des Körpers bestimmt werden, der Viszeralsack männlicher Muscheln ist leicht rosa gefärbt, derjenige weiblicher Muscheln eher orange. Tragende Weibchen konnten anhand der deutlich verdickten äußeren Kiemen, in denen sich Brutbeutel, sog. Marsupia, mit sich zu Larven (Glochidien) entwickelnden Eiern befinden, erkannt werden. Die Marsupien mit den Glochidien sind ausschließlich in den äußeren Kiemen vorhanden (Aldridge 1999).

Anschließend wurde der Weichteilanteil der Muschel vorsichtig mit einer Skalpellklinge von den Schalen abgelöst und das Viszeral- sowie das Schalengewicht bestimmt. Weiterführend wurde ein ca. 5 mm breiter Streifen des Viszeralsackes von posterior-dorsal nach anterior-ventral herausgeschnitten (siehe Abb. 6) und mit den zuvor schon entnommenen Stücken von Kieme und Mantel in eine histologische Kasette überführt (siehe Abb. 7) und mit 4%igem gepuffertem Formalin fixiert. Aus diesen Proben wurden anschließend histologische Schnitte für weitergehende Untersuchungen angefertigt, deren Auswertung aber nicht Teil dieser Arbeit ist.

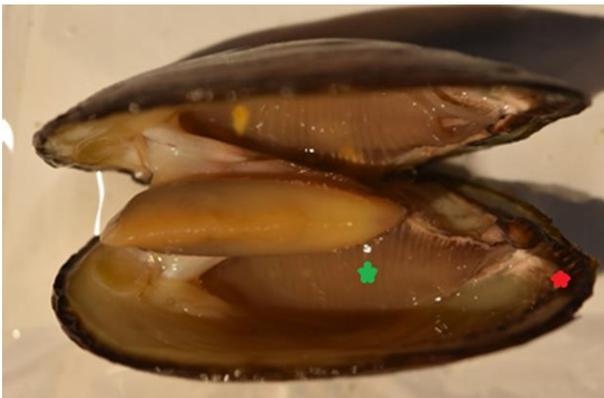


Abb. 5 - Stellen der Probenentnahme aus Mantel (roter Stern) und Kieme (grüner Stern)



Abb. 6 - durchtrennte Muschel zur Gewinnung der histologischen Proben



Abb. 7 - Proben der Muscheln in einer histologischen Kassette; von oben nach unten: Kiemen ohne (links) und mit (rechts) Glochidien, Mantel und Stück des Viszeralsacks mit den darin enthaltenen Organen

Nach Sicherstellung dieser Proben begann die lichtmikroskopische Untersuchung (Olympus BX 53, Olympus Austria) der Muscheln. Die Viszera der Muscheln wurden in eine Petrischale überführt und mittels destilliertem Wasser feucht gehalten, um eine Austrocknung zu verhindern. Für die lichtmikroskopische Beurteilung wurden Quetschpräparate von Kieme, Mantel, Verdauungsdrüse und Gonaden angefertigt und bei 100-facher Vergrößerung untersucht. Auffällige Strukturen wurden dann mit 400-facher Vergrößerung genauer untersucht und fotografisch mithilfe der Olympus digital camera DP72 (Olympus Austria) und Cell sense standard Software (Olympus Austria) festgehalten.

Zur Untersuchung der Kiemen wurde ein 5x5 mm großes Stück Kieme aus der Mitte der äußeren Kieme herausgeschnitten, auf einen Objektträger überführt und mit einem Deckglas gequetscht. Wenn die äußeren Kiemen voller Glochidien waren, so dass kaum noch Kiemengewebe erkennbar war, wurde außerdem ein weiteres Kiemenstück einer inneren Kieme zur Untersuchung herangezogen. Besonders auffällige Stellen, beispielsweise mit Pigmentierung, wurden zusätzlich untersucht.

Vom Mantel wurde eine Gewebeprobe im Bereich posterior hinter den Siphonen, an jener Stelle, die Pigmentflecken aufwies, genommen. Dabei wurde auf einer Fläche von 5x5 mm mittels einer Skalpellklinge 3x darüber geschabt und das so gewonnene Material auf einen Objektträger überbracht und mittels Deckglases abgedeckt.

Auch aus den Gonaden und der Verdauungsdrüse wurde jeweils ungefähr mittig ein 5x5 mm großes Stück herausgeschnitten und auf einen Objektträger aufgetragen und mit einem Deckglas gequetscht. Anhand der in den Gonaden vorhandenen Gameten konnte das Geschlecht bestimmt bzw. verifiziert werden.

Alle Präparate wurden systematisch mäanderförmig untersucht, die Anzahl der jeweiligen Parasiten wurde im gesamten Präparat ermittelt. Anhand morphologischer Kriterien sollte eine taxonomische Einordnung auf die jeweils mögliche systematische Stufe erfolgen. Mobile Milbenstadien (Adulte, Deutonymphen) wurden gemeinsam gezählt.

Das Augenmerk lag bei diesen Untersuchungen auf der qualitativen und quantitativen Bestimmung von Parasiten und in welchem Organ sie sich aufhalten, aber auch auf der Geschlechtsbestimmung der Muscheln. Zum Schluss wurden von jeder Muschel Proben rückgestellt und eingefroren, um bei Bedarf weitere Untersuchungen vornehmen zu können.

2.3 Statistik

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mittels Microsoft Excel 2016. Es wurden der Mittelwert, der Median die Standardabweichung, die Spannweite und die Quartile berechnet. Das nullte Quartil entspricht dem Minimum, das zweite dem Median und das vierte dem Maximum. Das erste und dritte Quartil entsprechen der 25 % und 75 % Grenze. Daher werden in den Ergebnissen nur diese zwei Werte separat angegeben. Beim t-Test wurde $p \leq 0,05$ als signifikant bestimmt. Der Maßkorrelationskoeffizient r trifft eine Aussage darüber, wie stark zwei Wertgruppen zusammenhängen. Bei Werten nahe null besteht keine Korrelation, ab $|r| = 0,1$ besteht eine schwache Korrelation, bei $|r| = 0,3$ eine mittlere Korrelation und für Werte $|r| = 0,5$ oder größer besteht eine starke Korrelation (Cohen 1988).

Für lineare Zusammenhänge wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt und ergab dann eine Gleichung im Format $y = kx + d$, wobei k für die Steigung und d für den Achsenabschnitt steht. Das Bestimmtheitsmaß gibt an, wie genau diese lineare Annäherung die Werte vorhersagt.

Für die Beurteilung der Stärke des Parasitenbefalls wurde ein Scoringsystem definiert. Die verschiedenen Parasiten wurden entsprechend ihrer Anzahl beurteilt. Ein geringgradiger (ggr.) Befall wurde mit dem Grad 1 und einer Anzahl von einem bis zehn Parasiten pro Muschel definiert. Ein mittelgradiger (mgr.) Befall wurde mit dem Grad 2 und einer Anzahl von elf bis 30 Parasiten bestimmt und für einen hochgradigen (hgr.) Befall Grad 3 waren mehr als 30 Parasiten pro Muschel notwendig. Konnte kein Exemplar des jeweiligen Parasiten

nachgewiesen werden, erhielt die Muschel einen Grad 0. Diese Graduierung wurde für jeden Parasiten einzeln bestimmt und dann als Gesamtparasitenscore summiert.

Für die Berechnung, ob ein Unterschied in der Anzahl infizierter Muscheln in der Our und in der Sauer besteht, wurde der χ^2 -Unabhängigkeitstest durchgeführt. Für die statistische Auswertung der Parasitenscores wurde der Mann-Whitney-U-Test sowie der H-Test verwendet. Für den Vergleich zweier Gruppen, in diesem Fall Parasit vorhanden oder nicht vorhanden, wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Waren es mehr als zwei Gruppen, dies war insbesondere für die Auswertung des Gesamtparasitenscores von Bedeutung, wurde der Kruskal-Wallis-Test, auch genannt H-Test, angewendet. Das Signifikanzniveau wurde für alle Analysen auf 5 % bzw. $p \leq 0,05$ gesetzt.

Die Schalendefekte wurden mit Hilfe von ImageJ, ein in Java programmiertes Programm zur Bildverarbeitung, mit dem auch das Vermessen von Flächen in Bildern möglich ist, ausgewertet (Abràmoff et al. 2004). Damit wurde die Gesamtfläche einer Muschelschale bestimmt (siehe Abb. 8), sowie die Fläche des Defekts (siehe Abb. 9) und mithilfe der durch das Programm angegebene Messergebnisse (siehe Abb. 10) dann der prozentuelle Anteil des Defekts an der Gesamtfläche bestimmt. Bis 10 % wurde der Defekt als ggr. eingestuft und als Grad 1 bezeichnet. Der Grad 2, also mgr. Schalendefekte, wurden von 10,1 – 20 % definiert. Defekte >20 % wurden als hgr. und mit einem Grad 3 eingestuft. Um diese Messungen auszuführen, waren Fotos möglichst im rechten Winkel von der Seite notwendig. Wenn besonders tiefe Läsionen von über 2 mm vorhanden waren, wurde dies zusätzlich angeführt.



Abb. 8 - Vermessung des Schalendefekts



Abb. 9 - Vermessung der gesamten Schalenfläche

Results					
File	Edit	Font	Results		
	Area	Mean	Min	Max	
1	453156	71.616	20	255	
2	51147	118.001	27	251	

Abb. 10 - Ergebnisse der Vermessung

Aus der Gesamtfläche und der Summe aller auf der Schalenhälfte vorhandener Defekte wurde die prozentuale Größe des Schalendefekts berechnet.

3. Ergebnisse

Zuerst wurden die statistischen Kenngrößen der Muscheln, wie Größe, Viszeralgewicht und Geschlecht, ausgewertet. Danach wurden die ermittelten Parasitenscores damit in Verbindung gebracht. Da Größe und Viszeralgewicht stark miteinander korrelierten, wurde die statistische Auswertung nur in Bezug auf das Viszeralgewicht durchgeführt, da dort das Problem von Rangleichheit weniger gegeben war. Bei allen Berechnungen, die sich nur auf weibliche oder männliche Muscheln bezogen, bzw. auf die Unterschiede zwischen ihnen, wurden die Daten der Zwitter sowie der Muscheln ohne definiertes Geschlecht weggelassen, da bei ihnen keine eindeutige Geschlechtszuordnung möglich war.

Bei den erfolgten Untersuchungen konnten mehrere verschiedene Parasiten nachgewiesen werden. Es konnten bereits bekannte Parasiten wie *Conchophthirus* sp., *Trichodina* sp. und *Rhipidocotyle* sp. nachgewiesen werden. Auch eine bisher noch nicht bekannte *Unionicola*-Spezies, *Unionicola sauerensis* sp. nov., wurde im Zuge dieser Untersuchungen entdeckt und in weiterer Folge klassifiziert. Ebenso wurden Bitterlingslarven in einigen Muscheln nachgewiesen. Neben *Conchophthirus* sp. wurden noch weitere, kleinere Ciliaten nachgewiesen, die jedoch nicht weiter klassifiziert werden konnten.

Im Folgenden werden die detaillierten Ergebnisse sowie die statistischen Auswertungen hinsichtlich eines Vergleichs der beiden Populationen und der Korrelation einzelner Parameter miteinander dargelegt. Einen allgemeinen Überblick über diese Ergebnisse bietet Tabelle (Tab.) 1.

Tab. 1: Übersicht Parasiten

Parasit	Prävalenz Our	Prävalenz Sauer	Signifikanter Unterschied ¹	Einfluss auf Viszeralgewicht
Milben (alle Stadien)	46,7 %	96,7 %	ja	nicht sign. ²
Bitterlingslarven	0 %	20 %	ja	nicht sign. ²
<i>Conchophthirus</i> sp.	26,7 %	43,3 %	nein	nicht sign. ²
Kleine Ciliaten	20 %	16,7 %	nein	nicht sign. ²
<i>Trichodina</i> sp.	10 %	10 %	nein	nicht sign. ²
<i>Rhipidocotyle campanula</i>	0 %	3,3 %	n.d. ³	n.d. ³

Legende Tab. 1:

¹ signifikanter Unterschied zwischen Our und Sauer bezüglich der Anzahl infizierter Muscheln

² nicht signifikant

³ nicht durchgeführt

3.1 Größe

Die Muscheln aus der Our wiesen eine Größe von 4,0 cm bis 6,4 cm auf. Der Mittelwert betrug 5,44 cm und die Standardabweichung 0,51 cm. Die Spannweite betrug 2,4 cm. Das erste Quartil lag bei 5,03 cm und das dritte Quartil bei 5,78 cm. Der Median lag bei 5,5 cm (siehe Abb. 11).

Die männlichen Muscheln der Our hatten eine Größe von 5,0 cm bis 5,8 cm, mit einem Mittelwert von 5,4 cm und einem Median von 5,45 cm. Die Standardabweichung betrug 0,29 cm. Die Spannweite umfasste 0,8 cm. Das erste Quartil lag bei 5,23 cm und das dritte Quartil bei 5,55 cm. Die weiblichen Muscheln der Our wiesen eine Größe von 4,0 cm bis 6,4 cm auf. Der Mittelwert lag bei 5,48 cm, die Standardabweichung bei 0,58 cm und die Spannweite bei 2,4 cm. Die erste Quartilsgrenze lag bei 5,1 cm und die dritte Quartilsgrenze bei 6,0 cm. Die Muschel ohne erkennbare Gonaden war 5,0 cm lang.

Wurde die **Größe der männlichen und weiblichen Muscheln** aus der Our mittels t-Test verglichen, konnte **kein signifikanter Unterschied** nachgewiesen werden.

Die Muscheln aus der Sauer hatten eine Größe von 4,5 cm bis 6,2 cm und wiesen somit eine Spannweite von 1,7 cm auf. Der Mittelwert lag bei 5,36 cm, der Median bei 5,45 cm und die Standardabweichung betrug 0,44 cm. Die Quartilsgrenze des ersten Quartils lag bei 5,05 cm und die des dritten Quartils bei 5,5 cm (siehe Abb. 11).

Die männlichen Muscheln der Sauer waren von 4,5 cm bis 6,2 cm groß. Der Mittelwert betrug 5,35 cm, der Median 5,5 cm und die Standardabweichung 0,48 cm. Das erste Quartil lag bei 5,0 cm und das dritte Quartil lag bei 5,5 cm. Die weiblichen Muscheln der Sauer maßen zwischen 4,6 cm und 6,2 cm. Der Mittelwert lag bei 5,37 cm, der Median bei 5,3 cm und die Standardabweichung bei 0,42 cm. Die erste Quartilsgrenze lag bei 5,2 cm und die dritte Quartilsgrenze bei 5,5 cm. Die beiden Zwitter wiesen eine Größe von 5,4 cm und 5,8 cm auf. Die Muschel ohne erkennbare Gonaden war 4,7 cm lang.

Der t-Test ergab **keinen signifikanten Unterschied** zwischen der **Größe weiblicher und männlicher Muscheln** in der Sauer.

Zudem wurden die **Muscheln der Our und der Sauer** bezüglich ihrer **Größe** verglichen. Der t-Test ergab **keinen signifikanten Unterschied**.

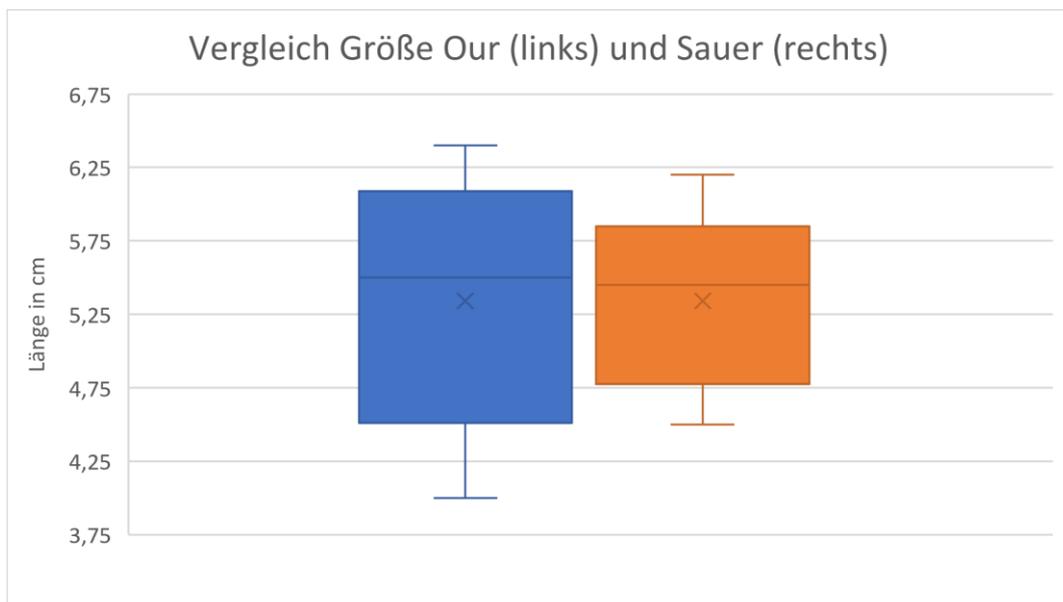


Abb. 11 - Boxplot-Diagramm zur Darstellung der Quantile der Muschellänge in cm von den Muscheln aus der Our und Sauer

3.2 Viszeralgewicht

Das Viszeralgewicht der Muscheln aus der Our betrug von 2,82 g bis 7,99 g und umfasste eine Spannweite von 5,61 g. Der Mittelwert lag bei 5,29 g, der Median bei 5,28 g und die Standardabweichung bei 1,39 g. Das erste Quartil lag bei 4,14 g und das dritte Quartil bei 6,30 g (siehe Abb. 12).

Die männlichen Muscheln der Our hatten ein Viszeralgewicht von 4,09 g bis 6,30 g. Der Mittelwert lag bei 5,01 g und die Standardabweichung bei 0,73 g. Der Median lag bei 5,06 g, das erste Quartil bei 4,52 g und das dritte Quartil bei 5,37 g. Die weiblichen Muscheln hatten ein Viszeralgewicht von 2,38 g bis 7,99 g. Der Mittelwert lag bei 5,39 g und die Standardabweichung bei 1,58 g. Der Median betrug 5,32 g, das erste Quartil 4,13 g und das dritte Quartil 6,73 g. Der t-Test ergab **keinen signifikanten Unterschied** zwischen dem **Viszeralgewicht männlicher und weiblicher Muscheln** aus der Our.

Das Viszeralgewicht der Muscheln aus der Sauer betrug von 2,40 g bis 10,60 g und wies somit eine Spannweite von 8,20 g auf. Der Mittelwert lag bei 5,33 g, der Median bei 5,20 g und die Standardabweichung bei 1,69 g. Die Quartalsgrenze lag beim ersten Quartil bei 4,03 g und beim dritten Quartil bei 6,54 g (siehe Abb. 12).

Die männlichen Muscheln der Sauer waren von 3,47 g bis 10,60 g schwer, was einer Spannbreite von 7,13 g entsprach. Der Mittelwert betrug 5,48 g, der Median 4,92 g und die Standardabweichung 1,86 g. Das erste Quartil lag bei 4,20 g und das dritte Quartil bei 6,09 g. Die weiblichen Muscheln wiesen ein Viszeralgewicht von 2,40 g bis 7,24 g auf, dies entsprach einer Spannbreite von 4,84 g. Der Mittelwert lag bei 5,10 g, der Median bei 5,39 g und die Standardabweichung bei 1,62 g. Die erste Quartilsgrenze betrug 3,78 g und die dritte 6,58 g. Die Zwitter hatten ein Viszeralgewicht von 6,94 g und 5,54 g. Die Muschel ohne erkennbare Gonaden hatte ein Viszeralgewicht von 3,79 g. Der t-Test ergab **keinen signifikanten Unterschied des Viszeralgewichts** zwischen **weiblichen und männlichen Muscheln** der Sauer.

Der Vergleich des **Viszeralgewichts** der Muscheln aus der **Our** und **aus der Sauer** ergab mittels t-Test **keinen signifikanten Unterschied**.

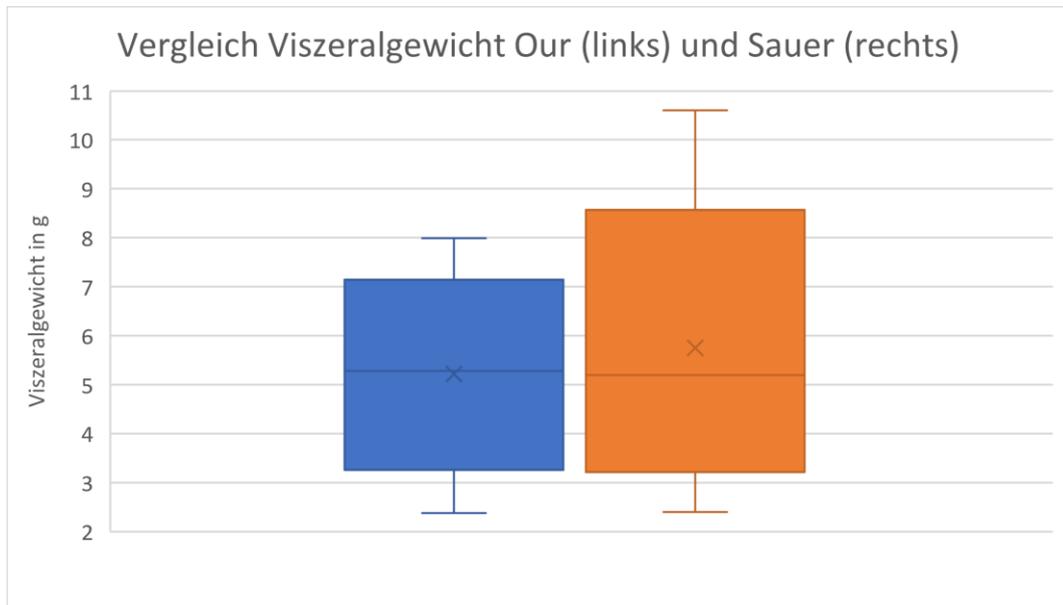


Abb. 12 - Boxplot-Diagramm zur Darstellung der Quantile des Visceralgewichts in g von den Muscheln aus der Our und Sauer

3.3 Zusammenhang Größe und Visceralgewicht

Der Maßkorrelationskoeffizient r ergab bei den Muscheln aus der **Our** einen **deutlichen Zusammenhang zwischen Größe und Gewicht** der Muscheln. Mittels Regressionsanalyse konnte die Annäherung $y = 0,31x + 3,83$ ermittelt werden (siehe Abb. 13). Das Bestimmtheitsmaß betrug 0,69.

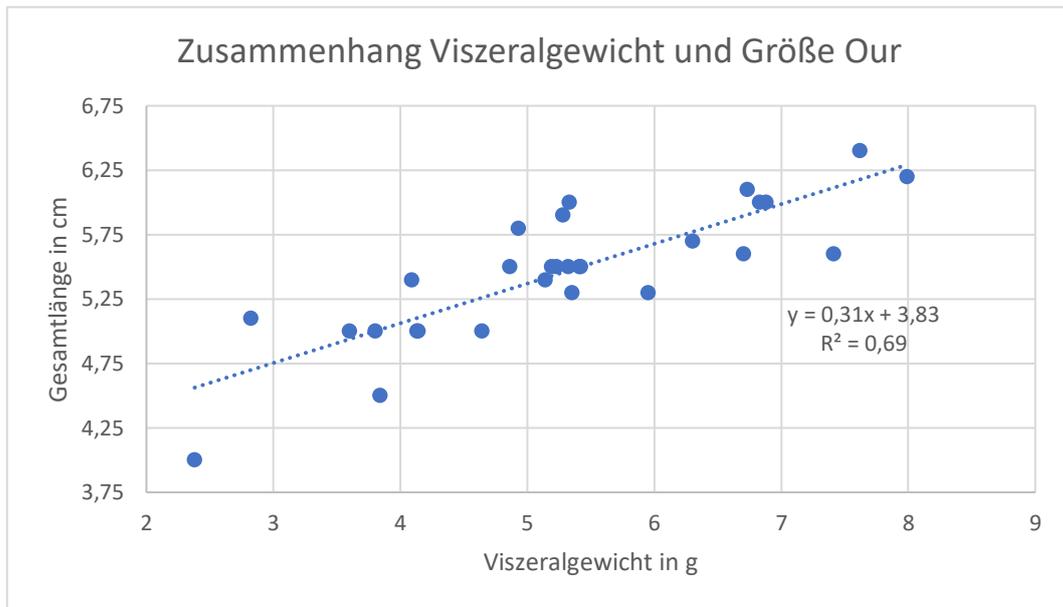


Abb. 13 - graphische Darstellung der Größen- und Gewichtsverhältnisse in der Our

Der Maßkorrelationskoeffizient r ergab bei den Muscheln der **Sauer** ebenfalls einen **deutlichen Zusammenhang zwischen Größe und Viszeralgewicht**. Die mittels Regressionsanalyse ermittelte Annäherung lautete $y = 0,17x + 4,44$ (siehe Abb. 14). Das Bestimmtheitsmaß betrug 0,43.

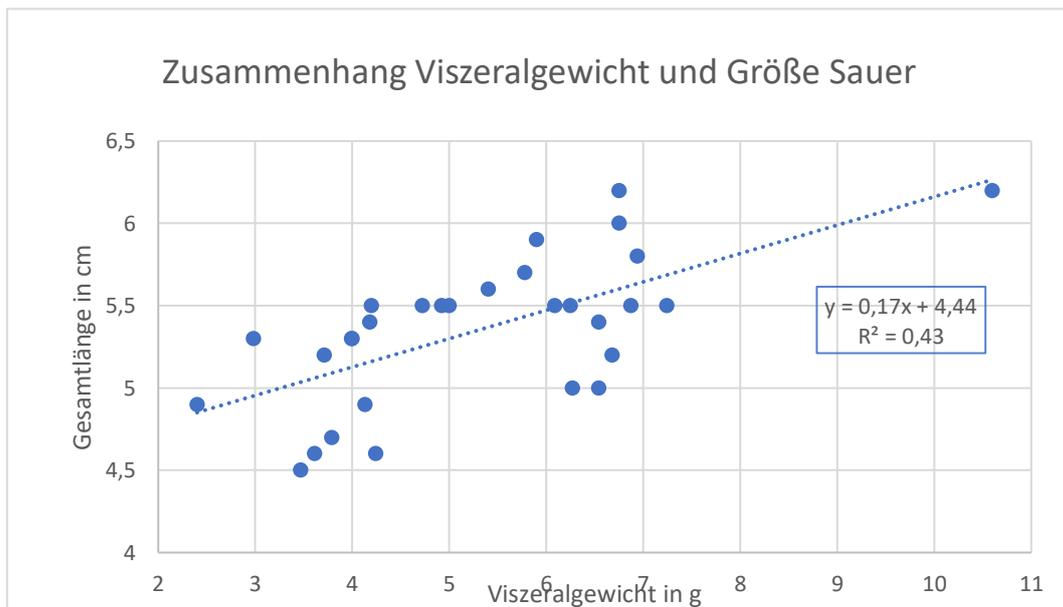


Abb. 14 - graphische Darstellung der Größen- und Gewichtsverhältnisse in der Sauer

3.4 Schalengewicht

Das Schalengewicht der Muscheln aus der Our betrug 5,01 g bis 19,26 g. Die Spannweite betrug 14,25 g, der Mittelwert 12,15 g, der Median 11,83 g und die Standardabweichung 3,77 g. Das erste Quartil lag bei 8,77 g und das dritte Quartil bei 15,38 g.

Die Schalen von männlichen Muscheln wogen 8,62 g bis 16,90 g, dies entsprach einer Spannweite von 8,28 g. Der Mittelwert lag bei 12,14 g, der Median bei 11,82 g und die Standardabweichung bei 2,51 g. Das erste Quartil lag bei 10,93 g und das dritte Quartil bei 13,11 g. Die Schalen der weiblichen Muscheln wogen 5,01 g bis 19,26 g, dies entsprach einer Spannweite von 14,25 g. Der Mittelwert lag bei 12,41 g, der Median bei 12,15 g und die Standardabweichung bei 4,06 g. Das erste Quartil lag bei 8,50 g und das dritte Quartil bei 15,57 g. Der t-Test ergab **keinen signifikanten Unterschied** zwischen dem **Schalengewicht männlicher und weiblicher Muscheln** aus der Our.

Das Schalengewicht der Muscheln aus der Sauer betrug 3,80 g bis 17,47 g. Die Spannweite betrug 13,67 g, der Mittelwert 10,09 g, der Median 10,35 g und die Standardabweichung 3,01 g. Das erste Quartil lag bei 8,02 g und das dritte Quartil bei 12,34 g.

Die männlichen Muschelschalen wogen 3,80 g bis 14,07 g, dies entsprach einer Spannweite von 10,27 g. Der Mittelwert lag bei 9,56 g, der Median bei 9,93 g und die Standardabweichung bei 3,15 g. Das erste Quartil lag bei 7,01 g und das dritte Quartil bei 11,25 g. Die Schalen der weiblichen Muscheln wogen 5,21 g bis 17,47 g, dies entsprach einer Spannweite von 12,26 g. Der Mittelwert lag bei 10,53 g, der Median bei 10,35 g und die Standardabweichung bei 2,89 g. Das erste Quartil lag bei 8,51 g und das dritte Quartil bei 12,41 g. Der t-Test ergab **keinen signifikanten Unterschied** zwischen dem **Schalengewicht männlicher und weiblicher Muscheln** aus der Sauer.

Der Mann-Whitney-U-Test ergab, dass sich das Schalengewicht der Muscheln aus der Our **signifikant** von jenem aus der Sauer unterschied. Die **Muschelschalen aus der Sauer waren leichter als jene aus der Our**. Der Maßkorrelationskoeffizient ergab einen **starken Zusammenhang** zwischen dem **Schalengewicht und dem Viszeralgewicht** der Muscheln und einen noch **stärkeren Zusammenhang** zwischen dem **Schalengewicht und der Länge** der Muscheln.

3.5 Geschlecht

Das Geschlecht wurde lichtmikroskopisch durch die Beurteilung der Gameten in den Gonaden bestimmt. Im Zuge der Untersuchungen konnten die unterschiedlichen Entwicklungsstadien der weiblichen Gameten in Ovarien und den Marsupien beobachtet werden. Es waren nur die äußeren Kiemen mit Glochidien besetzt, die inneren Kiemen blieben frei.

Bei den Tieren aus der Our handelte es sich um acht männliche, 21 weibliche sowie eine Muschel, bei der die Gonaden nicht entwickelt waren.

Bei den Muscheln aus der Sauer war das Verhältnis ausgeglichener, es handelte sich um 13 männliche und 14 weibliche Muscheln, sowie zwei Zwitter und eine Muschel, bei der das Geschlecht aufgrund fehlender Gonaden nicht bestimmt werden konnte.

Bei beiden Zwittern waren im Gonadengewebe Acini mit sowohl männlichen als auch solche mit weiblichen Gameten zu finden. Eine genauere histologische Auswertung wurde einer Folgestudie überlassen.

Abb. 15 zeigt das Verhältnis zwischen Größe und Viszeralgewicht farblich nach Geschlecht sortiert. Die Muschel ohne erkennbare Gonaden und einer Größe von 5,0cm fehlt in der Abbildung, da das Viszeralgewicht nicht dokumentiert wurde.

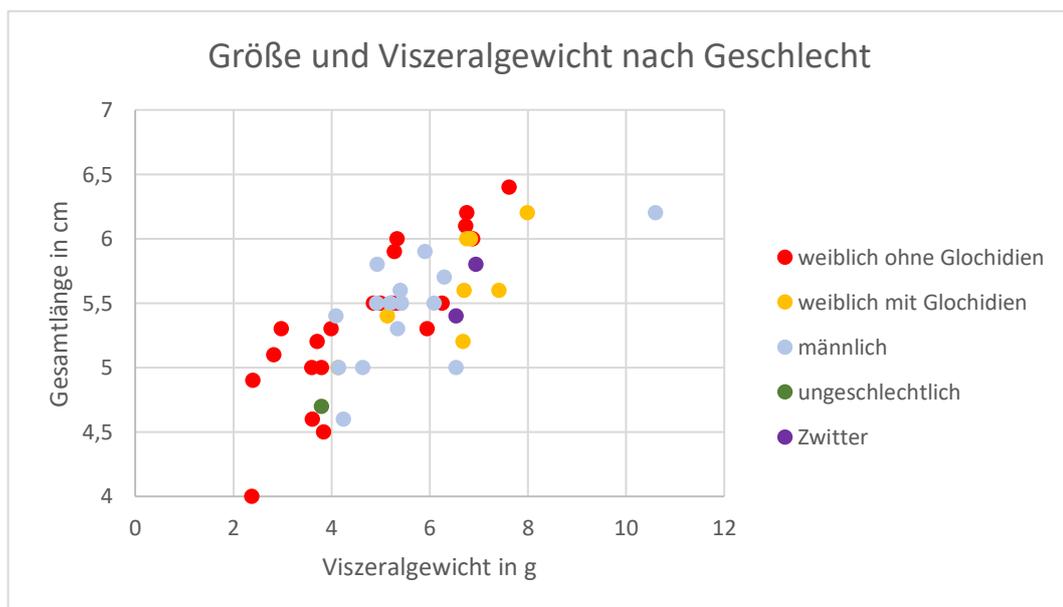


Abb. 15 - Größe und Viszeralgewicht dargestellt in Abhängigkeit des Geschlechts

3.6 Glochidien

In sechs der 21 weiblichen Muscheln aus der Our konnten Glochidien nachgewiesen werden, dies entspricht einer Prävalenz von 28,6 %.

In zwei der 14 weiblichen Muscheln aus der Sauer konnten Glochidien festgestellt werden, dies entspricht einer Prävalenz von 14,3 %.

Der χ^2 -Unabhängigkeitstest ergab **keinen signifikanten Unterschied** über das **Vorkommen von Glochidien in der Our und in der Sauer**.

Mittels Mann-Whitney-U-Test wurde das Viszeralgewicht von weiblichen Muscheln mit und ohne Glochidien miteinander verglichen. Für die Betrachtung der einzelnen Populationen ist die Stichprobengröße zu klein, um eine Aussage über die Signifikanz zu treffen, beide gemeinsam bieten mit 35 weiblichen Muscheln eine genügend große Stichprobe. Es besteht ein **signifikanter Unterschied** zwischen dem **Viszeralgewicht weiblicher Muscheln mit und ohne Glochidien**, es herrscht eine mittlere Effektstärke. Es besteht eine **positive Korrelation**, das heißt, Muscheln mit Glochidien sind tendenziell schwerer als Muscheln ohne Glochidien (siehe Abb. 16).

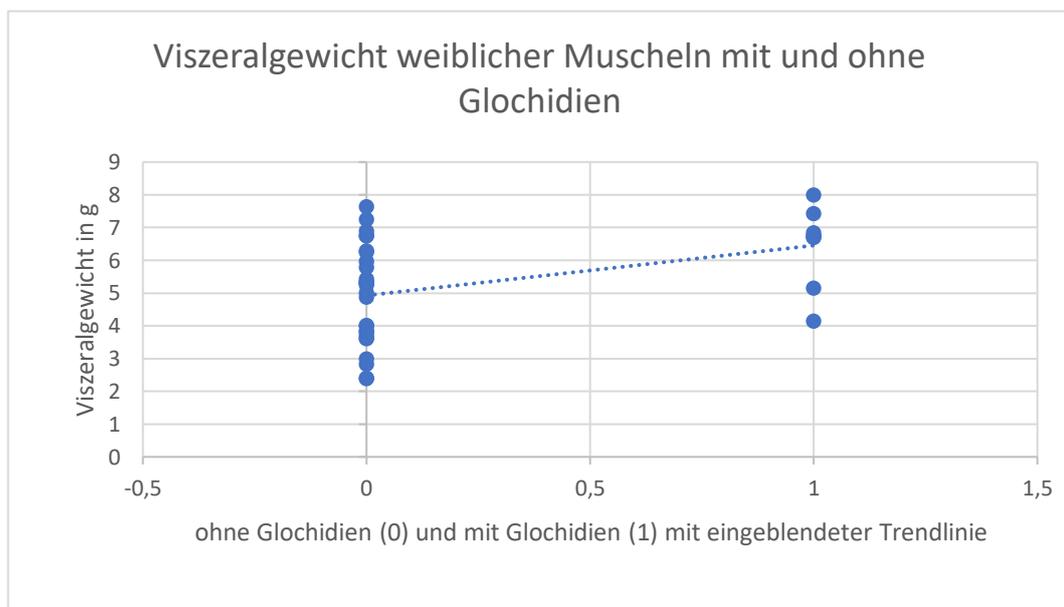


Abb. 16 - Darstellung des Viszeralgewichts weiblicher Muscheln ohne Glochidien (0) und mit Glochidien (1) mit eingeblendeter Trendlinie

3.7 Schalendefekte

Alle Muscheln wiesen Schalendefekte auf, die eingestuft wurden als Grad 1 (ggr. Defekt mit bis zu 10 % der Schalenoberfläche betroffen), Grad 2 (mgr. Defekt mit 10,1-20 % der Schalenoberfläche betroffen) und Grad 3 (hgr. Defekt, mehr als 20 % der Schalenoberfläche beschädigt).

Bei den Muscheln aus der Our wurden 14 Schalendefekte dem Grad 1 zugeteilt (siehe Abb. 17), weitere neun erhielten einen Grad 2 (siehe Abb. 18) und sechs erhielten einen Grad 3 (siehe Abb. 19). Bei einer Muschel waren die Fotos nicht zur Auswertung geeignet. Zwei Muscheln wiesen außerdem sehr tiefe Läsionen auf (siehe Abb. 20), jeweils eine mit Grad 2 und eine mit Grad 3.

Bei Muscheln aus der Sauer wurde 17 Exemplaren ein Grad 1 zugeteilt, wobei die Defekte bei drei Muscheln tief waren. Sieben Muscheln bekamen einen Grad 2, vier davon wiesen tiefe Beschädigungen auf und von diesen waren zwei perforierend. Zwei Muscheln wurden dem Grad 3 zugeteilt, sie wiesen beide sehr tiefe Läsionen auf. Bei vier Muscheln waren die Fotos nicht zur Auswertung geeignet. Die Anzahl Muscheln je Graduierung ist in Tab. 2 dargestellt.

Die mittels Mann-Whitney-U-Test durchgeführten Berechnungen ergaben, dass die vorkommenden **Grade sich zwischen Our und Sauer nicht signifikant unterscheiden.**



Abb. 17 - Muschel mit ggr. Schalendefekt

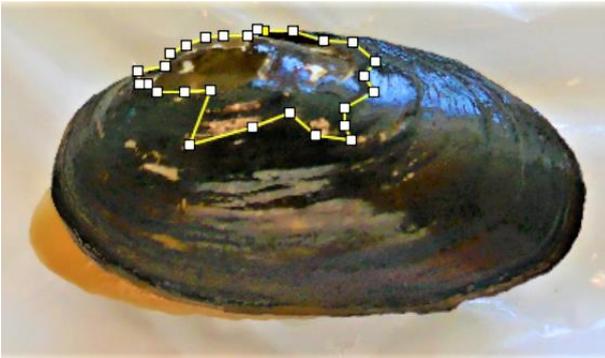


Abb. 18 - Muschel mit mgr. Schalendefekt



Abb. 19 - Muschel mit hgr. Schalendefekt



Abb. 20 - Muschel mit tiefem, beinahe durchbrechendem Schalendefekt

Tab. 2: Anzahl der Muscheln je Fluss in den verschiedenen Graduierungen der Schalendefekte

Grad des Schalendefekts	Anzahl Muscheln Our	Anzahl Muscheln Sauer
1	14	17
2	9	7
3	6	2

Die **Länge der Muscheln und das Schalengewicht korrelierten sehr stark** miteinander. Es wurde auch der Maßkorrelationskoeffizient für den Zusammenhang zwischen Schalendefekt und Schalengewicht berechnet. Bei den Muscheln aus der **Our** konnte **keine Korrelation zwischen Schalendefekt und Schalengewicht** festgestellt werden (siehe Abb.21). Bei den Muscheln aus der **Sauer** konnte eine **mittlere positive Korrelation** festgestellt werden, je größer und schwerer die Muschelschalen waren, umso größer war auch der Schalendefekt (siehe Abb. 22).

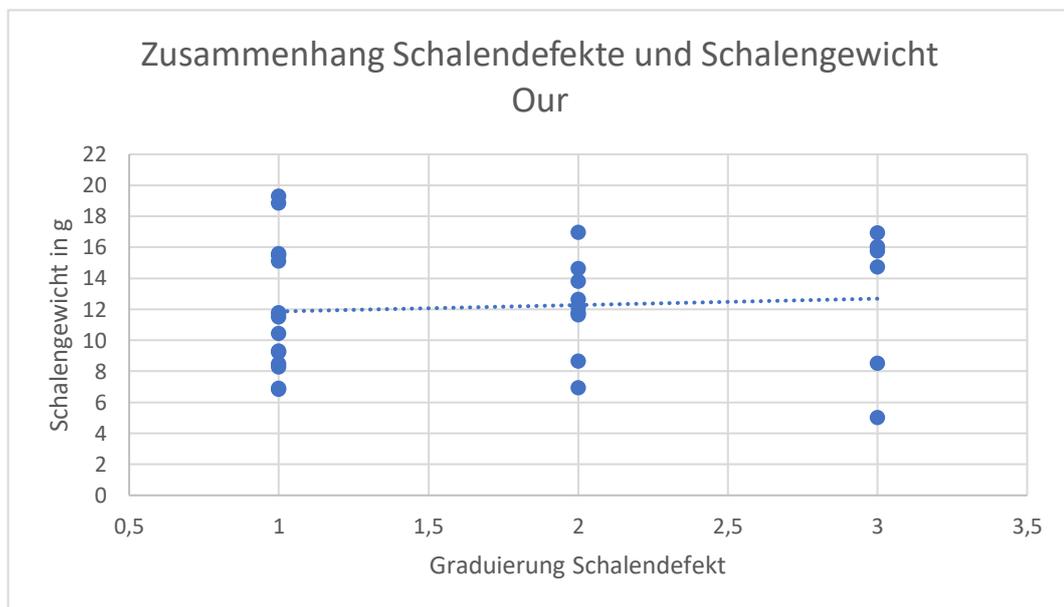


Abb. 21 - Darstellung der Graduierung des Schalendefekts im Vergleich zum Schalengewicht der Muscheln aus der Our mit eingeblendeter Trendlinie

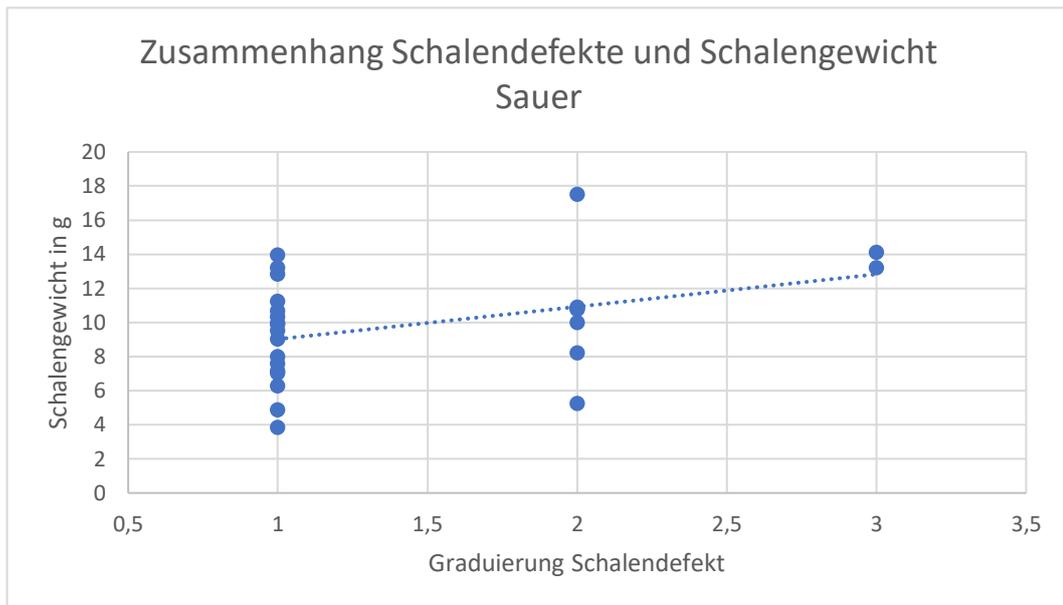


Abb. 22 - Darstellung der Graduierung des Schalendefekts im Vergleich zum Schalengewicht der Muscheln aus der Sauer mit eingeblendeter Trendlinie

Zudem wurde mittels Maßkorrelationskoeffizient berechnet, ob ein Zusammenhang zwischen dem Grad des **Schalendefekts** und dem **Parasiten-Gesamtscore** besteht. Es konnte **kein Zusammenhang** festgestellt werden.

Mittels Mann-Whitney-U-Test wurde festgestellt, dass die **Grade der Schalendefekte** der Muscheln aus der **Our** sich **nicht signifikant** von jenen der Muscheln aus der **Sauer unterscheiden**.

Mittels H-Test konnte **kein signifikanter Zusammenhang** zwischen dem **Viszeralgewicht** der Muscheln und den verschiedenen **Graduierungen der Schalendefekte** nachgewiesen werden.

3.8 Wassermilben (Hydrachnidia, Acari)

Sowohl in der Our als auch in der Sauer konnten Stadien von Wassermilben festgestellt werden. Die Unterscheidung in adulte Milben (Abb. 23) und mobile Nymphen (Abb. 24) erfolgte nur an Einzelexemplaren, da dafür jede Milbe einzeln untersucht hätte werden müssen. Somit wurden die gezählten Stadien in mobile Stadien (adulte Milben Abb. 23 und Nymphen Abb. 24), Larven (Abb. 25, 26) und Eier (Abb. 27) eingeteilt.

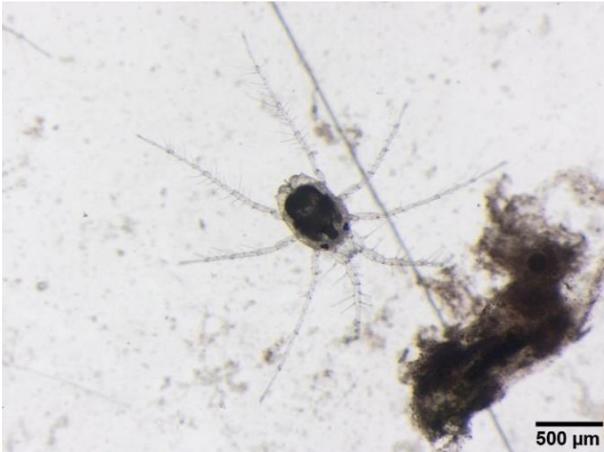


Abb. 23 - stereomikroskopische Aufnahme einer adulten Milbe



Abb. 24 - stereomikroskopische Aufnahme einer Nympe

Keine der 30 Muscheln aus der Our war mit mobilen Milbenstadien befallen. Bei elf Muscheln konnten Milbenlarven gefunden werden, dies entspricht einer Prävalenz von 36,7 %. Neun dieser Muscheln waren einem Grad 1 und zwei Muscheln einem Grad 3 zuzuordnen. Die Milbenlarven befanden sich zu 99,7 % in den Kiemen und nur 0,7 % im Mantelgewebe. Bei neun Muscheln waren Milbeneier zu finden, dies entspricht einer Prävalenz von 30 %. Acht davon wiesen einen Befall 1. Grades auf und eine einen Befall 3. Grades. 25 % der Milbeneier waren in den Kiemen zu finden, 75% im Mantelgewebe.

Bei 28 von 30 Muscheln aus der Sauer konnten mobile Milbenstadien nachgewiesen werden. Dies entspricht einer Prävalenz von 93,3 %. Jeweils acht Muscheln wiesen einen Grad von 1 bzw. 2 auf. Zwölf Muscheln wurden einem Grad 3 zugeteilt. Dies entspricht einem Prozentsatz von 26,7 % bzw. 40 %. Von insgesamt 715 gefundenen mobilen Milbenstadien befanden sich

635 auf dem Mantel, dies entspricht einem Anteil von 88,8 %. Die Milben auf dem Mantel befanden sich hauptsächlich im Bereich der Siphone am posterioren Ende. Acht Prozent befanden sich auf den Kiemen, wo insgesamt 60 Exemplare gefunden wurden. Am wenigsten präsent waren diese Stadien auf dem Viszeralsack mit 2,8 %, entsprechend 20 Exemplaren.

Bei 19 Muscheln konnten Milbenlarven (siehe Abb. 25 und 26) nachgewiesen werden, dies entspricht einer Prävalenz von 63,3 %. Fünfzehn Muscheln wiesen einen Befall 1. Grades auf, vier Muscheln bekamen einen Grad 3 zugeteilt. Von den Milbenlarven befanden sich 92,5 % in den Kiemen und 7,5 % im Mantelgewebe.



Abb. 25 - mikroskopische Ansicht nicht motiler Milbenlarvenstadien

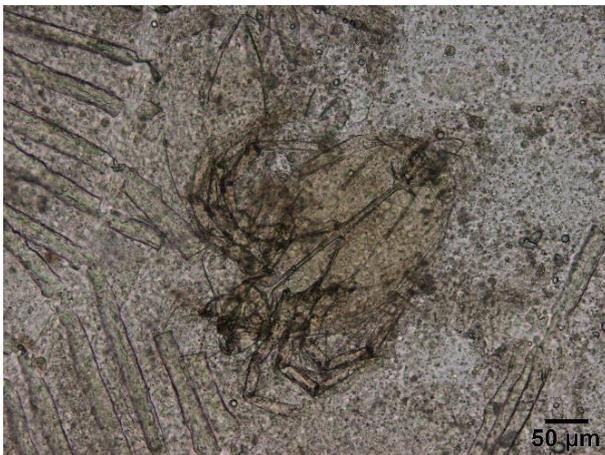


Abb. 26 - mikroskopische Ansicht einer freilegenden Milbenlarve

Bei 23 Muscheln, das entspricht einem Anteil von 76,6 %, wurden Milbeneier (siehe Abb. 27) nachgewiesen. Grad 1 wurde sechs dieser Muscheln zugeteilt, Grad 2 vier Muscheln und 13 Muscheln wiesen eine Befallsstärke von Grad 3 auf. In den Kiemen waren 16,1 % der Milbeneier zu finden, 83,9 % befanden sich im Mantelgewebe.

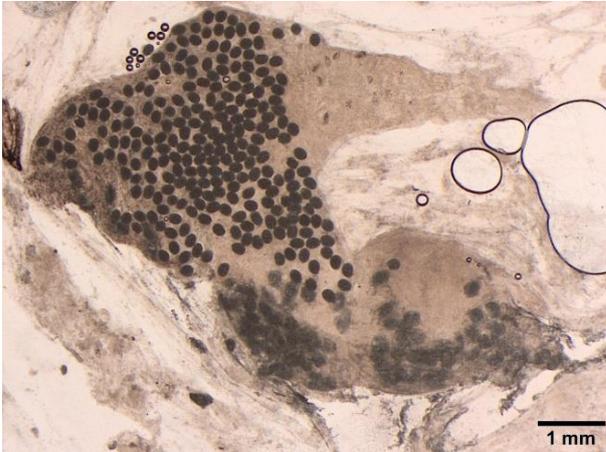


Abb. 27 - Ansammlung von Milbeneiern im Mantel

Nur bei einer einzigen Muschel aus der Sauer konnte kein einziges Milbenstadium nachgewiesen werden.

Für beide Flüsse gemeinsam berechnet befanden sich **94,9 % der Milbenlarven in den Kiemen** und 5,1 % im Mantelgewebe. Die **Milbeneier** befanden sich zu 16,3 % in den Kiemen und **zu 83,7 % im Mantelgewebe**.

Weiterführende Untersuchungen zeigten, dass es sich bei den Milben aus der Sauer um eine noch nicht beschriebene Art des Genus *Unionicola* handelte, welche *Unionicola sauerensis* sp. nov. genannt wurde. Eine entsprechende Publikation, die sich aus der hier vorgelegten Arbeit ergeben hat, wurde bereits veröffentlicht (Lewisch et al. 2021).

Die Anzahl mit Milben infizierter Muscheln sind in Tab. 3 dargestellt, mit der jeweiligen Angabe des Schweregrades.

Tab. 3: Anzahl der Muscheln aus der Our und der Sauer in denen Milbenstadien gefunden wurden unter Berücksichtigung der Befallsgrade

Milbenstadium	Our: Anzahl	Sauer :Anzahl
Adulte und Nymphen gesamt	0	28
Grad 1	0	8
Grad 2	0	8
Grad 3	0	12
Larven gesamt	11	19
Grad 1	9	15
Grad 2	0	0
Grad 3	2	4
Eier gesamt	9	23
Grad 1	8	6
Grad 2	0	4
Grad 3	1	13

Der **Milbengesamtscore der Our unterscheidet sich signifikant vom Milbengesamtscore der Sauer**, die Berechnung wurde mittels Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Die Abb. 28 zeigt den Milbengesamtscore sowie das Viszeralgewicht der einzelnen Muscheln. Blau dargestellt sind die Muscheln der Our, orange diejenigen der Sauer. Auch die Abb. zeigt deutlich den Unterschied der Milbengesamtscores von Our und Sauer.

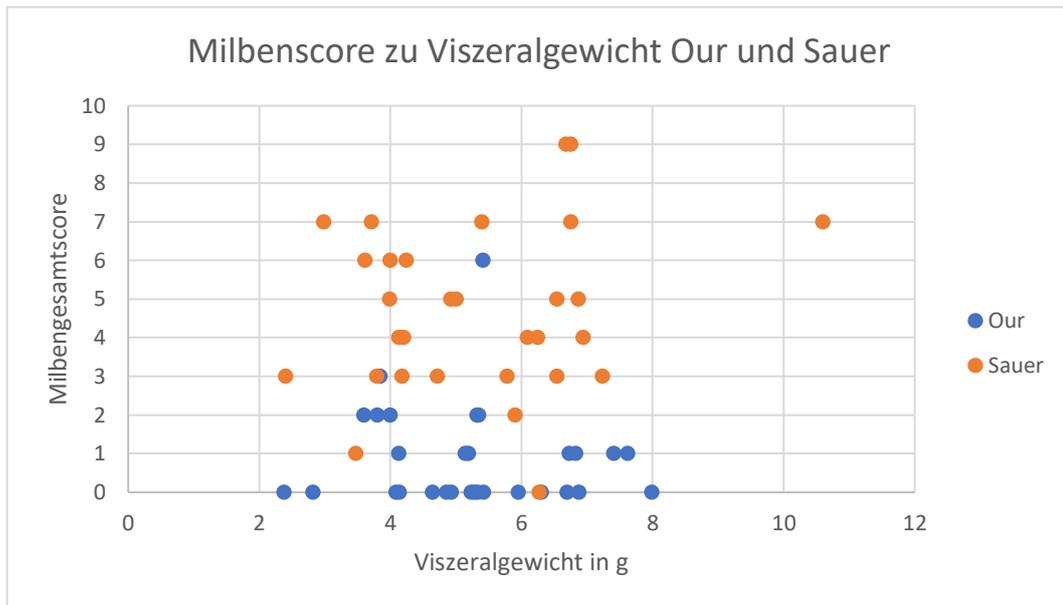


Abb. 28 - Milbengesamtscore beider Populationen von Muscheln

Auch die **Scores für mobile Milbenstadien** unterscheiden sich **signifikant zwischen Our und Sauer**, während für die **Scores der Larven kein signifikanter Unterschied** besteht, jedoch für die **Milbeneier der Unterschied wiederum signifikant** ist.

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen Viszeralgewicht und dem Milbengesamtscore festzustellen, wurde ein H-Test für alle 59 Muscheln, bei denen das Viszeralgewicht bekannt ist, gemeinsam durchgeführt. Dieser ergab, dass sich **die Muscheln verschiedener Scores in Bezug auf das Viszeralgewicht nicht signifikant** unterscheiden.

3.9 Europäischer Bitterling (*Rhodeus amarus*)

In den Kiemen der Bachmuscheln konnten gelbe, tropfenförmige Gebilde nachgewiesen werden, die sich unter dem Stereomikroskop als Fischlarven herausstellten. Aufgrund der geographischen Lokalisation und des spezifischen Wirts wurde davon ausgegangen, dass es sich dabei um Larven des Europäischen Bitterlings, *Rhodeus amarus*, handelte.

Bei den Muscheln aus der Our konnten makroskopisch und stereomikroskopisch keine Bitterlingslarven nachgewiesen werden.

Bei den Muscheln aus der Sauer wurden bei sechs der 30 Tiere Bitterlingslarven (siehe Abb. 29 und 30) nachgewiesen, dies entspricht einer Prävalenz von 20,0 %. Die Larven wurden ausschließlich in den Kiemen nachgewiesen. Abb. 31 zeigt die makroskopische Aufnahme einer Muschel mit Bitterlingen und mobilen Milbenstadien.



Abb. 29 - stereomikroskopische Aufnahme von Bitterlingslarven in Kieme



Abb. 30 - Bitterlingslarven in einer Petrischale unter dem Stereomikroskop

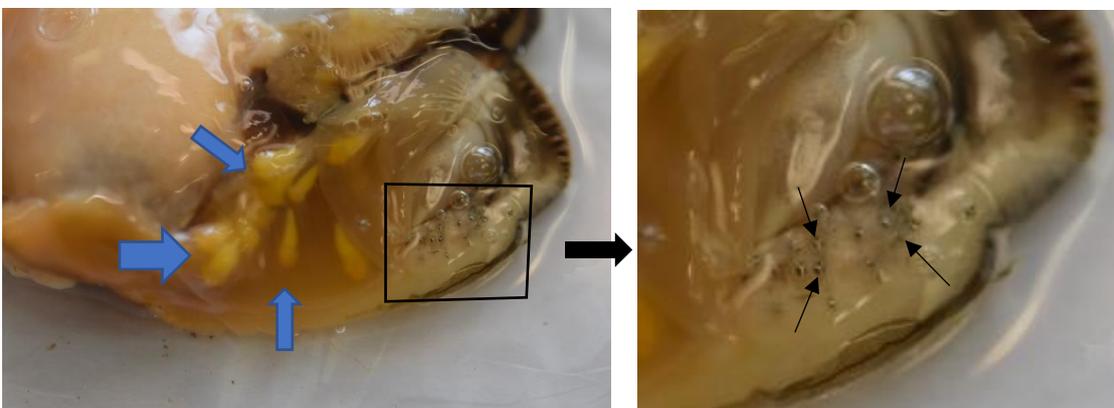


Abb. 31 - makroskopische Aufnahme einer Muschel mit gelben Bitterlingslarven in den Kiemen (blaue Pfeile) und rechts im vergrößerten Bereich des Mantels mobile Milbenstadien (schwarze Pfeile)

Der χ^2 -Unabhängigkeitstest ergab einen **signifikanten Unterschied** über das **Vorkommen von Bitterlingslarven in der Our und in der Sauer**. Mittels Mann-Whitney-U-Test wurde das **Viszeralgewicht** der Muscheln mit und ohne Bitterlingslarven verglichen. Es konnte **kein signifikanter Unterschied** zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden, der r-Wert ergab jedoch trotzdem eine schwach positive Korrelation. Das Viszeralgewicht der Muscheln im Vergleich zum Score des Bitterlingsbefalls ist in Abb. 32 dargestellt. Zwischen dem Viszeralgewicht der Muscheln mit und ohne Bitterlingslarven bestand kein signifikanter Unterschied. Wurde die Länge der Muscheln mit und ohne Bitterlingslarven miteinander verglichen, konnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die mit **Bitterlingslarven befallenen Muscheln** waren **größer als jene ohne Bitterlingslarven**. Des Weiteren wurde festgestellt, dass fünf der sechs befallenen Muscheln männlich waren.

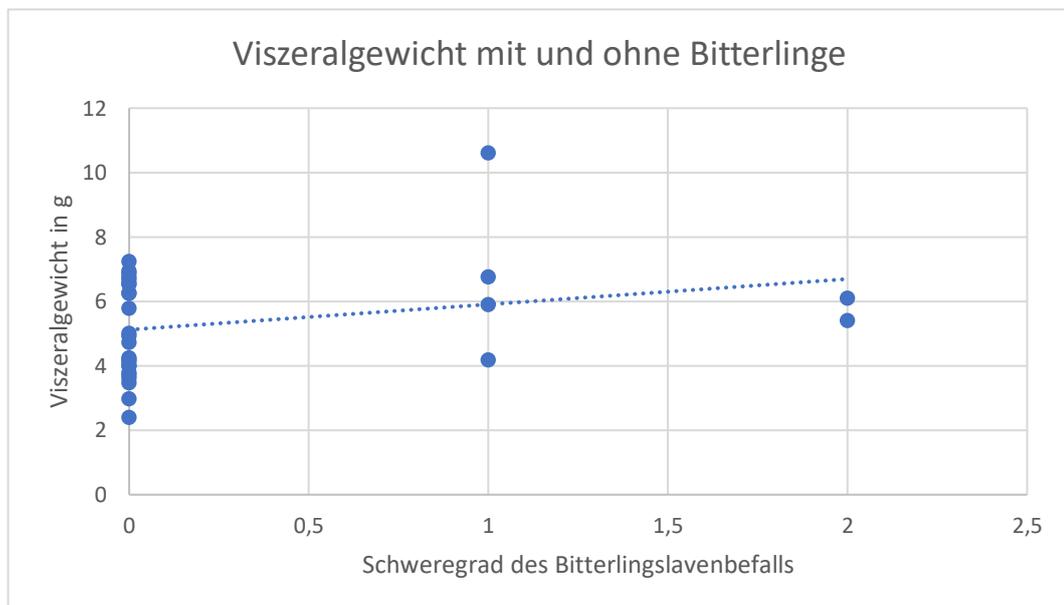


Abb. 32 - Viszeralgewicht der Muscheln in Zusammenhang mit dem Grad des Befalls mit Bitterlingslarven, sowie die eingeblendete positive Trendlinie

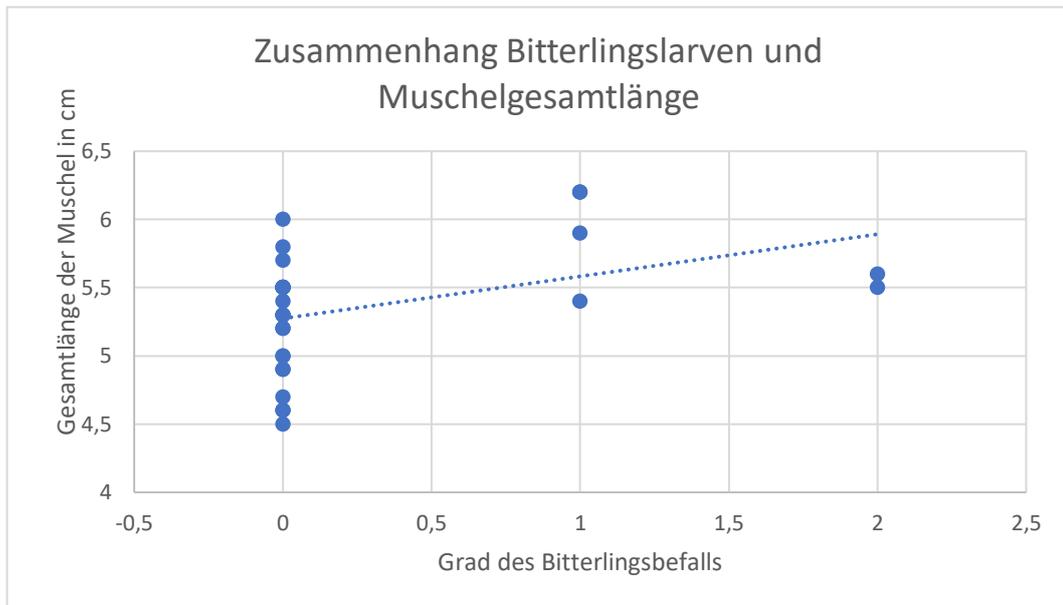


Abb. 33 - Gesamtlänge der Muscheln in Zusammenhang mit dem Grad des Befalls mit Bitterlingslarven, sowie die eingeblendete positive Trendlinie

3.10 Ciliaten

3.10.1 *Conchophthirus* sp.



Abb. 34 – *Conchophthirus* sp. unter dem Lichtmikroskop

Acht der 30 Muscheln aus der Our wiesen einen Befall 1. Grades mit *Conchophthirus* sp. (siehe Abb. 34) auf. Dies entspricht einer Prävalenz von 26,7 %. In den restlichen Muscheln konnten keine *Conchophthirus* sp. nachgewiesen werden. Es befanden sich 90,9 % der nachgewiesenen *Conchophthirus* sp. freischwimmend in den Kiemen, 9,1 % im Mantelgewebe.

In 13 der 30 Muscheln aus der Sauer wurden *Conchophthirus* sp. gefunden, dies entspricht einem Anteil von 43,3 %. Zehn der Muscheln wiesen einen Befall 1. Grades auf, eine einzige einen Grad 2 und zwei der Muscheln waren der Kategorie 3. Grades zuzuordnen. Von den aufgefundenen Exemplaren befanden sich 92,6 % in den Kiemen, 7,4 % im Mantelgewebe. Für beide Flüsse gemeinsam berechnet waren **92,5 % von *Conchophthirus* sp. in den Kiemen** zu finden und 7,5 % im Mantelgewebe.

Für die Muscheln aus der Our, aus der Sauer und für beide Populationen gemeinsam wurde mittels Mann-Whitney-U-Test berechnet, dass **weder in der Our noch in der Sauer ein Unterschied** zwischen dem **Viszeralgewicht** der Muscheln **mit und ohne *Conchophthirus* sp.-Befall** besteht.

Der Mann-Whitney-U-Test ergab **keinen signifikanten Unterschied** zwischen den **Scores bezüglich *Conchophthirus* sp.-Befall in Muscheln der Our und der Sauer**. Der χ^2 -Unabhängigkeitstest ergab **keinen signifikanten Unterschied** bezüglich der **Anzahl mit *Conchophthirus* sp. infizierten Muscheln der Our und Sauer**.

3.10.2 *Trichodina* sp.



Abb. 35 – *Trichodina* sp. unter dem Lichtmikroskop

Trichodina sp. (siehe Abb. 35) wurden im Ausmaß von Grad 1 bei drei Muscheln aus der Our gefunden, dies entspricht einer Prävalenz von 10 %. Die *Trichodina* sp. befanden sich zu 75 % in den Kiemen und zu 25 % im Mantel.

Zwei Muscheln der Sauer wiesen einen Befall 1. Grades auf und eine weitere einen Befall 3. Grades. Dies entspricht einer Prävalenz von 10 %. In den restlichen Muscheln konnten keine *Trichodina* sp. nachgewiesen werden. In den Kiemen waren 59,6 % der *Trichodina* sp. zu finden, 40,4 % im Mantel.

Für beide Flüsse gemeinsam berechnet befanden sich **60,7 % der *Trichodina* sp.** in den **Kiem**en und 39,3 % im Mantel.

Der Mann Whitney-U-Test ergab **keinen signifikanten Unterschied** zwischen den **Trichodina-Scores der Our und der Sauer**. Der χ^2 -Unabhängigkeitstest ergab **keinen signifikanten Unterschied der Anzahl infizierten Muscheln** zwischen der Our und der Sauer.

Der Mann-Whitney-U-Test ergab **keinen Zusammenhang** zwischen dem **Viszeralgewicht** von **mit *Trichodina* sp. befallenen Muscheln** und jenen, bei denen keine *Trichodina* sp. nachgewiesen werden konnten.

3.10.3 Kleinere Ciliaten



Abb. 36 - kleine Ciliaten unter dem Lichtmikroskop

In sechs Muscheln der Our konnten andere Ciliaten (siehe Abb. 36) nachgewiesen werden, die eine Größe von ca 50 µm aufwiesen und nicht weiter klassifiziert werden konnten. Dies entspricht einer Prävalenz von 20 %. Fünf der Muscheln hatten einen Grad 1 Befall und eine Muschel einen Grad 3. Die kleineren Ciliaten wurden zu 27,3 % in den Kiemen nachgewiesen, 4,5 % im Mantelgewebe und bei 68,2 % war die Lokalisation nicht dokumentiert.

In fünf Muscheln aus der Sauer wurden andere Ciliaten gefunden, dies entspricht einem Prozentsatz von 16,7 %. Drei Muscheln konnten einem Befall 1. Grades und zwei einem Befall 2. Grades zugeordnet werden. In den Kiemen wurden 51,2 % der kleinen Ciliaten nachgewiesen, im Mantel 36,6 % und bei 12,2 % war die Lokalisation nicht dokumentiert.

Bei den kleinen Ciliaten gab es sowohl sessile als auch freischwimmende Exemplare. In der Our waren 11,4 % der dokumentierten kleinen Ciliaten sessil und 88,6 % freischwimmend. In der Sauer wurden vermehrt sessile Ciliaten gefunden, nämlich 62,5 % und 37,5 % waren

freischwimmend. Für beide Flüsse gemeinsam gerechnet ergeben sich 35,7 % sessile Ciliaten und 64,3 % freischwimmende.

Der Mann-Whitney-U-Test ergab **keinen signifikanten Unterschied** zwischen **den Scores kleiner Ciliaten** zwischen **Muscheln aus der Our und aus der Sauer**. Der χ^2 -Unabhängigkeitstest ergab **keinen signifikanten Unterschied** bezüglich der **Anzahl mit kleinen Ciliaten infizierten Muscheln** aus Our und Sauer.

Es konnte mittels Mann-Whitney-U-Test **kein signifikanter Unterschied** zwischen Muscheln mit und ohne kleineren Ciliaten in Relation zum **Viszeralgewicht** festgestellt werden.

3.11 Digene Trematoden (Bucephalidae)

In den Muscheln der Our konnten mikroskopisch nativ keine Trematoden nachgewiesen werden.

Bei einer Muschel der Sauer konnten mikroskopisch nativ Trematoden nachgewiesen werden. Dies entspricht einer Prävalenz von 3,3 %.

Es wurden sowohl Zerkarien (siehe Abb. 37), als auch Sporozysten (siehe Abb. 38) in unterschiedlichen Entwicklungsstadien festgestellt. Diese waren in den Ovarien der Muschel zu finden.



Abb. 37 - lichtmikroskopische Aufnahme einer Zerkarie von *Rhipidocotyle* sp. in den Gonaden von *U. crassus*



Abb. 38 - lichtmikroskopische Aufnahme von Sporozysten von *Rhipidocotyle* sp. in den Gonaden von *U. crassus*

Anhand morphologischer Kriterien erfolgte eine erste grobe Klassifizierung und mithilfe nachfolgender Sequenzierung des 18S ribosomal RNA Gens wurde eine 97,6 %ige Übereinstimmung mit *Rhipidocotyle campanula* festgestellt.

Die befallene Muschel war weiblich, wies eine Größe von 5,7 cm und ein Viszeralgewicht von 5,78 g auf.

Da im Zuge der hier beschriebenen Untersuchungen nur in einer einzigen Muschel Trematoden nachgewiesen wurden, wurde eine statistische Auswertung als nicht sinnvoll erachtet.

3.12 Gesamtparasitenscore ohne *Rhipidocotyle* sp.

Der Mann-Whitney-U-Test ergab, dass sich die **Gesamt-Parasitenscores der Our und der Sauer signifikant unterscheiden**, die **Sauer hat deutlich höhere** Parasitenscores als die Our.

Der **Gesamt-Parasitenscore** wurde mittels H-Test auf einen möglichen **Zusammenhang mit dem Viszeralgewicht** der Muscheln geprüft. Er ergab **keinen signifikanten Unterschied**. In Tab. 4 findet sich eine Auflistung des Gesamt-Parasitenscores und die jeweilige Anzahl an Muscheln aus der Our und aus der Sauer.

Tab. 4: Gesamtparasitenscore und die Anzahl der Muscheln aus Our und Sauer

Gesamtparasitenscore	Anzahl Muscheln Our	Anzahl Muscheln Sauer
0	10	1
1	8	1
2	8	2
3	3	13
4	1	7
5	0	3
8	0	1
9	0	1
10	0	1

3.13 Gesamtparasitenscore ohne Milben

Wurde der Gesamt-Parasitenscore der Our und der Sauer ohne Einbezug der Milben mittels Mann-Whitney-U-Test verglichen, bestand kein signifikanter Unterschied mehr.

4. Diskussion

Über das tatsächliche Vorkommen symbiotischer und parasitärer Organismen bei Süßwassermuscheln ist allgemein wenig bekannt. Für die hier untersuchten *Unio crassus* Populationen lagen bis zu dieser Studie überhaupt noch keine diesbezüglichen Daten vor. Das vorrangige Ziel dieser Arbeit war es daher, im Sinne einer Pilotstudie die Bachmuscheln aus den beiden luxemburger Flüssen Our und Sauer hinsichtlich des Vorkommens bekannter Muschel-Parasiten zu untersuchen. Dabei sollten Parasiten morphologisch identifiziert und anhand quantitativer Untersuchungen Zusammenhänge zwischen Parasitenbefall und allgemeinen Parametern untersucht werden. Ein besonderes Augenmerk lag dabei auf einem möglichen negativen Einfluss von Parasiten auf den Gesundheitsstatus der Muscheln und somit auf mögliche Ursachen für den drastischen Rückgang dieser Art. Zu den erhobenen allgemeinen Daten zählten Gesamtlänge, Viszeralgewicht, Schalengewicht, Geschlecht und Schalendefekte. Die Befallsstärke der einzelnen Parasiten wurde mit den Daten der Muscheln in Zusammenhang gebracht und auf einen möglichen Einfluss der Parasiten auf die Muscheln hin untersucht. Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse diskutiert.

4.1 Größe und Viszeralgewicht

Die untersuchten Muscheln wiesen eine Größe von 4,0 cm bis 6,4 cm auf. Da die Muscheln primär für die Nachzucht gesammelt wurden, wurden eher die größeren Exemplare ausgewählt. Da jedoch die größeren Exemplare generell einfacher zu finden sind, wäre bei einer rein zufälligen Auswahl eine ähnliche Größenverteilung zu erwarten gewesen. Die Literatur gibt eine relativ große Spannweite für die maximale Länge von *U. crassus* an. Die Angaben reichen von 50 mm (Bauer 2001) bis 80 mm (Engel 1990) bzw. 48 mm bis 99 mm (Lopes-Lima et al. 2017). Die meisten Muscheln weisen jedoch eine Größe von 30 mm bis 70 mm auf (Soroka et al. 2021). Junge Muscheln sind deutlich schwieriger zu finden, da sie sich im Sediment eingraben um sich vor Fressfeinden zu schützen (Strayer 2008) und erst als vollständig entwickelte, fortpflanzungsfähige Adulte wieder an die Oberfläche kommen (Coker et al. 1921). Größe und Form der Muschelschalen variieren und werden von Umwelteinflüssen bestimmt. So haben etwa die Durchflussrate des Flusses, der Breitengrad oder der Kalziumgehalt des Wassers Einfluss auf das Wachstum (Soroka et al. 2021).

Die Muscheln aus der Our und der Sauer zeigten keine signifikanten Größen- oder Gewichtsunterschiede. Es konnte auch kein signifikanter Größen- und Gewichtsunterschied zwischen weiblichen und männlichen Muscheln festgestellt werden. Jedoch wiesen weibliche

Muscheln mit Glochidien ein höheres Viszeralgewicht auf und waren größer als weibliche Muscheln ohne Glochidien. Mögliche Gründe dafür sind, dass die gesünderen und somit schwereren Muscheln sich besser fortpflanzen oder aber, dass die schwereren Muscheln schon älter sind und daher die Wahrscheinlichkeit, dass sie sich fortpflanzen steigt. Es kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass die Glochidien selbst für den Gewichtsunterschied verantwortlich sind. Eine Studie von Bauer (1998) zeigte bei Untersuchungen von Flussperlmuscheln (*Margaritifera margaritifera*), dass sowohl das Gewicht der Kiemen, als auch das Viszeralgewicht der Muscheln ohne die Kiemen von tragenden Muscheln höher ist als von Muscheln, die sich nicht gerade in der Fortpflanzung befinden. Dies legt nahe, dass nicht ausschließlich die Glochidien selbst den Gewichtsunterschied verantworten.

Bei keinem der von uns nachgewiesenen Parasiten konnte ein signifikanter Einfluss auf das Viszeralgewicht festgestellt werden. Muscheln mit Bitterlingslarven waren signifikant größer als jene ohne Bitterlingslarven.

4.2 Geschlecht

In der Regel liegt bei *U. crassus* ein Geschlechterverhältnis 1:1 vor, jedoch mit einer leichten Dominanz weiblicher Muscheln (Aldridge 1999; Bauer 2001; Soroka et al. 2021). Für die Muscheln der Sauer traf dies zu, im Falle der Our waren deutlich mehr weibliche Muscheln vorhanden. Da die Stichprobengröße als ausreichend erachtet wurde, wurde versucht, einen anderen Grund als eine unzureichende Stichprobengröße zu ermitteln. Mioduchowska et al. (2016) beschrieben eine Methode zur Geschlechtsbestimmung von *U. crassus* anhand der mitochondrialen DNA und zeigten anhand von 41 Muscheln, dass die geschätzte Genauigkeit ihrer Methode bei 97,5 % lag. Die Geschlechterverteilung war mit 21 weiblichen und 20 männlichen Muscheln ausgeglichen. Engelstädter und Hurst (2009) stellten fest, dass endosymbiotische Infektionen zur Feminisierung von Populationen und dem Sterben männlicher Individuen beitragen können. Mioduchowska et al. (2020) haben 30 Exemplare von *U. crassus* auf eine Infektion mit *Wolbachia* und *Cardinium* untersucht. Nur zwölf der 30 Muscheln konnten als männlich identifiziert werden. Sechs der 18 weiblichen Muscheln waren mit einem der beiden Bakterien infiziert aber keine der männlichen. Ob eine Geschlechterverschiebung ohne genetische Analyse auffällt und ob sie anhand mikroskopischer Beurteilung der Gonaden verborgen bleibt, ist unklar. Es konnte keine weitere Literatur zu einem ungleichen Geschlechterverhältnis bei *U. crassus* gefunden werden. Die Muscheln der Our und der Sauer wurden nicht auf bakterielle Infektionen hin untersucht, daher

kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob diese einen Einfluss auf das Geschlechterverhältnis gehabt haben könnten.

Es konnte kein Unterschied bezüglich Größe und Viszeralgewicht zwischen männlichen und weiblichen Muscheln festgestellt werden. Die beiden Zwitter lagen mit einer Größe von 5,4 cm und 5,8 cm und einem Viszeralgewicht von 6,54 g und 6,94 g im oberen Mittelfeld, was die Größe und das Viszeralgewicht betraf. Nur die Größe von 5,4 cm lag knapp unter dem Median, die restlichen Werte lagen auf oder über dem 3. Quartil, welches der 75 % Grenze entsprach.

Es konnte keine Literatur zu Hermaphroditismus bei *U. crassus* gefunden werden. *Unio crassus* wird als getrenntgeschlechtliche Spezies beschrieben (Bauer 2001, Soroka et al. 2021). Bei Untersuchungen an *Unio pictorum* und *Unio tumidus* konnten keine Zwitter nachgewiesen werden (Aldridge 1999). Prinzipiell wird Hermaphroditismus in der Literatur als ein epigenetisch basiertes System betrachtet (Beukeboom und Perrin 2014). Für Muscheln werden als mögliche Ursachen in der Literatur Faktoren genannt, welche die Möglichkeiten der Fortpflanzung einschränken, wie Umweltverschmutzung oder geringe Populationsdichten (Ghiselin 1969; Ciocan et al. 2012). Die Ermittlung einer möglichen Ursache im vorliegenden Fall hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt. Jedenfalls kann aber festgehalten werden, dass, nach bestem Wissen und Gewissen, das Phänomen der Zwitterbildung bei *U. crassus* hier zum ersten Mal beschrieben wird.

Die beiden Muscheln ohne identifizierbare Gonaden befanden sich mit 4,7 cm und 5,0 cm im unteren Größenbereich unter der 25 % Grenze und konnten aufgrund ihrer Größe auf ein Alter von ca. acht bis neun Jahre geschätzt werden. Die Schätzung erfolgte anhand der Wachstumskurve für *U. crassus* in Luxemburg (Eybe et al. 2019). Auch das Viszeralgewicht der Muschel mit 4,7 cm Länge lag im untersten Viertel unter der 25 % Grenze.

U. crassus erreichen je nach Autor ihre Geschlechtsreife mit zwei bis fünf Jahren (Piechocki und Wawrzyniak-Wydrowska 2016) bzw. zwei bis vier Jahren (Lopes-Lima et al. 2017), wobei zweiterer je nach geographischer Verbreitung unterscheidet. Für Westeuropa wird das Erreichen der Geschlechtsreife mit über vier Jahren angegeben. Die Studie von Helama et al., (2017) zeigte, dass *U. crassus* in Norwegen mit fünf Jahren eine Größe von ca. 4 cm erreicht hat. Von den physikalisch-chemischen Einflüssen hat nur die Wassertemperatur einen signifikanten Einfluss auf die Wachstumsrate. Ebenso besteht ein negativer Zusammenhang zwischen der Wachstumsrate und der Lebenserwartung (Hochwald 2001). Helama et al. (2017) haben gezeigt, dass die Muscheln aus dem Fluss Vantaa langlebiger sind.

Untersuchungen zum Wachstum von *U. crassus* in Luxemburg haben gezeigt, dass die Muscheln in den ersten zehn Jahren ein schnelles Wachstum aufweisen und danach die Wachstumskurve abflacht und mehr Energie in die Fortpflanzung gesteckt werden kann. Die Wachstumskurve zeigt, dass *U. crassus* in der Our und in der Sauer mit fünf Jahren eine Länge von ca. 3 cm erreicht hat (Eybe et al. 2019). Dies unterstützt die Annahme, dass die Muscheln ohne erkennbare Gameten die Geschlechtsreife schon erreicht haben müssten.

Die Gonaden von Süßwassermuscheln haben unterschiedliche Entwicklungsstadien, die sie der Reihe nach durchlaufen. In der Regel werden fünf dieser Stadien definiert. Je nach Autor und beschriebener Muschelart variiert die Definition ein wenig, im Großen und Ganzen stimmen sie jedoch überein. Stadium eins, zwei und drei beschreiben unterschiedliche Entwicklungsstadien der Oozyten und Spermatozoen. Im Stadium vier kommt es zur Rückbildung der Gonaden nach Freisetzung der reifen Geschlechtsprodukte. Stadium null ist die Ruhephase (Juhel et al. 2003), bei manchen Autoren wird dies auch als die Phase vor Erreichen der Geschlechtsreife definiert (Heinricher und Layzer 1999). Es wäre denkbar, dass sich die beiden Muscheln ohne definierbare Gameten in Entwicklungsphase null oder vier befanden und daher anhand der Quetschpräparate keine Geschlechtsbestimmung möglich war. Die Systematisierung der Entwicklungsstufen wurde anhand histologischer Präparate definiert und somit könnten in manchen Fällen die Entwicklungsstufen anhand von Quetschpräparaten schwierig zu erkennen sein.

Es konnte kein Zusammenhang zwischen dem Parasiten-Gesamtscore und dem Geschlecht festgestellt werden. Einzig bei den Bitterlingen war auffällig, dass die Mehrheit befallener Muscheln männlich war. Die Muscheln ohne erkennbare Gonaden wiesen im Vergleich zu den anderen Muscheln keinen höheren Gesamt-Parasitenscore auf.

4.3 Schalengewicht und Schalendefekte

Es wurde sowohl für die Muscheln aus der Our als auch bei jenen aus der Sauer festgestellt, dass Länge und Schalengewicht stark korrelierten und größere Schalen somit auch schwerer waren.

Das Schalengewicht der Muscheln aus der Our und der Sauer unterschied sich signifikant. Die Schalen aus der Sauer waren leichter als jene aus der Our. Bei *U. crassus* besteht eine stark negative Korrelation zwischen dem Schalengewicht und dem pH-Wert des Wassers (Bauer 2001). Untersuchungen an *M. margaritifera* haben gezeigt, dass der Phänotyp der Muscheln sich je nach Fluss unterscheidet und vom pH-Wert des Wassers beeinflusst wird (Preston et

al. 2010). Da diesbezüglich keine entsprechenden Untersuchungsergebnisse vorlagen, kann im Rahmen dieser Arbeit keine Aussage über einen möglichen Einfluss des pH-Werts getroffen werden.

Die statistische Auswertung der Schalendefekte ergab, dass das Schalengewicht der Muscheln aus der Sauer positiv mit dem Grad der Schädigung korrelierte. Dies bedeutet, dass stärker beschädigte Schalen entgegen den Erwartungen ein höheres Gewicht aufwiesen. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass die größeren und schwereren Schalen zu bereits älteren Muscheln gehörten und daher durch das Alter schon mehr Korrosionsschäden an den Schalen entstanden waren. Eine Studie von Helama et al., (2017) hat festgestellt, dass auch wenn sich das Wachstum der Muscheln asymptotisch annähert, dennoch eine weitere Kalzifizierung der Schalen stattfindet und diese an Gewicht gewinnen. Dies untermauert die Annahme, dass die schwereren Schalen zu älteren Muscheln gehören. Eine mögliche Erklärung, weshalb nur bei den Muscheln aus der Sauer ein Zusammenhang mit den Schalenerosionen festgestellt werden konnte und nicht bei jenen aus der Our, lieferten unsere erhobenen Daten nicht.

Außerdem waren bei neun der 26 ausgewerteten Schalendefekte der Sauer die Defekte besonders tief, zweimal sogar perforierend. Im Gegensatz dazu waren bei den Muscheln der Our nur bei zwei der 29 ausgewerteten Muschelschalen die Defekte besonders tief.

Eine der Ursachen für Schalendefekte sind mechanische Erosionen, deren Ausmaß von den Fließverhältnissen des Gewässers und Materialien, die den Abrieb fördern, bestimmt werden. Diese Form der Erosion ist auch von Dümpelmann und Nagel (2015) in kalkarmen Gewässern beschrieben.

Schäden an Muschelschalen können aber auch durch Prädatoren verursacht werden. Solche, durchaus typische, Läsionen wurden an den untersuchten Muscheln nicht gefunden. Da der Aufbau der Schalen durch spezialisierte Epithelzellen des Mantels erfolgt (Kennedy et al. 1969), können Schädigungen dieses Gewebes auch Störungen in der Schalenbildung hervorrufen. Diese würden aber von der Peripherie ausgehen und nicht, wie hier beobachtet, in erster Linie um den Umbo auftreten.

Es bestand zudem kein Zusammenhang zwischen dem Gesamtparasitenscore und dem Grad der Schalendefekte. Es konnte auch kein signifikanter Unterschied zwischen dem Schweregrad der Schalendefekte der Our und der Sauer festgestellt werden. Es bestand auch kein Zusammenhang zwischen dem Grad des Schalendefekts und dem Viszeralgewicht der

Muscheln. Es scheint, als hätte der Grad des Schalendefekts keinen Einfluss auf den allgemeinen Gesundheitsstatus der Muscheln.

4.4 Parasiten

4.4.1 Milben

Wassermilben wurden sowohl in der Our als auch in der Sauer nachgewiesen. In der Our konnten Larven und Milbeneier nachgewiesen werden, in der Sauer zusätzlich auch noch mobile Stadien, nämlich Adulte und Nymphen. Die Prävalenz befallener Muscheln, unabhängig davon, welches Milbenstadium nachgewiesen wurde, lag in den Muscheln aus der Our bei 46,7 % und bei Muscheln aus der Sauer bei 96,7 %. Die Milben der Sauer konnten als neue Spezies differenziert werden, welche *Unionicola sauerensis* sp. nov. genannt wurde.

Unionicola spp. haben üblicherweise ein oder mehrere parasitäre Stadien, welche in Muscheln oder Schwämmen leben. Mehr als die Hälfte aller beschriebenen *Unionicola*-Spezies nutzen dafür Süßwassermuscheln. Sie leben auf den Kiemen, dem Mantel oder dem Fuß und nutzen dieses Gewebe zur Eiablage (Vidrine 1996).

Es wird zwischen herumwandernden (zufällig vorkommenden), transienten (vorübergehend vorkommenden) und residenten (dauerhaft vorkommenden) Milben unterschieden (Edwards und Vidrine 2013). Transiente Wassermilben nutzen die Muscheln nur für ihre sich transformierenden Stadien, die aktiven Stadien sind freilebend. Residente Milben zeichnen sich dadurch aus, dass ein oder mehrere aktive Stadien in der Mantelhöhle leben (Mitchell 1955). Aufgrund unserer Beobachtungen kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei *U. sauerensis* sp. nov. um residente Milben handelt, da sowohl Adulte als auch Nymphen in großer Anzahl in den Muscheln zu finden waren. Die Milbenlarven, sowohl von transienten als auch residenten *Unionicola* Spezies, haben vermutlich alle ein kurzes parasitäres Stadium auf *Chironomidae* (Dimock 1985).

In den Muscheln der Sauer wurden signifikant mehr Milben unterschiedlicher Stadien festgestellt als in der Our und auch der Grad des Befalls unterschied sich signifikant. Besonders auffällig war, dass in den Muscheln der Our keine einzige Adulte bzw. Nymphe gefunden wurde. Auch Milbeneier waren in den Muscheln der Our signifikant weniger vorhanden. Bezüglich der Milbenlarven konnte kein Unterschied festgestellt werden. Es ist möglich, dass die nicht sessilen Milbenstadien (Adulte und Nymphen) die Muscheln während der vierwöchigen Hälterung vor dem Versand verlassen haben. Andererseits legt die insgesamt geringere Parasitenlast in der Our die Vermutung nahe, dass der Milbenbefall in

der Our tatsächlich geringer war. Es ist auch möglich, dass die in Muscheln der Our gefundenen Entwicklungsstadien zu einer oder mehreren anderen Milbenspezies gehörten als jene aus der Sauer. Dementsprechend könnten diese auch unterschiedliches Verhalten und andere zeitliche Abläufe in ihren Entwicklungszyklen aufweisen. Es wäre auch möglich, dass es sich in der Our um eine transiente Milbenspezies handelt. Anhand der vorhandenen Eier und Larven war eine morphologische Zuordnung dieser Stadien bei Exemplaren aus der Our nicht möglich.

Auch Unterschiede in der Gewässerökologie müssen als Ursache in Betracht gezogen werden. Die Our hat eine höhere Durchflussrate als die Our, ebenso könnten anthropogene Einflüsse das Vorkommen von Milben beeinflussen. Des Weiteren könnte das Vorkommen prädatorischer Insekten oder das Fehlen von geeigneten Wirten für die Larvenentwicklung die Unterschiede verursachen. Auch jegliche Unterschiede in den Populationscharakteristika könnten die Entwicklung und das Vorkommen der Milben beeinflussen. Die tatsächliche Ursache für das unterschiedliche Vorkommen verschiedener Milbenstadien in der Our und der Sauer konnte im Zuge dieser Untersuchungen nicht abschließend geklärt werden.

In 69,8 % der 43 mit Milbenstadien befallenen Muscheln aus beiden untersuchten Populationen konnte mehr als ein Entwicklungsstadium festgestellt werden. In den Muscheln der Sauer wurden Eier, Prälarven, Larven, aktive Nymphen und Adulte nachgewiesen. In 16 der 30 Muscheln aus der Sauer konnten sowohl mobile Stadien, Larven sowie Milbeneier nachgewiesen werden. Dies könnte darauf hinweisen, dass sich, ohne das übliche Zwischenstadium in einem aquatischen Insekt, der gesamte Entwicklungszyklus innerhalb einer Muschel abwickelt.

Um festzustellen ob und für wie lange die Milbenlarven auf Insekten parasitieren, müssten gezielt Untersuchungen an Mücken im Verbreitungsgebiet von *U. crassus* in der Our und in der Sauer durchgeführt werden. Es gibt Untersuchungen zu Wassermilben in Quellgebieten in Luxemburg und deren parasitären Beziehungen zu Mücken (Martin und Stur 2006), allerdings wurden dort keine *Unionicola* spp. nachgewiesen.

McElwain et al. (2016) untersuchten 28 Exemplare der Muschel *Strophitus connasaugaensis*. In 25 Muscheln konnten Milbenstadien von *Unionicola* sp. nachgewiesen werden. Für die Milbeneier betrug die Prävalenz 57 %, wobei diese mit einer geschätzten Dichte von > 100 Eiern pro Muschelseite vorkamen. Dieses Ergebnis liegt zwischen den Prävalenzen die unsere

Untersuchungen ergaben. In der Our lag die Prävalenz für Milbeneier bei 30 %, in der Sauer bei 63,3 %.

Larven kamen mit einer Prävalenz von 39 % vor und die Anzahl nachgewiesener Exemplare variierte zwischen einer und > 100 Larven pro Muschel (McElwain et al. 2016). Im Zuge unserer Untersuchungen lag die Prävalenz in der Our bei 36,7 % und in der Sauer bei 76,6 %.

Die Nymphen kamen in einer Anzahl von drei bis elf Exemplaren pro Muschel mit einer Prävalenz von 35 % vor. Die Adulten wiesen eine Prävalenz von 39 % auf und es wurden ein bis vier Exemplare pro Muschel dokumentiert (McElwain et al. 2016). Im Zuge unserer Untersuchungen wurden Nymphen und Adulte nicht differenziert, es ergab sich für die Muscheln der Sauer eine Prävalenz von 93,3 % für mobile Stadien. Die Prävalenz liegt somit bei unseren Untersuchungen deutlich höher. Ebenso konnten in den Muscheln der Sauer häufig wesentlich mehr Exemplare nachgewiesen werden. Bei zwölf Muscheln waren über 30 mobile Stadien pro Muschel nachweisbar.

Mögliche Unterschiede zwischen den Ergebnissen dieser Untersuchung und jener von McElwain et al. (2016) könnten dadurch zustande kommen, dass sowohl unterschiedliche Muschelspezies als auch unterschiedliche Milbenspezies untersucht wurden. Es ist anzunehmen, dass die verschiedenen Milbenspezies unterschiedliche Präferenzen in der Muschelspezies aufweisen und diese in unterschiedlicher Stärke befallen.

McElwain et al. (2016) konnten Larven, Nymphen und Adulte dabei beobachtet, wie sie sich durch die Mantelhöhle fortbewegten. Eingebettete Stadien von Prälarven, Larven und Nymphen konnten in den Kiemen, dem Mantel und der Haut des Viszeralsacks nachgewiesen werden. Die Eier waren einzeln über den gesamten mittleren Teil des Mantels verteilt. Der Mantel war in allen Muscheln das am beständigsten infizierte Gewebe (McElwain et al. 2016). Die mobilen Milbenstadien der Sauer kamen hauptsächlich im posterioren Bereich des Mantels vor. Die meisten Milbeneier waren ebenfalls im Mantel zu finden, häufig in Konglomeraten, deutlich weniger in den Kiemen. Im Gegensatz dazu waren über 90 % der nachgewiesenen Milbenlarven in den Kiemen zu finden. Auch hier könnte die unterschiedliche Verteilung der Milbenstadien durch unterschiedliche Spezies erklärt werden.

Weiterführende Untersuchungen ergaben, dass es sich bei den Adulten ausschließlich um weibliche Milben handelte (Lewisch et al. 2021). Untersuchungen an *Unionicola foili* in *Utterbackia imbecillis* haben gezeigt, dass die Population dieser Milbe pro Muschel in der Regel aus nur einer männlichen Milbe und einem Harem weiblicher Milben besteht. Wenn

seltener zwei oder ganz selten drei männliche Milben vorhanden waren, war eine deutlich größer als die anderen. Das Geschlechterverhältnis zwischen weiblichen und männlichen Milben konnte bis 80:1 betragen (Dimock 1985; Edwards 2014). Dies ist eine mögliche Erklärung, weshalb in den Muscheln der Sauer nur weibliche Milben gefunden wurden. Unklar ist jedoch, ob eine möglicherweise vorhandene männliche Milbe übersehen wurde oder diese die Muschel möglicherweise bereits verlassen hatte oder verstarb. Da aufgrund der verschiedenen vorhandenen Milbenstadien offensichtlich eine Fortpflanzung der Milben stattfand ist anzunehmen, dass sich zu einem früheren Zeitpunkt zumindest eine männliche Milbe in der Muschel aufhielt. Die Anzahl weiblicher Milben nahm mit der Größe der Muscheln zu (Dimock 1985). Aufgrund dieser Information wurde eine Berechnung der Korrelation zwischen Muschellänge und der Anzahl mobiler Stadien durchgeführt. Dies ergab eine leicht positive Korrelation.

Mitchell (1955) untersuchte vier *Unionicola*-Spezies und stellte fest, dass jede an unterschiedlichen Stellen der Muscheln vorkommt. Eine davon, *Unionicola aculeata* gehört zu den transienten Milben. Sie legt ihre Eier hauptsächlich in den einströmenden Siphon und seltener in das umliegende Mantelgewebe. Die Larven verlassen nach dem Schlüpfen die Muschel und kommen erst für die Weiterentwicklung zur Nymphe zurück. Zu diesem Zeitpunkt sind die Larven nicht merklich größer als nach dem Schlüpfen. Die Entwicklung zur Nymphe findet in den Kiemen statt. Diese Erkenntnis stellt eine mögliche Erklärung dar, weshalb bei *U. sauerensis* sp. nov. teilweise eine hohe Anzahl an Larven in den Kiemen beobachtet werden konnte.

Sowohl in den Muscheln der Our als auch in jenen aus der Sauer konnten die Milbeneier hauptsächlich im Mantel und die Larven hauptsächlich in den Kiemen nachgewiesen werden. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass sie zur selben Spezies gehören oder nahe miteinander verwandt sind. Die molekulargenetische Untersuchung der Larven-DNA aus der Sauer war nicht erfolgreich und wurde daher auch für die Milbenlarven aus der Our nicht durchgeführt. Dadurch waren jedoch auch keine weiteren Untersuchungen möglich, ob es sich in der Our und der Sauer um die gleiche Spezies handelte. Anhand der Beobachtungen in den Muscheln der Sauer scheint es wahrscheinlich, dass Adulte, Nymphen, Larven und Eier zu einer Spezies gehören. Um dies zu beweisen, müssten allerdings weitere molekulargenetische Untersuchungen erfolgen.

Im Zuge dieser Untersuchung konnte anhand der angefertigten Quetschpräparate keine Schädigung der Muscheln nachgewiesen werden. Auch die statistische Auswertung ergab keinen Einfluss der Milben auf das Viszeralgewicht der Muscheln. Mitchell (1955) konnte bei Muscheln, die mit *Unionicola abnormipes* infiziert waren, teilweise eine leichte Hyperplasie des umliegenden Gewebes feststellen. McElwain et al. (2016) konnten fokale Schädigungen des befallenen Gewebes (Mantel, innere und äußere Kiemen sowie am Viszeralsack) beobachten, die sie mit den Milbeneiern und -larven in Verbindung brachten. Ebenso konnten sie eine Kapsel, bestehend aus einer inneren und einer nicht immer vorhandenen äußeren Membran, rund um eingebettete Larven feststellen. Die innere Membran schien eine Art Schutzschicht von der Milbe ausgehend zu sein und die äußere Membran eine aus Hämozyten gebildete Schicht und somit eine Komponente, die für eine Abkapselung durch den Wirt spricht. Die Milbeneier schienen wenig immunogen zu sein, erst die Überreste der Häutungen schienen eine Reaktion hervorzurufen. Auch wenn teilweise eine Schädigung des Gewebes sichtbar war, gehen McElwain et al. (2016) nicht von einer Beeinträchtigung der Funktion des infizierten Milbengewebes aus.

Manche Milben ernähren sich von Muschelgewebe wie z.B. Schleim, Hämolymphe und Kiemengewebe (Baker 1977; Abdel-Gaber et al. 2018). Die Eiablage und die Entwicklung der Larven im Muschelgewebe könnten die jeweilige Gewebefunktion beeinträchtigen. Insbesondere die Kiemen, die sowohl respiratorische wie auch sekretorische Aufgaben zu erfüllen haben und zusätzlich die Marsupien für die Reifung der Muscheleier zu Glochidien enthalten, scheinen durch hohe Milbenbelastung gefährdet zu sein. Mechanische Schädigung des Muschelgewebes durch die Pedipalpen wurde von Baker (1977) beschrieben ist aufgrund der ausgeprägten Klauen an Pedipalpen, Chelicera und Beinen auch zu erwarten.

Anhand der vorliegenden Daten kann nicht abschließend gesagt werden, ob eine Schädigung der Muschel zustande kommt oder nicht. Möglicherweise bringt die Auswertung der im Zuge dieser Arbeit angefertigten histologischen Präparate weitere Erkenntnisse.

4.4.2 Europäischer Bitterling (*Rhodeus amarus*)

Es sind nur wenige Fisch-Familien bekannt, die lebende Invertebraten als Entwicklungsort ihrer Larven nutzen. Bei *Rhodeus* spp. und *Sarcocheilichthys* spp. ist es bekannt, dass sie Süßwassermuscheln als Wirt nutzen (Smith et al. 2004). *Sarcocheilichthys* spp. kommen nur im asiatischen Raum vor (Zhang et al. 2008), daher kann er im Zuge unserer Untersuchungen als Parasit ausgeschlossen werden. Am wahrscheinlichsten handelt es sich in diesem Fall um

Bitterlingslarven. Der Genus *Rhodeus* gehört zur Familie der *Cyprinidae* (Karpfenfische) und kommt im asiatischen sowie im europäischen Raum vor. Aufgrund genetischer Analysen konnte gezeigt werden, dass der asiatische *Rhodeus sericeus* und die in Europa vorkommenden Linien einer monophyletischen Gruppe entsprechen. Insgesamt konnten fünf Linien differenziert werden. Zwei dieser Linien entsprechen dem europäischen Bitterling (*Rhodeus amarus*), eine westliche und eine östliche (Bohlen et al. 2006). Unser Untersuchungsgebiet in Luxemburg liegt im Verbreitungsgebiet der westlichen Linie des *Rhodeus amarus*.

Die mit Bitterlingslarven befallenen Muscheln waren zwischen 5,4 cm und 6,2 cm groß und hatten ein Viszeralgewicht von 4,18 g bis 10,60 g. Es waren insgesamt sechs Muscheln befallen, fünf davon waren männlich. Bei der weiblichen Muschel konnten keine Glochidien nachgewiesen werden. Laut Beobachtungen von Smith befinden sich Bitterlingslarven selten in Kiemen mit Glochidien und männliche Muscheln seien am besten für die Entwicklung der Larven geeignet (Smith et al. 2004). Zwei Muscheln wiesen einen Grad 2 mit Bitterlingen auf, der Gesamtparasitenscore betrug fünf und acht. Die anderen vier Muscheln wiesen einen Grad 1 auf, mit einem Gesamt-Parasitenscore von zweimal drei, einmal fünf und einmal neun. Der Gesamt-Parasitenscore von den Muscheln mit Bitterlingen unterschied sich signifikant von jenen ohne Bitterlinge. Muscheln mit Bitterlingen hatten einen höheren Gesamtparasitenscore als jene ohne Bitterlinge. Dieser Unterschied verschwand jedoch, wenn der Bitterling nicht in den Gesamt-Parasitenscore mit einberechnet wurde. Es gab somit keinen Grund zur Annahme, dass ein Befall mit Bitterlingen den Befall mit anderen Parasiten begünstigte.

Es konnte kein Einfluss der Bitterlinge auf das Viszeralgewicht der Muscheln festgestellt werden, jedoch wurde ein signifikanter Größenunterschied der Muscheln mit und ohne Bitterlingslarven beobachtet. Die Muscheln mit Bitterlingslarven waren signifikant größer. Die Studie von Mills et al. (2005) zeigte, dass die Anzahl der Bitterlingslarven pro Kieme keinen signifikanten Einfluss auf die Größe der Muscheln hatte. Im Gegensatz dazu steht die Studie von Reichard et al. (2006), die einen negativen Einfluss von Bitterlingen auf die Wachstumsrate der Muscheln in einem Laborexperiment nachweisen konnten. Dabei wurden eine Gruppe *Unio pictorum* mit einer niedrigen Bitterlingsembryo-Belastung und einer Gruppe mit einer hohen Belastung verglichen. Sowohl nach vier als auch nach 19 Wochen konnte eine signifikant geringere Wachstumsrate in der Gruppe mit dem stärkeren Bitterlingsbefall nachgewiesen werden. Ein direkter Vergleich mit unseren Ergebnissen ist nicht möglich, da für die Muscheln der Sauer keine Wachstumsrate bestimmt wurde, sondern nur die Länge zum

Zeitpunkt der Sektion dokumentiert wurde. Die Untersuchungen konnten nicht klären, weshalb die mit Bitterlingen befallenen Muscheln größer waren. Eine Möglichkeit wäre jedoch, dass Bitterlinge für ihre Eiablage größere Muscheln bevorzugen. Jedoch konnten frühere Studien von Smith et al. (2004) und Young et al. (1990) keinen Einfluss der Muschelgröße auf die Wahl der Muschel für die Eiablage der Bitterlinge nachweisen.

Mills et al. (2005) konnten in ihrer Studie signifikante Unterschiede der Filtrationsrate der Muscheln über den Zeitraum der Bitterlings-Larvenentwicklung feststellen. Die Filtrationsrate hat nicht nur Einfluss auf den Sauerstoffaustausch sondern hauptsächlich auf die Nahrungsaufnahme (Tankersley 1996). Mit Zebra- und Quagga-Muscheln (*Dreissena polymorpha*) befallenen Muscheln *Actiononaias ligamentina* und *Amblema plicata*, die dadurch geringere Filtrationsraten aufwiesen, wiesen eine schlechtere Gesundheit auf und es konnte sogar zum Tod durch Verhungern führen (Baker und Hornbach 1997). Da sich die geringere Filtrationsrate, die durch Zebra- und Quagga-Muscheln verursacht wurde, negativ auf die untersuchten Muscheln auswirkte, kann angenommen werden, dass eine verminderte Filtrationsrate, welche durch die Bitterlingslarven verursacht wird, sich ebenfalls negativ auswirkt. Eine mögliche negative Auswirkung wäre ein reduziertes Viszeralgewicht. Um diese Vermutung zu bestätigen, müssten weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Obwohl unsere Untersuchungen keinen Einfluss auf das Viszeralgewicht zeigen konnten, muss in Betracht gezogen werden, dass ein stärkerer Befall mit Bitterlingslarven drastische Auswirkungen auf den Ernährungszustand der Muscheln haben kann.

Am häufigsten genannte Wirtsmuscheln für den europäischen Bitterling sind *Anodonta anatina*, *A. cygnea*, *Unio pictorum* und *Unio tumidus* (Smith et al. 2004). *Anodonta cygnea* behält jedoch signifikant weniger Bitterlingslarven in den Kiemen als die anderen genannten Muscheln (Mills et al. 2005). Tatoj et al. (2017) konnten erstmals in Europa nachweisen, dass der europäische Bitterling *U. crassus* als Wirt für seine Larven nutzt. Die Prävalenz in infizierten Muschelpopulationen lag bei 4,25 %. In unseren Untersuchungen konnten die Bitterlingslarven nur in Muscheln der Sauer nachgewiesen werden. Hier lag die Prävalenz mit 16,7 % deutlich höher. Unsere Untersuchungen untermauern somit die noch recht neue Erkenntnis, dass auch *U. crassus* ein geeigneter Wirt für Bitterlingslarven ist. Die Paarungszeit von Bitterlingen dauert von Ende April bis Juni (Reichard et al. 2006) bzw. April bis Oktober, mit einem Höhepunkt im Mai (Smith et al. 2004). Da die Muscheln aus der Our schon am 01.04.2019 gesammelt wurden, ist es wahrscheinlich, dass die Eiablage noch nicht stattgefunden hatte. Die Muscheln aus der Our wurden bereits vier Wochen im Aquarium

gehalten. Da die Entwicklungsdauer der Bitterlingslarven in den Kiemen der Muscheln drei bis sechs Wochen beträgt (Smith et al. 2004), wäre es auch möglich, dass keine Larven nachgewiesen werden konnten weil diese die Kiemen schon verlassen haben könnten.

4.4.3 Ciliaten

Der Einfluss von Ciliaten auf Süßwassermuscheln ist nicht ausreichend erforscht. Brian und Aldridge (2019) haben eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt und den Einfluss sogenannter Endosymbionten auf die Muscheln untersucht. Dabei haben sie festgestellt, dass in drei von sieben Studien über Ciliaten ein negativer Einfluss der Ciliaten auf ihren Wirt nachgewiesen werden konnte. Viele der negativen Effekte konnten jedoch nur an einzelnen Muscheln nachgewiesen werden, wie sie sich auf die Gesamtpopulation auswirken kann nur schwer abgeschätzt werden. Laruelle et al. (1999) konnten bei *D. polymorpha* feststellen, dass sogenannte Mantelciliaten häufiger sind als bis anhin angenommen und nicht nur in der Mantelhöhle, sondern auch auf den Kiemen nachgewiesen werden konnten.

In einer Übersichtsarbeit zu Krankheiten und Pathogenen von Muscheln der Familie *Unionidae* führen Carella et al. (2016) nur drei Ciliaten als Parasiten an: *Conchophthirus* spp., *Heterocinetopsis unionidarum* und *Trichodina unionis*. Dabei wird für keinen dieser drei *U. crassus* explizit als Wirt genannt. In der hier vorliegenden Studie konnten zwei der genannten Ciliaten nachgewiesen werden.

4.4.3.1 *Conchophthirus* sp.

Die Prävalenz von *Conchophthirus* sp. in der Our betrug 26,7 % und in der Sauer 43,3 %. In der Our waren alle mit einem Grad 1 befallen und in der Sauer wiesen zehn Muscheln einen Grad 1, eine einen Grad 2 und zwei Muscheln einen Grad 3 auf. Die *Conchophthirus*exemplare wurden zu 92,5 % in den Kiemen nachgewiesen, nur 7,5 % im Mantel. Nach Grizzle und Brunner (2007) bewegen sich die Parasiten frei in der Mantelhöhle, sie sind nicht fest am Wirt verankert und die Länge beträgt bei den meisten Spezies 100 µm. Auch die von uns nachgewiesenen Exemplare hatten eine Länge von ca 100 µm. Bei Antipa und Small (1971b) konnte *Conchophthirus curtus* in Illinois mit einer Prävalenz von 55 % nachgewiesen werden, sie kamen in der gesamten Mantelhöhle in einer Anzahl von zwei bis mehrere hundert Exemplare vor. Der hauptsächliche Nachweis dieses Parasiten in Kiemenpräparaten weicht somit von den Beschreibungen dieser Autoren ab. Als mögliche Ursache kommen unterschiedliche Methoden der Probengewinnung in Frage. In der Übersichtsarbeit von (Grizzle und Brunner 2007) ist die Methodik nicht angegeben, auch die

Arbeiten, in denen die Studie von Antipa und Small (1971a) angegeben wird, ist die Methodik nicht angegeben, auf das Original war kein Zugriff möglich. Als weitere Ursachen für die Unterschiede kommen unterschiedliche Muschelspezies oder hydrobiologische Unterschiede in Frage.

Schon Antipa und Small (1971a) konnten keinen negativen Einfluss durch *Conchophthirus* sp. auf *U. crassus* nachweisen, jedoch konnte gezeigt werden, dass Muschelgewebe, vermutlich hauptsächlich Zelldetritus, verzehrt wird. Die jetzt durchgeführte Arbeit lässt keine Rückschlüsse auf die Lebensweise von *Conchophthirus* sp. zu, jedoch konnte kein signifikanter Einfluss auf das Viszeralgewicht der Muscheln gezeigt werden.

4.4.3.2 *Trichodina* sp.

Die Prävalenz für *Trichodina* sp. betrug sowohl in der Our als auch in der Sauer 10 %. Einer Muschel der Sauer war ein Grad 3 zuzuordnen, die restlichen fünf Muscheln wiesen einen Grad 1 auf. Frühere Studien haben eine Prävalenz von bis zu 100 %, jedoch mit nur ca. zehn nachgewiesenen Exemplaren pro Wirt gezeigt (Raabe und Raabe 1961; Fenchel 1965). Auch wenn die Prävalenz im Zuge der jetzigen Beobachtungen deutlich niedriger ist, zeigt sich trotzdem die Tendenz, dass die Dichte an *Trichodina* sp. in befallenen Muscheln nicht sehr hoch ist. Jedoch muss auch beachtet werden, dass nur einzelne Gewebstücke der Organe untersucht wurden. Es ist somit nicht auszuschließen, dass die gegebenenfalls die Prävalenz falsch niedrig ist, weil der Befall mit wenigen Exemplaren *Trichodina* sp. leicht übersehen werden kann.

Gut 60 % der nachgewiesenen *Trichodina* sp. befanden sich in den Kiemen der Muscheln, die restlichen knapp 40 % befanden sich im Mantel. Laut Literatur ist *Trichodina* sp. in der Mantelhöhle (Fenchel 1965) oder auf den Mundlappen, seltener in den Kiemen (Raabe und Raabe 1961) zu finden. Wie auch schon bei *Conchophthirus* sp. weichen unsere Untersuchungen auch hier bezüglich der bevorzugten Gewebslokalisierung von den zitierten Studien ab. Auch hier können methodenbedingte oder speziesbedingte Unterschiede nicht ausgeschlossen werden.

Chittick et al., (2001) untersuchte zwei Populationen von *Elliptio complanata*, in denen Ciliaten im Bereich der Kiemen gefunden wurden. Dabei handelte es sich der Form nach zu urteilen vermutlich um *Trichodina* sp. Es konnte histologisch keine entzündliche Reaktion festgestellt werden. In der hier vorgestellten Arbeit ergab die Auswertung des Befalls in Bezug auf das Viszeralgewicht keinen signifikanten Einfluss von *Trichodina* auf die Bachmuscheln.

4.4.3.3 Kleinere Ciliaten

Es wurden außerdem kleinere Ciliaten mit einer Größe von ca. 50 µm gefunden, welche nicht weiter klassifiziert werden konnten. Bei diesen Ciliaten handelt es sich vermutlich um ubiquitäre Wasserorganismen.

4.4.4 Trematoden

Trematoden konnten nativ mikroskopisch in nur einer einzigen Muschel nachgewiesen werden. Es konnten Sporozysten und Zerkarien im Ovar der befallenen Muschel dargestellt werden. Es handelte sich um eine 5,7 cm lange, weibliche Muschel mit einem Viszeralgewicht von 5,78 g. Sie lag damit von der Größe her im obersten, vom Viszeralgewicht im zweitobersten Viertel. Eine statistische Auswertung wurde durch die geringe Prävalenz (3,3 %) als nicht sinnvoll erachtet. Durch weitere Untersuchungen konnte ermittelt werden, dass es sich um *Rhipidocotyle campanula* handelte.

Rhipidocotyle spp., u.a. auch *R. campanula* nutzen Muscheln als Zwischenwirte. Die Sporozysten befallen Leber, Kiemen und Gonaden und sind ursächlich für eine reduzierte Fruchtbarkeit (Baturó 1977; Molloy et al. 1996; Jokela et al. 2005). Durch den Befall wird das Gonadengewebe durch Sporozysten und fibrosiertes Gewebe ersetzt (Grizzle und Brunner 2007). Des Weiteren konnte eine reduzierte Wachstumsrate bei mit *R. campanula* und *Rhipidocotyle fennica* infizierten Muscheln (*Anodonta piscinalis*) festgestellt werden (Taskinen 1998). Saarinen und Taskinen (2005) hielten *A. piscinalis* im Labor bei einer Temperatur von 26 °C, statt wie in ihrer natürlichen Umgebung bei 10 °C. Ziel war es festzustellen, ob der Parasit *Paraergasilus rylovi* bei erhöhter Temperatur die Muscheln verlässt. Dabei starben 15 % der Muscheln im Laufe des Experiments. Alle verstorbenen Muscheln waren mit *R. campanula* oder *R. fennica* befallen. Grizzle und Brunner (2007) schlussfolgerte daraus eine vermehrte Empfindlichkeit gegenüber erhöhter Wassertemperatur bei mit *Rhipidocotyle* spp. infizierten Muscheln. Überlebende Muscheln wurden jedoch in diesem Experiment nicht auf den Befall mit *Rhipidocotyle* spp. untersucht, daher erscheint diese Schlussfolgerung fragwürdig.

Die bekannten Prävalenzen für *Rhipidocotyle* spp. variieren je nach Studie. Taskinen und Valtonen (1995) gaben für *R. fennica* und *R. campanula* bei Untersuchungen an *A. piscinalis* eine Prävalenz von weniger als 50 % an. Jokela et al. (2005) untersuchten ebenfalls Exemplare von *A. piscinalis* und gaben bei *R. campanula* eine Prävalenz von unter 5 % an, jedoch wurden 90 % des Gonadengewebes zerstört. Bei *R. fennica* lag die Prävalenz bei

20 – 60 %, wobei jedoch nur ca. 30 % des Gonadengewebes geschädigt wurde. Dies erweckt den Anschein, dass *R. campanula* pathogener ist als *R. fennica*. Die Untersuchungen zeigten ebenfalls, dass Hungerperioden und Sauerstoffmangel bei Muscheln, die mit *R. campanula* oder *R. fennica* infiziert waren, zu einer höheren Mortalität führten als bei Muscheln, die nicht infiziert waren. Der Einfluss von *R. campanula* war stärker als jener von *R. fennica* (Jokela et al. 2005).

Eine isländische Studie untersuchte das Vorkommen von *Proisorhynchoides borealis* in *Abra prismatica*. *Proisorhynchoides borealis* gehört wie auch *Rhipidocotyle* spp. zu den bucephaliden Trematoden. Lichtmikroskopisch konnte *P. borealis* in seziierten Muscheln im September mit einer Prävalenz von 7 % und im Oktober mit einer Prävalenz von 33 % nachgewiesen werden. Im Mai und Juni konnte *P. borealis* nicht nachgewiesen werden (Eydal et al. 2013). Auch bei *Rhipidocotyle* sp. gibt es jahreszeitliche Unterschiede. Eine finnische Studie von Alabi (2013) zeigte, dass die Abgabe von Zerkarien saisonal verläuft. In dieser Studie wurde die Anzahl der ins Wasser abgegebenen Zerkarien von *R. campanula* und *R. fennica* aus Exemplaren der Muschel *A. anatina* erhoben. Die Untersuchungen zeigten, dass die Ausscheidung von Ende Mai bis Oktober stattfand, mit ihrem Höhepunkt Ende Juli bis Anfang September, abhängig von der Wassertemperatur. Es gab drei Kategorien, hohe, mittlere und niedrige Temperatur, bei denen die Abgabe von Zerkarien gemessen wurde, zudem wurden zwei verschiedene Flüsse untersucht. Die Temperatur zum Zeitpunkt der maximalen Zerkarienabgabe lag zwischen 13 °C und 22,2 °C.

Laut einer Studie von Taskinen et al. (1994) wurden Zerkarien von *R. campanula* aus *A. piscinalis* vom Frühjahr bei einer Temperatur von 16,8 °C bis zum Herbst bei 18 °C freigesetzt. Die Auslöser und Mechanismen der Freisetzung sind nicht geklärt. Die Prävalenz des Parasiten zeigte in den untersuchten Proben kein jahreszeitliches Muster. Bei unseren Untersuchungen konnten alle Entwicklungsstadien der Zerkarien gefunden werden. Dies stimmt mit Beobachtungen von Taskinen et al. (1994) überein. Saisonale Änderungen sind laut dieser Studie ab April bis zum Frühherbst zu erwarten, wenn der Anteil der Stadium 4 Zerkarien ansteigt.

Matthews' (1974) Untersuchungen an *Abra alba* legten nahe, dass die Infektion in zunehmendem Alter kumuliert. Die in unseren Untersuchungen mit *Rhipidocotyle* sp. infizierte Muschel wies eine Größe von 5,7 cm auf und war somit schon relativ groß. Ob das Untersuchungsergebnis durch saisonale Unterschiede beeinflusst wurde, kann nicht

abgeschätzt werden. Um einen genaueren Überblick über das Vorkommen von Trematoden in der Our und der Sauer zu erhalten, wären Untersuchungen zu verschiedenen Jahreszeiten anzustreben. Ebenso wäre eine möglichst objektive Beurteilung des Befalls wünschenswert. Brian und Aldridge (2020) etablierten eine Methode, um mittels definierter Probengröße und Probenanzahl den prozentualen Anteil der Gonaden zu ermitteln, der durch den Trematodenbefall zerstört wurde. Dies ist insbesondere von Bedeutung, da auch Muscheln, bei denen ein gewisser Anteil der Gonaden befallen ist, noch immer in der Lage ist, sich fortzupflanzen (Taskinen und Valtonen 1995).

Eine natürliche Infektion von *U. crassus* mit *R. campanula* wurde erstmals 2014 beschrieben (Petkevičiūtė et al. 2014), zuvor wurde der Parasit nur bei anderen Unioniden beschrieben. Weshalb *R. campanula* nur in der Sauer, nicht aber in der Our nachgewiesen werden konnte, ist nicht geklärt. Möglicherweise sind nicht alle Wirte, insbesondere Hecht (*Perca fluviatilis*) und Zander (*Sander lucioperca*) als Ausscheider der Eier von *R. campanula*, aber auch die Rotaugen (*Rutilus rutilus*) zur Vervollständigung des Zyklus, vorhanden.

Es konnten keine Aspidogastridae nachgewiesen werden. In Nordamerika sind Aspidogastridae häufig vorkommende Parasiten bei Bivalvia. Seltener kommen sie auch bei Schildkröten, Fischen oder Gastropoden vor (Hendrix et al. 1985). Die am häufigsten genannten sind *Aspidogaster conchiola* und *Cotylaspis insignis* (Hendrix et al. 1985; Duobinis-Gray et al. 1991). Untersuchungen in Polen zeigten, dass *Aspidogaster conchiola* auch in Europa vorkommt (Marszewska und Cichy 2015).

4.4.5 Gesamt-Parasitenscore

Die Sauer wies einen signifikant höheren Gesamt-Parasitenscore auf als die Our. Mögliche Ursachen dafür könnten die unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeit der Flüsse sein, die Our hat im untersuchten Bereich eine höhere Durchflussrate als die Sauer. Zudem haben zahlreiche biotische und abiotische Faktoren einen Einfluss auf das Vorkommen der unterschiedlichen Organismen. Auch Unterschiede in der Populationsdynamik von *U. crassus* könnten ursächlich sein.

Wurde der Gesamt-Parasitenscore ohne Wassermilben berechnet, bestand kein signifikanter Unterschied mehr zwischen den Populationen der Our und der Sauer. Daher ist anzunehmen, dass die Ursache für den Unterschied zwischen Our und Sauer ein Faktor ist, der hauptsächlich die Milben beeinflusste. Insbesondere Einflüsse auf bzw. das Vorkommen von

Zwischenwirten könnten beachtliche Beeinträchtigungen auf den Lebenszyklus der Milben haben, weshalb diese dann in Folge seltener vorkommen würden.

Die durchgeführte Arbeit bietet eine Übersicht über Parasiten von Frischwassermuscheln und zeigt, dass diese auch in den untersuchten Regionen der Our und Sauer in Luxemburg vorkommen. Bis auf die Bitterlinge und *R. campanula* konnten alle Parasiten in beiden Flüssen nachgewiesen werden, wenn auch nicht immer alle Stadien wie im Falle der Milben. Von *R. campanula* ist der schädigende Einfluss bekannt. Insofern erscheint es wünschenswert, angesichts des bedrohten Zustandes der *U. crassus* Populationen die Verbreitung und den Einfluss dieses Parasiten weiter zu untersuchen.

5. Zusammenfassung

Im Zuge dieser Untersuchung wurden je 30 Exemplare zweier Populationen von Bachmuscheln (*Unio crassus*) aus zwei verschiedenen Flüssen in Luxemburg, der Our und der Sauer, untersucht. Die Muscheln wurden vermessen, gewogen, es wurden histologische Proben entnommen, sowie lichtmikroskopisch Proben aus dem Mantel, den Kiemen, der Verdauungsdrüse und den Gonaden untersucht. Hauptaugenmerk lag dabei auf der Erkennung und Identifizierung von Parasiten. Es konnten bereits bekannte Ciliaten wie *Conchophthirus* sp. und *Trichodina* sp. nachgewiesen werden. In der Sauer konnten auch Fischlarven, die vermutlich dem europäischen Bitterling (*Rhodeus amarus*) angehörten, nachgewiesen werden. In einer Muschel aus der Sauer konnten Sporozysten und Zerkarien von *Rhipidocotyle campanula* nachgewiesen werden. In beiden Populationen konnten Wassermilben nachgewiesen werden, in der Sauer konnten Adulte und Nymphen weiter untersucht werden und eine neue Spezies namens *Unionicola sauerensis* sp. nov. beschrieben werden. Die meisten Parasiten befanden sich in den Kiemen oder auf dem Mantel, lediglich die Trematoden konnten in den Gonaden nachgewiesen werden. Diese Untersuchung war die erste parasitologische Untersuchung von *U. crassus* in Luxemburg.

Es konnte in keinem Fall ein Zusammenhang zwischen dem Gesundheitsstatus der Muschel, für den stellvertretend das Viszeralgewicht herangezogen wurde und den jeweils nachgewiesenen Parasiten festgestellt werden.

Im Zuge dieser Untersuchung wurde das Vorkommen von Hermaphroditen bei *U. crassus* erstmalig beschrieben. Es wurden zwei Zwitter in der Population der Sauer gefunden.

Die durchgeführte Arbeit bietet eine Übersicht über bei Süßwassermuscheln verbreitete Parasiten und zeigt, dass diese auch bei *U. crassus* in den untersuchten Regionen der Our und Sauer in Luxemburg vorkommen.

6. Abstract

This study reports the investigation of 30 individuals each from two populations of thick shelled river mussel (*Unio crassus*) from the Our and Sauer rivers in Luxembourg. The mussels were measured, weighed, histological samples were taken, and samples from the mantle, gills, digestive gland, and gonads were microscopically investigated. The main emphasis was on the recognition and identification of parasites. We found ciliates such as *Conchophthirus* sp. and *Trichodina* sp. which had already been described before. Samples from the Sauer river also harboured fish larvae, most likely from European bitterling *Rhodeus amarus*. One mussel from the Sauer contained sporocysts and cercaria of *Rhipidocotyle campanula*. Both populations were host to *Hydrachnidia* and both, adults and nymphs samples from the Sauer were further investigated, resulting in the discovery of a new species named *Unionicola sauerensis* sp. nov.. Most parasites were found in the gills and on the mantle, with trematodes being present in gonads. This has been the first parasitological investigation of *U. crassus* in Luxembourg.

No correlation was found between the mussels' health state, indicated by visceral weight, and their respective parasite infestation.

This report is also the first description of hermaphroditism in *U. crassus*, as two hermaphrodites were found in the sample from the Sauer river.

This study presents an overview of parasites in freshwater mussels and shows them being present in the investigated region of Our and Sauer rivers in Luxembourg.

7. Danksagung

Ich möchte mich bei allen Personen bedanken, die mir bei der Erstellung dieser Arbeit zur Seite standen.

Insbesondere möchte ich mich bei meiner Betreuerin Dr.med.vet. Dipl. ECAAH Eva Lewisch bedanken, die mich stets geduldig unterstützte und mit wertvollen Tipps und Hilfestellungen zum Entstehen dieser Arbeit wesentlich beitrug.

Ebenso möchte ich mich bei allen Beteiligten des Projekts „Restoration of Unio crassus rivers in the Luxembourgish Ardennes LIFE11 NAT/LU/857“, insbesondere bei Dr. Frankie Thielen und Michel Frisch, für die Zusammenarbeit und die Bereitstellung der untersuchten Muscheln bedanken.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie und meinem Freund bedanken, die mich sowohl beim Verfassen der Diplomarbeit, aber auch im Zuge des gesamten Studiums immer bestmöglich unterstützen.

8. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Ggr.	geringgradig
Hgr.	hochgradig
Mgr.	mittelgradig
N.d.	nicht durchgeführt
Sign.	signifikant
Tab.	Tabelle

9. Literaturverzeichnis

- Abdel-Gaber R, Fol M, Quraishy S Al. 2018. Light and Scanning Electron Microscopic Studies of *Unionicola tetrafurcatus* (Acari: Unionicolidae) Infecting Four Freshwater Bivalve Species and Histopathological Effect On Its Hosts. *Journal of Parasitology*, 104(4):359–371.
- Abràmoff MD, Magalhães PJ, Ram SJ. 2004. Image processing with imageJ. *Biophotonics International*, 11(7):36–41.
- Alabi WA. 2013. The effect of temperature on cercariae production of two *Rhipidocotyle trematodes* parasitizing freshwater mussel, *Anodonta anatina*. Jyväskylä.
- Aldridge DC. 1999. The morphology, growth and reproduction of Unionidae (Bivalvia) in a Fenland waterway. *Journal of Molluscan Studies*, 65(1):47–60.
- Aldridge DC, Cmiel A, Lipinska A, Lopes-Lima M, Sousa R, Teixeira A, Zajac K, Zajac T. 2018. Remarkable reproductive spurting behaviour of endangered thick shelled river mussel, *Unio crassus*. 1st Freshwater Mollusk Conservation Society Meeting in Europe.
- Antipa GA, Small EB. 1971a. A Redescription of *Conchophthirus curtus* Engelmann, 1862 (Protozoa, Ciliata). *The Journal of Protozoology*, 18(3):491–503.
- Antipa GA, Small EB. 1971b. The Occurrence of Thigmotrichous Ciliated Protozoa Inhabiting the Mantle Cavity of Unionid Molluscs of Illinois. *Transactions of the American Microscopical Society*, 90(4):463–472.
- Baker RA. 1977. Nutrition of the mite *unionicola intermedia* koenike and its relationship to the inflammatory response induced in its molluscan host *anodonta anatina*, I. *Parasitology*, 75(3):301–308.
- Baker RA. 1987. Aspects of the life history of *Unionicola ypsilophora* (Bonz 1783), a freshwater mite living in the swan mussel, *Anodonta cygnea* (L.). *Naturalist (Leeds)*, 112(981):53–58.
- Baker SM, Hornbach DJ. 1997. Acute physiological effects of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) infestation on two unionid mussels, *Actiononaias ligamentina* and *Amblema plicata*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54(3):512–519.
- Baturo B. 1977. *Bucephalus polymorphus* Baer, 1827 and *Rhipidocotyle illense* (Ziegler, 1883)

- (Trematoda, Bucephalidae): morphology and biology of developmental stages. *Acta Parasitologica Polonica*, 24.
- Bauer G. 1998. Allocation policy of female freshwater pearl mussels. *Oecologia*, 117(1–2):90–94.
- Bauer G. 2001. *Ecology and Evolution of the Freshwater Mussels Unionoida: With 38 Tables*. Springer Science & Business Media.
- Bednarczyk J. 1986. Untersuchungen zu Wirtsfischspektrum und Entwicklung der Bachmuschel *Unio crassus*. Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Beukeboom LW, Perrin N. 2014. *The evolution of sex determination*. Oxford University Press, USA.
- Bohlen J, Šlechtová V, Bogutskaya N, Freyhof J. 2006. Across Siberia and over Europe: Phylogenetic relationships of the freshwater fish genus *Rhodeus* in Europe and the phylogenetic position of *R. sericeus* from the River Amur. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 40(3):856–865.
- Brian JI, Aldridge DC. 2019. Endosymbionts: An overlooked threat in the conservation of freshwater mussels? *Biological Conservation*, 237(April):155–165.
- Brian JI, Aldridge DC. 2020. An efficient photograph-based quantitative method for assessing castrating trematode parasites in bivalve molluscs. *Parasitology*, 147(12):1375–1380.
- Bringolf RB, Cope WG, Eads CB, Lazaro PR, Barnhart MC, Shea D. 2007. Acute and chronic toxicity of technical-grade pesticides to glochidia and juveniles of freshwater mussels (Unionidae). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 26(10):2086–2093.
- Campbell RA. 2008. Family Gorgoderidae Looss, 1899. *Keys to the Trematoda*, volume 3, 191–213.
- Carella F, Villari G, Maio N, De Vico GD. 2016. Disease and disorders of freshwater unionid mussels: A brief overview of recent studies. *Frontiers in Physiology*, 7(NOV):1–8.
- Carus CG. 1832. *Neue Untersuchungen über die Entwicklungsgeschichte unserer Flussmuschel*. G. Fleischer.
- Chittick B, Stoskopf M, Law M, Overstreet R, Levine J. 2001. Evaluation of potential health risks to Eastern Elliptio (*Elliptio complanata*) (Mollusca: Bivalvia: Unionida: Unionidae)

- and implications for sympatric endangered freshwater mussel species. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 9(1):35–42.
- Ciocan CM, Cubero-Leon E, Peck MR, Langston WJ, Pope N, Minier C, Rotchell JM. 2012. Intersex in *Scrobicularia plana*: transcriptomic analysis reveals novel genes involved in endocrine disruption. *Environmental science & technology*, 46(23):12936–12942.
- Ćmiel AM, Zając K, Lipińska AM, Zając T. 2018. Glochidial infestation of fish by the endangered thick-shelled river mussel *Unio crassus*. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 28(3):535–544.
- Cohen J. 1988. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2. ed. Hillsdale, NJ [u.a.]: Erlbaum.
- Coker RE, Shira AF, Clark HW, Howard AD. 1921. *Natural history and propagation of freshwater mussels*. US Government Printing Office.
- Dimock R V. 1985. Population Dynamics of *Unionicola formosa* (Acari: Unionicolidae), a Water Mite with a Harem. *The American Midland Naturalist*, 114(1):168–179.
- Douda K. 2009. Effects of nitrate nitrogen pollution on Central European unionid bivalves revealed by distributional data and acute toxicity testing. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 656(October 2006):636–656.
- Douda K, Horký P, Bílý M. 2012. Host limitation of the thick-shelled river mussel: Identifying the threats to declining affiliate species. *Animal Conservation*, 15(5):536–544.
- Dümpelmann C, Nagel K-O. 2015. Bachmuschel, *Unio crassus* Philipsson, 1788. *Atlas der Fische Hessens - Verbreitung der Rundmäuler, Fische, Krebse und Muscheln - FENA Wissen, Band 2*. 384–387.
- Duobinis-Gray L, Urban E, Sickel J, Owen D, Maddox W. 1991. Aspidogastriid (Trematoda) parasites of unionid (Bivalvia) molluscs in Kentucky Lake. *Journal of the Helminthological Society of Washington*, 58(2):167–170.
- Edwards D. 2014. Let's talk science - Mites of Freshwater Mollusks. *Proceedings of the Indiana Academy of Science*. 204–216.
- Edwards DD, Vidrine MF. 2013. *Mites of freshwater mollusks*. Malcolm F. Vidrine Eunice, Louisiana; 336 pp.

- Engel HBJ. 1990. Untersuchungen zur Autökologie von *Unio crassus* (PHILIPSSON) in Norddeutschland. Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Engelstädter J, Hurst GDD. 2009. The ecology and evolution of microbes that manipulate host reproduction. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40:127–149.
- Eybe T, Arendt A, Klein L, Heumann S, Thielen F. 2019. Restoration of *Unio crassus* rivers in the Luxemburgish Ardennes LIFE 11 NAT/LU/857 Zuchtprotokoll für *Unio crassus*.
- Eydal M, Freeman MA, Kristmundsson Á, Bambir SH, Jónsson PM, Helgason S. 2013. *Prosorhynchoides borealis* Bartoli, Gibson & Bray, 2006 (Digenea: Bucephalidae) cercariae from *Abra prismatica* (Mollusca: Bivalvia) in Icelandic waters. *Journal of Helminthology*, 87(1):34–41.
- Fenchel T. 1965. Ciliates from Scandinavian molluscs. *Ophelia*, 2(1):71–174.
- Geist J. 2014. Trends and Directions in Water Quality and Habitat Management in the Context of the European Water Framework Directive. *Fisheries*, 39(5):219–220.
- Ghiselin MT. 1969. The evolution of hermaphroditism among animals. *The Quarterly review of biology*, 44(2):189–208.
- Gómez I, Araujo R. 2007. Channels and ditches as the last shelter for freshwater mussels: the case of *Margaritifera auricularia* and other naiads inhabiting the mid Ebro River Basin, Spain. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 656(October 2006):636–656.
- Grandjean F. 1938. Observations sur les Acariens (4ième série). *Bull. Mus. Hist. Nat. Paris, Ser. 2*, 10(1):64–71.
- Grizzle JM, Brunner CJ. 2007. Assessment of Current Information Available for Detection, Sampling, Necropsy, and Diagnosis of Diseased Mussels. Alabama: Auburn University.
- Grizzle JM, Brunner CJ. 2009. Infectious Diseases of Freshwater Mussels and Other Freshwater Bivalve Mollusks. *Reviews in Fisheries Science*, 17(4):425–467.
- Hartmann JT, Beggel S, Auerswald K, Stoeckle BC, Geist J. 2016. Establishing mussel behavior as a biomarker in ecotoxicology. *Aquatic Toxicology*, 170:279–288.
- Heinricher JR, Layzer JB. 1999. Reproduction by Individuals of a Nonreproducing Population of *Megaloniais nervosa* (Mollusca: Unionidae) Following Translocation. *The American*

- Midland Naturalist, 141(1):140–148.
- Helama S, Valovirta I, Nielsen JK. 2017. Growth characteristics of the endangered thick-shelled river mussel (*Unio crassus*) near the northern limit of its natural range. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 27(2):476–491.
- Hendrix S, Vidrine M, Hartenstine R. 1985. A list of records of freshwater aspidogastrids (Trematoda) and their hosts in North America. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington*, 52(2):289–296.
- Hochwald S. 1997. Das Beziehungsgefüge innerhalb der Größenwachstums- und Fortpflanzungsparameter bayerischer Bachmuschelpopulationen (*Unio crassus* PHIL. 1788) und dessen Abhängigkeit von Umweltparametern. Bayreuther Forum Ökologie. Bayreuther Inst. für Terrestrische Ökosystemforschung;
- Hochwald S. 2001. Plasticity of life-history traits in *Unio crassus*. *Ecology and evolution of the freshwater mussels Unionoida*. 127–141, Springer;
- Hochwald S, Gum B, Rudolph B-U, Sachteleben J. 2012. Leitfaden Bachmuschelschutz. 119.
- IUCN. 2021. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-3. <https://www.iucnredlist.org>. Accessed on [10.08.2021]
- Jokela J, Taskinen J, Mutikainen P, Kopp K. 2005. Virulence of Parasites in Hosts under Environmental Stress: Experiments with Anoxia and Starvation. *Oikos*, 156–164.
- Juhel G, Culloty SC, O’Riordan RM, O’Connor J, De Faoite L, McNamara R. 2003. A histological study of the gametogenic cycle of the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) in Lough Derg, Ireland. *Journal of Molluscan Studies*, 69(4):365–373.
- Kelly HM. 1899. A Statistical Study of the Parasites of the Unionidae. *Illinois Natural History Survey Bulletin*, 5(1-12 SE-Articles):399–418.
- Kennedy WJ, Taylor JD, Hall A. 1969. Environmental and biological controls on bivalve shell mineralogy. *Biological Reviews*, 44(4):499–530.
- Kidder GW. 1934. Studies on the ciliates from fresh water mussels: I. The structure and neuromotor system of *conchophthirius anodontae stein*, *C. curtus engl.*, and *C. magna* sp. nov. *The Biological Bulletin*, 66(1):69–90.

- Laruelle F, Molloy DP, Fokin SI, Ovcharenko MA. 1999. Histological analysis of mantle-cavity ciliates in *Dreissena polymorpha*: Their location, symbiotic relationship, and distinguishing morphological characteristics. *Journal of Shellfish Research*, 18(1):251–257.
- Leary S, Underwood W, Anthony R, Cartner S, Grandin T, Greenacre C, Gwaltney-brant S, Mccrackin MA, Meyer R, Miller D, et al. 2020. AVMA Guidelines for the Euthanasia of animals.
- Lewis E, Arnold F, Fuehrer H, Harl J, Reichart U, Handschuh S, Thielen F, El-Matbouli M. 2021. First description of freshwater mite *Unionicola sauerensis* sp. nov. infesting thick-shelled river mussel *Unio crassus*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 145:63–77.
- Lopes-Lima M, Sousa R, Geist J, Aldridge DC, Araujo R, Bergengren J, Bernal Y, Bódis E, Burlakova L, Van Damme D, et al. 2017. Conservation status of freshwater mussels in Europe: state of the art and future challenges. *Biological Reviews*, 92(1):572–607.
- Marszewska A, Cichy A. 2015. Unionid clams and the zebra mussels on their shells (Bivalvia: Unionidae, Dreissenidae) as hosts for trematodes in lakes of the Polish lowland. *Folia Malacologica*, 23(2):149–154.
- Martin P, Stur E. 2006. Parasite-host associations and life cycles of spring-living water mites (Hydrachnidia, Acari) from Luxembourg. *Hydrobiologia*, 573(1):17–37.
- Matthews RA. 1974. The Life-Cycle of *Bucephaloides gracilescens* (Rudolphi, 1819) Hopkins, 1954 (Digenea: Gasterostomata). *Parasitology*, 68(1):1–12.
- McElwain A, Fleming R, Lajoie M, Maney C, Springall B, Bullard SA. 2016. Pathological Changes Associated with Eggs and Larvae of *Unionicola* sp. (Acari: Unionicolidae) Infecting *Strophitus connasaugaensis* (Bivalvia: Unionidae) from Alabama Creeks. *Journal of Parasitology*, 102(1):75–86.
- Mills SC, Taylor MI, Reynolds JD. 2005. Benefits and costs to mussels from ejecting bitterling embryos: A test of the evolutionary equilibrium hypothesis. *Animal Behaviour*, 70(1):31–37.
- Mioduchowska M, Kaczmarczyk A, Zając K, Zając T, Sell J. 2016. Gender-Associated Mitochondrial DNA Heteroplasmy in Somatic Tissues of the Endangered Freshwater Mussel *Unio crassus* (Bivalvia: Unionidae): Implications for Sex Identification and Phylogeographical Studies. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics*

and Physiology, 325(9):610–625.

- Mioduchowska M, Katarzyna Z, Tadeusz Z, Jerzy S. 2020. *Wolbachia* and *Cardinium* infection found in threatened unionid species: a new concern for conservation of freshwater mussels? Conservation Genetics, 21:381–386.
- Mitchell RD. 1955. Anatomy, life history, and evolution of mites parasitizing fresh-water mussels. Miscellaneous Publications of the Museum of Zoology, University of Michigan, 89(89):1–28.
- Molloy DP, Roitman VA, Shields JD. 1996. Survey of the parasites of zebra mussels (Bivalvia: Dreissenidae) in northwestern Russia, with comments on records of parasitism in Europe and North America. Journal of the Helminthological Society of Washington, 63(2):251–256.
- Mueller M, Pander J, Geist J. 2011. The effects of weirs on structural stream habitat and biological communities. Journal of Applied Ecology, 48(6):1450–1461.
- Overstreet RM, Curran SS. 2002. Superfamily Bucephaloidea Poche, 1907. Keys to the Trematoda: Volume 1, 67–110.
- Petkevičiūtė R, Stunžėnas V, Stanevičiūtė G. 2014. Differentiation of European freshwater bucephalids (Digenea: Bucephalidae) based on karyotypes and DNA sequences. Systematic Parasitology, 87(2):199–212.
- Piechocki A, Wawrzyniak-Wydrowska B. 2016. Guide to freshwater and marine Mollusca of Poland. 279 pp., Bogucki Wydawnictwo Naukowe;
- Preston SJ, Harrison A, Lundy M, Roberts D, Beddoe N, Rogowski D. 2010. Square pegs in round holes—the implications of shell shape variation on the translocation of adult *Margaritifera margaritifera* (L.). Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 20(5):568–573.
- Raabe J, Raabe Z. 1961. Urceolariidae from fresh-water and terrestrial molluscs in Poland. Acta Parasitologica Polonica, 9:141–151.
- Reichard M, Ondračková M, Przybylski M, Liu H, Smith C. 2006. The costs and benefits in an unusual symbiosis: Experimental evidence that bitterling fish (*Rhodeus sericeus*) are parasites of unionid mussels in Europe. Journal of Evolutionary Biology, 19(3):788–796.

- Richard JC, Leis E, Dunn CD, Agbalog R, Waller D, Knowles S, Putnam J, Goldberg TL. 2020. Mass mortality in freshwater mussels (*Actinonaias pectorosa*) in the Clinch River, USA, linked to a novel densovirus. *Scientific reports*, 10(1):1–10.
- Richard JC, Campbell LJ, Leis EM, Agbalog RE, Dunn CD, Waller DL, Knowles S, Putnam JG, Goldberg TL. 2021. Mussel mass mortality and the microbiome: Evidence for shifts in the bacterial microbiome of a declining freshwater bivalve. *Microorganisms*, 9(9).
- Richardson SD. 1990. Studies on the life-cycle of the digenetic trematode *Rhipidocotyle Campanula* (Dujardin, 1845) (Gasterostoma : Bucephalidae) with particular reference to the larval stages. Leeds.
- Saarinen M, Taskinen J. 2005. Local adaptation in a crustacean parasite-molluscan host interaction: A field experiment. *Evolutionary Ecology Research*, 7(8):1191–1199.
- Smith C, Reichard M, Jurajda P, Przybylski M. 2004. The reproductive ecology of the European bitterling (*Rhodeus sericeus*). *Journal of Zoology*, 262(2):107–124.
- Smith IM, Cook DR, Smith BP. 2010. Chapter 15 - Water Mites (Hydrachnidia) and Other Arachnids. In: Thorp JH, Covich APBT-E and C of NAFI (Third E, Hrsg. 485–586, San Diego: Academic Press;
- Soroka M, Wasowicz B, Zaj c K. 2021. Conservation status and a novel restoration of the endangered freshwater mussel *Unio crassus* Philipsson, 1788: Poland case. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 2020-Janua(422).
- Starliper CE. 2011. Pathogens and diseases of freshwater mussels in the United States: studies on bacterial transmission and depuration. Third Bilateral Conference Between Russia and the United States, Aquatic Animal Health 2009. 47–55.
- Strayer DL. 2008. *Freshwater Mussel Ecology: A Multifactor Approach to Distribution and Abundance*. University of California Press.
- Taeubert JE, El-Nobi G, Geist J. 2014. Effects of water temperature on the larval parasitic stage of the thick-shelled river mussel (*Unio crassus*). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 24(2):231–237.
- Tankersley RA. 1996. Multipurpose gills: effect of larval brooding on the feeding physiology of freshwater unionid mussels. *Invertebrate Biology*, 243–255.

- Taskinen J. 1998. Influence of trematode parasitism on the growth of a bivalve host in the field. *International Journal for Parasitology*, 28(4):599–602.
- Taskinen J, Valtonen ET. 1995. Age-, size-, and sex-specific infection of *Anodonta piscinalis* (Bivalvia: Unionidae) with *Rhipidocotyle fennica* (Digenea: Bucephalidae) and its influence on host reproduction. *Canadian Journal of Zoology*, 73(5):887–897.
- Taskinen J, Valtonen ET, Mäkelä T. 1994. Quantity of sporocysts and seasonality of two *Rhipidocotyle* species (Digenea: Bucephalidae) in *Anodonta piscinalis* (Mollusca: Bivalvia). *International Journal for Parasitology*, 24(6):877–886.
- Tatoj K, Ćmiel AM, Kwaśna D, Lipińska AM, Zając K, Zając T. 2017. The endangered thick-shelled river mussel (*Unio crassus*): a new host species for the European bitterling (*Rhodeus amarus*). *Biodiversity and Conservation*, 26(5):1217–1224.
- Vidrine MF. 1996. North American Najadicola and Unionicola: diagnoses and distributions. Gail Q. Vidrine Collectibles.
- Young RJ, Clayton H, Barnard CJ. 1990. Risk-sensitive foraging in bitterlings, *Rhodeus sericeus*: effects of food requirement and breeding site quality. *Animal Behaviour*, 40(2):288–297.
- Zając K, Zając T. 2011. The role of active individual movement in habitat selection in the endangered freshwater mussel *unio crassus philipsson 1788*. *Journal of Conchology*, 40(4):446–461.
- Zając K, Zając TA. 2021. Seasonal patterns in the developmental rate of glochidia in the endangered thick-shelled river mussel, *Unio crassus Philipsson, 1788*.
- Zhang L, Tang QY, Liu HZ. 2008. Phylogeny and speciation of the eastern Asian cyprinid genus *Sarcocheilichthys*. *Journal of Fish Biology*, 72(5):1122–1137.
- Zhong L, Xiao T-Y, Huang J, Dai L-Y, Liu X-Y. 2011. Histopathological examination of bivalve mussel *Hyriopsis cumingii* Lea artificially infected by virus. *Acta Hydrobiol.*, 35(4):666–671.

10. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 - geschlossene Muschel.....	1
Abb. 2 - Ansicht von dorsal	2
Abb. 3 - eröffnete Muschel	2
Abb. 4 - Viszera aus Schale gelöst	3
Abb. 5 - Stellen der Probenentnahme aus Mantel (roter Stern) und Kieme (grüner Stern) ...	10
Abb. 6 - durchtrennte Muschel zur Gewinnung der histologischen Proben	10
Abb. 7 - Proben der Muscheln in einer histologischen Kassette; von oben nach unten: Kiemen ohne (links) und mit (rechts) Glochidien, Mantel und Stück des Viszeralsacks mit den darin enthaltenen Organen	11
Abb. 8 - Vermessung des Schalendefekts	14
Abb. 9 - Vermessung der gesamten Schalenfläche	14
Abb. 10 - Ergebnisse der Vermessung.....	14
Abb. 11 - Boxplot-Diagramm zur Darstellung der Quantile der Muschellänge in cm von den Muscheln aus der Our und Sauer	17
Abb. 12 - Boxplot-Diagramm zur Darstellung der Quantile des Viszeralgewichts in g von den Muscheln aus der Our und Sauer	19
Abb. 13 - graphische Darstellung der Größen- und Gewichtsverhältnisse in der Our	20
Abb. 14 - graphische Darstellung der Größen- und Gewichtsverhältnisse in der Sauer	20
Abb. 15 - Größe und Viszeralgewicht dargestellt in Abhängigkeit des Geschlechts.....	22
Abb. 16 - Darstellung des Viszeralgewichts weiblicher Muscheln ohne Glochidien (0) und mit Glochidien (1) mit eingeblendeter Trendlinie	23
Abb. 17 - Muschel mit ggr. Schalendefekt	24
Abb. 18 - Muschel mit mgr. Schalendefekt	25
Abb. 19 - Muschel mit hgr. Schalendefekt	25
Abb. 20 - Muschel mit tiefem, beinahe durchbrechendem Schalendefekt	25
Abb. 21 - Darstellung der Graduierung des Schalendefekts im Vergleich zum Schalengewicht der Muscheln aus der Our mit eingeblendeter Trendlinie	26
Abb. 22 - Darstellung der Graduierung des Schalendefekts im Vergleich zum Schalengewicht der Muscheln aus der Sauer mit eingeblendeter Trendlinie	27
Abb. 23 - stereomikroskopische Aufnahme einer adulten Milbe	28
Abb. 24 - stereomikroskopische Aufnahme einer Nymphe.....	28

Abb. 25 - mikroskopische Ansicht nicht motiler Milbenlarvenstadien.....	29
Abb. 26 - mikroskopische Ansicht einer freiliegenden Milbenlarve	29
Abb. 27 - Ansammlung von Milbeneiern im Mantel	30
Abb. 28 - Milbengesamtscore beider Populationen von Muscheln.....	32
Abb. 29 - stereomikroskopische Aufnahme von Bitterlingslarven in Kieme	33
Abb. 30 - Bitterlingslarven in einer Petrischale unter dem Stereomikroskop	33
Abb. 31 - makroskopische Aufnahme einer Muschel mit gelben Bitterlingslarven in den Kiemen (blaue Pfeile) und rechts im vergrößerten Bereich des Mantels mobile Milbenstadien (schwarze Pfeile).....	33
Abb. 32 - Viszeralgewicht der Muscheln in Zusammenhang mit dem Grad des Befalls mit Bitterlingslarven, sowie die eingeblendete positive Trendlinie	34
Abb. 33 - Gesamtlänge der Muscheln in Zusammenhang mit dem Grad des Befalls mit Bitterlingslarven, sowie die eingeblendete positive Trendlinie.....	35
Abb. 34 – <i>Conchophthirus</i> sp. unter dem Lichtmikroskop	35
Abb. 35 – <i>Trichodina</i> sp. unter dem Lichtmikroskop	36
Abb. 36 - kleine Ciliaten unter dem Lichtmikroskop.....	37
Abb. 37 - lichtmikroskopische Aufnahme einer Zerkarie von <i>Rhipidocotyle</i> sp. in den Gonaden von <i>U. crassus</i>	38
Abb. 38 - lichtmikroskopische Aufnahme von Sporozysten von <i>Rhipidocotyle</i> sp. in den Gonaden von <i>U. crassus</i>	39

11. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Übersicht Parasiten.....	16
Tab. 2: Anzahl der Muscheln je Fluss in den verschiedenen Graduierungen der Schalendefekte	26
Tab. 3: Anzahl der Muscheln aus der Our und der Sauer in denen Milbenstadien gefunden wurden unter Berücksichtigung der Befallsgrade.....	31
Tab. 4: Gesamtparasitenscore und die Anzahl der Muscheln aus Our und Sauer	40