

JUNGE

wissenschaft

Jungforscher*Innen publizieren
online | **peer reviewed** | original

Verlag:
Physikalisch-
Technische
Bundesanstalt



Geo- & Raum-
wissenschaft

Flussperl- muscheln als Klimaindikator?

Untersuchungen zum Potenzial der Mikrostruktur der Flussperlmuschel (*Margaritifera margaritifera*) als indirekter Klimaindikator

Die Schalenmikrostruktur von Flussperlmuscheln, die zuvor zwei Jahre in konstant temperierten Aquarien gelebt hatten, wurde untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die Dicke der Perlmutterplättchen nicht als indirekter Klimaindikator, genauer als Temperaturproxy, verwendet werden kann. Die Bänderungen in den Prismen deuten auf Wachstumsstopps hin, die temperaturunabhängig auftreten.

DIE JUNGFORSCHERIN



© Stiftung Jugend forscht e.V.

Clara Köstler (*2007)
Maria Ward-Schule Mainz

Eingang der Arbeit:
15.7.2024

Arbeit angenommen:
5.9.2024



Flussperlmuscheln als Klimaindikator?

Untersuchungen zum Potenzial der Mikrostruktur der Flussperlmuschel (*Margaritifera margaritifera*) als indirekter Klimaindikator

1. Einleitung

1.1 Grundidee

Um den voranschreitenden Klimawandel besser verstehen zu können, ist ein Blick in die Vergangenheit notwendig. Neben der bekannten Analyse von Baumringen (Dendrochronologie) ist auch die Sklerochronologie von Bedeutung, die das Hartgewebe von z. B. Muscheln und Korallen untersucht. In beiden Fällen ist es das Ziel, „Rückschlüsse der Lebensgeschichte von Organismen als auch Rekonstruktionen von Aufzeichnungen über Umwelt- und Klimaveränderungen durch Raum und Zeit“ zu ermitteln [11]. Sklerochronologische Daten von langlebigen Organismen können Aufschluss über Umweltinformationen geben, die weiter in die Vergangenheit zurückreichen als instrumentelle Messungen, die oft nur wenige Jahre bis Jahrzehnte bzw. in

seltenen Fällen über 100 Jahre zurückreichen. Als möglicher Kandidat für die Sklerochronologie gilt die Flussperlmuschel (*Margaritifera margaritifera*), die mit über 200 Jahren Lebenszeit die am längsten lebende Süßwassermuschel ist [10].

1.2 Aufbau einer Muschelschale

Die Flussperlmuschelschale besteht aus etwa 95 Prozent anorganischen und etwa 5 Prozent organischen Anteilen [9]. Dabei bildet der Umbo (Wirbel) den ältesten Teil der Schale und der Ventralrand den erst jüngst gebildeten (siehe Abb. 1a) [2]. Wird vom Umbo ausgehend Richtung Ventralrand eine Schnittachse angefertigt, kann der innere Schalenbau betrachtet werden (siehe Abb. 1b). Innerhalb der äußeren Schalenlage befindet sich unter anderem die Prismenschicht und die Perlmutter-schicht. Diese Schalenmikrostruktur

besteht aus einer Vielzahl mikroskopisch kleiner Biominerale, deren Ausprägung auf Temperaturschwankungen des Wassers während der Lebenszeit des Organismus hinweisen kann. Im Winter bilden die Muscheln zum Beispiel aufgrund des verlangsamten Stoffwechsels veränderte Mikrostrukturen (sogenannte Winterlinien) aus, mit denen eine genaue Altersbestimmung der Tiere möglich ist [15].

1.3 Stand der Literatur

Bisherige Untersuchungen deuten darauf hin, dass die Ausprägung der Mikrostruktur von einigen Muscheln eine Temperaturabhängigkeit aufweist [6, 7, 8]. Beispielsweise wurde angenommen, dass die Dicke der Perlmutterplättchen der im Flachwasser lebenden ozeanischen Muschel der Familie *Pinnidae* als Temperaturproxy dienen könnte [5]. Es wurde beobachtet, dass bei höheren Wassertemperaturen tendenziell dickere Perlmutterplättchen zu finden sind.

Daraufhin wurde eine Studie durchgeführt, die zum Ziel hatte, diesen Temperaturzusammenhang auch bei Flussperlmuscheln nachzuweisen. Dazu wurden die Perlmutterplättchen einjähriger juveniler, im Labor gezüchteter Flussperlmuscheln und adulter Tiere aus drei Bächen in Deutschland, Luxemburg und Schweden analysiert [4]. Im Rahmen dieser Untersuchungen konnten jedoch bei adulten Tieren aus den Bächen nur schwache, bis keine Zusammenhänge zwischen Temperatur und Perlmutterplättchendicke (PPD) nachgewiesen werden. Als Ursache werden die saisonal stark schwankenden pH-Werte im Bach diskutiert, die neben der Temperatur einen zusätzlichen Einflussfaktor auf die Ausprägung der Mikrostruktur darstellen könnten. Bei stark schwankenden pH-Werten müssen die Tiere viel Energie für die Aufrechterhaltung des Säure-Basen-Gleichgewichts (Homöostase) im Körper aufwenden, die dann nicht für den Aufbau der Schale genutzt werden kann. Allerdings zeigten auch die ju-

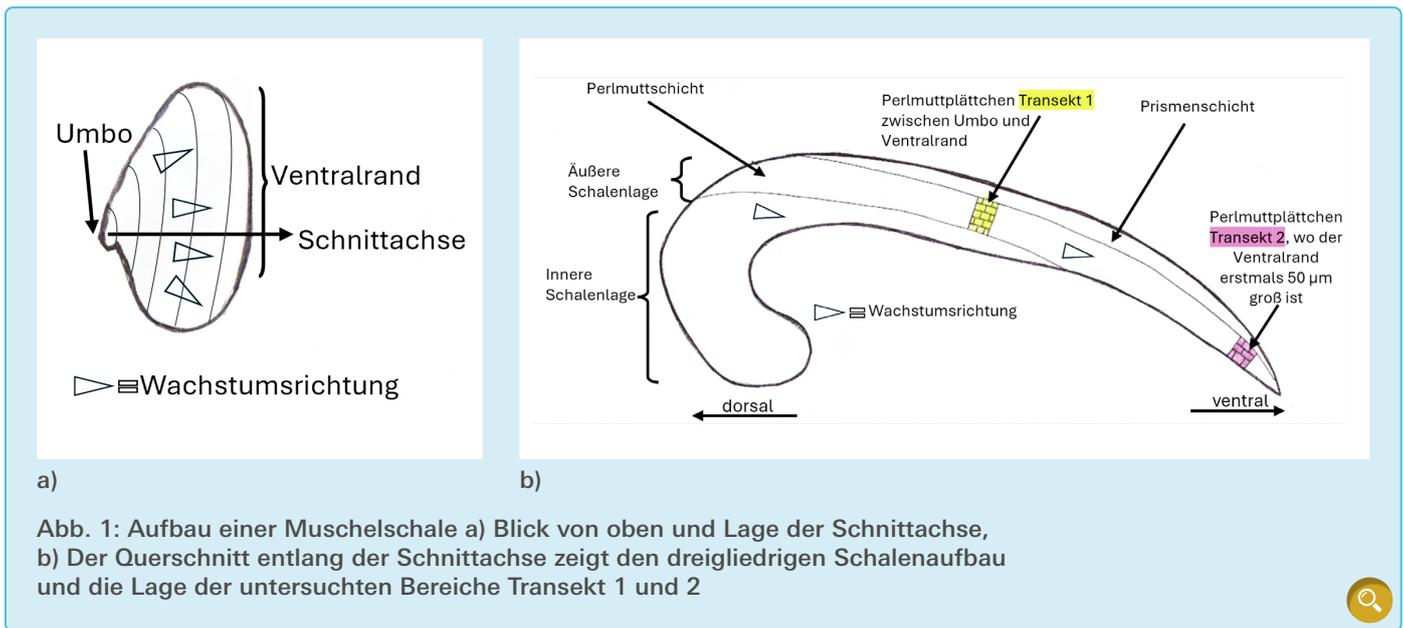


Abb. 1: Aufbau einer Muschelschale a) Blick von oben und Lage der Schnittachse, b) Der Querschnitt entlang der Schnittachse zeigt den dreigliedrigen Schalenbau und die Lage der untersuchten Bereiche Transekt 1 und 2

venilen Tiere aus den Aquarien keinen Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Dicke der Perlmutterplättchen, obwohl das Wasser der Aquarien deutlich geringeren pH-Wert-Schwankungen unterlag. Dennoch war auffallend, dass die Plättchen der einjährigen Tiere deutlich kleiner als die der adulten Exemplare waren. Diese Beobachtung lässt vermuten, dass Flussperlmuscheln zu Beginn ihres Lebens dünnere Plättchen ausbilden, da zum Beispiel die Ausbildung ihrer Kiemen im Vordergrund steht [14]. Außerdem könnte die Ausbildung kleinerer dünnerer Perlmutterplättchen mit höherem Anteil an Organik dazu geführt haben, die Zugfestigkeit und Bruchfestigkeit der Schale zu erhöhen und damit zu ihrem Vorteil genutzt werden [17].

1.4 Fragestellung

Der Fokus der folgenden Arbeit liegt in der Untersuchung der PPD von juvenilen Tieren, die etwa zwei Jahre in Aquarien mit konstanten Temperaturen von 10, 14, 18 und 22 °C gelebt haben. Ziel ist es zu überprüfen, ob sich bei diesen Muscheln ein Zusammenhang zwischen der Temperatur und PPD erkennen lässt. Dazu wurde die Perlmutter- und die Prismenschicht der äußeren Schalenlage mittels Rasterelektronenmikroskopie untersucht.

2. Material und Probenpräparation

2.1 Haltung der Flussperlmuscheln

Die juvenilen Flussperlmuscheln lebten, nachdem sie sich als Parasiten aus den Kiemen der Bachforelle gelöst hatten [1], bis zu ihrem natürlichen Tod in den Aquarien der Muschelaufzuchtstation der Kalborner Mühle in Luxemburg an der Our. Während des Versuches wurde das Datum des Einsetzens der Muscheln in die Aquarien und ihr jeweiliges Todesdatum notiert, wodurch die Lebenszeit der Muschel im Aquarium in Tagen genau bestimmt werden konnte. Da Muscheln in ihrer frühen Lebensphase eine sehr hohe natürliche Mortalitätsrate haben, erreichte keines der eingesetzten Exemplare ein Lebensalter von über drei Jahren. In der Aufzuchtstation lebten die Muscheln in acht konstant temperierten Aquarien mit je 20 Liter Fassungsvermögen, wobei jeweils zwei die gleiche Temperatur aufwiesen: 10, 14, 18 oder 22 °C. In jedem Aquarium gibt es eine Umwälzpumpe und eine drei Zentimeter dicke Sandschicht, in der sich die Flussperlmuscheln eingraben können. Die Tiere erhielten regelmäßig die gleiche Nahrungsmenge. Einmal pro Wo-

che wurden zwei Drittel des Wassers jedes Beckens mit dem gut belüfteten und gefilterten Wasser der Our aus einem Tank mit 2400 Litern ausgetauscht. Vor diesem Austausch wurde das Wasser auf die passende Temperatur gebracht.

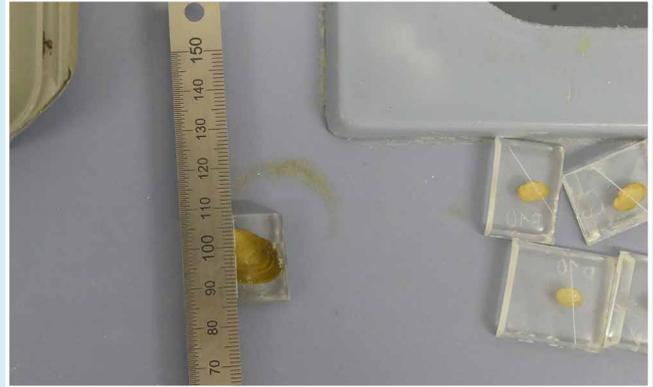
2.2 Auswahl der Muschelexemplare

Vor Beginn und am Ende des Aquarienexperiments wurden die Schalenhöhe und Schalenlänge anhand von Fotos dokumentiert (siehe Abb. 4). Mit Hilfe dieser Daten wurden die zu untersuchenden 16 Muschelexemplare (vier je Temperatur) ausgewählt, um daraus Präparate für das Rasterelektronenmikroskop (REM) herzustellen. Pro Aquarium wurde zunächst jeweils die Muschel mit der längsten Schale und die älteste Muschel ausgewählt. Danach wurden pro Aquarium die Muscheln mit annähernd gleicher Schalenlänge und gleichem Alter, unter Berücksichtigung der jeweils höchsten Werte, entnommen.

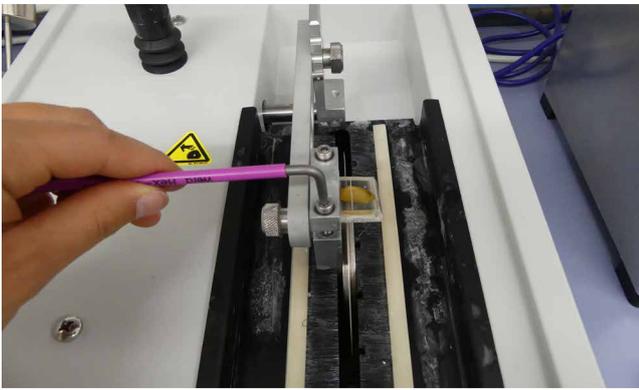
Die Untersuchung der PPD erfolgte mit acht REM-Präparaten. Aufgrund der erzielten Ergebnisse schien eine weitere Fortführung mit weiteren Präparaten nicht notwendig. Die Betrachtung der Bänder in der Prismenschicht unter dem REM wurde mit allen geeigneten Präparaten (12 von 16) durchgeführt.



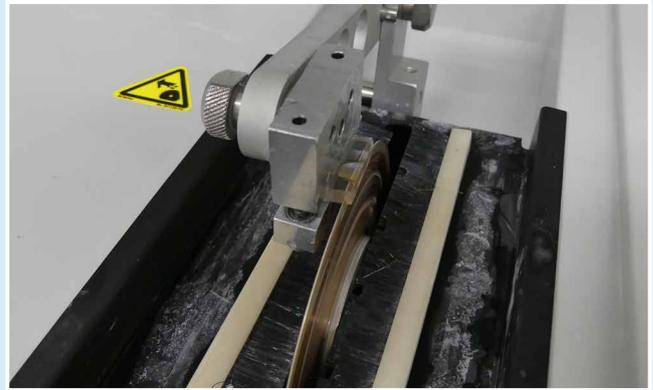
a)



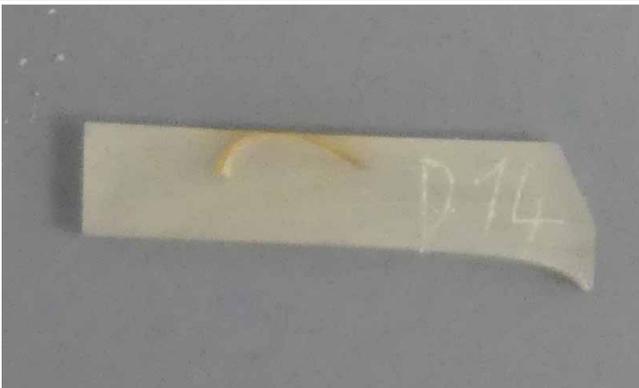
b)



c)



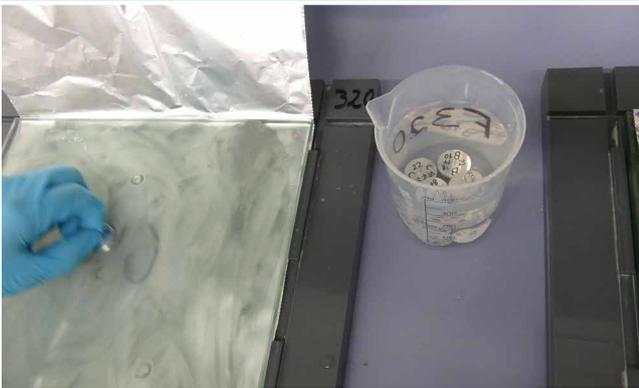
d)



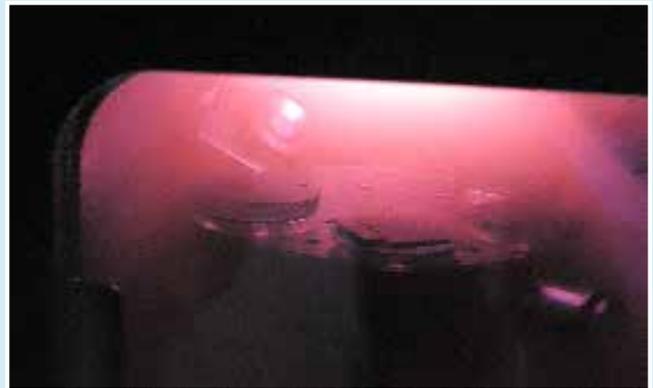
e)



f)



g)



h)

Abb. 2: Herstellung der REM-Präparate a) Einbetten, b) Markierung der Schnittachse, c) und d) Sägen, e) 2 mm breiter Schalentransekt nach dem Sägen, f) REM-Objektträger, g) Polieren, h) Sputtern



2.3 Herstellung der REM-Präparate

Zu Beginn wurde die rechte von der linken Muschelklappe getrennt. Die linke wurde jeweils mit der aragonitischen Perlmutterchicht nach oben zeigend in ein Kunststoffschälchen gelegt. In einem Becherglas wurden 50 g EpoFix Kunstharz mit 6 g EpoFix Härter (Verhältnis 25:3) zwei Minuten lang mit einem Spatel kräftig vermischt. Diese Lösung wurde über die Muschelhälften gegossen, sodass die Schalen vollständig im Kunstharz eingebettet waren (siehe [Abb. 2a](#)). Über Nacht härtete alles bei 38 °C im Trockenschrank aus. Die Kunststoffschälchen wurden von den EpoFix-Blöcken getrennt. Vom Umbo bis zum Ventralrand wurde entlang der kürzesten Wachstumsachse auf jeder Muschelhälfte mit einer geraden Linie die Schnittachse markiert (siehe [Abb. 2b](#)). Von dieser ausgehend wurde bei einem Abstand von jeweils 1 mm links und danach rechts mit dem Präzisionstrennschleifer bei einer Geschwindigkeit von 200 rpm (Rotationen pro Minute) gesägt (siehe [Abb. 2c](#) und [d](#)). Die 2 mm breiten Schalenquerschnitte wurden auf REM-Objektträger aufgebracht ([Abb. 2e, f](#)). In fünf Schritten wurden die Schalen nacheinander glänzend poliert ([Abb. 2g](#)). Hierzu wurden

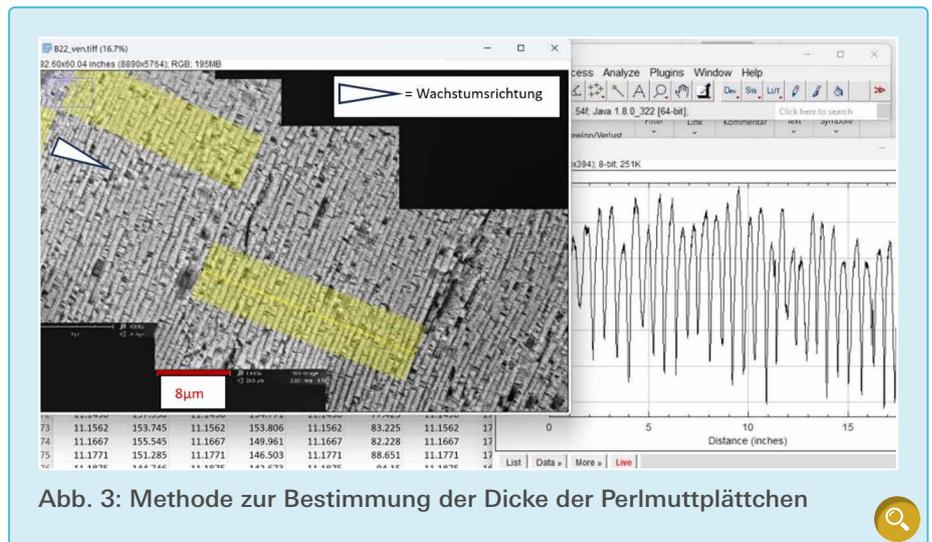


Abb. 3: Methode zur Bestimmung der Dicke der Perlmutterplättchen

auf die 320-, 800-, 1200er-Platte, jeweils das passende Suspensionsschleifmittel und demineralisiertes Wasser aufgetragen und die REM-Objektträger für etwa fünf Minuten in Kreisen bewegt. Auf der Polierplatte, welche mit synthetischem Samtstoff überzogen ist, wurde nach Zugabe des Poliermittels Aluminiumoxid (Körnungsgröße 1 µm) mit gleichem Vorgehen gearbeitet. Der letzte Polierschritt wurde auf dem Rotationspolierer durchgeführt. Zwischen den einzelnen Polierschritten wurden die REM-Objektträger für etwa zwei Minuten in einem Becherglas in ein Ultraschallgerät gestellt und mit einer Luftdruckspritze getrocknet. Die Proben wurden 20 Minuten in 3,5-prozen-

tiger Wasserstoffperoxid Lösung geätzt und danach mit Ethanol und demineralisiertem Wasser abgespült. Abschließend wurden die Präparate in einem Vakuumsputtergerät mit einer Platinschicht bedampft ([Abb. 2h](#)).

3. Methoden

3.1 Bestimmung der Dicke der Perlmutterplättchen

In der äußeren Perlmutterchicht wurden zwei Bereiche untersucht. Der erste in der Mitte der Schale zwischen Umbo und Ventralrand (Transekt 1) und der zweite direkt am Ventralrand, wo die Perlmutterchicht erstmalig eine Dicke



Abb. 4: Bestimmung der Schalenhöhe und Schalenlänge (Quelle: F. Thielen im Rahmen des DFG und FNR geförderten Projektes MUSES am 14. Feb 2022 gemacht mit Tieren aus dem 22 °C Aquarium, bearb. von C. Gey und C. Köstler)

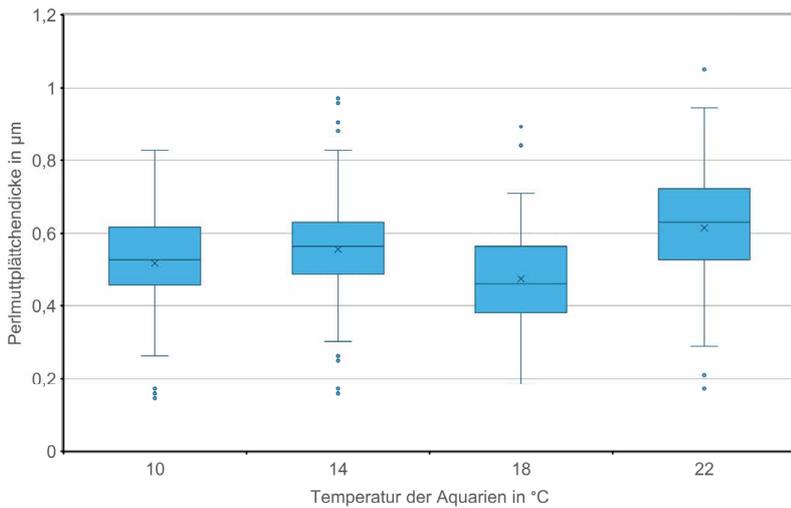


Abb.5: Temperaturabhängigkeit der Perlmutterplättchendicke

von 50 µm aufweist (Transekt 2) (siehe [Abb. 1b](#)). Beide Bereiche wurden mit der Kamera des REM fotografiert. Mithilfe der App „Image Composite Editor“ können die einzelnen Bilder der Perlmutterplättchen zu einem Gesamtbild zusammengefügt (gestitcht) werden. Pro Muschelschale entstanden zwei Bilder, die die äußere Perlmutter-schicht im Bereich des Transekts 1 und 2 der Muschel zeigen.

Mithilfe der App „Fiji“ wurden auf den Aufnahmen nach Maßstabseinstellungen möglichst lange Linien mit einer Breite von 500 Pixel von der Prismenschicht aus über die Perlmutterplättchen gezogen. Dabei ist darauf zu achten, dass die gezogene Linie senkrecht zu den Plättchen verläuft, sowie mit diesen beginnt und abschließt. Zudem ist es wichtig, Bereiche auszuwählen, an welchen die Abgrenzungen der Perlmutterplättchen gut erkennbar sind, um die Ergebnisse nicht zu verfälschen. Nach dem Markieren der Linie wurde mithilfe des Programms ein Grauwertprofil aller Pixel unter dieser Linie erzeugt (siehe [Abb. 3](#)). Die Minima dieses Profils sind dabei die dunkelsten Stellen. Diese repräsentieren jene Bereiche der Umrandung der Perlmutterplättchen, die aus organischen Anteilen bestehen und vom Wasserstoffperoxid wegge-

ätzt wurden. Somit ergeben die Abstände der Minima die Dicke der Perlmutterplättchen.

3.2 Bestimmung der Schalenhöhe und Schalenlänge

Die Schalenhöhe und Schalenlänge wurden vor Beginn und am Ende des Aquariumexperimentes anhand von Fotos dokumentiert (siehe [Abb. 4](#)). Dabei wurden mithilfe der App „Image J“ auf den zuvor angefertigten Fotos der Muscheln gelbe Rechtecke um diese gelegt. Die lange Seite des Rechtecks stellt dabei die Schalenlänge dar und die kurze Seite die Schalenhöhe. Sowohl Schalenlänge

als auch Schalenhöhe wurden in Millimeter gemessen und anschließend zur besseren Vergleichbarkeit mit der PPD in Mikrometer umgerechnet.

3.3 Bestimmung des Schalenalters

Die Lebenszeit der Muschel im Aquarium ist taggenau bekannt. Das Enddatum zum Todeszeitpunkt der Muschel abzüglich des Startdatums beim Einsetzen der Muschel ins Aquarium ergibt die Lebensdauer im Aquarium in Tagen. Unter Schalenalter wird im folgenden die Aufenthaltsdauer der Muscheln im Aquarium verstanden.

4. Einflüsse auf die Dicke der Perlmutterplättchen

Die Auswertungen wurden grundsätzlich mit den PPD des Transekts 2 durchgeführt, da sich dort die Perlmutterplättchen befinden, die am jüngsten sind. Der Name einer Probe setzt sich zusammen aus einem Großbuchstaben (der Proben-ID), einer Zahl für die Temperatur sowie einer Zahl für den Transekt (Beispiel: A10_2).

4.1 Perlmutterplättchendicke in Abhängigkeit der Temperatur

[Abb. 5](#) zeigt die Dicke der Perlmutterplättchen (PPD) in Abhängigkeit von

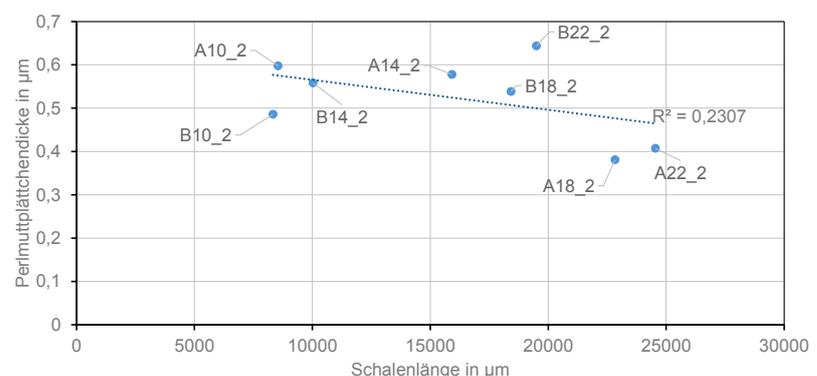


Abb. 6: Zusammenhang zwischen der Perlmutterplättchendicke und der Schalenlänge

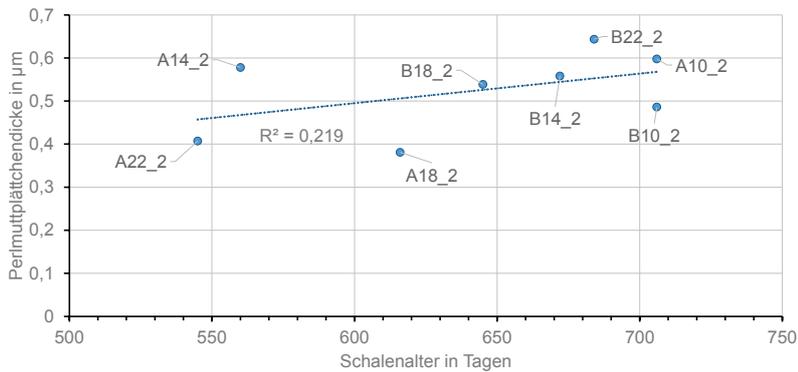


Abb. 7: Zusammenhang zwischen der Dicke der Perlmutterplättchen und dem Schalenalter

der Temperatur basierend auf Messungen an je zwei Muscheln pro Aquarium (10 °C, 14 °C, 18 °C, 22 °C). Bei 18 °C ist der Median der PPD mit 0,46 µm (Anzahl der Messwerte n = 107) am geringsten, gefolgt vom Median der PPD bei 10 °C mit 0,53 µm (n= 144) und 14 °C mit 0,56 µm (n = 127). Die dicksten Plättchen weisen einen Median der PPD von 0,63 µm bei 22 °C (n = 175) auf. Zwar deuten die gemessenen PPD bei 10 °C, 14 °C und 22 °C auf einen leichten Anstieg der Dicke mit zunehmender Temperatur hin, jedoch wird dies nicht durch die PPD bei 18 °C und vor allem

nicht durch die Gesamtheit der Dicke aller Perlmutterplättchen unterstützt.

4.2 Perlmutterplättchendicke in Abhängigkeit der Schalenlänge

Abb. 6 stellt die Dicke der Perlmutterplättchen in Abhängigkeit von der Schalenlänge dar. Wieder wurden zwei Muscheln pro Temperaturregime (10 °C, 14 °C, 18 °C, 22 °C) ausgewertet. Insgesamt gibt es die Tendenz, dass mit zunehmender Schalenlänge der Median der PPD abnimmt.

4.3 Zusammenhang zwischen Perlmutterplättchendicke und Schalenalter

Abb. 7 zeigt die Dicke der Perlmutterplättchen in Abhängigkeit vom Schalenalter in Tagen (zwei Muscheln pro Temperaturregime). Insgesamt deutet sich hier an, dass mit zunehmendem Schalenalter der Median der PPD steigt. Vergleicht man nur die Muscheln, die bei der gleichen Temperatur gewachsen sind, so unterstützen A22_2 und B22_2 sowie A18_2 und B18_2 den genannten Trend, wohingegen A10_2 und B10_2 das nicht so eindeutig zeigen, und A14_2 und B14_2 diesen Trend nicht bestätigen. Grundsätzlich müssten jedoch wesentlich mehr Muscheln untersucht werden, um zu sicheren Ergebnissen zu kommen.

4.4 Dicke der Perlmutterplättchen mit zunehmendem Alter

Abb. 8 zeigt die PPD aus den beiden Probenbereichen. Die Messwerte aus Transekt 1 stehen dabei für die Perlmutterplättchen, die gebildet wurden, als die Muschel etwa ein Jahr alt war und die Werte aus Transekt 2 für die Perlmutterplättchen, als die Muschel etwa zwei Jahre alt war. Es ist deutlich zu erkennen, dass dickere Perlmutterplättchen gebildet werden, wenn die Muschel älter ist. Die prozentuale Zunahme der PPD kann Tab. 1 entnommen werden.

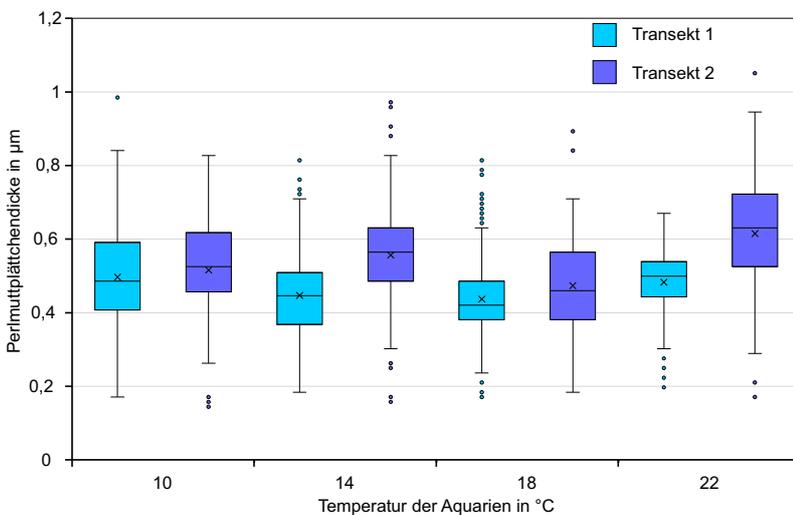


Abb. 8: Perlmutterplättchendicke bei verschiedenen Temperaturen und an verschiedenen Stellen in der Muschelschale. Die Perlmutterplättchen bei Transekt 1 wurden gebildet, als die Muschel etwa ein Jahr alt war, bei Transekt 2, als die Muschel etwa zwei Jahre war

Tab. 1: Zunahme der Perlmutterplättchendicke von Transekt 1 zu Transekt 2

Temperatur in °C	Anzahl der Werte n	Zunahme in %
10	126	8,2
14	172	24,4
18	106	9,5
22	174	26,0

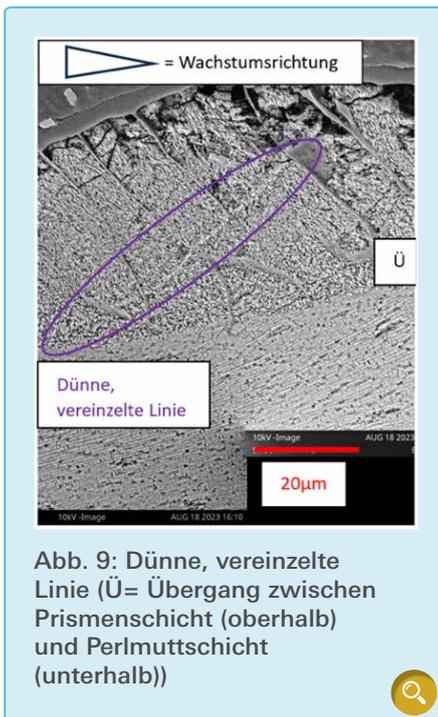


Abb. 9: Dünne, vereinzelt Linie (Ü= Übergang zwischen Prismenschicht (oberhalb) und Perlmuttertschicht (unterhalb))

5. Linien und Bänder in der Prismenschicht

Bei allen Muschelschalen treten in der Prismenschicht Strukturen parallel zur Wachstumsfront auf. Das sind zum einen vereinzelt, dünne Linien (siehe [Abb. 9](#)) und zum anderen breite Bänder aus mehreren Linien (siehe [Abb. 10](#)). Letztere treten unabhängig von der Aquarientemperatur einmal pro Schale auf.

5.1 Bestimmung der Lage

Um das Auftreten der Linien und Bänder genauer zu bestimmen, wurden Übersichtsfotos mit der Digitalkamera und Detailfotos mit der REM-Kamera angefertigt und mit dem Programm „Image Composite Editor“ gestitcht. Für die genaue Bestimmung der Position der Bänder (markiert durch ein gelbes Kreuz in [Abb. 11](#)) werden die Übersichtsbilder der Digitalkamera verwendet. Mithilfe von „Fiji“ wird die gesamte Muschel mit einem großen Rechteck umrahmt. Mit einem weiteren, kleineren Rechteck, welches die rechte Seite des großen Rechtecks mit dem Mittelpunkt des Kreuzes verbindet, wurde der Abstand zwischen Ventralrand der Muschel und dem Auftreten

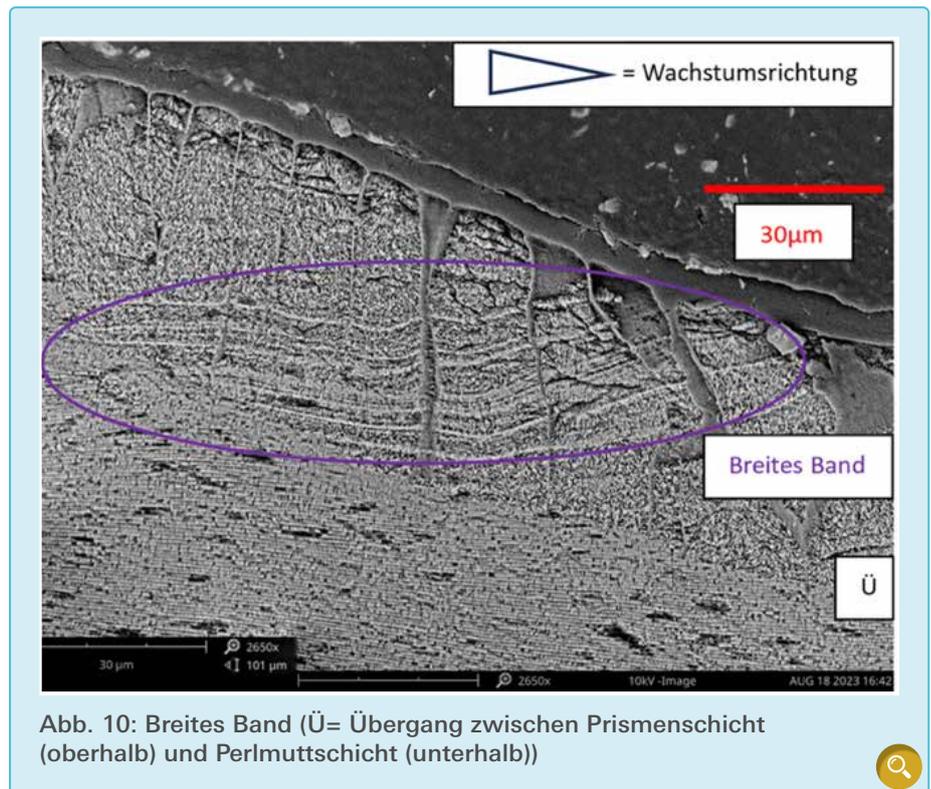


Abb. 10: Breites Band (Ü= Übergang zwischen Prismenschicht (oberhalb) und Perlmuttertschicht (unterhalb))

der Bänder bestimmt ([Abb. 11](#)). Zieht man diesen Abstand von der ermittelten Schalenlänge (siehe [Abb. 4](#)) ab, so erhält man die Schalenlänge zum Zeitpunkt der Bänderbildung (SL_B).

5.2 Beobachtungen

Die Bänder sind bei den verschiedenen Schalen unregelmäßig verteilt. Beispielsweise treten sie bei den Schalen A10 und B10 in Ventralrandnähe auf, bei A18 und A22 hingegen eher in der Schalenmitte. Zur Überprüfung, ob deren Bildung in einem Zusammenhang zu unterschiedlichen Jahreszeiten steht, wurde anhand der Position der Bänder bestimmt, wann diese gebildet wurden.

Für die folgende Rechnung wurde vereinfachend angenommen, dass die Muscheln gleichmäßig wachsen und zuerst das Durchschnittswachstum der Muschel im Aquarium (WMA) ermittelt: Dazu wird die Differenz aus der Endgröße zum Todeszeitpunkt der Muschel und der Startgröße beim Einsetzen der Muschel ins Aquarium bestimmt. Diese Differenz wird durch die Tagesanzahl, die die Muschel im Aquarium gelebt hat, geteilt. Dann gilt:

$$\frac{SL_B}{WMA} = \text{Anzahl der Tage vom Zeitpunkt der Bandbildung bis zum Todesdatum}$$

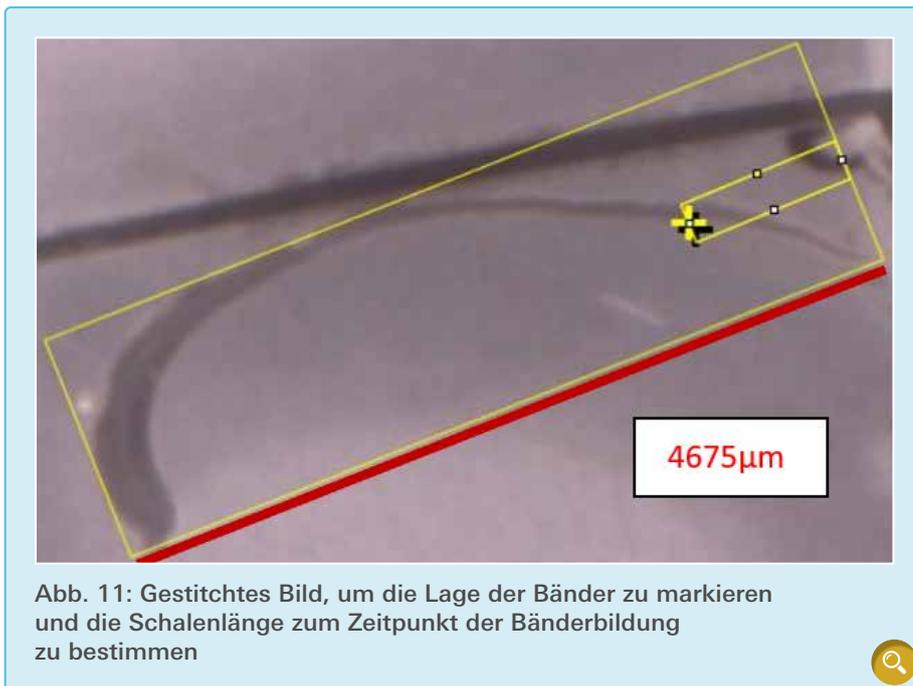
Zieht man nun die Anzahl der Tage vom Zeitpunkt der Bandbildung bis zum Todesdatum vom Todesdatum ab, so erhält man das Datum der Bandbildung.

[Abb. 12](#) zeigt jeweils den Monat der Bandbildung der 12 Muscheln. Von November bis Mai bildeten neun Muscheln ihr Band, von Juni bis Oktober lediglich drei. Eine Korrelation des Zeitpunktes der Bandbildung und der unterschiedlichen Temperaturregime, in denen die Muscheln lebten, kann nicht festgestellt werden.

6. Diskussion

6.1 Dicke der Perlmutterplättchen

Diese Arbeit kann keinen Zusammenhang zwischen Temperatur im Aquarium und der Dicke der Perlmutterplättchen nachweisen und bestätigt damit die Studie von Gey et al. [\[4\]](#). Dadurch muss die Ausgangshypothese, dass die Dicke der Perlmutterplättchen von Flussperlmuscheln nach zwei Jahren (Trans-



ekt 2) mit der Temperatur korreliert, verworfen werden.

Es muss jedoch festgehalten werden, dass zwei Jahre für die Beobachtung der Muscheln ein eher kurzer Zeitraum sind. Da Muscheln in ihrer frühen Lebensphase eine sehr hohe natürliche Mortalitätsrate haben, erreichten zu wenige Exemplare in den Aquarien ein Lebensalter von deutlich über drei Jahren. Daher sollten bei weiteren Untersuchungen mehr Tiere in temperaturkontrollierten Aquarien gehalten werden.

Das Ergebnis legt nahe, dass auch noch nach etwa zwei Jahren die Mikrostruktur bzw. zumindest die Dicke der Perlmutterplättchen stärker von biologischen als von umweltbedingten Einflüssen abhängig sein könnte. Allerdings ist auch nicht auszuschließen, dass nicht überwachte Parameter wie z. B. Sauerstoffsättigung und Wasserchemie einen Einfluss auf die Dicke haben könnten.

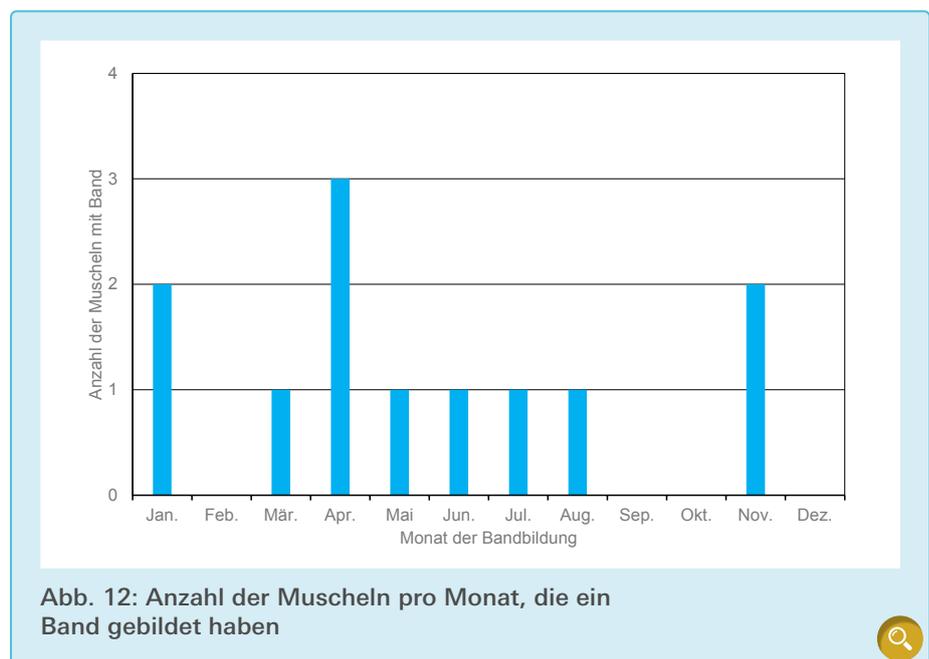
Die schwache Abnahme der PPD mit zunehmender Schalenlänge und die Tatsache, dass nach dem zweiten Jahr im Aquarium dickere Plättchen vorkommen, deutet darauf hin, dass die PPD bei juvenilen Tieren stärker mit dem Muschelalter als mit der Schalengröße gekoppelt ist.

6.2 Bänder in der Prismenschicht

Die Beobachtung, dass der Großteil der Bänder in der Prismenschicht zwischen Dezember und Mai entstehen, spricht dafür, dass es sich um Winterlinien handeln könnte, die sich bei kälteren Temperaturen aufgrund des langsameren Stoffwechsels und somit geringeren Wachstums bilden [15].

Sollte es sich tatsächlich um Winterlinien handeln, stellt sich die Frage, wieso

die Muscheln trotz konstanter Temperatur in den Aquarien diese ausbilden. Mögliche Hinweise finden sich in der Forschungsarbeit von Richardson [13]. In dieser wurde herausgefunden, dass Muscheln, die zuvor in der Gezeitenzone gelebt hatten, auch nach mehreren Wochen in einem Laboraquarium immer noch Wachstumsmuster ausbilden. Bei diesen Muscheln entstehen diese Muster in ihrer natürlichen Umgebung zwischen Ebbe, wenn die Muschel der Luft ausgesetzt ist und nicht wächst, und der Flut, wenn sich die Muschel im Wasser befindet und wächst [16]. Ein solches Fortbestehen der Ausbildung der Wachstumsmuster auch in Aquarien, könnte auf ein Vorliegen eines endogenen Zeitmechanismus (biologische Uhr) zurückzuführen sein [16]. Es lässt sich vermuten, dass die Temperatur bei der Bildung von Winterlinien als Taktgeber einer biologischen Uhr dient. Diese müsste allerdings genetisch vererbt sein, da die Muscheln dieser Untersuchung nicht zuvor wie in [13] in ihrer natürlichen Umgebung gelebt haben, sondern schon direkt zu Beginn ihres Lebens in Aquarien aufwuchsen. Andererseits wäre es auch möglich, dass die Muscheln während ihres Entwicklungszyklus als Larven (Glochidien) im Wirtsfisch in der natürlichen Flussumgebung schon Wassertemperaturverän-



derungen registriert haben könnten [1]. Offen bleibt auch nach dieser Untersuchung, ob auch andere Parameter wie Sauerstoffsättigung oder Wasserchemie eine Rolle bei der Bänderbildung spielen. Für weitere Untersuchungen gäbe es zudem die Möglichkeit, den fluoreszierenden Farbstoff Calcein gegen Ende der Wachstumsphase im September in die Aquarien zu geben. Dieser würde dann von den Muscheln in ihre Schale eingebaut werden und wäre als Marker sichtbar [18]. Würde die Markierung mit der Position des Bandes in der Muschelschale übereinstimmen, gäbe es einen weiteren Befund, der die Hypothese, dass dieses Band eine Winterlinie darstellt, bekräftigen würde.

Das Vorhandensein der Bänder in den Prismen belegt, dass es auch in den Aquarien zu Wachstumsunterbrechungen gekommen sein muss. Diese Erkenntnis ist von Bedeutung, da Aquarienexperimente oft dazu dienen, Modelle zu kalibrieren, die den Zusammenhang zwischen Schalenwachstum und Temperatur beschreiben. Wachstumsmodelle, wie das von Gey et al. [4], welches annimmt, dass Muscheln in einem konstant temperierten Aquarium ganzjährig mit gleichbleibender Geschwindigkeit wachsen, weisen daher einen Fehler auf. Dies könnte erklären, warum Dunca und Mutvei [3] berichten, dass das Schalenwachstum bei Flussperlmuscheln in natürlicher Umgebung bei Temperaturen über 5 °C beginnt wohingegen das Wachstumsmodell von Gey et al. [4], das auf Aquarien basiert, erst ein Einsetzen des Wachstums bei über 9 °C voraussagt.

6.3 Fehlerdiskussion

Da es unmöglich war, die winzigen Muscheln beim Einsetzen in die Aquarien zu markieren, war die exakte Startgröße der Muscheln nicht bekannt. Es wurde daher angenommen, dass die Muscheln, die zu Beginn am größten waren, auch am Ende am größten waren. Diese Annahme war nötig, um den möglichen Zeitraum der Bänderbildung abschätzen zu können. Für zukünftige Versuche sollte daher eine geeignete Markierungsmethode entwickelt werden.

Geringfügige Abweichungen beim Sägen der Muschelquerschnitte können dazu geführt haben, dass der unter dem REM betrachtete Ausschnitt nicht exakt der Achse entlang der Muschelhöhe entspricht. Um diese Abweichung zu berücksichtigen, wurde eine Fehlerrechnung durchgeführt. Diese bestätigte, dass es sich nur um eine leichte Verschiebung handelte und der entstandene Fehler daher als marginal angesehen werden kann.

7. Zusammenfassung

Es wurde die Dicke der Perlmutterplättchen (PPD) von *Margaritifera margaritifera* nach zwei Jahren in unterschiedlichen Aquarien mit konstanten Temperaturen zwischen 10 und 22 °C untersucht. Eine Temperaturabhängigkeit der PPD konnte nicht nachgewiesen werden. Damit kann diese Eigenschaft nicht als Temperaturproxy verwendet werden.

Zusätzlich konnte beobachtet werden, dass die Perlmutterplättchen mit zunehmendem Alter dicker werden und in der Prismenschicht dickere Bänder auftreten. Diese können trotz der konstanten Temperaturen als Winterlinien gedeutet werden.

Danksagung

Ich danke Prof. Dr. Bernd Schöne für die Möglichkeit, mein Projekt am Institut für Geowissenschaften der Universität Mainz in den Laboren der AG Paläontologie durchführen zu können. Christoph Gey danke ich für die Zurverfügungstellung des Probenmaterials sowie für die Betreuung meines Projektes. Für die Einweisung in das REM und andere Laborgeräte danke ich Christoph Gey und Alessandro Aiello.

Literatur

- [1] Baer O. 1995. Die Flußperlmuschel: *Margaritifera margaritifera* (L.); Ökologie, umweltbedingte Reaktionen und Schutzproblematik einer vom Aussterben bedrohten Tierart. Magdeburg. Westarp-Wissenschaften. Spektrum Akademischer Verlag: 46.
- [2] Bauer G. 1992. Variation in the Life Span and Size of the Freshwater Pearl Mussel. *Journal of Animal Ecology* 61, 426. doi: 10.2307/5333
- [3] Dunca E., Mutvei H. 2001. Comparison of microgrowth pattern in *Margaritifera margaritifera* shells from south and north Sweden. *American Malacological Bulletin* 16:240.
- [4] Gey C. J., Thielen F., Pfister L., Hissler C., Türk G., Baier S., Schöne B. R. 2023. Disturbed by pH? Nacre tablet thickness of freshwater pearl mussels (*Margaritifera margaritifera*) is a poor temperature proxy. *Marine and Freshwater Research*: 1-16. doi: 10.1071/MF23058
- [5] Gilbert P., Becargmann K.D., Myers C.E., Marcus M.A., De Vol R.T., Sun C-Y., Blonsky A.Z., Tamre E., Zhao J., Karan E.A., Tamura N., Lemmer S., Giuffre A.J., Giribet G., Eiler J.M., Knoll A.H. 2017. Nacre tablet thickness records formation temperature in modern and fossil shells. *Earth and Planetary Science Letters* 460. 281, 289-291. doi: 10.1016/j.epsl.2016.11.012
- [6] Höche N., Peharda M., Walliser E. O., Schöne B. R. 2020. Morphological variations of crossed-lamellar ultrastructures of *Glycymeris bimaculata* (Bivalvia) serve as a marine temperature proxy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 237: 106658. doi: 10.1016/j.ecss.2020.106658
- [7] Höche N., Walliser E. O., de Winter N. J., Witbaard R., Schöne B. R. 2021. Temperature-induced microstructural changes in shells of laboratory-grown *Arctica islandica* (Bivalvia) D.P. Gillikin [ed.]. *PLoS ONE*. Volume 16: e0247968. doi: 10.1371/journal.pone.0247968
- [8] Höche N., Walliser E. O., and Schöne B. R. 2022. Microstructural Mapping of *Arctica islandica* Shells Reveals Environmental and Physiological Controls on Biomineral Size. *Frontiers in Earth Science*. Band 9: 781305. doi: 10.3389/feart.2021.781305
- [9] Kniprath E. 1979. Molluscan shell structure. In M. Florkin & B. T. Scheer (Eds.). *Chemical Zoology: Volume VII Mollusca*: 201.
- [10] Mutvei H., Westermark T. 2001. Wie Umweltinformationen aus Najadenmuscheln gewonnen werden können. In Bauer G., Wächtler K. eds. *Ecology and Evolution of the Freshwater Mussels Unionoidea*. Ökologische Studien. Band 145. Springer. Berlin & Heidelberg: 368.
- [11] Oschmann W. 2009. Sclerochronology: editorial. *International Journal of Earth Sciences*. Volume 98: 1–2. doi: 10.1007/s00531-008-0403-3
- [12] Peharda M., Schöne B. R., Black B.A., Corrège T. 2021. Advances of sclerochronology research in the last decade. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* Volume 570. 110371: 1. doi: 10.1016/j.palaeo.2021.110371
- [13] Richardson C. A. 1987. Tidal bands in the shell of the clam *Tapes philippinarum* (Adams & Reeve, 1850). *Proceedings of the Royal Society London* Band 230: 384-386. doi: 10.1098/rspb.1987.0025
- [14] Schartum E., Mortensen S., Pittman K., Jakobsen P. J. 2017. From pedal to filter feeding: ctenidial organogenesis and implications for feeding in the postlarval freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* (Linnaeus, 1758). *Journal of Molluscan Studies* 83: 1. doi: 10.1093/mollus/eyw037
- [15] Schöne B. R., Dunca E., Mutvei H., Norlund U. 2004. A 217-year record of summer air temperature reconstructed from freshwater pearl mussels (*M. margaritifera*, Sweden). *Quaternary Science Reviews* 23: 1804. doi: 10.1016/j.quascirev.2004.02.017
- [16] Schöne B. R., Surge D. M. 2012. Part N, Revised, Volume 1, Chapter 14: Bivalve sclerochronology and geochemistry. *Treatise Online* 46: 1-2,5,7. 8 fig.
- [17] Shao Y., Zhao H-P., Feng X-Q., Gao H. 2012. Discontinuous crackbridging model for fracture toughness analysis of nacre. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 60: 1408. doi: 10.1016/j.jmps.2012.04.011
- [18] Van der Geest M., Van Gils J. A., Van der Meer J., Olff H., Piersma T. 2011. Suitability of calcin as an in situ growth marker in burrowing bivalves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 399: 1-7. doi: 10.1016/j.jembe.2011.01.003

Als Schüler*in wissenschaftlich publizieren

Wie auch aus deiner Wettbewerbsarbeit eine zitierfähige Veröffentlichung wird

Was ist eine wissenschaftliche Veröffentlichung?

Wissenschaftliche Publikationen, sogenannte Papers, sind ein zentrales Element wissenschaftlichen Arbeitens. In Papers werden nicht nur Zeitpunkt und Stand einer Erkenntnis öffentlich dokumentiert, sondern auch mit der Wissenschafts-Community geteilt. So lässt man Kolleg*innen derselben Fachrichtung an Ergebnissen teilhaben oder zeigt progressive Forschungsansätze auf.

Was kostet die Veröffentlichung?

Für die Autor*innen fallen keinerlei Veröffentlichungsgebühren (*page charges*) an. Alle Kosten z. B. für Redaktion, Lektorat, Layout, Website und App tragen Verlag und Sponsoren. Verlag ist die Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB, die das Projekt seit Gründung begleitet.

Was ist besonders an einer wissenschaftlichen Veröffentlichung?

Die Besonderheit eines echten, wissenschaftlichen Papers ist, dass es *peer reviewed* ist. Der Begriff setzt sich zusammen aus den englischen Wörtern *peer* für „Kolleg*in“ und *reviewed* für „überprüft“ (*review* = die Überprüfung). Die Arbeit wird also von einem / einer meist anonymen Fachkolleg*in, der oder dem *referee*, auf Schlüssigkeit überprüft. Die Arbeit ist somit gecheckt und kann als Basis für weitere Forschungsvorhaben genutzt werden.

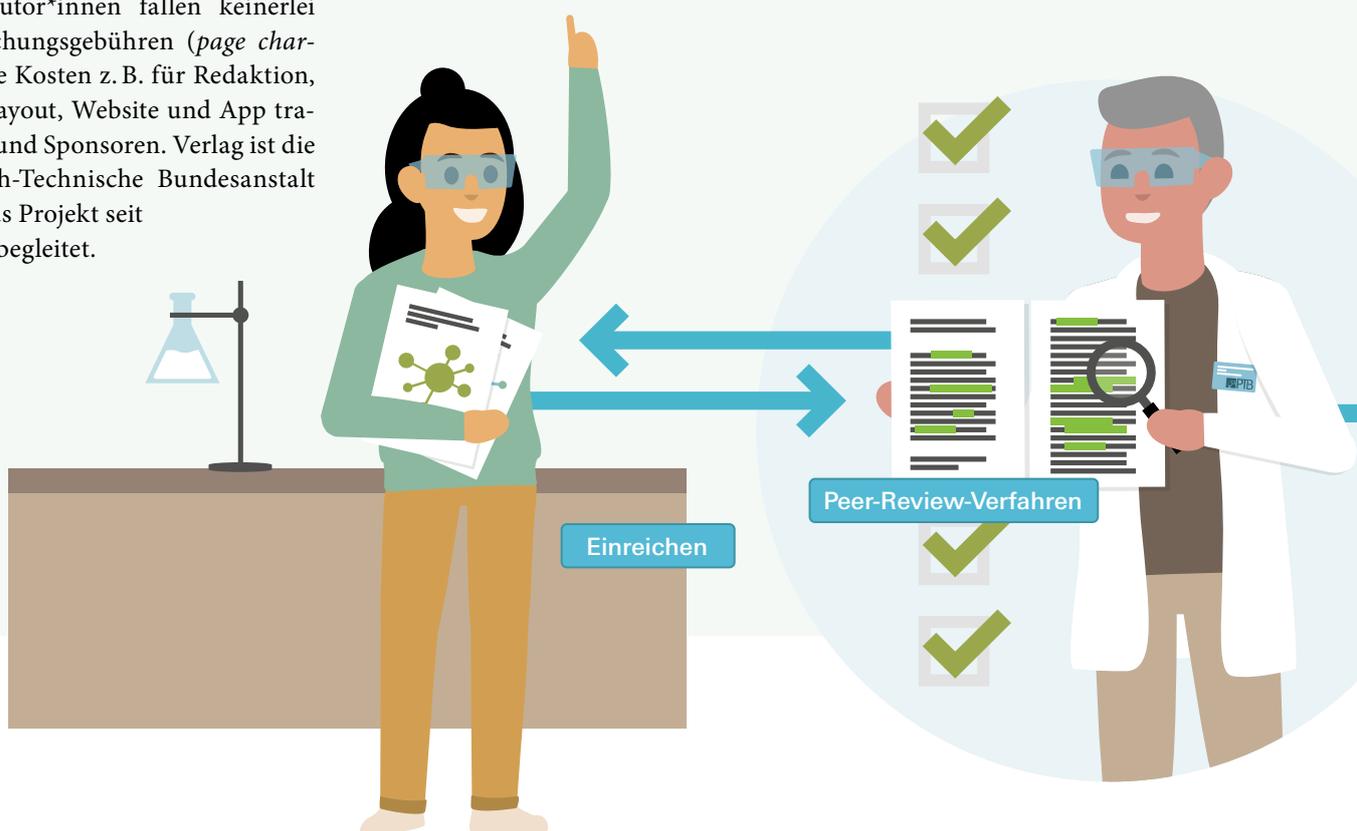


Hast du Fragen? In den FAQs auf der Seite „Für Autor*innen“ findest du Antworten.

www.junge-wissenschaft.ptb.de/fuer-autorinnen

Wieso wissenschaftlich publizieren?

Diese Papers dienen nicht nur dem fachlichen Austausch, sondern auch als Nachweis der erbrachten Leistungen im jeweiligen Spezialgebiet. Wie ein Lebenslauf informiert die Veröffentlichungsliste über den beruflichen Werdegang und wissenschaftlichen Erfolg.



Wie geht das und wie viel Arbeit muss ich investieren?

Die Junge Wissenschaft (JuWi) ist die einzige Plattform, auf der bereits Schüler*innen ein erstes Paper, *peer reviewed*, veröffentlichen können. Das von der JuWi-Chefredaktion eingeleitete und begleitete Peer-Review-Verfahren macht aus deinem Wettbewerbsbeitrag eine zitierfähige Veröffentlichung. Ein JuWi-Paper ist der Startschuss für deine persönliche Veröffentlichungsliste. Und als erfolgreiche Teilnehmer*in eines Forschungswettbewerbs hast du den Löwenanteil der Arbeit bereits erledigt.

Sende deine Arbeit und die Erstveröffentlichungserklärung an:

Chefredaktion
Junge Wissenschaft

Dr.-Ing. Sabine Walter
Paul-Ducros-Straße 7
30952 Ronnenberg

Tel: 05109 / 561508
Mail: sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de



Wie geht es nach dem Einreichen weiter?

Die Chefredakteurin sucht einen geeigneten Fachgutachter*in, der bzw. die, die inhaltliche Richtigkeit der eingereichten Arbeit überprüft und eine Empfehlung ausspricht, ob sie veröffentlicht werden kann (Peer-Review-Verfahren). Das Gutachten wird dir zugeschickt und du erhältst die Möglichkeit, Hinweise des oder der Fachgutachter*in oder eigene Änderungen einzuarbeiten. Die Erfahrung zeigt, dass Arbeiten, die z. B. im Rahmen eines Wettbewerbs wie Jugend forscht die Endrunde erreicht haben, die besten Chancen haben, dieses Peer-Review-Verfahren zu bestehen. Bis hierhin hast du keinerlei Arbeit investiert.

Schließlich kommt die Arbeit in die Redaktion, wird für das Layout vorbereitet und nach der Freigabe als Open-Access-Beitrag, also für jedermann zugänglich, veröffentlicht.

Was bringt es mir?

JuWi-Autor*innen erwerben in der engen Zusammenarbeit mit der Redaktion Kenntnis über den Aufbau einer wissenschaftlichen Arbeit, über wissenschaftlichen Schreibstil, worauf zu achten ist und welche Schritte wann notwendig sind. Autor*innen eines JuWi-Papers haben so sehr früh einen bedeutenden Teil wissenschaftlichen Publizierens erlernt, noch bevor sie an die Hochschule gehen.

Impressum

Junge Wissenschaft

c/o Physikalisch-Technische
Bundesanstalt (PTB)
www.junge-wissenschaft.ptb.de

Redaktion

Dr.-Ing. Sabine Walter,
Chefredaktion Junge Wissenschaft
Paul-Ducros-Str. 7
30952 Ronnenberg
E-Mail: sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de
Tel.: 05109 / 561 508



Sabine Siems, Verlag
E-Mail: sabine.siems@ptb.de
Tel.: 0531 / 592 8202



Design & Satz

Sebastian Baumeister
Art Director / stilsicher.design
E-Mail: baumeister@stilsicher.design
Tel.: 05142 / 302 99 04



Verlag

Dr. Dr. Jens Simon,
Pressesprecher der PTB
Bundesallee 100
38116 Braunschweig
E-Mail: jens.simon@ptb.de
Tel.: 0531 / 592 3006
(Sekretariat der PTB-Pressestelle)



Dein Ticket zur Wissenschaft

Jungforscher*innen publizieren online | *peer reviewed* | original



Die PTB ist jetzt auch bei Instagram. Auf dem Kanal @ptb.bund findest du auch unsere JuWi-Beiträge.

