

**Carl von Ossietzky
Universität Oldenburg**

Studiengang Umweltwissenschaften

BACHELORARBEIT

**Die Rolle von Aas als Nahrungsressource für
heimische und eingeschleppte Krabben im
Wattenmeer**

**vorgelegt von Meike Bielefeld
(Matrikelnr.: 5246677)**

**Erstgutachter: Priv.-Doz. Dr. Holger Freund
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg**

**Zweitgutachter: Dr. Christian Buschbaum
Alfred-Wegener-Institut, List/Sylt**

Oldenburg, Mai 2022

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Methode.....	3
2.1	Untersuchungsgebiet.....	3
2.2	Hemigrapsus spp.....	4
2.3	Miesmuschel Länge-Masse-Verhältnis.....	5
2.4	Konsummenge des Aases	6
2.5	Wahrnehmung des Aases	7
2.6	Statistik	9
3	Ergebnisse.....	9
3.1	Miesmuschel Länge-Masse-Verhältnis.....	9
3.2	Konsummenge des Aases	11
3.3	Wahrnehmung des Aases	13
4	Diskussion	14
4.1	Miesmuschel Länge-Masse-Verhältnis.....	14
4.2	Konsummenge des Aases:.....	15
4.3	Wahrnehmung des Aases	16
4.4	Schlussfolgerung und Aussicht.....	17
5	Literaturverzeichnis	20

Abbildungserzeichnis

Abbildung 1: Abbildung 1: Deutsche Nordseeküste (I), Insel Sylt im Norden der Nordseeküste (II), Bucht Königshafen auf Sylt, List mit den beiden Beprobungsorten Oddewatt(A) und Ringbühne(B)(III).....	3
Abbildung 2: Foto der Proben nach der Trocknung im Trockenschrank für 72h	6
Abbildung 3: Aufbau der Fraßversuche mit den ersten zwei Kautexgefäßen für die Versuche mit den Krebsen und einem dritten Gefäß zur Kontrolle ohne Krebs und laminiertes Papier zwischen den Gefäßen.	7
Abbildung 4: Aufbau der Versuche zur Wahrnehmung des Aases. Links der Aufbau auf 100cm eingestellt durch ein Brett und einer Auster am Ende als Aas, rechts der gleiche Aufbau abgedeckt bis zur Muschel	8
Abbildung 5: Kalibrierkurve der Miesmuschellänge aufgetragen gegen das gemittelte Nassgewicht mit einer Potenzregression	10
Abbildung 6: Kalibrierkurve der Muschellänge aufgetragen gegen das Trockengewicht.....	11
Abbildung 7: Die konsumierte Menge von Miesmuschelaas (Mittelwert mit Standardabweichung) bei den Arten <i>C. maenas</i> , <i>H. sanguineus</i> und <i>H. takanoi</i> , aufgeteilt nach den Geschlechtern. Zusätzlich wurde die Kontrolle aufgetragen (Masseverlust durch das Wasser), bei der keine Krebse verwendet wurden	12
Abbildung 8: Die konsumierte Menge von Austernaas (Mittelwert mit Standardabweichung) bei den Arten <i>C. maenas</i> , <i>H. sanguineus</i> und <i>H. takanoi</i> , aufgeteilt nach den Geschlechtern. Zusätzlich wurde die Kontrolle aufgetragen (Masseverlust durch das Wasser), bei der keine Krebse verwendet wurden	13
Abbildung 9: Mittelwert mit Standardabweichung der benötigten Zeit [in s] der Krebse, um Aas zu finden und zu konsumieren. In den Distanzen 50, 100 und 150cm, Aufgeteilt nach den Arten (<i>C. maenas</i> , <i>H. sanguineus</i> und <i>H. takanoi</i>) und Geschlecht	14
Abbildung 10: Foto vom Oddewatt	V
Abbildung 11: Foto von der Ringbühne.....	V
Abbildung 13: Foto von einer Kontrolle von einem Fraßversuch mit Austern (links), Foto von einem Fraßversuch mit Austern (rechts).....	V
Abbildung 12: Foto von der Kontrolle beim Fraßversuch mit Miesmuscheln (links), Foto von einem Fraßversuch mit Miesmuscheln (rechts).....	V

Tabellenerzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der konsumierten Mengen von frischen Miesmuscheln, die die Krebse selber öffnen mussten (Daten aus dem Paper Cornelius et. al., 2021 umgerechnet mit Formel (1)) und der konsumierten Menge von bereits geöffneten Muscheln (Aasfleisch).....	16
Tabelle 2: Ergebnistabelle der Längen-Massen-Versuche.....	I
Tabelle 3: Ergebnistabelle der Fraßversuche.....	IV
Tabelle 4: Ergebnistabelle der Versuche zur Wahrnehmung von Aas	IV

Kurzfassung:

Weltweit werden Arten in verschiedenem neuem Lebensraum verschleppt, in denen sie sich dann etablieren. Zu diesen Arten gehören die pazifischen Krebse *Hemigrapsus takanoi* und *Hemigrapsus sanguineus*. Diese sind in den 1990ern an die europäische Küste gelangt und haben sich von dort aus weiterverbreitet, bis in das Wattenmeer der Nordsee. Diesen Lebensraum teilen sie sich nun mit der heimischen Krabbe *Carcinus maenas*. Die Populationen der eingeschleppten Arten auf der Insel Sylt haben eine hohe Populationsdichte. Daher stellt sich die Frage, wie diese hohe Anzahl ernährt werden kann. Als eines der Nahrungsressourcen kommt daher Aas in Frage. Zum einen wurden Versuche durchgeführt, bei denen die Konsummenge von Aas untersucht wurde. Die Art *C. maenas* hat am meisten Aas gefressen (Weibchen mit $4,10\text{g} \pm 1,19\text{g}$ und Männchen mit $3,82\text{g} \pm 1,27\text{g}$ bei der Miesmuschel) gefolgt von der Art *H. takanoi* (Weibchen mit $2,35\text{g} \pm 0,92\text{g}$ und Männchen mit $3,61\text{g} \pm 1,02\text{g}$ bei der Miesmuschel). Außerdem hat sich gezeigt, dass eine geringe Präferenz für Miesmuscheln über Austern vorhanden ist. Des Weiteren wurden Versuche zur Wahrnehmung von Aas aus verschiedenen Distanzen durchgeführt. Dabei ergab sich, dass *C. maenas* meistens am schnellsten das Aas gefunden und gefressen hat. Die beiden eingeschleppten Arten wurden mit der höheren Distanz deutlich langsamer im fressen des Aases als *C. maenas*. Dies lässt schlussfolgern, dass die heimische Art wahrscheinlicher dominanter ist bei der Konkurrenz um Aas, da sie schneller das Aas finden und mehr frisst. Dies zeigt, das Aas eine wichtige Rolle in der Ergänzung der Nahrung ist und vielleicht einen wichtigen Teil dazu beiträgt, die hohen Populationsdichten der Krebse auf dem Riff zu ernähren.

1 Einleitung

Weltweit werden Arten durch den Menschen (z.B. über den Schiffsverkehr) und durch den Klimawandel in Gebiete außerhalb ihres natürlichen Vorkommens verschleppt (Bax et al. 2003). Der Küstenbereich der Nordsee ist hierbei keine Ausnahme (Buschbaum et al., 2016; Lackschewitz et al., 2015). Durch den Klimawandel steigt die Wassertemperatur in der Nordsee und begünstigt so die Lebensbedingungen von eingeschleppten Arten. Außerdem schaffen die Menschen mehr Lebensräume in der Nordsee durch künstliche Hartsubstrate für den Küstenschutz, die sonst nicht in dem Habitat, der weitestgehend aus Weichsubstrat besteht, vorhanden wäre. Dies begünstigt so sehr eingeschleppte Arten, dass sich jährlich bis zu zwei neuen Arten in den Küstenregionen etablieren können (Buschbaum et. al., 2016).

An der Nordseeküste ist eines der bekanntesten Beispiele die pazifische Auster *Crassostrea gigas*. Sie konnte sich aufgrund der Erhöhung der Wassertemperatur hier etablieren. So breitete sich die Art auf den Heimischen Miesmuschelriffen aus und drohte diese zu verdrängen. Doch gegen alle Erwartungen, war es den beiden Muschelarten möglich in Koexistenz zu leben. Zwar ist nun die Auster die dominierende Art auf den Riffen, aber die Miesmuschel ist in nahezu der gleichen Abundanz vorhanden, wie vor dem etablieren der Auster (Eschweiler und Christensen, 2011; Reise et al. 2003). Neu etablierte Arten können verschiedene Auswirkungen auf das Ökosystem haben, wie das Verdrängen einer heimischen Art oder auch das Schaffen eines neuen Lebensraumes. Diese Auswirkungen sind sehr vielfältig und nicht klar erkennbar (Bax et al., 2003).

Diese eingeschleppten Arten müssen untersucht werden, um deren Einfluss auf das bestehende Ökosystem zu verstehen. Denn auch wenn die Auswirkungen bisher noch nicht bedrohlich waren, sondern eher den Lebensraum bereichert haben, können heimische Arten durch eingeschleppte Arten verdrängt werden und so das Ökosystem gefährden. (Buschbaum et. al., 2016; Reise et al. 2006).

Zu diesen eingeschleppten Arten gehören die beiden Arten *Hemigrapsus takanoi* (Asakura und Watanabe 2005) und *Hemigrapsus sanguineus* (de Haan, 1835). Sie gehören zu den Quadratkrabben und kommen ursprünglich aus dem Nordwesten des pazifischen Ozeans. Sie sind wahrscheinlich mit Hilfe des Schiffsverkehrs in die europäischen Meere gelangt. Gallasch (1999) fand 1993 mehreren Individuen der Art *H. takanoi* am Rumpf eines Schiffes, die damals noch für die Art *H. penicillatus* gehalten wurden. Die erste Population von *H. takanoi* wurde 1994 an der französischen Küste in La Rochelle (Noel et al., 1997) gefunden. *H. sanguineus* wurde wenig später in der Nähe an der Küste von Le Havre (Breton et al., 2002) gefunden. Die beiden Arten haben sich dann über die Küsten von Belgien und den Niederlanden auch

zu uns in die Nordsee verbreitet (Breton et al., 2002;). In Deutschland gab es die ersten Funde auf der Insel Norderney 2007 (Obert ,2007). 2009 wurden sie dann auch im Norden der Nordsee auf der Insel Sylt gefunden (Landschoff et al., 2013).

Auf der Insel Sylt leben die beiden Arten in den intertidalen Zonen des Wattenmeers. Wobei zu sehen ist, dass die Art *H.takanoi* eher in den strömungsberuhigten Mischriffen der Miesmuschel *Mytilus edulis* (Linnaeus, 1758) und der pazifischen Auster *Crassostera (Magallana) gigas* (Thunberg, 1793) lebt und die Art *H. sanguineus* eher auf Hartsubstraten wie die künstlichen Küstenschutzmaßnahmen lebt, die mehr Strömung haben. Außerdem haben die beiden Arten eine hohe Toleranz für Salzgehalt und Temperatur, eine hohe Reproduktionsrate (zweimal im Jahr eiertragend) und sind opportunistisch omnivor sind (Mölle, 2017).

Hier stehen sie in Konkurrenz zu unserer heimischen Strandkrabbe *Carcinus maenas* (Linnaeus, 1758). Diese nutzt das Wattenmeer und speziell die Muschelriffe als Kinderstube. Die Populationen der beiden zugewanderten Arten ist über die Jahre dominierend über das Riff geworden. So waren 2011 noch 38 ± 7 Individuen/m² der Strandkrabbe vorhanden, die bis 2020 auf 5 ± 3 Individuen/m² zurückgegangen sind. Die Art *H. takanoi* hingegen ist 2011 mit 18 ± 5 Individuen/m² gestartet und ist zu einer Abundanz von bis zu 248 ± 49 Individuen/m² angestiegen. Dies wirkt sich auch stark auf die Beutetiere aus wie zum Beispiel die Amphipoden *Gammarus spp.*, die stark in ihren Populationen reduziert wurden. (Cornelius et al., 2021)

In dieser Arbeit soll untersucht werden, welche Rolle Aas bei der Ernährung unserer heimischen Krabbe *C. maenas* und den beiden eingeschleppten *Hemigrapsus* Arten hat. Aas ist eigentlich eine seltene und zeitlich begrenzte Nahrungsquelle. Ohne pathogene Einflüsse sterben nur wenige Organismen auf Grund von Alter, weshalb darüber kaum Aas entsteht. Durch Prädation entsteht das meiste Aas, aber auch hier ist die Menge nur gering. Dies würde nicht ausreichen, um einen reinen Aasfresser zu ernähren. Auch wenn ein obligater Aasfresser so nicht überleben können, ist es ein Vorteil für Organismen fakultative Aasfresser zu sein, denn diese können Aas als zusätzliche Nahrungsquelle nutzen. Durch anthropogene Einflüsse entsteht immer mehr Aas im Meer, wodurch sich mehr Organismen von Aas ernähren. Ein Beispiel dafür sind die Amphipoden und die Gastropoden. Diese könne am ehesten als marine Aasfresser bezeichnet werden (Britton und Morton, 1994).

Da die Krebse zusammen auf dem Muschelriff leben sind die Ressourcen begrenzt. So stellt sich jetzt schon auf Grund der hohen Populationsdichten der eingewanderten Arten die Frage, wie die ganzen Populationen ernährt werden können und ob es in Zukunft zu wenig Nahrung geben wird, was zur Verdrängung der heimischen Art führen könnte (Bleile und Thieltges,

2021). Da alle untersuchten Arten obligate Aasfresser sind stellte sich die Frage, wie viel Aas die Krebse fressen, wenn welches da ist und wie gut sich eigentlich das Aas aufspüren können

2 Methode

Im Folgenden werden das Untersuchungsgebiet und angewendeten Methoden beschrieben. Die Versuche wurden zu Sommerbedingungen durchgeführt, die bei Wassertemperaturen von ca. 15°C liegen. Dafür wurden die Versuche in einem Temperaturkonstantraum mit einer Lufttemperatur von ca. 17°C durchgeführt.

2.1 Untersuchungsgebiet

Sowohl die Krebse als auch die verwendeten Muscheln wurden im Intertidal des Königshafens im Norden der Insel Sylt (in der Deutschen Bucht, südöstlich in der Nordsee (Abb.1)) gesammelt. Dort herrscht eine mittlere Jahreswassertemperatur von ca. 9°C, eine durchschnittliche Sommerwassertemperatur von ca. 15°C und eine durchschnittliche Winterwassertemperatur von ca. 4°C. Die Tiden finden zweimal täglich statt und haben einen durchschnittlichen Tidenhub von ca. 1,8m. Der Salzgehalt des Wassers liegt bei ca. 31psu im Sommer und ca. 28psu im Winter.

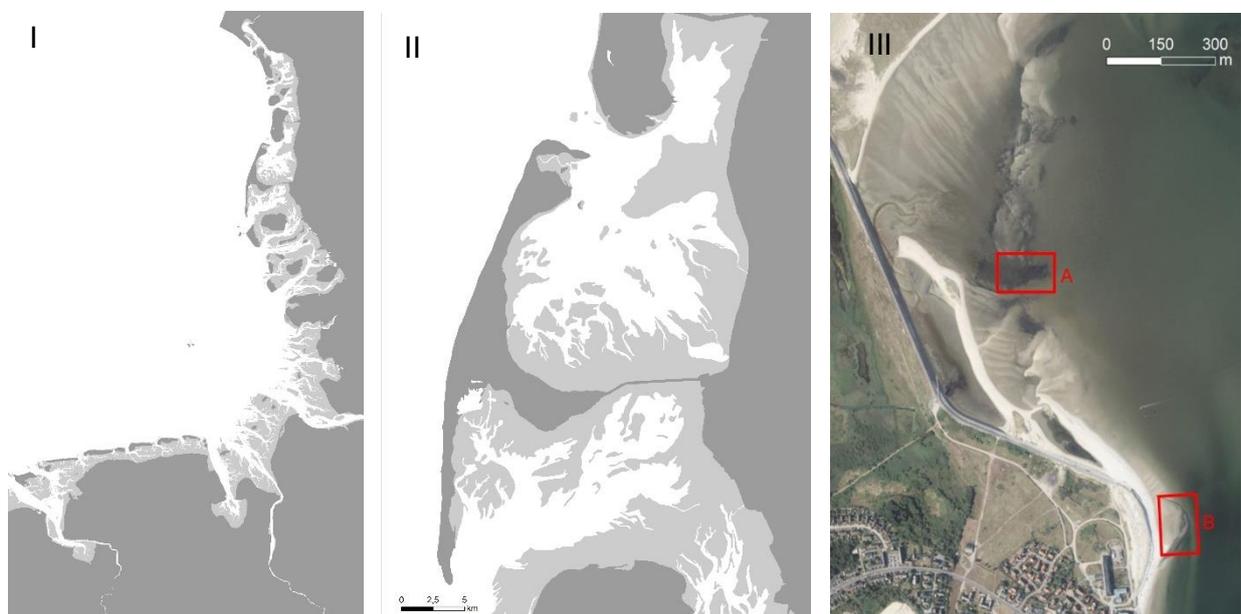


Abbildung 1: Abbildung 1: Deutsche Nordseeküste (I), Insel Sylt im Norden der Nordseeküste (II), Bucht Königshafen auf Sylt, List mit den beiden Beprobungsorten Oddewatt(A) und Ringbuhne(B)(III)

Im Königshafen wurde in dem Riff des Oddewatt die Krebse und ein Teil der Austern und Miesmuscheln gesammelt. Dies ist ein Sandwatt mit einem Muschelriff bestehend aus der heimischen Miesmuschel (*Mytilus edulis*) und der pazifischen Auster (*Crassostrea gigas*), wobei die Auster dominierend ist. In diesem Habitat leben die Krebsarten *Carcinus maenas*, *Hemigrapsus takanoi* und *Hemigrapsus sanguineus*.

An der Ringbuhne wurden kleinere Individuen von Austern und Miesmuscheln gesammelt. Die Ringbuhne ist eine aus Steinen bestehende Küstenschutzmaßnahme, auf der sich hauptsächlich Miesmuscheln, aber auch einige Austern niedergelassen haben.

2.2 Hemigrapsus spp.

Die Quadratkrabben gehören zu den Brachyura, also zu den echten Krabben. Im Vergleich zu der heimischen Krabbe *C. maenas*, die einen eher trapezförmigen mit Carapax mit 5 Seitenzähnen haben mit haben einen quadratischen Carapax mit nur 3 Seitenzähnen (Abb.2).



Abbildung 2: Männlicher *C. maenas* mit typischer Carapaxform (links), Männlicher *H. sanguineus* mit der typischen Carapaxform (rechts)

Hemigrapsus takanoi wird im Allgemeinen auch Felsenpinselkrabbe genannt. Den Namen haben sie durch braune rundliche Puschel an den Scheren der Männchen. Weibchen haben deutliche kleiner Scheren und keine Puschel (Abb.3). Männchen können eine Carapaxbreite von bis zu 30mm erreichen und Weibchen eine Breite von 20mm (Gothland et al. 2014)

Männliche *Hemigrapsus sanguineus* haben im Gegensatz zu den *H. takanoi* Männchen Blasen in den Scheren. (Abb.3) Diese Art wird auch etwas größer als *H. takanoi* mit einer

Carapaxbreite von bis zu über 40mm bei den Männchen und eine Weite von 30mm bei den Weibchen. (Epifanio, 2013).

Die beiden Weibchen der Arten kann man anhand der Infraorbitallippe unterhalb der Augen unterscheiden. Bei den *H. takanoi* ist diese an den Seiten zweimal unterbrochen. Bei den *H. sanguineus* ist die Infraorbitallippe ununterbrochen.

Beide Arten bewohnt die mittlere bis untere Gezeitenzone des Wattenmeers und hat eine hohe Toleranz für Brackwasser und kommt in Buchten und Ästruaren mit Salzgehalten bis zu 7 psu klar (Mingkid et al. 2006). *H. takanoi* bevorzugen gestützte Gebiete mit wenig Strömung und schlammigen Sediment. *H. sanguineus* hingegen bevorzugt felsige Gebiete mit starker stärkerer Strömung und gröberem Sediment (Dauvin et al. 2009)

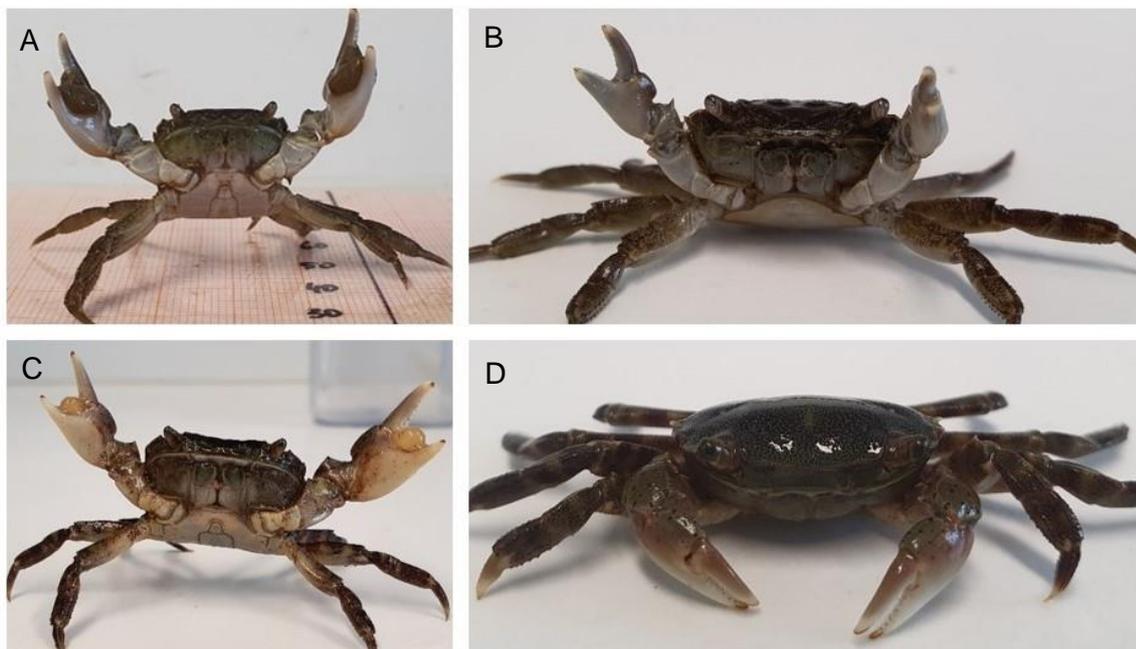


Abbildung 3: männlicher *H. takanoi* mit den Typischen Puscheln an den Scheren(A), weiblicher *H. takanoi*(B), männlicher *H. sanguineus* mit typischen Blasen in der Schere (C), weiblicher *H. sanguineus*

2.3 Miesmuschel Länge-Masse-Verhältnis

Zur Ermittlung des Länge-Massen-Verhältnisses wurde eine Kalibrierkurve angefertigt. Dafür wurden sowohl aus dem Oddewatt als auch bei der Ringbuhne jeweils 8 Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) in den Größenklassen 10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60 und 65 mm gesammelt. Die Muscheln wurden von jeglichem Bewuchs wie zum Beispiel Seepocken oder Pantoffelschnecken befreit und in einer Waagschale gewogen. Danach wurde das Fleisch komplett entfernt und dann nochmal die Schale und das Fleisch einzeln gewogen, um jeweils das Nassgewicht zu ermitteln. Diese kamen dann separat für 3h bei ca. 70°C in einen

Trockenschrank, um das Trockengewicht zu ermitteln. (Abb.4) Mit Excel wurde dann die Kalibrierkurve erstellt.



Abbildung 2: Foto der Proben nach der Trocknung im Trockenschrank für 72h

2.4 Konsummene des Aases

Um die Menge von Aas zu ermitteln, die ein Krebs maximal frisst, wurden Fraßversuche durchgeführt. Hierbei wurden mehrere Aquarien im Temperaturkonstantraum mit einem Durchflusssystem aufgestellt. In dem Raum wurde eine Lufttemperatur von 17°C eingestellt, wodurch die Wassertemperatur bei 14-15°C lag, was den Sommerverhältnissen entspricht. In die Aquarien wurden jeweils drei präparierte Kautexgefäße (11x11x18cm) gestellt. Bei den Gefäße wurden am unteren Ende der Seitenwände Löcher gebohrt und darüber ein Netz zum Filtern geklebt. So konnte der Wasserström durch die Gefäße laufen. Zwischen die Kautexgefäße wurde laminiertes Papier gesteckt, damit sich die Krebse nicht gegenseitig gehen können.

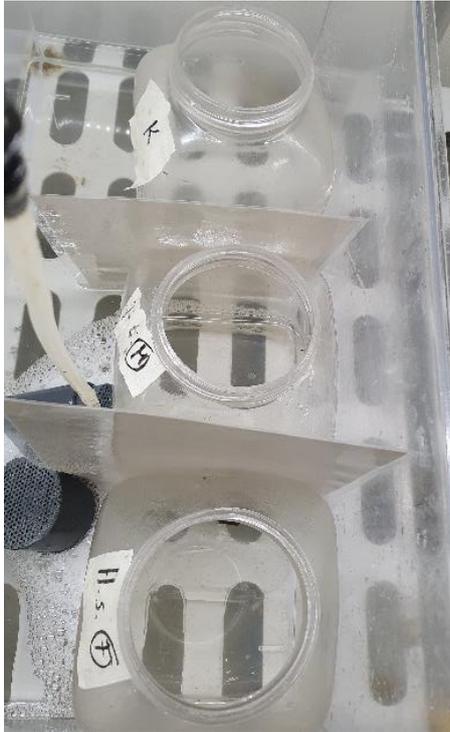


Abbildung 3: Aufbau der Fraßversuche mit den ersten zwei Kautexgefäßen für die Versuche mit den Krebsen und einem dritten Gefäß zur Kontrolle ohne Krebs und laminiertes Papier zwischen den Gefäßen.

In zwei der drei Gefäße wurden einzelne männliche und weibliche Krebse der Arten *Carcinus maenas*, *Hemigrapsus takanoi* und *Hemigrapsus sanguinesus* reingesetzt. Das dritte Gefäß diente der Kontrolle, deshalb wurde hier kein Krebs reingesetzt, sondern nur die Muschel. Mit der Kontrolle ließ sich am Ende bestimmen, wie viel Masseverlust die Muscheln im Allgemeinen hatten, ohne den Einfluss der Krebse. (Abb.5) Die Krebse wurde zuerst für 48h in den Gefäßen ausgehungert. Danach wurden zuvor aufgeschnittene und gewogene Muscheln zu den Krebsen hineingelegt. Diese hatten dann 24h Zeit das Aasfleisch zu fressen (bild wie sie fressen). Nach dieser Zeit wurden die Muscheln wieder herausgenommen und nach kurzen abtupfen mit einem Tuch erneut gewogen. So konnte die gefressene Masse der Krebse ermittelt werden. Insgesamt wurden pro Art und Geschlecht jeweils 18 Durchgänge mit den Muscheln *Crassostrea gigas* und *Mytilus edulis* durchgeführt.

2.5 Wahrnehmung des Aases

Zuletzt wurden Laufversuche durchgeführt, um die Wahrnehmung des Aases der Krebse zu ermitteln. Dafür wurden Becken mit den Bemessungen (1,9x0,25m) verwendet. Der Boden der Becken wurde mit einer dünnen Schicht Sand bedeckt und sowohl die Seiten als auch von oben wurden die Becken mit Papen abgedeckt, um eine Irritation der Krebse durch zu starkes Licht zu verhindern.

Bei dem Versuch wurde das Becken bis zu 12cm vorfiltriertes Seewasser gefüllt. Als Aas wurde eine ca. 12cm große aufgeknackte Auster (*Crassostrea gigas*) angeboten, die am Ende des Beckens platziert wurde. Am anderen Ende wurde der Krebs in das Becken gesetzt. Ab dem Zeitpunkt, an dem sie ins Becken gesetzt wurden, wurde die Zeit gemessen, die die Krebse brauchten, um zur Auster zu laufen und angefangen zu fressen. (Abb.6)



Abbildung 4: Aufbau der Versuche zur Wahrnehmung des Aases. Links der Aufbau auf 100cm eingestellt durch ein Brett und einer Auster am Ende als Aas, rechts der gleiche Aufbau abgedeckt bis zur Muschel

Die Versuche wurden in drei verschiedenen Entfernungen durchgeführt. Dafür wurden die Becken mithilfe eines Brettes jeweils auf die Entfernungen 50cm, 100cm und 150cm verkleinert. Es wurde versucht von jeder Art und Geschlecht 10 Replikate in den verschiedenen Entfernungen zu erstellen.

2.6 Statistik

Zur Auswertung der Daten wurden die Programme Excel (Version 2019) und R studio (Version 3.6.3) verwendet. Die Ergebnisse wurden als arithmetische Mittelwerte angegeben mit der entsprechenden Standardabweichung (SE).

Mit Excel wurden die Ergebnisstabellen und die Regression angefertigt. Bei der Regression wurde ab einem Bestimmtheitsmaß von 0,99 starke Korrelation angenommen. Bei R studio wurden die Graphen mit dem package ggplot2 (Wickham, 2016) angefertigt.

Mit der Funktion `aov()` wurde der einseitige Anova-Test durchgeführt und mit der Funktion `TukeyHSD()` wurde der Post-Hoc-Test durchgeführt. Bei einem p-Wert von $<0,05$ wurden die Effekte als statistisch signifikant angesehen.

3 Ergebnisse

3.1 Miesmuschel Länge-Masse-Verhältnis

Die Kalibrierkurve des Nassgewichtes ist am besten geeignet, um eine Regression zu erstellen (Abb.7). Hier wurde eine Potenzregression verwendet, die folgende Funktion (1) hat:

$$y = 9 \cdot 10^{-6} x^{3,4629} \quad (1)$$

Das Bestimmtheitsmaß liegt hier bei 0,9941, was für eine starke Korrelation der Regression spricht.

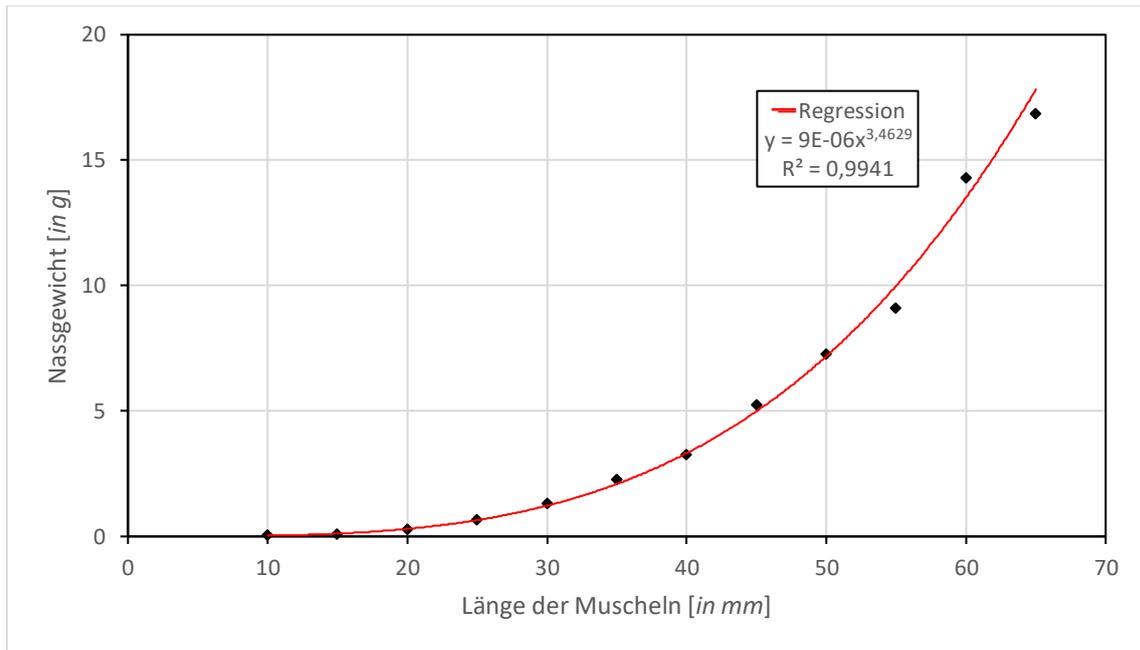


Abbildung 5: Kalibrierkurve der Miesmuschellänge aufgetragen gegen das gemittelte Nassgewicht mit einer Potenzregression

Im Vergleich dazu sind die Messungen des Trockengewichts nicht für eine Kalibrierkurve geeignet. Hier hat die Kurve einen guten exponentiellen Verlauf bis auf die letzten zwei Längen, bei denen die Kurve stagniert (Abb.8). Die Längen 60mm und 65mm unterschieden sich nur minimal, weshalb eine Regressionsgerade hier nicht genau ist. Dies bestätigt sich durch den Versuch eine Potenzregression durchzulegen. Diese hat ein Bestimmtheitsmaß von 0,965, welches über der Grenze von 1% liegt.

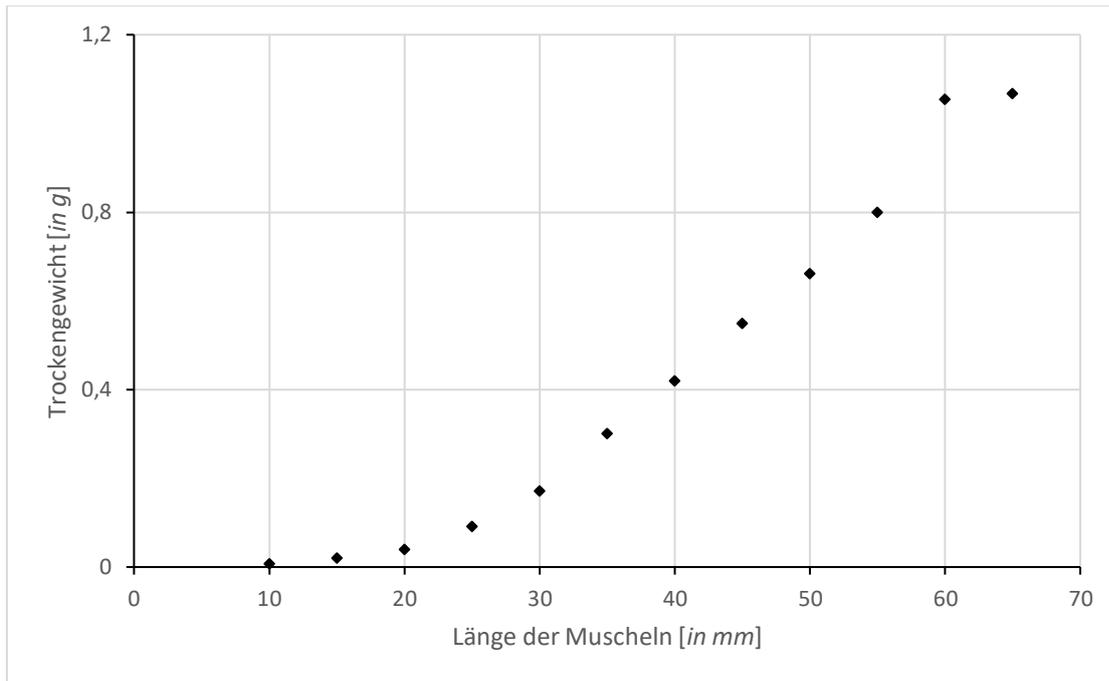


Abbildung 6: Kalibrierkurve der Muschellänge aufgetragen gegen das Trockengewicht

3.2 Konsummene des Aases

Miesmuscheln als Aas:

Das meiste Miesmuschelaas haben *Carcinus maenas* Weibchen mit $4,10\text{g} \pm 1,19\text{g}$ konsumiert (Abb.9), gefolgt von den Männchen mit $3,82\text{g} \pm 1,27\text{g}$. Am wenigsten haben *H. takanoi* Weibchen konsumiert mit nur $2,35\text{g} \pm 0,92\text{g}$. Bei der Kontrolle war im Durchschnitt ein Verlust von $1,99\text{g} \pm 0,79\text{g}$ vorhanden.

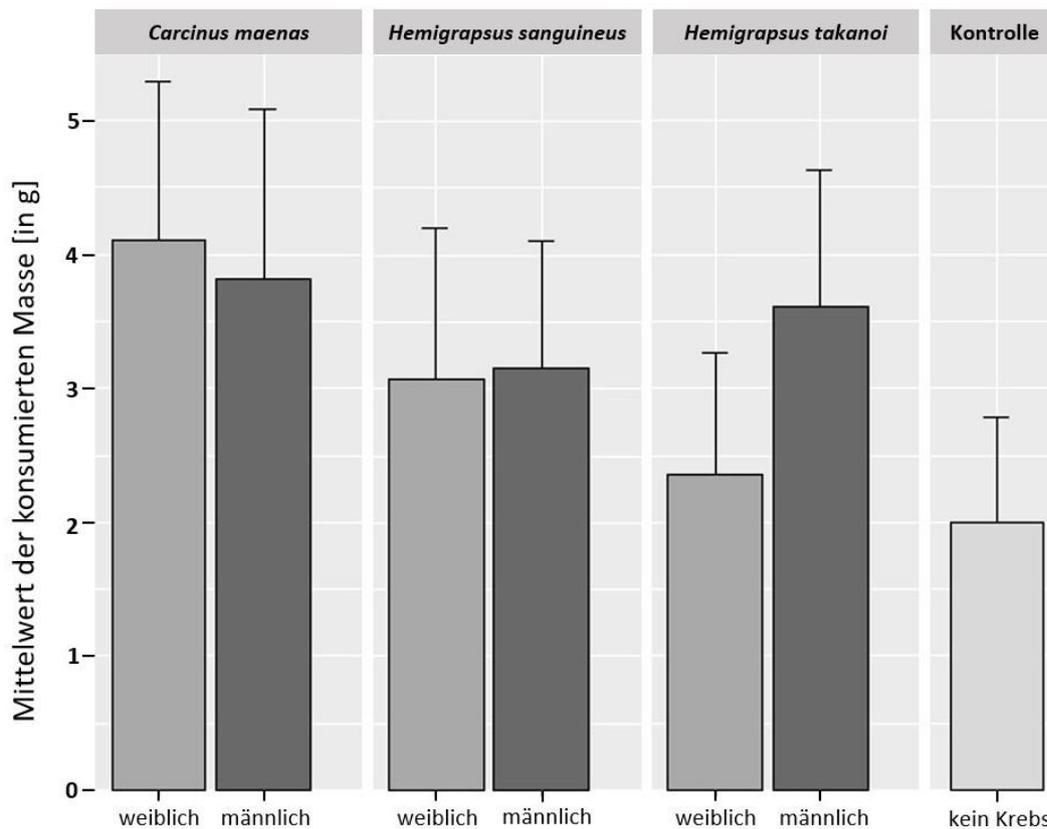


Abbildung 7: Die konsumierte Menge von Miesmuschelaas (Mittelwert mit Standardabweichung) bei den Arten *C. maenas*, *H. sanguineus* und *H. takanoi*, aufgeteilt nach den Geschlechtern. Zusätzlich wurde die Kontrolle aufgetragen (Masseverlust durch das Wasser), bei der keine Krebse verwendet wurden

Ein Anova-test hat gezeigt, dass bei den Miesmuschelversuchen ein signifikanter Unterschied bei den Arten allein ($p= 2,39+10^{-15}$) und bei den Arten und Geschlechtern ($p=0,00341$) vorhanden ist. Bei der genaueren Betrachtung der Arten mit einem Post-Hoc-test ist zu sehen, dass sich *C. maenas* sich deutlich von den anderen Arten unterscheidet, aber die beiden *Hemigrapsus*-Arten sich nicht voneinander unterscheiden. Außerdem ist ein großer Unterschied von *H. takanoi* Weibchen zu *C. maenas* Männchen und Weibchen und zu *H. takanoi* Männchen zu sehen (zwischen 1,25g und 1,75g weniger gefressen). Im Gegensatz zu den anderen Krebsen (1,08g – 2,11g mehr), unterscheiden sich die *H. takanoi* Weibchen nicht von der Kontrolle (nur 0,36g mehr).

Austern als Aas:

Bei den Versuchen mit Austern (Abb.10) zeigte sich, dass *C. maenas* Männchen mit $3,31g \pm 1,94g$ am meisten Masse konsumiert haben, gefolgt von *H. takanoi* Männchen ($3,09g \pm 0,98g$). Mit $2,44g \pm 1,32g$ haben auch hier die *H. takanoi* Weibchen am wenigsten Fleisch konsumiert. Diesmal liegen sie aber nicht so weit entfernt von den anderen Krebsen die auch nur zwischen $2,51g \pm 0,90g$ und $2,88g \pm 1,11g$ gefressen haben. Bei der Kontrolle konnte ein Masseverlust von $1,83g \pm 0,99g$ festgestellt werden.

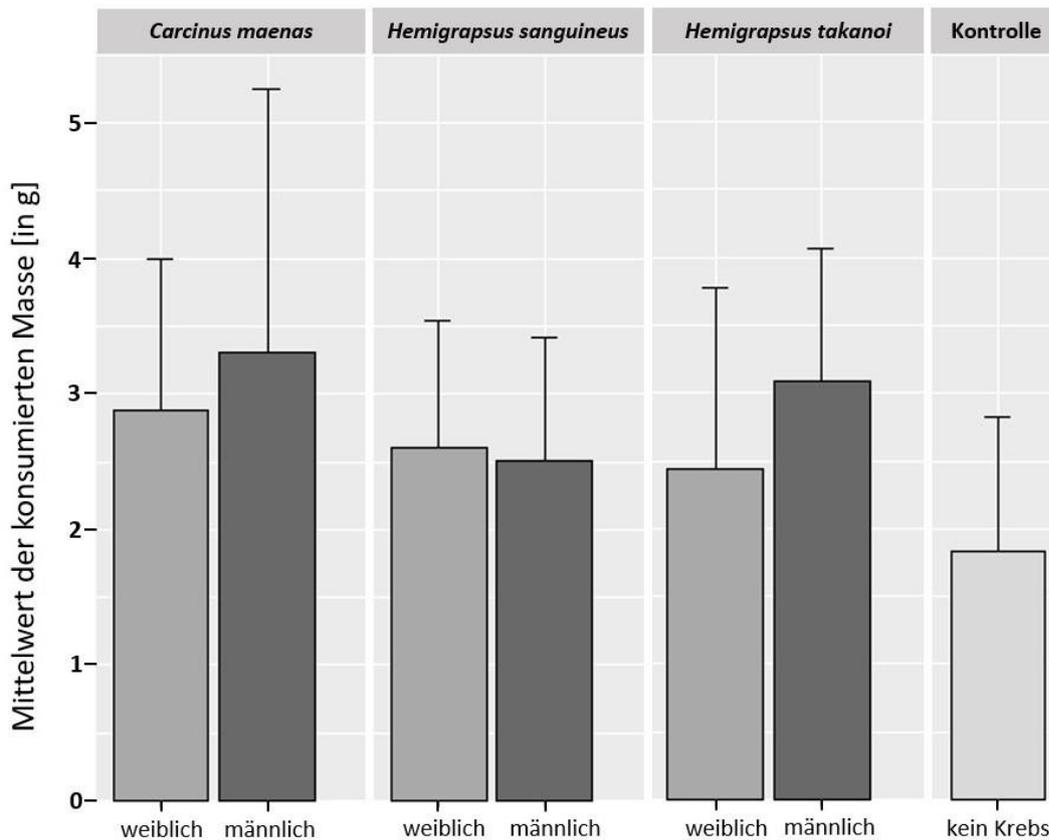


Abbildung 8: Die konsumierte Menge von Austern (Mittelwert mit Standardabweichung) bei den Arten *C. maenas*, *H. sanguineus* und *H. takanoi*, aufgeteilt nach den Geschlechtern. Zusätzlich wurde die Kontrolle aufgetragen (Masseverlust durch das Wasser), bei der keine Krabben verwendet wurden

Ein Anovatest hat gezeigt, dass zwischen den Arten ein signifikanter Unterschied vorhanden ist. Bei genauerer Betrachtung mit dem Post-Hoc-test ist zu sehen, dass dieser Unterschied lediglich zwischen den Arten und der Kontrolle vorhanden sind (1,04g – 1,48g mehr) und nicht zwischen den Arten selbst.

Vergleich der beiden Muschelarten:

Mit dem Anovatest wird deutlich, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Muschelarten gibt. Im Vergleich der beiden Muschelarten ist zu sehen, dass die Art *C. maenas* im Durchschnitt 0,86g mehr Miesmuschelfleisch frisst als Austernfleisch. Außerdem wurde deutlich, dass die Art signifikant mehr Miesmuschel frisst als die anderen Arten. Der Konsum von Austern wiederum ist nicht signifikant höher als der von den beiden eingewanderten Krebsen.

3.3 Wahrnehmung des Aases

Bei den Versuchen zur Wahrnehmung des Aases hat sich gezeigt, dass in keiner Art ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern liegt. Wie zu sehen ist (Abb.11), ist die heimische Strandkrabbe in den allen Distanzen am schnellsten gefressen. Sie haben bei der Strecke von 50cm nur $80,11 \pm 70,64$ s benötigt bis hin zu $151,65 \pm 124,41$ s bei 150cm. Dagegen

brauchte die Art *H. takanoi* bei 50cm $116,95 \pm 92,39$ s bis zu $435,50 \pm 266,70$ s bei 150cm. Bei den beiden Arten ist aber erst ab der höchsten Distanz ein signifikanter Unterscheid zu sehen ($p=0,00016$), bei der *C. maenas* fast das 3-mal schneller war als die eingeschleppte Art.

Die Art *H. sanguineus* war in allen Distanzen signifikant langsamer als die beiden anderen Arten. Diese Art hat bei 50cm $316,31 \pm 108,83$ s, bei 100cm $587,94 \pm 293,29$ s und bei 150cm $801,67 \pm 294,04$ s gebraucht. Die heimische Krabbe ist mindestens 4mal so schnell wie *H. sanguineus* und mit steigender Distanz wird der Abstand deutlicher. So ist *C. maenas* bei 150cm schon mehr als 5-mal so schnell wie die eingewanderte Krabbe. Der Abstand zu der verwendeten Art *H. takanoi* ist nicht ganz so hoch und mit steigender Distanz nimmt ihr der Unterscheid ab. So ist *H. takanoi* noch bei 50cm etwas mehr als 2,5-mal so schnell wie *H. sanguineus*, was sich bei 150cm nicht mal mehr das Doppelte ist.

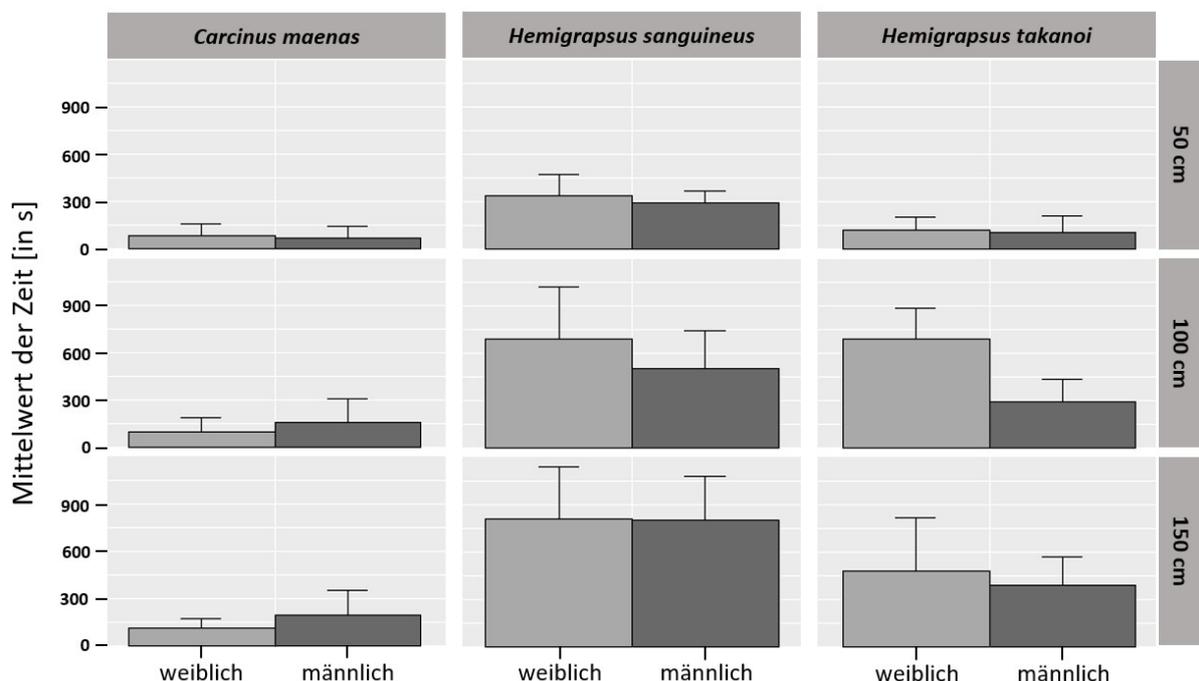


Abbildung 9: Mittelwert mit Standardabweichung der benötigten Zeit [in s] der Krebse, um Aas zu finden und zu konsumieren. In den Distanzen 50, 100 und 150cm, Aufgeteilt nach den Arten (*C. maenas*, *H. sanguineus* und *H. takanoi*) und Geschlecht

4 Diskussion

4.1 Miesmuschel Länge-Masse-Verhältnis

Die Kalibrierkurve des Nassgewichtes ist auf Grund des hohen Bestimmtheitsgrad als gut betrachtet werden. Mithilfe der Funktionsgleichung der Kurve lässt sich so die Masse der Muscheln nach der Länge bestimmen. Dies ist nützlich um z.B. das potentielle Nahrungsangebot der Krebse im Muschelriff genauer zu definieren.

Mit dem Trockengewicht des Fleisches ist dies allerdings nicht so präzise möglich. Hier zeigte die Kalabrierkurve eine Stagnierung ab einer Muschellänge von 60mm. Demnach nehmen die Muscheln von 60mm zu 65mm nicht an Biomasse zu, sondern Wassergehalt steigt. Dies kann durch viele Faktoren beeinflusst sein. Alleine das Wachstum der Muscheln wird von Faktoren wie Temperatur, Salzgehalt, Gezeiten, Wellengang, Nahrungsangebot und Populationsdichte beeinflusst werden (Karayücel et al 2000).

Ein vermindertes Gewicht bei den 65mm langen Muscheln durch Reproduktionsprozesse sind allerdings ausschließbar, da die Fortpflanzungszeit im Frühjahr liegt und die Muscheln im Winter entnommen wurden. (Bayne et al 1980, Thompson 1984). Für das Wachstum der Schale ist die Wachstumsrate und die Dichte dieser ein starker Einfluss (Seed, 1968). So führt zum Beispiel eine hohe Kompression, also schnelles Wachstum mit einer hohen Dichte zu einer länglichen Form. Dies könnte auch ein Grund dafür sein, dass die Masse an Fleisch in den 60mm und 65mm großen Muscheln so ähnlich sind, da die Muscheln an zwei verschiedenen Orten gesammelt wurden (Ringbühne und Oddewatt), auch wenn die beiden Orte nicht weit voneinander entfernt sind.

4.2 Konsummengen des Aases:

Durch die Versuche ist zu erkennen, dass das Aasfleisch von der Miesmuschel über dem der Auster präferiert wird. Bis her war klar, dass die drei Arten tierische Nahrung der pflanzlichen Nahrung vorziehen. Zu ihrer Hauptnahrung zählen Amphipoden (*Gammarus locusta*) und sessile Muscheln wie *Mytilus edulis* (Möller, 2017; Bleile und Thielges, 2021; Cornelius et al., 2021). Allerdings wurden noch nicht untersucht, ob es Präferenzen zwischen den Muscheln gibt. Außerdem sieht man, dass die heimische Krabbe *C. maenas* am meisten Aasfleisch gefressen hat. Dies stimmt mit vorherigen Untersuchungen überein, bei denen *C. maenas* auch eine höhere Menge konsumiert haben, als die beiden eingeschleppten Arten, dennoch ist die konsumierte Menge der beiden eingeschleppten Arten im Feld mehr, da sie dort in einer viel höheren Populationsdichte vorkommen (Bleile und Thielges, 2021; Cornelius et al., 2021).

Cornelius et al. haben 2021 ähnliche Fraßversuche zu den gleichen Bedingungen durchgeführt (gleicher Versuchsaufbau und gleiche Temperaturen) mit den Arten *C. maenas* und *H. takanoi* durchgeführt. Dabei wurden hier die Krabben mit juvenilen Miesmuscheln mit einer Länge von 8-11 mm gefüttert. Mit Hilfe der erstellten Gleichung (1) zur Bestimmung der Masse in den Miesmuscheln in Abhängigkeit von der Länge, war es möglich die ungefähre Masse dieser Muscheln zu bestimmen. Dabei ergab sich ungefähr 0,022g Fleisch, bei einer Durchschnittslänge von 9,5mm. Damit ließen sich die Angaben des Papers in folgende Werte in der Tabelle bestimmen (Tab. 1).

Tabelle 1: Vergleich der konsumierten Mengen von frischen Miesmuscheln, die die Krebse selber öffnen mussten (Daten aus dem Paper Cornelius et. al., 2021 umgerechnet mit Formel (1)) und der konsumierten Menge von bereits geöffneten Muscheln (Aasfleisch)

	Konsumierte Juvenile Miesmuscheln umgerechnet [in g]	Konsumiertes Aasfleisch der Miesmuschel [in g]
<i>C. maenas</i> männchen	0,59 ± 0,18	3,82 ± 1,27
<i>C. maenas</i> weibchen	0,61 ± 0,17	4,10 ± 1,19
<i>H. takanoi</i> männchen	0,20 ± 0,06	3,61 ± 1,02
<i>H. takanoi</i> weibchen	0,09 ± 0,04	2,53 ± 0,92
<i>H. sanguineus</i> männchen		3,16 ± 0,95
<i>H. sanguineus</i> weibchen		3,08 ± 1,12
Kontrolle		1,99 ± 0,79

Im Vergleich ist zu sehen, dass die Krebse eine deutlich höhere Masse gefressen haben, als es ihnen als Aas da geboten wurde. Auch wenn man Masseverlust der Muschel durch das Wasser (die Kontrolle) von ca. 2g abzieht ist ein großer Unterschied sichtbar. So konsumiert die Art *C. maenas* ca. das 3-fache an Fleisch und bei der Art *H. takanoi* konsumieren die Männchen das 8-fache und die Weibchen das 6-fache. Auch wenn keine Daten von der Art *H. sanguineus* vorhanden sind werden die Ausmaße ähnlich sein.

Dies könnte unter anderem daran liegen, dass die Krebse keinen Aufwand betreiben müssen um die Beute zu fressen und daher mehr und auch schneller fressen. Beim Konsum der juvenilen Miesmuscheln müssen sie erst dessen Schale aufknacken, was einen gewissen Energieaufwand mit sich bringt. Aber es ist auch wahrscheinlich, dass die Krebse länger satt bleiben und dem entsprechend weniger oft fressen müssen.

Bei der Art *H. sanguineus* könnte es sein, dass die nicht so viel frisst in den Versuchen, wie sie es in der Natur machen würde, weil die Art recht scheu wirkt und das direkte Licht im Labor ohne Versteckmöglichkeiten abschreckend wirken könnte.

4.3 Wahrnehmung des Aases

Bei den Versuchen zur Wahrnehmung des Aases war zu beobachten, dass die meisten Krebse nicht sofort auf die Beute reagiert haben, nachdem sie ins Becken gesetzt wurden. Viele haben lange gebraucht, um in die Nähe der Auster zu gelangen und haben auch dann noch lange gezögert bevor sie gefressen haben, obwohl keine Konkurrenz da war. Besonders bei der Art *H. sanguineus* war es auffällig, dass die Krebse lange gebraucht haben, um bis zur Muschel

zu laufen und selbst dann haben sie sich oft erstmal unter der Muschel versteckt und nicht gefressen.

Daher kann man annehmen, dass die Verstecksuche eine höhere Priorität für die Art hat, als die Nahrungsaufnahme. Im Vergleich dazu sind die meisten heimische Strandkrabben zielstrebig auf die Beute zugewandert und haben relativ schnell angefangen zu fressen. Bei der Wahrnehmung des Aases spielt dabei der Geruchssinn vielleicht eine gar nicht so große Rolle, wie man denken könnte.

Schon früh haben Salter et al. (1859) erkannt dass bei der Art *C. maenas* die Sichtung der Beute und das Berühren derer wahrscheinlich vielbedeutender für die Tiere sind als der Geruch, wenn die näher an der Beute dran sind. Sie erkannten, dass die Antennulas ein wichtiges Geruchsorgan für die Krabben sind. Aber auch ohne diese ist es für die Krabben möglich ihre Beute wahrzunehmen, wenn diese sich in der Nähe der Krabben befindet. Über chemische und taktile Reize ist es den Krabben möglich ihre Beute wahrzunehmen. Dies geschieht mit Hilfe der Antennulas und der Laufbeine. Mit den Chemorezeptoren an den Antennulas ist es ihnen möglich durch das Wasser die Beute (hier das Aas) wahrzunehmen (Elner und Hughes, 1978).

Bei den Versuchen von Salter et al. war zu sehen, dass die Krabben umso zielstrebiger auf die Beute zugelaufen sind, desto näher dran sie waren. Dies spricht dafür dass nur auf der Entfernung der Geruchssinn eine hohe Bedeutung hat. Dies würde mit den Ergebnissen übereinstimmen, bei denen die Krabben immer mehr Zeit brauchten um das Aas zu erreichen und zu fressen, desto weiter weg sie davon waren. Nur bei *C. maenas* war dieser Unterschied nicht so stark zu sehen, weshalb man davon ausgehen kann, dass Sinneswahrnehmung bei der heimischen Art stärker ausgeprägt ist, als bei den beiden pazifischen Krabben.

Der Unterschied zwischen den beiden *Hemigrapsus spp.* lässt sich möglicherweise damit erklären, dass die Art *H. sanguineus* scheuer ist, als *H. takanoi* und deswegen länger braucht um an die Beute ran zutreten.

4.4 Schlussfolgerung und Aussicht

Im Wattenmeer ist wahrscheinlich nicht viel Aas vorhanden. Wenn Aas da ist würde wahrscheinlich die heimische Krabbe *C. maenas* dominanter sein, als die beiden pazifischen Arten und mehr davon fressen, da diese mit der Entfernung vom Aas zunehmend schneller das Aas aufspüren, als die anderen beiden. In einem Paper von Moore and Howarth (1996) wurden die Decapoden *Carcinus maenas*, *Necora puber* und *Pagurus bernhardus* unter anderen Gruppen wie Gastropoden als wichtige Aasfresser des Flachwassers eines Gebietes der Westküste von Großbritannien genannt. Dabei war *C. maenas* der dominanteste

Aasfresser und gerade Einsiedlerkrebse haben sich vom Aas ferngehalten, wenn dieser vor Ort war.

Bei einem anderen Paper von Schlacher et al. (2013) ist eine ähnliche Dominanz der Gespensterkrabbe (*Ocypoder spp.*) an der Australischen Küste zu sehen. Hier gilt sie als „key scavenger“ und war bei den Versuchen am schnellsten und mit einer hohen Abundanz beim Aas. Dies würde die These unterstützen, dass auch im Wattenmeer die Strandkrabbe dominanter ist.

In weiteren Versuchen von Moore and Howarth (1996), bei denen *C. maenas* ausgeschlossen wurde sind die anderen Krebse deutlich weniger auf das Aas aufmerksam geworden, als wenn *C. maenas* da wäre. Es wurde die Vermutung aufgestellt, dass die anderen besser das Aas wittern können, wenn vorher *C. maenas* beim fressen das Fleisch zerkleinert hat und so den Geruch des Aases schneller verteilt. Um diese Effekte bei den betrachteten Krebsen festzustellen, müssten noch weitere Versuche durchgeführt werden.

Da unter anderem Gastropoden als Aasfresser bekannt sind, stellt sich auch die Frage, ob zum Beispiel die große Strandschnecke (*Littorina littorea*) eine Konkurrenz für die Krebse darstellt. P. Petraitis (2002) konnte durch Versuche feststellen, dass diese Schnecke wahrscheinlich ein aktiver Aasfresser ist. Der Konsum von Aas hat sich positiv auf die Wachstumsrate der Schnecke ausgewirkt und hat sie nahezu verdoppelt.

In einem anderen Paper (Morton und Yuen, 2000) wurden ein Gastropode (*Nassarius festivus*) und ein Einsiedlerkrebs (*Diogenes edwardsii*) verglichen. Dabei kam heraus, dass beide Muscheln und Fisch als Aas präferieren. Außerdem war zu erkennen, dass der Gastropode dominanter war, als der Einsiedlerkrebs. Sie waren immer mit einer höheren Abundanz und schneller bei der Beute, als die Krebse. Dies könnte darauf hinweisen, dass die Krebse auch im Watt vor Sylt durch die Gastropoden einen starken Konkurrenten um das Aas haben, auch wenn der Einsiedlerkrebs deutlich weniger aggressiver ist, als die betrachteten Krabben.

Also welche Rolle spielt Aas in der Ernährung der heimischen Strandkrabbe und den beiden eingewanderten japanischen Arten? Es ist klar geworden, dass Aas eine Rolle in der Ernährung der drei Arten spielt. Wie groß die Rolle allerdings ist, ist noch nicht klar. Ein wichtiger Faktor ist die Mortalität der Muscheln in dem Riff und wie viel Aas dadurch angeboten wird. Aas alleine reicht nicht aus um die Krebse zu ernähren, aber es könnte eine wichtige Ergänzung der Ernährung darstellen, der auch benötigt wird, um nicht nur die heimische Strandkrabbe zu ernähren, aber auch die hohe Anzahl der eingeschleppten pazifischen Krabben zu ernähren.

Da die Mortalität der Muscheln sicher in der Zukunft steigen wird, in Betracht des Klimawandels und der anthropogenen Einflüsse (Britton und Morton, 1994), wäre es sinnvoll

mehr Versuche in diesem Feld durchzuführen, um die Interaktionen der Arten im Wattenmeer besser widerspiegeln können.

5 Literaturverzeichnis

- Bayne, B. L., & Worrall, C. M. (1980): Growth and production of mussels *Mytilus edulis* from two populations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 3, 317-328.
- Bax, N., Williamson, A., Agüero, M., Gonzalez, E., & Geeves, W. (2003): Marine invasive alien species: a threat to global biodiversity. *Marine policy*, 27(4), 313-323.
- Bleile, N., & Thielges, D. W. (2021): Prey preferences of invasive (*Hemigrapsus sanguineus*, *H. takanoi*) and native (*Carcinus maenas*) intertidal crabs in the European Wadden Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 101(5), 811-817.
- Breton, G., Faasse, M., Noël, P., & Vincent, T. (2002): A new alien crab in Europe: *Hemigrapsus sanguineus* (Decapoda: Brachyura: Grapsidae). *Journal of crustacean biology*, 22(1), 184-189.
- Buschbaum, C., Gutow, L., & Wegner, K. M. (2016): 4.10 Globale Erwärmung, eingeschleppte Arten und neue Habitate: Folgen für die Biodiversität der Nordsee
- Büttger, H., Nehls, G., & Witte, S. (2011): High mortality of Pacific oysters in a cold winter in the North-Frisian Wadden Sea. *Helgoland Marine Research*, 65(4), 525-532.
- Chávez-Villalba, J., Villelas-Ávila, R., & Cáceres-Martínez, C. (2007): Reproduction, condition and mortality of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) in Sonora, México. *Aquaculture Research*, 38(3), 268-278.
- Cornelius, A., Wagner, K., & Buschbaum, C. (2021): Prey preferences, consumption rates and predation effects of Asian shore crabs (*Hemigrapsus takanoi*) in comparison to native shore crabs (*Carcinus maenas*) in northwestern Europe. *Marine Biodiversity*, 51(5), 1-17.
- Dauvin, J.-C., Tous Rius, A. & Ruellet, T. (2009): Recent expansion of two invasive crab species *Hemigrapsus sanguineus* (de Haan, 1835) and *H. takanoi* Asakura and Watanabe 2005 along the Opal Coast, France. *Aquatic Invasions* 4 (3), 451–465, doi: 10.3391/ai.2009.4.3.3.
- Elnor, R. W., & Hughes, R. N. (1978): Energy maximization in the diet of the shore crab, *Carcinus maenas*. *The Journal of Animal Ecology*, 103-116.
- Epifanio, M. S., Genna, V., Vitello, M. G., Roccella, M., & La Grutta, S. (2013): Parenting stress and impact of illness in parents of children with coeliac disease. *Pediatric Reports*, 5(4), 81-85.

- Eschweiler, N., & Christensen, H. T. (2011): Trade-off between increased survival and reduced growth for blue mussels living on Pacific oyster reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 403(1-2), 90-95.
- Gollasch, S. (1998): The asian decapod *Hemigrapsus penicillatus* (de Haan, 1835) (Grapsidae, Decapoda) introduced in European waters: status quo and future perspective. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 52(3), 359-366.
- Gothland, M., Dauvin, J. C., Denis, L., Dufossé, F., Jobert, S., Ovaert, J., ... & Spilmont, N. (2014): Biological traits explain the distribution and colonisation ability of the invasive shore crab *Hemigrapsus takanoi*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 142, 41-49.
- Karayücel, S., & Karayücel, I. (2000): The effect of environmental factors, depth and position on the growth and mortality of raft-cultured blue mussels (*Mytilus edulis* L.). *Aquaculture Research*, 31(12), 893-899.
- Kerckhof, F., Haelters, J., & Gollasch, S. (2007): Alien species in the marine and brackish ecosystem: the situation in Belgian waters. *Aquatic Invasions*, 2(3), 243-257.
- Lackschewitz, D., Reise, K., Buschbaum, C., & Karez, R. (2015): *Neobiota in deutschen Küstengewässern-Eingeschleppte und kryptogene Tier-und Pflanzenarten an der deutschen Nord-und Ostseeküste*. LLUR SH.
- Landschoff, J., Lackschewitz, D., Keszy, K., & Reise, K. (2013): Globalization pressure and habitat change: Pacific rocky shore crabs invade armored shorelines in the Atlantic Wadden Sea. *Aquatic Invasions*, 8(1).
- Miossec, L., Allain, G., Arzul, I., François, C., Garcia, C., & Cameron, A. (2009, August): First results of an epidemiological study on oyster (*Crassostrea gigas*) mortality events in France during summer 2008. In *ISVEE XII-International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics*.
- Mingkid, W. M., Akiwa, S., & Watanabe, S. (2006): Morphological characteristics, pigmentation, and distribution of the sibling penicillate crabs, *Hemigrapsus penicillatus* (De Haan, 1835) and *H. takanoi* Asakura & Watanabe, 2005 (Decapoda, Brachyura, Grapsidae) in Tokyo Bay. *Crustaceana*, 1107-1121.
- Moore, P. G., & Howarth, J. (1996): Foraging by marine scavengers: effects of relatedness, bait damage and hunger. *Journal of Sea Research*, 36(3-4), 267-273.
- Morton, B., & Yuen, W. Y. (2000): The feeding behaviour and competition for carrion between two sympatric scavengers on a sandy shore in Hong Kong: the gastropod, *Nassarius festivus* (Powys) and the hermit crab, *Diogenes edwardsii* (De Haan). *Journal of experimental marine biology and ecology*, 246(1), 1-29.

- Möller J (2017): Winter occurrence and feeding habits of introduced Asian shore crabs in the Wadden Sea. Bachelor-Thesis University of Kiel, Germany
- Obert, B., Herly, M. & Grotjahn, M. (2007): First records of two crabs from the North West Pacific *Hemigrapsus sanguineus* and *H. takanoi* at the coast of Lower Saxony, Germany. *Wadden Sea Newsletter*
- Petratis, P. S. (2002): Effects of intraspecific competition and scavenging on growth of the periwinkle *Littorina littorea*. *Marine Ecology Progress Series*, 236, 179-187.
- Reise, K., Olenin, S., & Thielges, D. W. (2006): Are aliens threatening European aquatic coastal ecosystems?. *Helgoland Marine Research*, 60(2), 77-83.
- Salter, S. J. A. (1859): On the Moulting of the common Lobster (*Homarus vulgaris*) and Shore Crab (*Carcinus mænas*). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 4(13), 30-35.
- Schlacher, T. A., Strydom, S., & Connolly, R. M. (2013): Multiple scavengers respond rapidly to pulsed carrion resources at the land–ocean interface. *Acta Oecologica*, 48, 7-12.
- Seed, R. (1968): Factors Influencing Shell Shape in the Mussel *Mytilus Edulis*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 48(3), 561-584.
doi:10.1017/S0025315400019159
- Thompson, R. J. (1984): Production, reproductive effort, reproductive value and reproductive cost in a population of the blue mussel *Mytilus edulis* from a subarctic environment. *Marine Ecology Progress Series*, 16, 249-257.
- Watermann, B. T., Herlyn, M., Daehne, B., Bergmann, S., Meemken, M., & Kolodzey, H. (2008): Pathology and mass mortality of Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg), in 2005 at the East Frisian coast, Germany. *Journal of Fish Diseases*, 31(8), 621-630.
- Wickham, H. (2016): *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. springer.

Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Außerdem versichere ich, dass ich die allgemeinen Prinzipien wissenschaftlicher Arbeit und Veröffentlichung, wie sie in den Leitlinien guter wissenschaftlicher Praxis der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg festgelegt sind, befolgt habe.

Unterschrift

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Biehl'. The signature is written in a cursive style with a large, looped 'M' and a long, sweeping tail for the 'l'.

Anhang

Tabelle 2: Ergebnistabelle der Längen-Massen-Versuche

Nr.	Größe in mm	Schalen- nassgewicht in g	Massen- nassgewicht in g	Schalen- trockengewicht in g	Massen- trockengewicht in g
2_1	10,76	0,08	0,03	0,08	0,01
2_2	9,91	0,06	0,04	0,06	0,01
2_3	10,13	0,06	0,03	0,06	0
2_4	10,65	0,11	0,03	0,04	0
2_5	9,53	0,04	0,03	0,06	0
2_6	9,52	0,05	0,03	0,07	0,02
2_7	9,76	0,06	0,02	0,06	0
2_8	9,52	0,05	0,02	0,05	0,01
3_1	15,72	0,23	0,11	0,2	0,02
3_2	15,19	0,3	0,14	0,28	0,02
3_3	15,04	0,19	0,08	0,16	0,02
3_4	14,5	0,19	0,08	0,16	0,02
3_5	14,56	0,22	0,1	0,21	0,01
3_6	14,88	0,18	0,09	0,15	0,02
3_7	15,84	0,23	0,13	0,23	0,03
3_8	15,37	0,21	0,09	0,2	0,02
4_1	20,11	0,54	0,36	0,5	0,03
4_2	19,8	0,48	0,25	0,45	0,04
4_3	20,84	0,5	0,33	0,48	0,04
4_4	20,22	0,54	0,24	0,51	0,05
4_5	19,66	0,75	0,24	0,49	0,04
4_6	19,27	0,52	0,27	0,48	0,04
4_7	20,29	0,56	0,26	0,53	0,03
4_8	20,98	0,55	0,25	0,51	0,04
5_1	25,9	1,06	0,77	0,98	0,1
5_2	24,14	0,88	0,61	0,84	0,06
5_3	24,47	0,84	0,66	0,79	0,08
5_4	24,94	0,84	0,66	0,77	0,1
5_5	24,68	0,87	0,66	0,8	0,08
5_6	25,58	0,98	0,85	0,9	0,11
5_7	24,68	0,91	0,55	0,86	0,09
5_8	24,57	0,99	0,56	0,93	0,1
6_1	29,2	1,47	0,99	1,4	0,13
6_2	30,78	2,06	1,58	1,96	0,21
6_3	30,55	1,84	1,22	1,76	0,12
6_4	29,82	2	1,26	1,89	0,2
6_5	29,75	1,56	1,01	1,48	0,14
6_6	31,08	2,15	1,71	2,05	0,18

6_7	31,07	5,13	1,5	2,04	0,24
6_8	28,92	1,5	1,26	1,41	0,15
7_1	35,58	2,97	1,99	2,76	0,21
7_2	34,56	4,28	2,68	4,06	0,31
7_3	35,42	3,29	2,94	3,1	0,44
7_4	35,82	3,71	2,36	3,49	0,43
7_5	34,88	3,18	2,25	2,96	0,35
7_6	34,97	2,35	2,1	2,21	0,27
7_7	35,54	2,51	1,78	2,35	0,18
7_8	34,72	2,17	2,08	2,05	0,22
8_1	39,17	4,59	3,31	4,39	0,52
8_2	40,48	3,78	3,01	3,59	0,37
8_3	39,77	3,61	2,68	3,41	0,37
8_4	38,93	3,8	3,13	3,58	0,48
8_5	40,89	3,4	3,07	3,26	0,34
8_6	40,6	3,51	3,96	3,31	0,42
8_7	39,08	3,78	3,12	3,59	0,37
8_8	39,47	4,19	3,73	4,04	0,49
9_1	45,09	6,55	4,97	6,14	0,66
9_2	45,24	5,81	4,85	5,54	0,43
9_3	45,04	6,51	5,11	6,24	0,48
9_4	45,3	6,71	5,87	6,31	0,59
9_5	45,17	5,72	5,11	5,43	0,36
9_6	45,34	5,48	5,02	5,23	0,64
9_7	45,85	6,61	4,96	6,33	0,64
9_8	45,96	5,84	6,09	5,57	0,59
10_1	50,66	9,13	7,86	8,75	0,83
10_2	50,19	5,82	6,9	5,55	0,68
10_3	49,49	7,75	5,08	7,39	0,49
10_4	49,09	9,85	7,3	9,46	0,58
10_5	50,12	7,28	7,58	6,98	0,68
10_6	49,78	8,66	7,49	8,33	0,72
10_7	50,28	8,28	6,78	7,95	0,61
10_8	50,62	7,07	8,98	6,79	0,7
11_1	55,37	8,66	8,82	8,3	0,8
11_2	55,3	9,12	9,02	8,7	0,71
11_3	55,42	11,42	11,95	11,03	1,01
11_4	54,6	9,73	9,24	9,39	0,53
11_5	54,7	10,42	6,86	10,05	1,23
11_6	55,03	9,11	7,72	8,76	0,69
11_7	55,07	10,68	8,81	10,31	0,59
11_8	54,96	10,84	10,22	10,43	0,84
12_1	61,38	16,79	15,26	16,23	1,64
12_2	60,14	14,56	15,6	13,96	0,97
12_3	58,64	11,92	12,86	11,5	1,35
12_4	60,05	11,49	14,84	10,89	1,1
12_5	59,35	13,74	12,97	13,2	0,65

12_6	61,26	15,28	13,88	14,71	1,56
12_7	59,26	12,16	14,16	11,57	1,05
12_8	59,75	13,68	14,6	13,26	1,31
13_1	65,22	15,21	6,01	14,64	0,83
13_2	62,38	18,12	16,71	17,24	1,32
13_3	65,72	14,4	15,28	13,68	1,22
13_4	64,1	16,03	17,95	15,45	1,3
13_5	65,64	18,29	18,25	17,64	1,27
13_6	67,66	20,06	17,17	19,22	1,21
13_7	64,65	14,52	15,24	13,88	0,96
13_8	64,95	16,91	16,58	16,33	0,98
14_1	60,85	18,93	8,79	16,96	0,7
14_2	61,13	18,2	11,24	17,57	1,5
14_2	60,57	14,13	10,8	13,59	0,97
14_3	61,15	16,84	14,86	16,35	1,47
14_3	59,84	18,55	11,59	17,95	1,17
14_4	59,85	14,74	15,27	14,3	1,56
14_4	59,04	10,96	10,87	10,56	0,84
14_5	61,31	13,45	15,31	12,96	1,35
14_5	63,41	13,11	16,89	12,69	1,08
14_6	62,86	19,07	16,31	18,42	1,13
14_6	62,89	15,72	16,68	15,15	1,77
14_7	64,83	24,43	18,31	23,78	1,14

Tabelle 3: Ergebnistabelle der Fraßversuche

Muschelart	Art	Geschlecht	Mittelwert der konsumierten Menge in g	Standardabweichung der konsumierten Menge in g
<i>Mytilus edulis</i>	C.m.	m	3,815	1,26816333
<i>Mytilus edulis</i>	C.m.	f	4,10055556	1,1938493
<i>Mytilus edulis</i>	H.t.	m	3,60611111	1,02250062
<i>Mytilus edulis</i>	H.t.	f	2,35388889	0,91595748
<i>Mytilus edulis</i>	H.s.	m	3,15555556	0,95131625
<i>Mytilus edulis</i>	H.s.	f	3,07555556	1,12075197
<i>Mytilus edulis</i>	K	non	1,99071429	0,79161252
<i>Crassostrea gigas</i>	C.m.	m	3,31111111	1,94156362
<i>Crassostrea gigas</i>	C.m.	f	2,88166667	1,11312094
<i>Crassostrea gigas</i>	H.t.	m	3,09166667	0,97843963
<i>Crassostrea gigas</i>	H.t.	f	2,44444444	1,32420996
<i>Crassostrea gigas</i>	H.s.	m	2,51222222	0,90408586
<i>Crassostrea gigas</i>	H.s.	f	2,61	0,92905391
<i>Crassostrea gigas</i>	K	non	1,83327586	0,98952122

Tabelle 4: Ergebnistabelle der Versuche zur Wahrnehmung von Aas

Mittelwerte der benötigten Zeit in s.							
Art	Geschlecht	50cm		100cm		150cm	
		Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD
C.m.	m	72,44	75,14	161,11	144,93	194,6	157,57
C.m.	f	87,78	69,48	98,50	88,00	108,7	61,22
H.t.	m	110,20	104,67	291,44	145,19	391,5	177,47
H.t.	f	123,70	83,43	686,25	199,19	479,5	338,17
H.s.	m	297,00	75,43	500,56	240,55	799	274,29
H.s.	f	335,63	137,25	686,25	331,08	804	329,27



Abbildung 10: Foto vom Oddewatt



Abbildung 11: Foto von der Ringbuhne

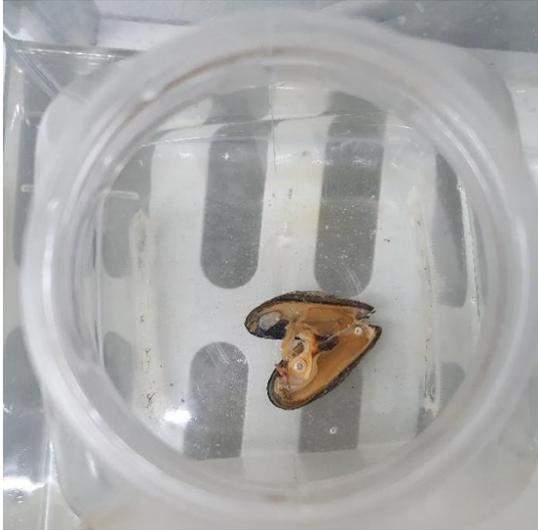


Abbildung 13: Foto von der Kontrolle beim Fraßversuch mit Miesmuscheln (links), Foto von einem Fraßversuch mit Miesmuscheln (rechts)



Abbildung 12: Foto von einer Kontrolle von einem Fraßversuch mit Austern (links), Foto von einem Fraßversuch mit Austern (rechts)