

# Forschungsprojekt: *Mytilus*-Basisaufnahme

**Abschlussbericht** zum Forschungsprojekt im Auftrag des  
Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume  
des Landes Schleswig-Holstein (LLUR)  
Hamburger Chaussee 25 / 24220 Flintbek



Screenshot einer Muschelbank auf dem Flüggesand/Fehmarn, ca. 5 m

**LLUR Aktenzeichen:** 0608.451806

**Zeitraum:** Juli 2018 – November 2020

**Region:** Schleswig-Holsteinische Ostseeküste

Philipp Schubert, Prof. Thorsten Reusch  
Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (GEOMAR)  
Düsternbrooker Weg 20  
24105 Kiel



Kiel, den 30.11.2020



## Inhalt

Forschungsprojekt: <i>Mytilus</i> -Basisaufnahme.....	1
Zusammenfassung .....	2
Summary .....	3
Einführung.....	4
Veranlassung.....	4
Über Miesmuscheln und Richtlinien.....	4
Methode .....	6
Zeitraum.....	7
Muschelpoprobenahme.....	7
Arbeitsboote .....	7
Schleppkamera.....	8
Auswertung.....	11
Transektdesign .....	13
Synchronisation von Video und GPS.....	16
Ergebnisse und Diskussion.....	17
Muschelpoproben.....	17
Kartierung .....	26
Weitere Analysen.....	27
Abschlussdiskussion.....	30
Verteilung und Dynamik der Bestände.....	30
Karten.....	33
Artenliste der Muschelpoproben.....	40
Literatur .....	42

## Zusammenfassung

In den Jahren 2018-2020 wurden die äußere Ostseeküste von Schleswig-Holstein (SH) zwischen Flensburg und Travemünde (insgesamt ca. 400 km Küste) mit einer Schleppkamera kartiert und die Videos hinsichtlich ihrer Miesmuschelvorkommen und weiterer Parameter ausgewertet. Das Ziel des Projektes war eine Basisaufnahme des Miesmuschelbestandes für die gesamte Ostsee-Außenküste, um einen ersten Überblick über die Verbreitung zu erhalten. Die Kartierung fand jeweils zwischen Mai und Oktober entlang von parallel und vertikal zur Küste verlaufenden Transekten statt. Das Paralleltransekt verlief in 3-4 m Wassertiefe entlang der gesamten Außenküste, die Vertikaltransekte (n=175) verliefen von einer Starttiefe zwischen 10 und 15 m bis in eine minimale Tiefe von etwa 1-1,5 m und hatten einen Abstand von etwa zwei Kilometern zueinander. Zusätzlich zur Videokartierung wurden auch Muschel- und Begleitfauna-Proben in 30 Muschelbänken entlang der Küste genommen und die Biomasse und Größe der Muscheln analysiert. Zusätzlich wurde die gesamte Begleitfauna (Makrozoobenthos) bis auf Artniveau bestimmt.

Entlang der Küste von SH wurden etwa 30 größere und dichte Muschelbänke mit Flächenausdehnungen zwischen 2 und 40 ha entdeckt. Ausgedehntere Muschelbänke von über 5 ha fanden sich in der Flensburger und Kieler Förde, der Fehmarnsundregion, bei Dahmeshöved und am Brodtener Ufer. Die flächenmäßig größten und dichtesten Muschelbänke mit Größen über 30 ha befanden sich im Fehmarnsund, am östlichen und westlichen Rand des Fehmarnsundes und in der Flensburger Förde vor Schausende. Muschelbänke finden sich nur an wenigen Küstenabschnitten, während weite Teile der offenen Küsten keine Muschelbänke aufweisen. Diese muschelreichen Küstenabschnitte liegen zum einen in strömungsreichen Gebieten und zum anderen an Standorten mit viel Hartsubstrat. Hinsichtlich der Tiefenverteilung aller gefundenen Muscheln findet sich das Maximum der Verteilung etwa zwischen 5 und 8 m Tiefe (Mittelwert=5,7 m), die Verteilung der Muschelbänke (>50% Bedeckung) zeigt zwei Maxima, eines im Tiefenbereich von 5-6 m und eines mit etwas geringeren Häufigkeiten bei 8-9 m Tiefe (Mittelwert=5,3 m).

Die Auswertung der Muschelproben hat gezeigt, dass die Muschelpopulationen insgesamt sehr variabel sind. Die höchsten Muschelabundanzen von über 1.500 Individuen pro Probe (>190.000 Individuen/m<sup>2</sup>) fanden sich an einzelnen Standorten der Lübecker Bucht und bei Fehmarn. Die allerhöchste Muschelabundanz findet sich mit mehr als 540.000 Individuen/m<sup>2</sup> in der Probe von Neustadt, die niedrigste mit ca. 1.900 Individuen/m<sup>2</sup> in Meierwik in der Flensburger Förde.

Hinsichtlich der Biodiversität der Begleitfauna fanden sich die höchsten Diversitätsindices (Shannon Index >1,5) in der Flensburger und vor allem der Kieler Förde. Gleiches gilt für die reinen Artenzahlen in den Proben: die höchsten Artenzahlen (>20 Arten) wurden an Standorten der Kieler Innenförde, der Flensburger Innenförde sowie in Kalifornien/Probstei gefunden. Die niedrigsten Werte für die Diversität fanden sich in der Lübecker Bucht und vor Heiligenhafen.

## Summary

In the years 2018-2020, the outer Baltic Sea coast of Schleswig-Holstein (SH) between Flensburg and Travemünde (a total of approx. 400 km of coastline) was mapped with a towed camera and the videos were evaluated with regard to their mussel occurrence and other parameters. The aim of the project was to establish a baseline survey of the mussel population for the entire Baltic Sea outer coast in order to obtain an initial overview of the distribution. The mapping took place between May and October of each year along transects running parallel and vertically to the coast. The parallel transect ran in 3-4 m water depth along the entire outer coast, the vertical transects (n=175) ran from a starting depth between 10 and 15 m to a minimum depth of about 1-1.5 m and had a distance of about two kilometres from each other. In addition to the video mapping, mussel and accompanying fauna samples were also collected from 30 mussel beds along the coast and the biomass and size of the mussels were analysed. In addition, the entire accompanying fauna (macrozoobenthos) was determined down to species level.

Along the coast of SH, about 30 larger and dense mussel beds were discovered with areas between 2 and 40 ha. More extensive mussel beds of over 5 ha were found in the Flensburg and Kiel Fjords, the Fehmarnsund region, near Dahmeshöved and on the Brodtener Ufer. The largest and densest mussel beds in terms of area, with sizes of over 30 ha, were found in the Fehmarnsund, at the eastern and western edge of the Fehmarnsund and in the Flensburg Fjord off Schausende. Mussel beds are only found on a few stretches of coast, while large parts of the open coasts have no mussel beds. These mussel-rich coastal sections are located in areas with strong currents on the one hand and at sites with a lot of hard substrate on the other. With regard to the depth distribution of all mussels found, the peak of the distribution is found approximately between 5 and 8 m depth (mean=5.7 m), the distribution of mussel beds (>50% cover) shows two peaks, one in the depth range of 5-6 m and one with somewhat lower abundances at 8-9 m depth (mean=5.3 m).

The evaluation of the mussel samples showed that the mussel populations are highly variable overall. The highest mussel abundances of over 1,500 individuals per sample (>190,000 individuals/m<sup>2</sup>) were found at individual sites in the Bay of Lübeck and near Fehmarn. The highest abundance of mussels, more than 540,000 individuals/m<sup>2</sup>, was found in the Neustadt sample, and the lowest, approx. 1,900 individuals/m<sup>2</sup>, in Meierwik in the Flensburg Fjord.

With regard to the biodiversity of the accompanying fauna, the highest diversity indices (Shannon Index >1.5) were found in the Flensburg and especially the Kiel Fjord. The same applies to species numbers in the samples: highest species numbers (>20 species) were found at sites in the Kiel Inner Fjord, the Flensburg Inner Fjord and in Kalifornien/Probstei. The lowest values for diversity were found in the Lübeck Bay and Heiligenhafen.

## Einführung

### Veranlassung

Gemäß der vom Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR) beauftragten Leistungsbeschreibung zum Projekt „*Mytilus*-Basisaufnahme“ wird hiermit der Abschlussbericht nach drei Jahren Arbeit am Projekt „Basisaufnahme der Miesmuschelbestände (*Mytilus edulis*) an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste zwischen Flensburg und Travemünde“ vorgelegt.

Die Kartierung wurde am Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung – GEOMAR in der Abteilung "Evolutionsökologie Mariner Fische", Fachbereich 3 (Marine Ökologie), durch Philipp Schubert durchgeführt und die Projektleitung lag bei Prof. Thorsten Reusch. Das vornehmliche Ziel des Projektes war eine Basisaufnahme des Miesmuschelbestandes für die gesamte Ostsee-Außenküste, um einen Überblick über die Verbreitung zu erhalten und somit das Wissen über diesen wichtigen Bewertungsparameter im Sinne der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), der Flora-Fauna-Habitatrichtline (FFH-RL) und der Meeresstrategierichtlinie (MSRL) zu erweitern.

Da Miesmuscheln zu den fischereilich relevanten Arten gehören, wird dieses Projekt kofinanziert durch Mittel des EMFF (Europäischen Meeres- und Fischereifonds - Integrierte Meerespolitik) und das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung (MELUND). Vergeben und beauftragt wurde das Projekt durch das LLUR, Abteilung 4, Dezernat 45 - Küstengewässer.

Zeitgleich läuft eine weitere Habitatkartierung in der genannten Abteilung des GEOMAR, mit dem Ziel, die Seegraswiesen der westlichen Ostsee nach einer ersten Kartierung in den Jahren 2010/2011 erneut zu erfassen und die Entwicklung der letzten fast zehn Jahre dieses wichtigen Habitats zu dokumentieren. Da sich aus den beiden Kartierungen starke Synergie- und Einsparungseffekte für die jeweils andere Kartierung ergeben, wurden sie teilweise methodisch einander angeglichen (s.u.).

### Über Miesmuscheln und Richtlinien

„*Die Pfahlmuscheln* gehören zu den häufigsten Tieren der Ost- und Nordsee. Man kann keinen Tangbüschel, keinen Stein, kein Holzstück vom Grunde in die Höhe ziehen, ohne solche Muscheln darauf zu finden. Alles Holzwerk, das ruhig im Wasser liegt, überziehen sie in wenigen Monaten mit dicken Krusten (...)" (K. Möbius/H. Meyer: „Die Fauna der Kieler Bucht“ von 1865)

Die Miesmuschel (*Mytilus edulis*, früher auch Pfahlmuschel genannt) ist auch heute noch eine Schlüsselart an der deutschen Ostseeküste. Sie erfüllt vielfältige Funktionen im Ökosystem und in der Nahrungskette. Als sogenannter Substratbildner können sie große Miesmuschelbänke mit hunderttausenden Individuen und einer Ausdehnung von mehreren Hektar bilden. Mit Hilfe ihrer klebrigen Byssusfäden, die vom

mittelhochdeutschen Wort für Moos („Mies“) auch namensgebend sind, setzen sie sich auf Steinen fest oder verbinden sich untereinander und bilden so einen vielfältigen und lebendigen Lebensraum, der wiederum Siedlungsraum für weitere sessile Arten und Nahrungsgrundlage vieler vagiler Arten und Fische bildet. An geschützten Standorten existieren sehr alte, stabile Gemeinschaften mit einer reichen Artengemeinschaft von verschiedenen Krebsen, Würmern, Stachelhäutern und anderen Wirbellosen. Auch Algen können sich auf dem von den Muscheln gebildeten Hartsubstrat ansiedeln, so dass eine diverse Biozönose entstehen kann.

In der Ostsee kommen Muschelbänke je nach Sauerstoffgehalt bis in etwa 20 Tiefe vor, meist aber bedeutend geringer. Die Muscheln werden wegen des geringeren Salzgehaltes nur bis zu sechs Zentimeter groß, und sind damit nur etwa halb so groß wie ihre Nordsee-Verwandten. Auch ihre Schale ist dünner. Sie kommen aber an der gesamten deutschen Ostseeküste bis Usedom vor, bilden östlich der Darßer Schwelle sogar häufig die einzige Art auf vorhandenem Hartsubstrat in größerer Tiefe. Allerdings vermischt sich der Bestand von *Mytilus edulis* östlich der Kieler Bucht zunehmend mit der Ostseeart *Mytilus trossulus* (höchstwahrscheinlich tatsächlich genetisch ein „Hybridschwarm“, zur Vertiefung dieses genetischen Aspekts: Riginos & Cunningham 2005), was zur Bildung einer sogenannten Hybridzone in der Beltsee und westlichen Ostsee führt, in der *Mytilus edulis* zunehmend hybridisiert, um dann etwa um Usedom herum komplett in den Hybridschwarm von *M. trossulus* überzugehen (Abbildung 1).



Abbildung 1: Darstellung des Hybridschwarms *Mytilus edulis*/*M. trossulus* in der Ostsee nach aktuellem Kenntnisstand. Grafik aus einem Vortrag von Heiko Stukas 2015.

Bedenkt man die wissenschaftlichen Kenntnisse über Miesmuscheln (Treffer bei Suchbegriff „Mytilus+edulis“ bei Google Scholar im November 2020: ca. 146.000; Treffer für Suchbegriff „Mytilus+edulis+baltic+sea“: ca. 18.800), so ist es überaus erstaunlich, dass sowohl ihr Vorkommen als

auch ihre Bedeutung vor allem an der deutschen Ostseeküste bislang noch nicht vollständig erfasst sind (Treffer bei Suchbegriff „allintitle: *Mytilus+edulis+baltic+sea+distribution*“: 6, davon zwei aus Finnland, je eine aus Schweden und Litauen und zwei paläontologische Arbeiten aus der südlichen Ostsee). Diese Lücke soll das aktuelle Projekt versuchen zu schließen, indem erstmals eine flächendeckende Kartierung der Miesmuschelbestände an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste durchgeführt wurde. Zusätzlich wurden Daten durch taucherische Probenahmen in Muschelbänken aufgenommen, deren Ziel die Beschreibung der Muschelbestände hinsichtlich ihrer assoziierten Artengemeinschaften, ihrer Größenstruktur und ihrer Biomasse war.

Die Miesmuschel wird in der s.-h. Ostsee heute nur noch in sehr geringem Umfang gezüchtet (Kieler Förde) oder Wildbestände werden als Saatmuscheln und zur Konservenproduktion geerntet (Flensburger Förde). Zu Zeiten von Möbius wurden alleine in der Kieler Förde jährlich noch etwa 800 Tonnen Miesmuscheln gezüchtet und geerntet, damals noch auf sogenannten „Muschelbäumen“. Die Erfassung und Bewertung der Miesmuschelbestände ist sowohl für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60/EG; WRRL), der FFH-Richtlinie (RL 92/43/EWG) und der Meeresstrategierahmenrichtlinie (RL 2008/56/EG; MSRL) relevant. Für letztere insbesondere im Zusammenhang mit dem Beschluss zur Festlegung der Kriterien und methodischen Standards für die Beschreibung eines guten Umweltzustands von Meeresgewässern und von Spezifikationen und standardisierten Verfahren für die Überwachung und Bewertung. Die Bewertungsverfahren für diese Kriterien sind jedoch noch nicht vollständig entwickelt, was auf die bislang fehlenden Daten zurückzuführen ist.

## Methode

Um die Muschelbestände der westlichen Ostsee zu erfassen wurde analog zur Seegraskartierung von 2010/2011 (Schubert et al. 2015) ein von einem Boot geschlepptes Kamera-System eingesetzt. Der Vorteil eines geschleppten Kamera-Systems gegenüber akustischen Systemen ist das gleichzeitige ground-truthing der gesammelten Daten, das eine genaue Abschätzung des Gesundheitszustandes, Bewuchses, der Altersstruktur und der Dichte der Muschelbänke erlaubt. Zusätzlich können direkt weitere Parameter erfasst und ausgewertet werden (z.B. Algenbewuchs, assoziierte Fischfauna, Untergrund etc.). Nachteil einer geschleppten Kamera ist hingegen die geringe räumliche Abdeckung (je nach Sichtweite zwischen 2 und 5 m in der Breite) verglichen mit akustischen Verfahren und ihre Abhängigkeit von guten Sichtbedingungen, was Arbeiten mit einer Schleppkamera insgesamt zeitaufwändiger macht.

## Zeitraum

Die bearbeiteten Video-Transekte wurden im Zeitraum zwischen dem 1. Juni und 9. Oktober 2018, zwischen dem 3. Juni und 30. Oktober 2019 und zwischen dem 21. Mai und 1. Juni 2020 mit der Schleppkamera befahren und an ausgewählten Stellen mit Muschelbänken von Tauchern (Zeitraum: 4. September – 22. November 2018, 6. Juni – 30. Oktober 2019) beprobt. Der Zeitraum zwischen Frühsommer und Herbst eignet sich aufgrund der hohen Abundanzen von Fauna und Flora und der noch angenehmen Wassertemperaturen sowie akzeptablen Sichtweiten ideal für eine wissenschaftliche Untersuchung der Muschelbestände in der westlichen Ostsee.

## Muschelprobenahme

Zusätzlich zur Schleppkamerakartierung wurden insgesamt an 29 Standorten (M1 – M30, s. Tabelle 1) entlang der Küste ausreichend große Muschelbänke gefunden, um die Beprobung durch Taucher zu ermöglichen. Die *Mytilus*-Proben wurden bei kurzen Tauchgängen zwischen den oder im Anschluss an die Kartierfahrten genommen. Die Standorte der Muschelprobenahmen finden sich in den Karten am Ende des Berichtes. Der Taucher entnahm die Probe in der Muschelbank an einem zufälligen Standort (mit Muschelbesatz). Zuerst wurden Fotos und Videoaufnahmen des ungestörten Standortes gemacht. Anschließend erfolgte die Probenahme. Dazu wurde ein kurzes transparentes Stechrohr (Durchmesser 10 cm, Höhe 11 cm) in die Muschelbank eingeführt und sämtliche Muscheln, Begleitfauna und -flora bis zum Sediment entnommen und anschließend noch unter Wasser in einen Ziplock-Beutel überführt. Das Wasser aus dem Beutel wurde an Bord durch 5 % Formol ersetzt, und es wurde sorgfältig darauf geachtet, dass keine Organismen dabei verloren gingen. Die Formol-Proben wurden später am GEOMAR durch Frau Renate Schütt, Forschungsbereich 3: Marine Ökologie, FE Experimentelle Ökologie Benthosökologie durchgesehen, bestimmt und weiterverarbeitet. Folgende Parameter wurden erfasst: Abundanz, Maße und Gewicht der gesammelten Muscheln, alle bestimmbaren Arten der Begleitfauna und -flora (Artenzahlen, Abundanzen und Trockengewicht).

## Arbeitsboote

Für die Arbeiten wurden zwei unterschiedliche Arbeitsboote eingesetzt. Zum einen das GFK-Arbeitsboot HUNTER und zum anderen der Aluminium-Katamaran MOLAMOLA. HUNTER ist ein Kajütboot mit einer Gesamtlänge von 6,80 Meter und einem Tiefgang von ca. 80 Zentimeter. Der Diesel-Innenborder hat 65 PS und beschleunigt das Boot auf eine Höchstgeschwindigkeit von etwa 11 Knoten. Das Boot ist für die Seegebiete der Nord- und Ostsee zugelassen, verfügt über die vorgeschriebene Sicherheitsausrüstung und ein Seefunkgerät. Mit dem Treibstoffvorrat von 120 Litern hat das Boot eine Reichweite von durchschnittlich 200 Kilometer.

Bei MOLAMOLA handelt es sich um einen seit 2020 eingesetzten Aluminium-Katamaran mit kleinem Steuerhaus im vorderen Bereich. Er hat eine Länge von 8 Meter und einen Tiefgang von etwa 40 Zentimeter. Das Arbeitsboot hat zwei 70 PS Außenborder und eine maximale Geschwindigkeit von etwa 22 kn. Das Boot ist für die Seegebiete der Nord- und Ostsee zugelassen, verfügt über die vorgeschriebene Sicherheitsausrüstung und ein Seefunkgerät. Mit dem Treibstoffvorrat von 240 Litern hat das Boot eine Reichweite von etwa 240 Kilometer.

Ausgestattet mit einem festinstallierten GPS und einem Sidescan-Sonar/Echolot (Humminbird 899ci) können mit beiden Booten vorgegebene Punkte auf der Seekarte präzise angesteuert, abgespeichert und wiedergefunden werden. Bei beiden Booten wird die nmea-Ausgabe des GPS (Tiefe, Position, Geschwindigkeit, Datum, Uhrzeit) auf einem Toughbook mit spezieller Log-Software (NavMonPC, 2012) jede Sekunde protokolliert und für die spätere Georeferenzierung der Videoaufnahmen genutzt.

## Schleppkamera

Die Schleppkamera (Abbildung 2) wurde im Sommer 2014 von der Firma Oktopus GmbH entwickelt und gebaut. Maßgeblich für die Konzeption eines neuen Systems war der Mangel an bestehenden Kameras, die den angeforderten Qualitätsvorstellungen entsprachen. Die Kamera sollte auch bei Schleppgeschwindigkeiten um die 5 km/h eine gute Bildqualität hinsichtlich Lichtempfindlichkeit und Bildauflösung bieten. Das Bild muss zur Kontrolle des Meeresbodens und der Schlepphöhe ohne Latenz (Zeitverzögerung) auf einem Monitor im Boot dargestellt werden, wobei hier nicht unbedingt die volle Auflösung erforderlich ist. Um auch bei schlechteren Sichtweiten, wie sie häufig in den heimischen Gewässern der Nord- und Ostsee zu erwarten sind, einen guten Überblick über die befahrene Strecke zu erhalten, waren ein großer Bildwinkel (ein großer Öffnungswinkel des Objektivs) und eine zusätzliche Beleuchtung außerhalb der optischen Achse nötig (andernfalls ist eine Rückstreuung und Reflektion durch angestrahlte Schwebeteilchen zu erwarten und dadurch eine starke Beeinträchtigung des Bildes). Die Stromversorgung sollte mit einer externen, wiederaufladbaren Batterie auch unabhängig von der Ausstattung des Bootes sein und auch beispielsweise von kleinen Schlauchbooten oder einer Pier aus einsetzbar sein.

Mit dem Einbau einer handelsüblichen Action-Kamera der Firma GoPro (GoPro Hero 3+) ist ein System entwickelt worden, das auf einer preiswerten Kamera mit überzeugender Bildqualität basiert. Die Kamera nimmt Videos durch ein Fix-Focus Objektiv mit einem beeindruckenden Öffnungswinkel von 170° diagonal in Full HD auf (1920x1080 Pixel) mit einer Bildrate von 50 Bildern pro Sekunde (fps) und ist damit gewerblich zu beziehenden Schleppkameras deutlich überlegen (diese haben geringere Öffnungswinkel und meist nur eine PAL-Auflösung (960x576 Pixel)).

Die Videodateien werden direkt in der Kamera im wasserdichten Gehäuse auf einer 128 GB Mini-SD-Karte aufgezeichnet, zusätzlich wird das S-Video Signal über das Schleppkabel (50 Meter) in einer niedrigeren Auflösung an die Oberfläche gesendet, wo es auf einem wasserdichten Monitor ohne Latenz zur Kontrolle der Schleppfahrt angezeigt wird (siehe Abbildung 3).

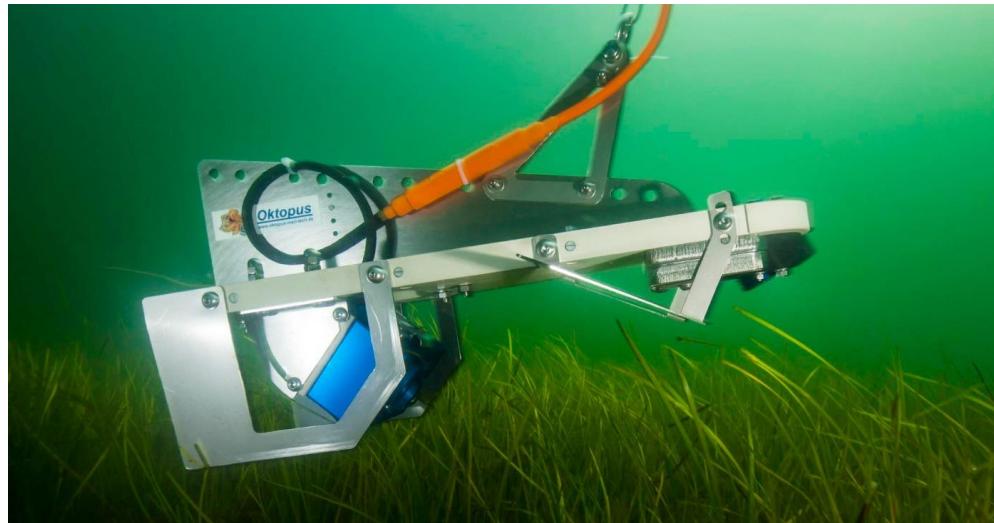


Abbildung 2: Die Schleppkamera im Einsatz über einer Seegraswiese. Die Kamera sitzt in dem blauen Kasten auf der linken Seite, die Beleuchtung an der Spitze rechts. Durch eine sorgfältige Befestigung der Haltevorrichtung im oberen Bild kann eine waagerechte und sehr stabile Zuglage erreicht werden.



Abbildung 3: Schleppkamera im Einsatz auf dem HUNTER: über das orangefarbene Zugkabel wird einerseits die Stromversorgung der Kamera sichergestellt, andererseits das Videosignal der GoPro nach oben auf den Monitor (links) geleitet. Das System erfordert insgesamt drei Decksleute: einen Kamera-Operator, einen Schiffsführer und eine Deckshand für das Kamera-Handling, Notfälle und Kommunikation.

Das Gehäuse für die GoPro wurde auf dem Schleppfisch hinten angebracht, so dass am vorderen Ende die Beleuchtungseinheit Platz fand. Eine 10 Watt LED beleuchtet in einem Abstand von 1-1,5 Meter zum Meeresboden einen großen Teil des Sichtfeldes der Kamera und ist weit genug außerhalb der optischen Achse angebracht, um die Beeinträchtigung durch angestrahlte Partikel gering zu halten. Die Blickrichtung der Kamera ist schräg nach vorne unten.

Für die Untersuchung der Muschelbänke wurden zusätzlich zur Beleuchtung zwei leistungsstarke, Grünlicht emittierende Laser angebracht, die in einem Abstand von 24 Zentimeter am Schleppfisch neben dem Kameragehäuse montiert sind und deren Lichtstrahlen parallel verlaufen. Bei der Auswertung der Videos erlauben die beiden Lichtpunkte auch bei variablem Bodenabstand der Kamera eine Abschätzung der Größe der gefilmten Objekte.

Die Stromversorgung von GoPro-Kamera, Beleuchtungseinheit und Monitor besteht aus der Schiffsbatterie, die bei Fahrt ständig von der Lichtmaschine der Motoren geladen wird.

Durch den horizontalen Versatz der Kamera zum Boot, der mit Wassertiefe und Schleppgeschwindigkeit positiv korreliert, kommt es bei den Messungen der Position und der Tiefe zu Abweichungen von der tatsächlichen Position und Tiefe der Kamera, so dass das Kamerabild und die Geodaten nicht exakt übereinstimmen (Abbildung 4). Um den Versatz zumindest grob herauszurechnen, wurde ein Tiefenlogger (HoboWare Waterlevel Logger) am Schleppfisch befestigt, der alle 2 Sekunden die exakte Tiefe (Abweichung <10 cm) des Kamerasytems protokollierte. Zusätzlich wurde für Standardtiefen die Länge des Schleppkabels notiert, so dass eine Berechnung des achterlichen Versatzes hinter der GPS-Antenne ohne größeren technischen Aufwand möglich ist. Die horizontale Positionsabweichung zwischen Kamera und GPS-Antenne beträgt bei 4 m Wassertiefe beispielsweise maximal bis zu 6 m. Hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Tiefenangaben, die ja auch direkt am Boot gemessen werden, ist festzustellen, dass auf Vertikaltransekten die Abweichung der Wassertiefe abhängig von der Hangneigung ist und an steilen Küsten beträchtlich sein kann. In der Analyse muss diesem Umstand an steilen Küsten Rechnung getragen werden, indem beispielsweise über die Tiefe der Kamera korrigiert wird, um zuverlässige Tiefendaten der Bestände zu erhalten. Entlang der Paralleltransekte ist diese Tiefenabweichung allerdings nicht relevant.

Das System aus Kamera und Monitor lief die gesamte Saison über zuverlässig und steht für weitere Kartierungen zur Verfügung. Die Schleppgeschwindigkeit betrug zwischen 4 und 6 km/h. Auf diese Weise war es möglich, etwa **10 Küstenkilometer pro Einsatztag** mit Parallel- und Vertikaltransekten komplett abzuarbeiten.

Insgesamt wurden 215 Videos und die zugehörigen Meta-Daten (Tiefe, Positionen, Zeit, Geschwindigkeit etc.) aufgenommen. Die Video-Auflösung aller Videos beträgt Full HD (=1920x1080 px) bei einer Framerate von 50 fps, wodurch auch aus dem laufenden Video gute Standbilder herausgezogen werden können. Bei der früheren Seegras-Kartierung 2010/2011 lag die Kameraauflösung noch bei nur 640x480

px und die Bildrate bei nur 25 fps. Durch diese Verbesserungen sind nun wesentlich schärfere Bilder bei gleichzeitiger schnellerer Kartier-Geschwindigkeit möglich.

Die Videos haben eine Gesamtdauer von über 122 Stunden und eine Speichergröße von ca. 2,2 TB. Die Daten sind einerseits auf drei unabhängigen mobilen Festplatten gespeichert und andererseits auf einem GEOMAR-eigenen Media-Server, der (bisher leider nur) intern vom GEOMAR-Netz aus zugängig ist. Bei Bedarf könnten die Videos auch auf einen landeseigenen Server hochgeladen werden, damit sie für weitere Auswertungen zur Verfügung stehen.

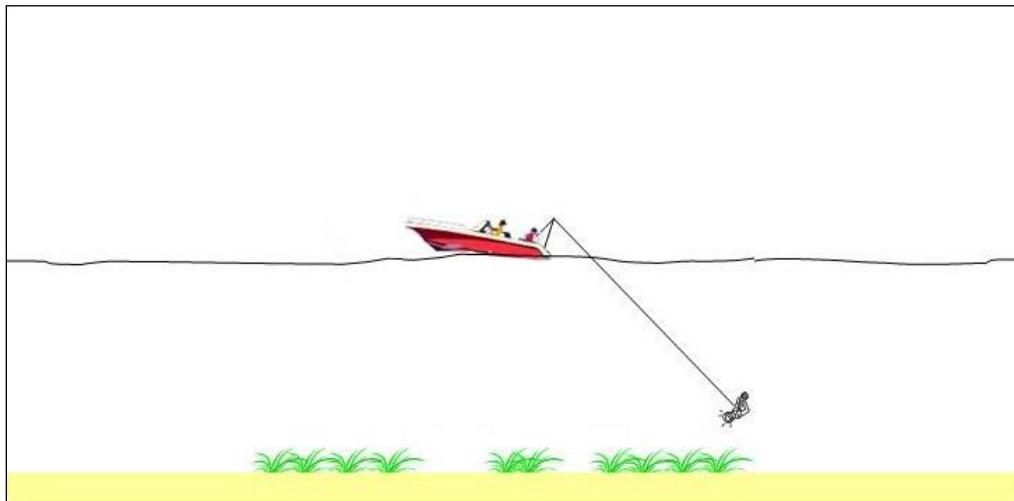


Abbildung 4: schematische Darstellung des Schleppkamera-Prinzips mit handgeführtem Kabel hinter dem Einsatzboot.

## Auswertung

Die Auswertung erfolgt nach den Feldarbeiten am Computer mit einer eigens für diese Schleppkamera-Methode entwickelten Software (GAZER ©Hukriede & Schubert). Mit dem Programm ist es möglich, die Beobachtungen des Videos automatisch mit der geographischen Position und Tiefe in Echtzeit zusammenzuführen, in eine Ergebnistabelle einzutragen und bei erneutem Abspielen der Videodatei zur Kontrolle in einem weiteren Fenster (MINIQ) einzublenden. Weiterhin können die Ergebnisse aus dem Programm direkt in ArcGIS exportiert und als shape-Dateien gespeichert werden. So ist eine sehr schnelle und exakte Auswertung verschiedener Parameter des Videos möglich. Die Auswertung und Annotation der verschiedenen Parameter erfolgte anhand von Bedeckungsklassen (Seegras und Miesmuscheln), Altersklassen (Mytilus-Altersstruktur) und als Einzelbeobachtungen (Besonderheiten und Fische).

Folgende Bedeckungsklassen wurden für den Parameter **Seegras** bewertet:

- 0: kein Seegras
- 1: Seegrasbedeckung <10 %
- 2: Seegrasbedeckung 10-25 %
- 3: Seegrasbedeckung 25-50 %
- 4: Seegrasbedeckung 50-75 %
- 5: Seegrasbedeckung 75-100 %
- 6: Seegrasbedeckung unbestimmt

Folgende Bedeckungsklassen wurden für den Parameter **Miesmuscheln** bewertet:

- 0: keine Miesmuscheln
- 1: Einzelexemplare
- 2: Miesmuscheln 10-25 %
- 3: Miesmuscheln 25-50 %
- 4: Miesmuscheln 50-75 %
- 5: Miesmuscheln 75-100 %
- 6: Miesmuscheln mehrschichtig >100 %
- 7: Muschelbedeckung unbestimmt

Die **Altersstruktur** der Miesmuscheln wurde anhand folgender Klassen eingeordnet:

- 1: juvenile Miesmuscheln
- 2: Mischbestand
- 3: adulte Miesmuscheln
- 0: Muschelalter unbestimmt

Unter dem Parameter **Fische** wurden folgende Kategorien geführt:

- 1: ein Fisch
- 2: 10 Fische
- 3: 100 Fische und mehr
- 4: toter Fisch

Als **Besonderheiten** wurden folgende Beobachtungen geführt: Müllteile, Wrackteile, Holz, Driftalgen und *Beggiatoa*-Rasen. Weitere Annotationen (bspw. Algenarten, Torfkanten, Munitionsverdacht, Geisternetzverdacht, Blockdichte, Sediment, Quallendichte etc.) der bisherigen oder von zukünftigen Videos sind mit der Software grundsätzlich möglich.

Insgesamt muss festgehalten werden, dass die Detektion von Muschelvorkommen mit einer Schleppkamera wesentlich schwieriger ist, als die Detektion von Seegrasvorkommen. Insbesondere geringe Abundanzen von unter 25 % Bedeckung sind teilweise schwer zu erkennen, aufgrund des meist hohen Abstandes der Kamera zum Meeresboden. Zwar könnte tiefer kartiert werden, doch ginge dies zum einen auf Kosten der Sichtfeldbreite der Kamera, zum anderen erhöhte dies das Risiko gegen Blöcke zu fahren, die fast an der gesamten Küste vorkommen können. Daher wurde die Kamera meist so hoch gefahren, wie dies die Sichtweiten am jeweiligen Einsatztag und -ort erlaubten. Auch dichte Vegetation (Algen oder Seegras), viele Driftalgen oder eine zu hohe Schleppgeschwindigkeit beeinflussen die Erkennbarkeit von Miesmuscheln negativ, teilweise können Einzelvorkommen von Muscheln gar nicht erkannt werden. Daher wurde die Kategorie „Muschelbedeckung unbestimmt“ genutzt, wenn die Erkennbarkeit von Muschelvorkommen aufgrund der Umstände unmöglich war. An den meisten dieser Abschnitte ist aber nicht mit großen (unkartierten) Muschelvorkommen zu rechnen.

Große und beständige Muschelbänke konnten aber zuverlässig erkannt und kartiert werden, da diese nur wenig oder gar keinen Algenbewuchs zeigen und aufgrund ihrer Konkurrenzstärke so dichte Populationen aufweisen, dass kaum andere sessile Arten in diesen Muschelbänken vorkommen. So stellt die vorliegende Kartierung auch eher eine zuverlässige Kartierung vorhandener Muschelbänke dar, als dass wirklich alle Muschelvorkommen geringer Bestandsdichte gefunden wurden.

Auch die Altersstruktur der Muschelvorkommen konnte nicht immer zuverlässig bestimmt werden, weshalb wir vorschlagen, diese Daten einzig aus den Muschelpolen heranzuziehen. Es wurden daher auch keine Karten mit diesem Parameter dargestellt. Bei Bedarf liegen diese Daten aber vor.

## Transekt-Design

Das Transekt-Design ist aufgrund der zu kartierenden Fläche und des fleckenhaften Vorkommens von Muschelbeständen ein wesentlicher Punkt der Kartierung. Als bester Kompromiss aus realisierbarem Aufwand und erforderlicher Genauigkeit wurde eine Kombination aus einem möglichst durchgehenden, küstenparallelen und regelmäßigen küstenorthogonalen (vertikalen) Videotransekten gewählt.

Das küstenparallele Transekt (Abbildung 5) wurde zur Nutzung für die Seegraskartierung in die Wassertiefe mit der höchsten zu erwartenden Seegrasbedeckung gelegt, um abschätzen zu können, ob am jeweiligen Küstenabschnitt überhaupt Seegraswiesen vorkommen. Für Miesmuscheln ist diese Wassertiefe an der Ostseeküste ebenfalls geeignet, da diese häufig mit Seegraswiesen vergesellschaftet

vorkommen (Reusch 1994). Generell lag die Zieltiefe des Transektes bei 4,0 m an exponierten Außenküsten und bei 3,0 m in sehr geschützten Bereichen (Flensburger Förde, Kieler Förde).

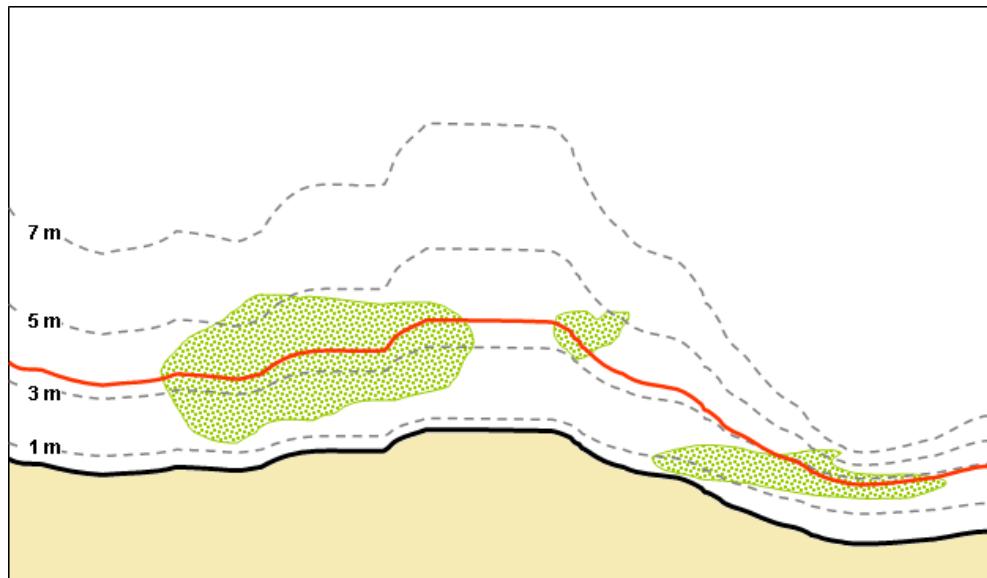
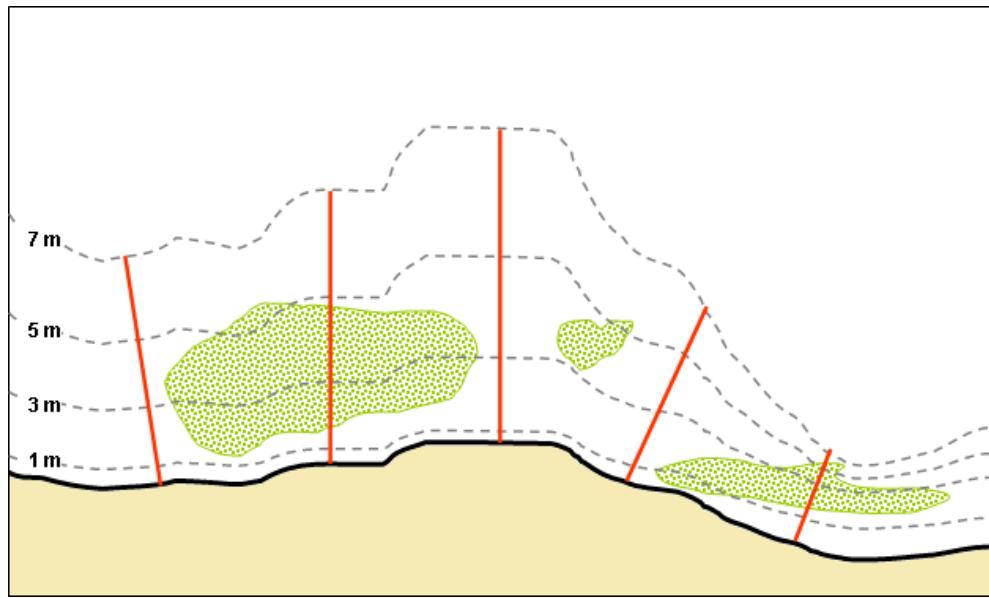


Abbildung 5: schematische Darstellung eines küstenparallelen Transektes (rot) zwischen 3,5 und 4 m Tiefe.

Der Transektverlauf wurde, unabhängig vom Videosignal, mit dem Schiffs-GPS und zusätzlich mit einem GPS-Logger aufgezeichnet, Reproduzierbarkeit ist somit gegeben. Da die Transekttiefe für einen kompletten Küstenabschnitt festgelegt wurde, ist es aber auch ohne die GPS-Daten möglich und wahrscheinlich auch sinnvoller, spätere Vergleichskartierungen entlang der entsprechenden Tiefenlinie erneut durchzuführen, da der Küsten- und Tiefenverlauf teilweise starken Veränderungen unterliegen. Zum Vergleich der aktuellen Kartierung mit der bereits in den Jahren 2010 und 2011 durchgeföhrten wurde auf dem Paralleltransekt daher genauso verfahren und eine Zieltiefe versucht möglichst exakt einzuhalten.

Die küstenorthogonalen Transekte (Abbildung 6) wurden in ca. 2 km Abstand zueinander gelegt und decken die Ober- und Untergrenze des Seegrasbestandes und auch der Hauptverbreitung der Miesmuschelbänke in der westlichen Ostsee ab. In den Küstenbereichen, in denen von der letzten Kartierung schon Transekte vorlagen, wurden diese so exakt wie möglich erneut abgefahrene (Abweichung meist <10 m). Insgesamt lagen von der Kartierung 2010/2011 bereits 110 Vertikaltransekte (sowie ein nahezu durchgängig befahrener Paralleltransekt) vor. Die Positionen der alten Vertikaltransekte kann man Abbildung 7 entnehmen.



**Abbildung 6:** schematische Darstellung mehrerer Vertikaltransekte (rot). Die Transekte verliefen anders als in diesem Schema dargestellt aus mindestens 14 m Tiefe (an flachen Küsten: 10 m) bis in eine Tiefe von etwa 1 m.

Zusätzlich wurden diese Transekte und die neubefahrenen seeseitig ausgedehnt, so dass sie in einer Tiefe von 14 m (an sehr flachen Küsten: 10 – 12 m Tiefe) begannen und Richtung Küste bis in eine Tiefe von etwa 1 m verliefen. Durch dieses Transektdesign sollte sichergestellt werden, dass vorhandene Muschelbänke mit vertretbarem Zeitaufwand gefunden und kartiert werden. Natürlich kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich in den Bereichen zwischen den Transekten Muschelbänke befinden, aufgrund der hohen Anzahl von Vertikaltransekten hoffen wir aber, statistisch den Fehler gering zu halten.



Abbildung 7: Übersichtskarte aller bereits vorliegenden 110 Vertikal-Videotransekten aus 2010 und 2011. Dargestellt sind jeweils nur der Start- und Endpunkt (violette Kreuz) der damaligen Transekte.

## Synchronisation von Video und GPS

Eine zentrale Anforderung an die Videos ist die Verortung von Objekten, die im laufenden Video der Schleppkamera erscheinen. Eine direkte Einspiegelung von GPS-Daten in die Videodateien ist mit einem sehr hohen Aufwand (Datenübertragung von GPS-Daten zwischen Schiff an der Oberfläche und Kamera am Meeresboden), technischer Anfälligkeit und durch die Überblendung und erneutes Abspeichern mit einem Verlust an Bildqualität verbunden.

Durch zeitliche Synchronisation der eingesetzten Geräte und dem Auslesen dieser Daten in der Nachbearbeitung ist dennoch eine zuverlässige Zuordnung von GPS-Positionen zu den Videos und Screenshots möglich. Die GoPro Kamera wurde am Beginn eines Transektes auf die vom GPS vorgegebene Lokalzeit eingestellt (sekundengenau). Eine zusätzliche Synchronisation und die nachträgliche Möglichkeit der Erstellung einer Timeline bot das Aufzeichnen eines mit der GPS-Zeit synchronisierten Smartphones am Beginn jedes Videos der Schleppkamera vor der Wasserung. Damit ist der Startpunkt des Videos exakt definiert. Die GPS-Positionen, Tiefe und weitere Parameter werden jede Sekunde protokolliert.

## Ergebnisse und Diskussion

### Muschelproben

Von allen Probenstandorten (Abbildung 8) wurden neben Tiefe, Position und Datum auch Fotos und Videos zur Dokumentation sowie Wasserproben zur Bestimmung des Salzgehaltes vor Ort zur Zeit der Probenahme genommen (Tabelle 1). Die meisten Muschelproben wurden in einer Tiefe von 3-4 m genommen, die Durchschnittstiefe lag bei 3,6 m, bis zu einer Maximaltiefe von 10,0 m Tiefe (Flensburger Innenförde) und einer Minimaltiefe von 0,7 m (Kieler Außenförde). Der niedrigste Salzgehalt bei der Muschelprobenahme lag vor Kellenhusen in der Lübecker Bucht bei 10,6, der höchste vor Wassersleben, in der Flensburger Innenförde bei 21,4. Allerdings muss man hinsichtlich der Salzgehalte beachten, dass der Salzgehalt stark durch die vorherrschenden Winde in den Tagen vor der jeweiligen Probenahme beeinflusst wird, was generell bedeutet, dass die Messungen neben der Geografie auch vom meteorologischen Geschehen abhängen. Aus diesen Gründen und zusätzlich aufgrund der zu verschiedenen Zeitpunkten innerhalb von mehreren Jahren genommenen Proben zeigt sich kaum das erwartete Nord-Süd-Gefälle bei den Salzgehalten (Tabelle 1). Weitere Daten aus der Muschelbeprobung finden sich in der Datei „Mytilus-Proben2018+19.xlsx“.

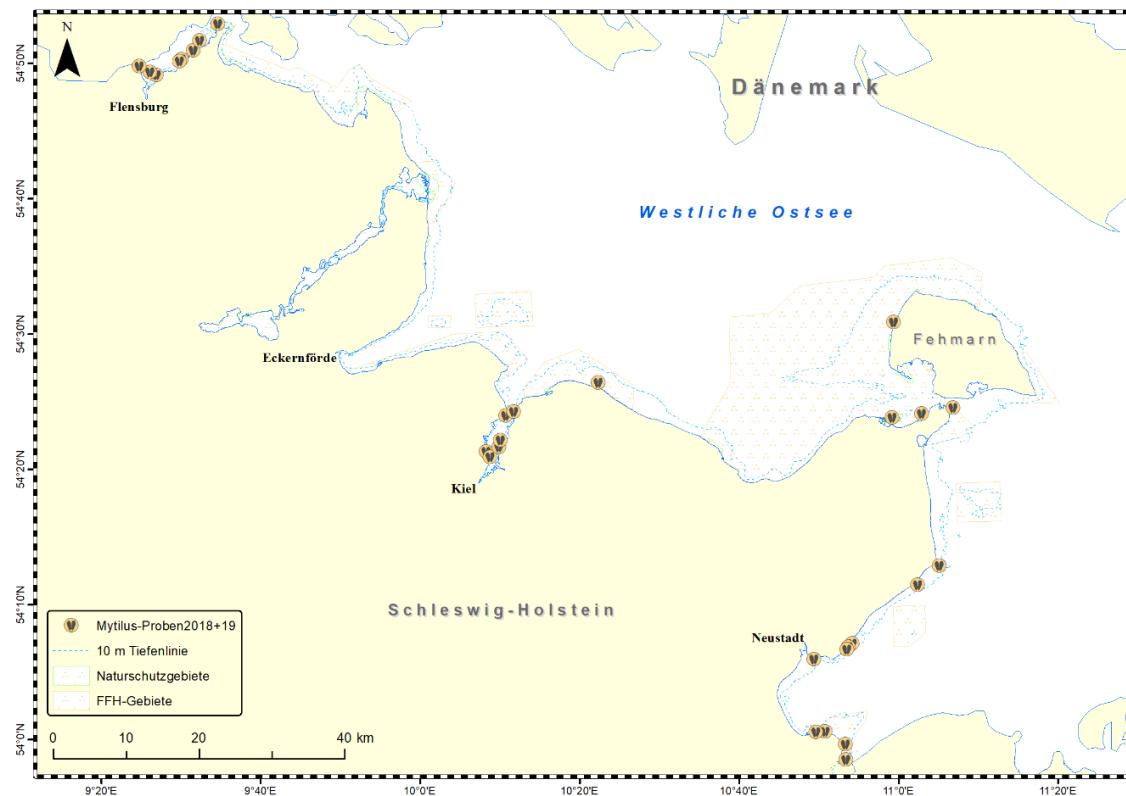


Abbildung 8: Karte der Probenstandorte von 2018-2019. Proben wurden in allen ausgedehnten Muschelbänken genommen.

Die Muschelproben wurden mit Hilfe eines kurzen, zylindrischen Stechrohres genommen, dessen Durchmesser 10 cm und dessen Höhe 11 cm beträgt. Für die folgenden Ausführungen wurden die Ergebnisse teilweise auf Quadratmeter umgerechnet. Der Umrechnungsfaktor von Probengröße (Radius=5 cm, Fläche=0,00785 m<sup>2</sup>) auf Quadratmeter ist dementsprechend 127,39.

Die höchsten Muschelabundanzen von über 1.500 Individuen pro Probe (>190.000 Individuen/m<sup>2</sup>) finden sich an einzelnen Standorten der Lübecker Bucht und bei Fehmarn (Abbildung 9). Die allerhöchste Muschelabundanz findet sich mit mehr als 540.000 Individuen/m<sup>2</sup> in der Probe von Neustadt (M8), die niedrigste mit ca. 1.900 Individuen/m<sup>2</sup> in Meierwik in der Flensburger Förde (M20). Andere Autoren finden in der Ostsee meist wesentlich geringere Abundanzen von maximal etwa 30.000 Individuen/m<sup>2</sup> (Vuorinen, 2002; Westerbom, 2002), bzw. bis zu 158.000 Individuen/m<sup>2</sup> (Kautsky, 1982). Allerdings handelt es sich bei diesen enorm hohen Werten wahrscheinlich um einen kurzzeitigen Peak, ausgelöst durch Larvenfall am Ende der Sommersaison (Beprobung der Lübecker Bucht Proben Ende September und Anfang Oktober 2018) und stellt somit einen saisonalen Sonderfall dar.

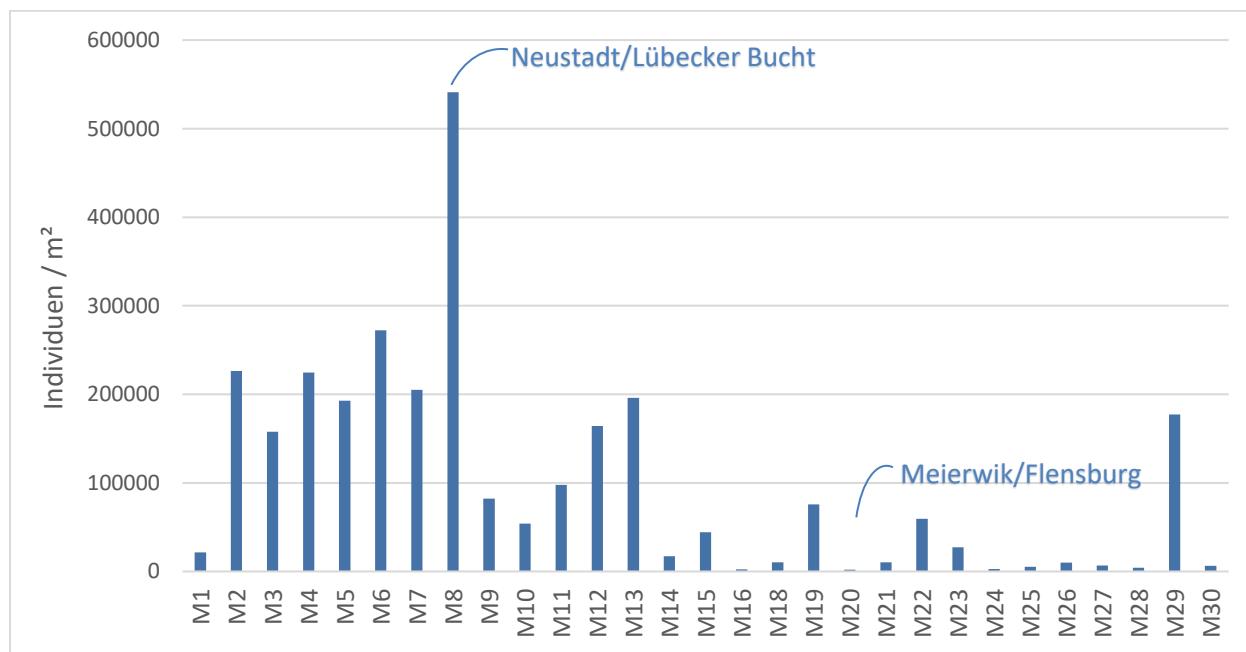


Abbildung 9: Darstellung der Individuenanzahl der Muscheln in den einzelnen Proben (M1-M30) pro Quadratmeter.

Nimmt man den Quotienten aus Trockengewicht und Muschelabundanz (=durchschnittliches Muschelgewicht) als Leitparameter, so finden sich die höchsten Trockengewichte pro Muschel von über 2 g ausschließlich an Standorten in der Flensburger und Kieler Förde, während die niedrigsten

durchschnittlichen Muschelgewichte von unter 0,7 g in der Probstei, den offenen Abschnitten der Lübecker Bucht sowie vor Heiligenhafen gemessen werden (Abbildung 10).

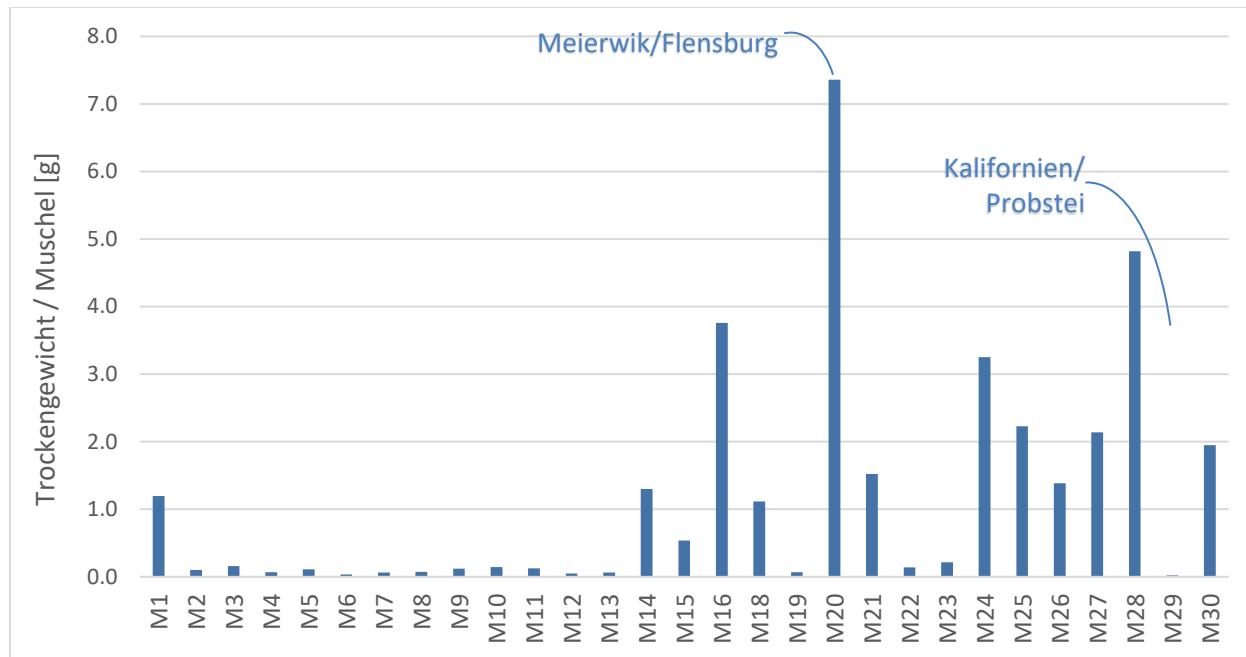


Abbildung 10: Darstellung des durchschnittlichen Trockengewichts pro Muschel in den einzelnen Proben (M1-M30).

Im Mittel haben die 29 untersuchten Muschelbänke entlang der Küste von Schleswig-Holstein (SH) eine Muscheldichte von ca. 100.000 Individuen/m<sup>2</sup> und ein Muschel-Trockengewicht von etwa 14,5 kg/m<sup>2</sup>, im Mittel über alle Proben beträgt das Trockengewicht einer einzelnen Muschel 1,18 g.

Auch hinsichtlich der Biodiversität der Begleitfauna finden sich die höchsten Diversitätsindices (Shannon Index >1,5) bis auf eine Ausnahme (Strandhusen/Fehmarnsund) in der Flensburger und vor allem der Kieler Förde (Tabelle 1). Gleiches gilt für die reinen Artenzahlen in den Proben: die höchsten Artenzahlen (>20 Arten) wurden an Standorten der Kieler Innenförde, der Flensburger Innenförde sowie in Kalifornien/Probstei gefunden (Tabelle 1). Die niedrigsten Werte für die Diversität finden sich in der Lübecker Bucht und vor Heiligenhafen. Die gesamte Artenliste aller in den Muschelpolen gefundenen Arten findet sich im Anhang des Berichtes. Insgesamt wurden 56 Taxa gefunden. Verglichen mit Kratzproben von Riffen im gleichen Seegebiet sind die Muschelbänke damit nicht artenärmer als die häufig als Hotspots der Diversität bekannten Riffe. Es wurden in den Muschelbänken ähnlich viele Makrozoobenthos-Arten gefunden wie in Phytalgemeinschaften auf Steinriffen. Zumindest in der westlichen Ostsee kann man somit nicht von artenarmen Miesmuschelbänken sprechen.

Die hohe Diversität an solch stark anthropogenen überprägten Küstenabschnitten (zu denen auch Strandhusen zählt) ist bemerkenswert und etwas unerwartet. Wahrscheinlich ist aber der höhere Anteil von Schwebstoffen und Organik und somit ein höheres Nahrungsangebot in den sehr geschützten Fördern ein Grund für die höhere Artenvielfalt. Vergleicht man die für die Unterschiede verantwortlichen Arten anhand einer SIMPER-Analyse (PRIMER 6) der beiden Regionen mit den größten Unterschieden (Lübecker Bucht und Kieler Förde), stellt man fest, dass neben *Mytilus* vor allem 7 Taxa für etwa 50 % der Unterschiede verantwortlich sind: *Rissoa*, *Hydrobia*, *Oligochaeta*, *Corophium*, *Gammerus*, *Melita* und *Capitella*.

Vergleicht man die gesamten Artengemeinschaften der fünf verschiedenen Regionen, aus denen die 29 Proben stammen (Flensburger Förde, Kieler Förde, Probstei, Fehmarn, Lübecker Bucht), mithilfe eines MDS-Plots (Abbildung 11) zeigt sich, dass die Regionen eindeutige Gruppen bilden. Deutlich zeigt sich ein Cluster der 10 Proben aus der Lübecker Bucht, das den 4 Proben von Fehmarn nähersteht als den Proben aus der Kieler (n=6) und Flensburger Förde (n=8). Diese beiden Standorte sind unter sich diverser, setzen sich aber deutlich von den Proben von Fehmarn und Lübecker Bucht ab. Die Probe aus der Probstei steht zwischen diesen distinkten Clustern. Einzig ein Ausreißer (Probe M19 aus dem Quellental/Flensburger Förde) ähnelt stärker den Proben aus der Lübecker Bucht, was wohl vor allem an der niedrigen gefundenen Artenzahl (8) dort liegt und auch der Probenahme geschuldet sein könnte.

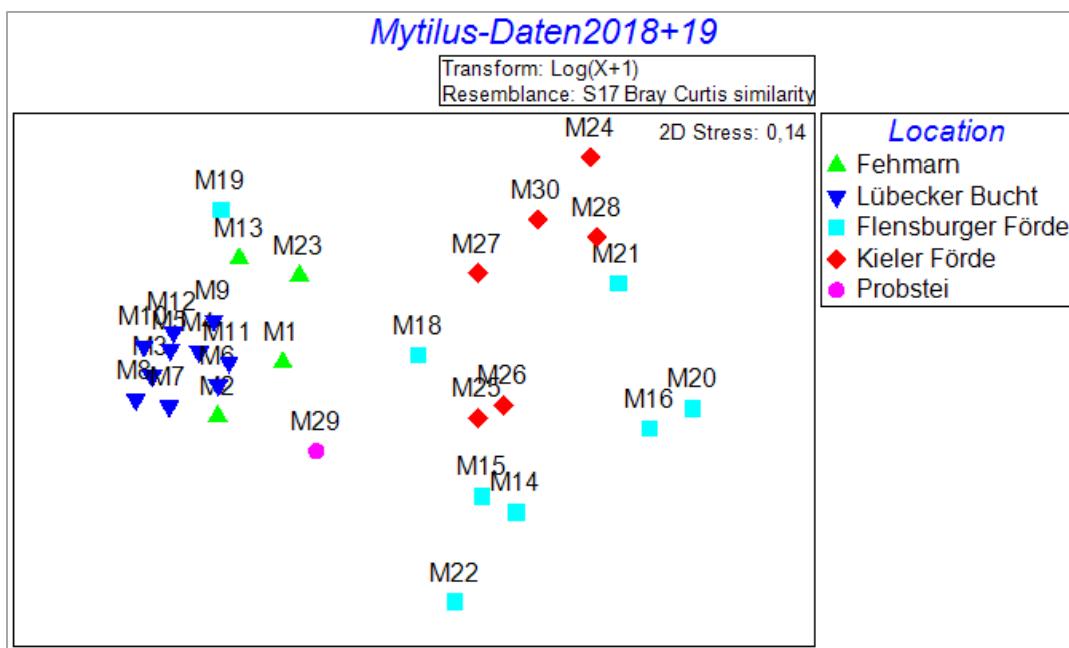


Abbildung 11: MDS-Plot der Begleifauna inkl. Muscheln aller Muschelproben aus 2018-2019.

Die grafischen Vergleiche verschiedener aufgenommener Parameter miteinander zeigen, dass kaum Korrelationen zwischen ihnen bestehen. So findet sich bei einem Vergleich der Parameter Artenzahl, Trockengewicht der Muscheln und Muschelabundanz jeweils gegen die Tiefe der Probe keinerlei Zusammenhang. Geringe Korrelation mit der Tiefe gibt es beim Trockengewicht der assoziierten Fauna, welche mit zunehmender Tiefe exponentiell abnimmt ( $R^2=0,28$ , Abbildung 12) und bei der Individuenanzahl der Gesamtfauna (inklusive Muscheln), welche einen polynomischen Verlauf mit einem Maximum bei etwa 5 m Tiefe ( $R^2=0,20$ , Abbildung 13) zeigt.

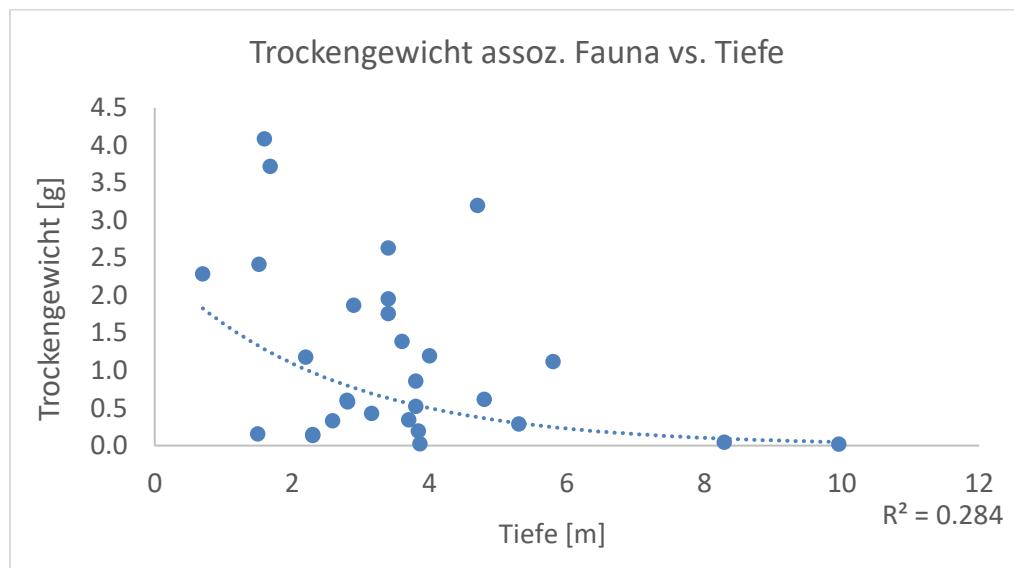


Abbildung 12: Darstellung des Vergleichs der Parameter „Trockengewicht der assoziierten Fauna“ gegen „Tiefe“.

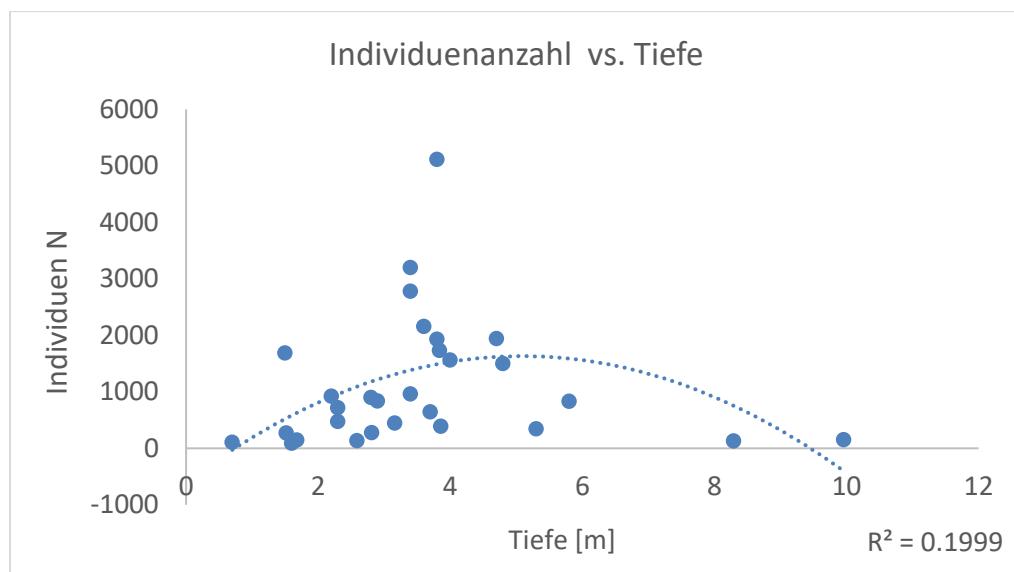
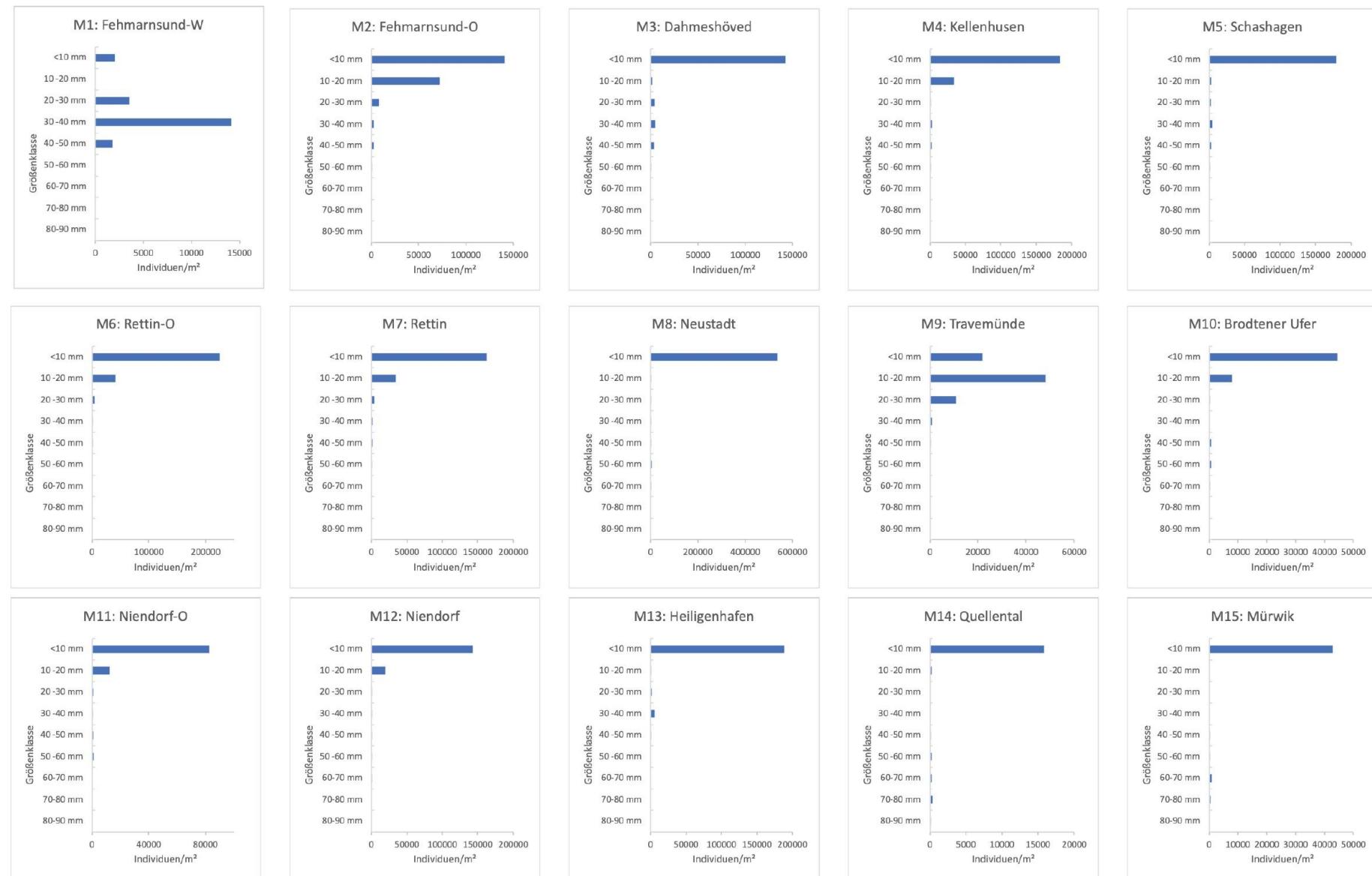


Abbildung 13: Darstellung des Vergleichs der Parameter „Gesamtindividuenanzahl“ gegen „Tiefe“.

**Tabelle 1: Auflistung aller Muschelproben. Zusätzliche Parameter: Datum, Location (Region für Auswertung), Koordinaten, Tiefe, Salzgehalt, Artenzahl (Gesamtfauna), Shannon-Index H', Gesamtindividuenanzahl (inkl. Muscheln) pro Probe und Anzahl der Muscheln pro Probe.**

Probe	Datum	Ort	Location (PRIMER)	Lat	Lon	Tiefe [m]	Salzgehalt	Artenzahl	H' (log e)	N total	Anzahl Muscheln
M01	12.09.2018	Fehmarnsund West - Strandhusen	Fehmarn	54.38382	11.07071	2.3	15.1	14	1.76	479	169
M02	12.09.2018	Fehmarnsund Ost - Großenbrode	Fehmarn	54.39041	11.13736	3.4	14.9	15	1.26	3199	1776
M03	13.09.2018	Dahmeshöved	Lübecker Bucht	54.19633	11.09862	4.0	13.7	16	0.86	1562	1239
M04	13.09.2018	Kellenhusen West	Lübecker Bucht	54.17358	11.0519	3.8	10.6	14	0.47	1935	1764
M05	20.09.2018	Campingplatz Schashagen	Lübecker Bucht	54.10342	10.9108	4.7	17.3	17	0.80	1942	1513
M06	20.09.2018	Rettin Ost	Lübecker Bucht	54.09932	10.90215	3.4	15.8	17	0.88	2784	2137
M07	20.09.2018	Rettin	Lübecker Bucht	54.09673	10.89936	3.6	16.2	15	0.96	2160	1610
M08	20.09.2018	Klinik Neustadt	Lübecker Bucht	54.08556	10.82952	3.8	15.8	19	0.65	5117	4247
M09	05.10.2018	Travemünde - Priwall	Lübecker Bucht	53.96048	10.89077	2.9	20.7	18	1.05	840	646
M10	05.10.2018	Brodtener Ufer	Lübecker Bucht	53.97958	10.89095	3.7	20.3	11	1.21	646	424
M11	05.10.2018	Niendorf Ost	Lübecker Bucht	53.99596	10.84954	3.4	20.6	14	0.89	962	767
M12	05.10.2018	Niendorf	Lübecker Bucht	53.9959	10.83015	4.8	20.8	11	0.64	1502	1290
M13	09.10.2018	Heiligenhafen - Graswarder	Fehmarn	54.38055	11.00768	1.5	18.5	8	0.44	1690	1538
M14	22.11.2018	Flensburger Förde - Quellental	Flensburger Förde	54.837509	9.51200	5.8	21.4	18	1.29	831	135
M15	22.11.2018	Flensburger Förde - Mürwik	Flensburger Förde	54.818288	9.45756	2.8	21.3	17	1.43	899	348
M16	22.11.2018	Flensburger Förde - Wassersleben - Ost	Flensburger Förde	54.8217	9.44434	5.3	21.4	17	2.10	349	19
M18	06.06.2019	Flensburger Förde - Wassersleben-Nord	Flensburger Förde	54.82883	9.42107	1.5	15.2	17	2.14	272	82
M19	06.06.2019	Flensburger Förde - Quellental 2	Flensburger Förde	54.848	9.53763	2.3	15.8	8	0.68	719	594
M20	06.06.2019	Flensburger Förde - Meierwik	Flensburger Förde	54.83507	9.5076	8.3	15.9	13	1.93	129	15
M21	06.06.2019	Flensburger Förde - Schausende	Flensburger Förde	54.8599	9.55062	10.0	16.8	11	1.47	153	81
M22	06.06.2019	Flensburger Förde - Holnis West	Flensburger Förde	54.88029	9.58973	2.2	15.9	25	1.44	922	466
M23	28.08.2019	Wallnau Fehmarn	Fehmarn	54.49772	11.01655	3.9	12.9	15	1.27	391	213
M24	09.09.2019	Falckenstein	Kieler Förde	54.393581	10.192095	0.7	19.7	11	1.74	108	21
M25	30.10.2019	Kieler Förde - Wik	Kieler Förde	54.34989	10.14887	2.8	19.8	24	2.31	277	41
M26	30.10.2019	Düsternbrook	Kieler Förde	54.34288	10.15682	3.2	19.8	24	2.30	449	77
M27	30.10.2019	Mönkeberg Hafen Nordseite	Kieler Förde	54.35457	10.17662	2.6	20.1	21	2.20	135	54
M28	30.10.2019	Heikendorfer Bucht Südseite	Kieler Förde	54.36358	10.17974	1.6	20.0	15	2.13	91	33
M29	30.10.2019	Kalifornien	Probstei	54.43175	10.38872	3.8	19.3	21	0.91	1732	1391
M30	30.10.2019	Madsens Sand	Kieler Förde	54.39846	10.20919	1.7	19.3	13	1.64	146	49



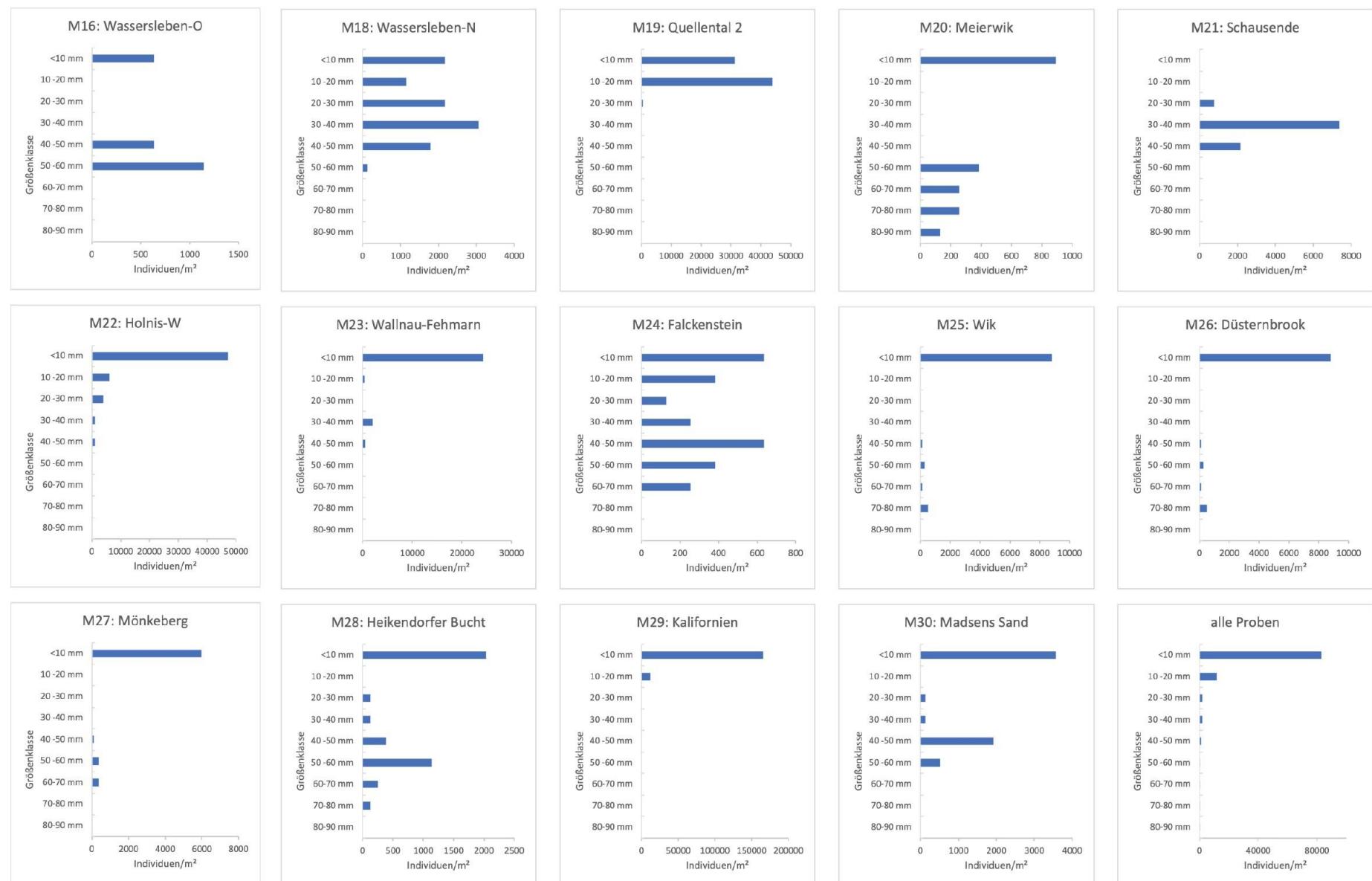


Abbildung 14: Darstellungen der Individuenzahlen pro m<sup>2</sup> nach 9 Größenklassen für jeden Standort und alle Proben gemittelt (letzte Grafik). Bitte unterschiedliche Skalierungen der x-Achsen beachten.

Vergleicht man die Darstellungen der Individuenzahlen pro Quadratmeter nach den Größenklassen (Abbildung 14), so zeigt sich, dass der Erwartung gemäß an den meisten der 29 Standorte die höchsten Individuenzahlen bei der kleinsten Größenklasse (<10 mm) gezählt werden. Interessant sind vor allem die wenigen Standorte, an denen mittlere oder die oberen Größenklassen hohe oder die höchsten Individuenzahlen zeigen, da an diesen Standorten ältere und über die Zeit wahrscheinlich konstantere Miesmuschelbänke existieren. Dies gilt vor allem für die Standorte Fehmarnsund-W, die meisten Probenorte in der Flensburger Innenförde und drei Orte in der Kieler Förde (Falckenstein, Heikendorfer Bucht und Madsens Sand). Beobachtungen über mehrere Jahre bei regelmäßigen Beprobungen und Tauchgängen an vielen dieser Standorte bestätigen das Vorhandensein langlebiger Muschelbänke. Insgesamt wurden im Rahmen der vorliegenden Kartierung acht dieser langlebigen und mit großen Individuen ausgestatteten Muschelbänke entlang der s.-h. Küste gefunden: Fehmarnsund West, Wittersleben Ost + West, Meierwik, Schausende, Falckenstein, Heikendorfer Bucht und Madsens Sand.

Abbildung 15 zeigt die Trockengewichte der Muscheln der einzelnen Standorte pro  $m^2$ . Neustadt sticht hier mit fast 40 kg/ $m^2$  heraus, am anderen Ende der Skala liegt Kalifornien mit 3,6 kg/ $m^2$ , das mittlere Trockengewicht pro  $m^2$  liegt bei 14,5 kg.

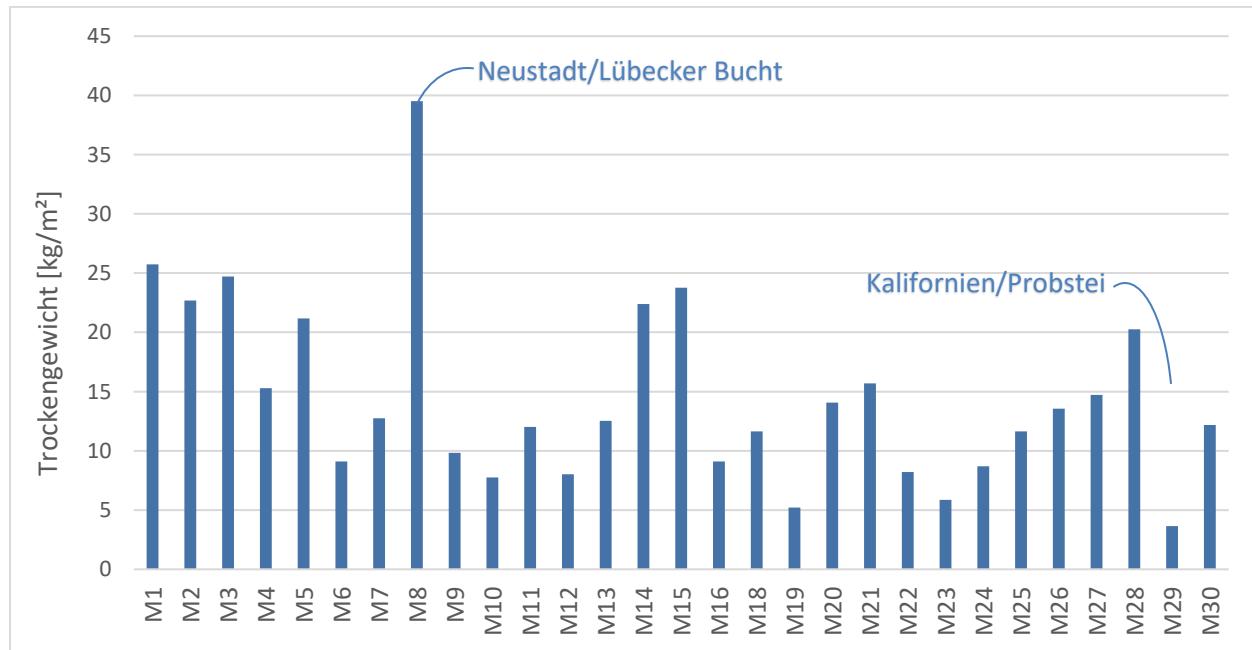


Abbildung 15: Darstellung des Trockengewichts der Muscheln in den einzelnen Proben (M1-M30) pro Quadratmeter.

## Kartierung

Die Daten aller bisher abgefahrenen Transekte finden sich in einer umfassenden Excel-Datei (BALTZOS\_2018-2020.xlsx), die auch die Grundlage für die Kartendarstellungen ist. In dieser stehen folgende Spaltenbezeichnungen: Videoname, Filmzeit, seconds-of-day, Uhrzeit, Longitude, Latitude, Tiefe, Tiefe der Kamera, Temperatur an der Kamera sowie die Bewertungen für Film, *Mytilus*, *Mytilus*-Alter, Zostera, Besonderheit und Fische für alle Transekte mit einer zeitlichen Auflösung von einer Sekunde. Insgesamt enthält die Tabelle etwa 555.000 Koordinaten mit ihren jeweiligen Tiefen und den Bewertungen der verschiedenen Kategorien (=Einzelbeobachtungen).

Die Transekt-Strecken sind in den Karten-Übersichten der für das vorliegende Projekt befahrenen Kamera-Transekte in grau dargestellt, die Muschelbedeckungen in Rot-Tönen (Abbildung 19 - 25). Insgesamt war das Team an 41 Tagen im Feld unterwegs und hat in dieser Zeit fast die gesamte Außenküste von Schleswig-Holstein mit Vertikal- und Paralleltransekten kartiert. Einzig die innerste Kieler und Flensburger Förde sowie weitere kleinere Hafen-Abschnitte (z. B. Eckernförde, Heiligenhafen, Neustadt) konnten aufgrund der starken Überbauung mit Spundwänden, einer dauerhaften Ausbaggerung auf Solltiefe oder aufgrund von Schiffsverkehr nicht kartiert werden oder lassen keine verwertbaren Ergebnisse erwarten. Diese unkartierten Abschnitte können den Karten entnommen werden (Abbildung 19 - 25).

Von den für die *Mytilus*-Basisaufnahme besonders wichtigen Vertikaltransekten wurden insgesamt 175 abgefahren. Es wurden alle bereits in 2010/2011 abgefahrenen Transekte (n=110) erneut befahren und zusätzlich 65 weitere Vertikaltransekte. Zusätzliche Vertikaltransekte wurden insbesondere im Bereich der Flensburger Förde, der Außenküste zwischen Geltinger Birk – Eckernförder Bucht und rund um Fehmarn abgefahren. Teils da diese Bereiche bei der vorherigen Kartierung aufgrund von fehlenden Seegrasvorkommen ausgelassen wurden, teils da bekannt war, dass in bestimmten Bereichen größere Muschelvorkommen existieren und daher beschlossen wurde, die Frequenz der Transekte zu erhöhen.

Insgesamt wurden etwa an 30 Positionen in SH dichte und größere Muschelbänke gefunden, von denen an den meisten Proben genommen wurden (vergl. Abbildung 8 und 19). Die meisten der gefundenen und kartierten Muschelbänke hatten eine Ausdehnung von mehreren Hektar (zwischen 2 und mindestens etwa 40 ha) und waren meist im Bereich des Paralleltransektes zu finden. In den Tiefen >5 m der kartierten Bereiche wurden dichte Muschelbänke nur in der Flensburger und Kieler Innenförde, im Fehmarnsund, auf dem Flüggesand und vor Dahmeshöved auf dem „Schwarzen Grund“ gefunden. Ausgedehnte Muschelbänke mit Größen über 5 ha fanden sich in der Flensburger und Kieler Förde, der Fehmarnsundregion, bei Dahmeshöved und am Brodtener Ufer (Abbildung 19). Die flächenmäßig größten und schönsten Muschelbänke finden sich im Fehmarnsund (Größe mindestens 40 ha) und am Rand des Fehmarnsundes, sowohl auf der Ostseite in Richtung Großenbrode (Größe mindestens 30 ha), als auch auf der Westseite in Richtung Strandhusen (Größe mindestens 38 ha). Eine weitere sehr große und schöne Muschelbank findet sich in der Flensburger Förde vor Schausende, dort erreicht die Bank eine Fläche von etwa 30 ha. Bei der Abschätzung der Größen wurde rund um die gesichteten dichten und geschlossenen

Muschelbänke ein enges Polygon gezogen, wenn keine zusätzlichen Transekte vorlagen, die eine Ausdehnung quer zum abgefahrenen Transekt zeigen. Somit handelt es sich jeweils um konservative Mindestabschätzungen, die Bänke können teils deutlich größer sein. Für genauere Abschätzungen ihrer Größe müssten die Bänke z. B. durch Umschwimmen mit einer GPS-Boje oder noch höhere Schleppkamera-Transektdichten genauer kartiert werden.

## Weitere Analysen

Mit den Beobachtungsdaten aus der kombinierten Muschel- und Seegras-Kartierung wurden weitere Analysen durchgeführt, um folgende Fragen zu beantworten:

1. In welchen Tiefen finden sich Muscheln generell an der s.-h. Küste?
2. Gibt es eine bevorzugte Tiefe für Muschelbänke (Bedeckung >50 %)?
3. In dichten Muschelbänken kommen Makrophyten meist nur in geringen Dichten vor, aber sind Muschelvorkommen mit geringeren Bestandsdichten häufiger mit Seegras assoziiert?

Für die Analysen wurden alle Beobachtungsdaten der Transektauswertungen genutzt, die Muschelvorkommen aufweisen. Die Anzahl aller Einzelbeobachtungen mit Muscheln beträgt 33.183.

Daten zur Beantwortung der ersten und zweiten Frage können nur von den Vertikaltransekten herangezogen werden, da die Vielzahl von Beobachtungen entlang des Paralleltransektes in etwa vier Meter Tiefe sonst die Ergebnisse verfälscht. Hier beträgt die Anzahl der Beobachtungen insgesamt 11.676.

1. Die mittlere Tiefe der kartierten Muschelvorkommen entlang der Vertikaltransekte an der s.-h. Küste ist 5,7 m, die maximale Fundtiefe beträgt 16,8 m und die Minimaltiefe 0,3 m. Die komplette Tiefenverteilung ist in Abbildung 16 dargestellt, das Maximum der Verteilung findet sich etwa zwischen 5 und 8 m Tiefe. Insgesamt folgt die Tiefe von Muschelvorkommen einer sogenannten rechtsschiefen Verteilung mit einem Übergewicht von Vorkommen im flacheren Bereich, während sie im tieferen Bereich flacher abfällt. Schaut man sich die geografische Verteilung der mittleren Tiefen nach Regionen getrennt an, so findet sich in der Flensburger Förde (Menge der Beobachtungen: n=2.169) eine mittlere Vorkommenstiefe von 6,5 m und die größte Häufigkeit bei etwa 8 m. Für die Region Kieler Förde und Probstei (n=952) liegt die mittlere Tiefe bei 5,9 m und die größte Häufigkeit bei etwa 6 m. Für Fehmarn (n=6.104) beträgt die mittlere Tiefe 5,3 m und die größte Häufigkeit liegt bei etwa 5,5 m. Die Muschelvorkommen im Bereich der Mecklenburger Bucht (n=2.451) finden sich im Mittel bei 6,0 m, die größte

Häufigkeit bei etwa 4,7 m. Somit kann eine Brackwasser-Submergenz nach Remane zumindest für Muscheln im untersuchten Gebiet nicht festgestellt werden, da in diesem Fall die Vorkommen mit abnehmendem Salzgehalt tiefer wandern sollten.

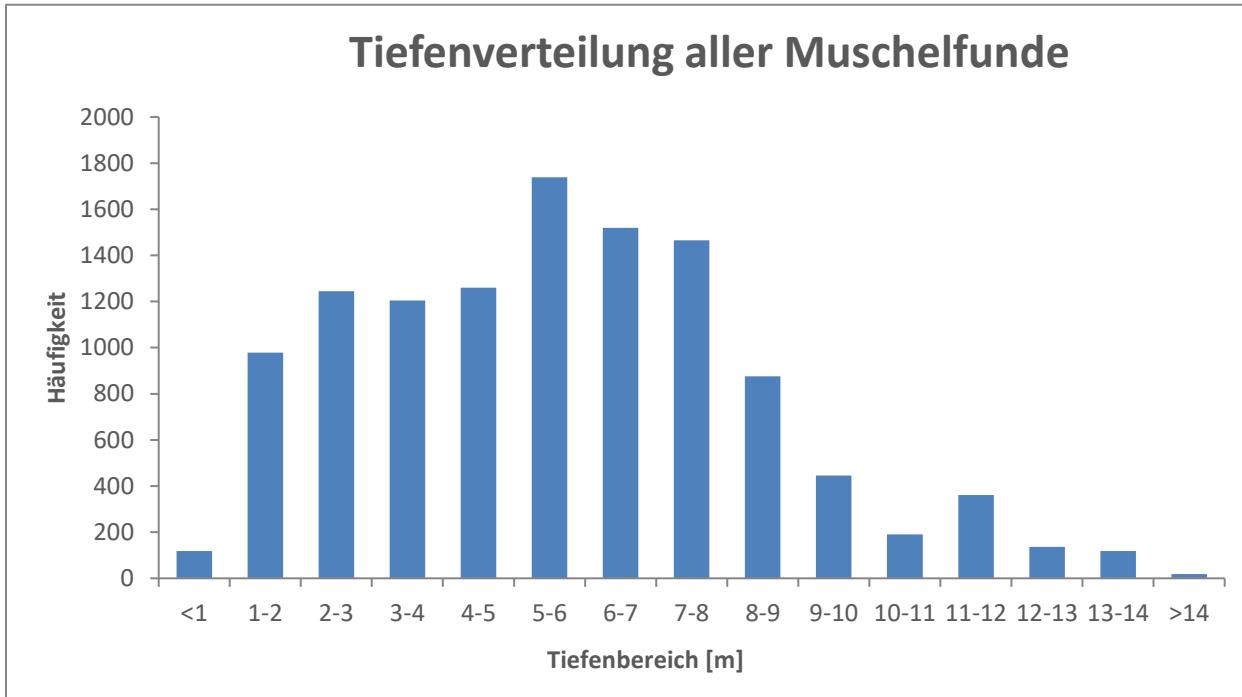


Abbildung 16: Histogramm der Tiefenverteilung aller Muschelbedeckungsklassen. Die Häufigkeit gibt die Anzahl der Einzelbeobachtungen im jeweiligen Tiefenbereich an.

2. Muschelbänke, bzw. Vorkommen mit einer Bedeckungsklasse von über 50 %, finden sich im Mittel in einer Tiefe von 5,3 m, maximal auf 9,9 m und minimal auf 0,4 m. Die Tiefenverteilung der Muschelbänke findet sich in Abbildung 17. Sie zeigt zwei Maxima, eines im Tiefenbereich von 5-6 m und eines mit etwas geringeren Häufigkeiten bei 8-9 m Tiefe. Auch die Tiefe von Muschelbänken folgt einer rechtsschiefen Verteilung mit höheren Häufigkeiten im Flachbereich zwischen 1-5 m und geringeren Häufigkeiten in tieferen Bereichen.

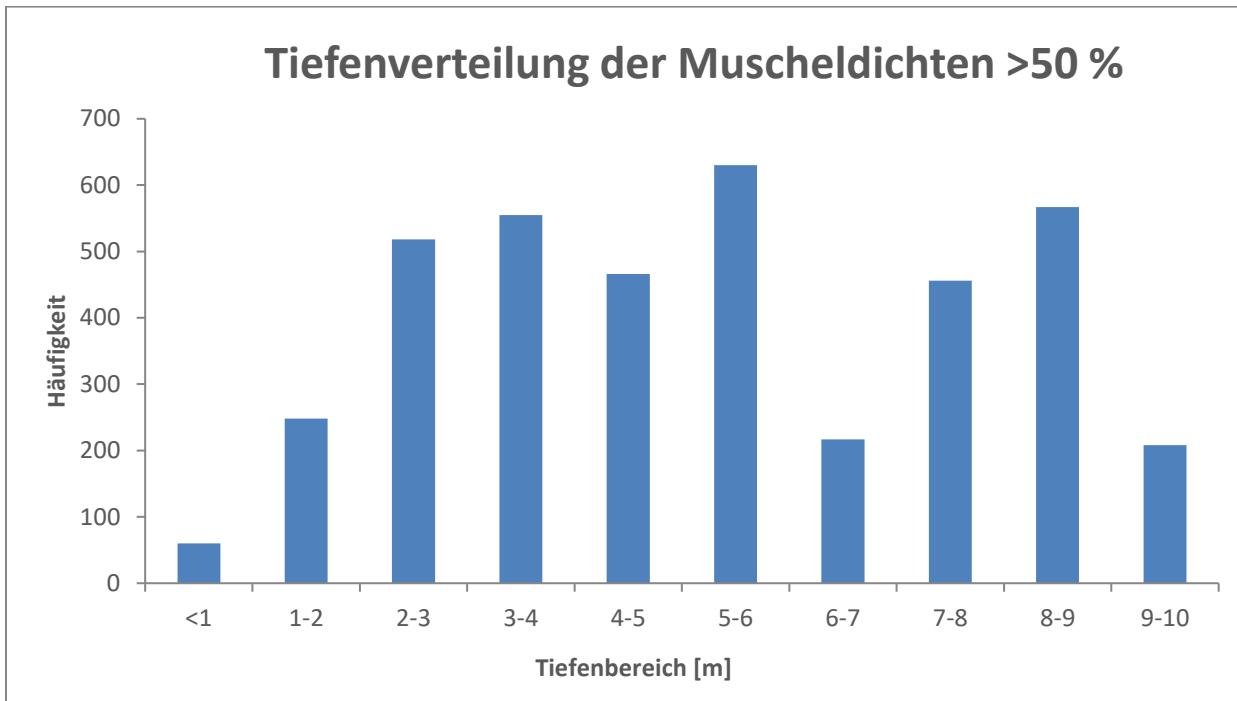


Abbildung 17: Histogramm der Tiefenverteilung der Muschelbedeckungsklassen >50 % Bedeckung. Die Häufigkeit gibt die Anzahl der Einzelbeobachtungen im jeweiligen Tiefenbereich an.

3. Die Anzahl von Einzelbeobachtungen mit Muschelvorkommen <50 % Bedeckung beträgt 24.629.

Von diesen wiesen 15.109 kein Seegras und 9.520 Seegrasvorkommen auf (Abbildung 18).

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass Muschelvorkommen geringer Dichte nicht häufiger mit Seegras assoziiert sind, sondern anscheinend häufiger ohne begleitendes Seegras an unserer Küste vorkommen. Allerdings muss man einschränken, dass sehr dichte Seegraswiesen meist die Beobachtung von Muscheln im Unterwuchs einschränken, insbesondere wenn die Schleppkamera oberhalb der ca. 0,8 – 1,5 m hohen Seegraspflanzen gezogen wird.

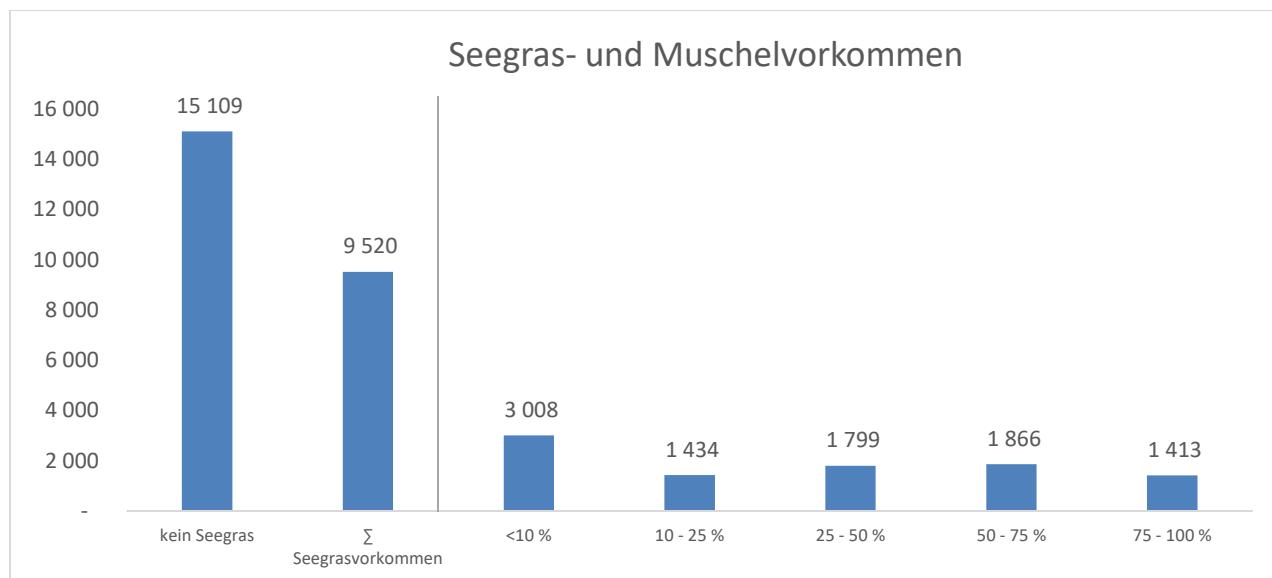


Abbildung 18: Darstellung der Beobachtungshäufigkeiten von Muschelvorkommen ohne Seegras und mit Seegras (Summe) sowie die Anzahl der Beobachtungen für die einzelnen Seegrasbedeckungsklassen.

## Abschlussdiskussion

### Verteilung und Dynamik der Bestände

Im Vergleich zu den ebenfalls in einem weiteren LLUR-GEOMAR-Kooperationsprojekt kartierten Seegraswiesen, die bis auf wenige Ausnahmen fast an allen Küstenabschnitten in SH vorkommen, finden sich Muschelbänke nur an wenigen Küstenabschnitten, während weite Teile der offenen Küsten keine Muschelbänke haben. Diese muschelreichen Küstenabschnitte liegen zum einen in strömungsreichen Gebieten und zum anderen an Standorten mit viel Hartsubstrat. Zu den strömungsintensiven Gebieten zählen die vor allem bei Starkwind durch hohe Strömungsgeschwindigkeiten gekennzeichneten Wasserkörper der Fördern (Flensburg und Kiel) sowie der Fehmarnsund, der zu den strömungsreichsten Gebieten in SH zählt. Zu den Bereichen mit viel Hartsubstrat und hoher Muscheldichte zählen der

Fehmarnsund, der Flüggesand im Westen von Fehmarn, das Brodtener Ufer, Staberhuk und Dahmeshöved.

Die Gründe für die fleckenhafte Verteilung der Vorkommen oder zumindest der größeren Muschelbänke wurden im vorliegenden Projekt nicht untersucht. Sicherlich sind aber wie oben bereits erwähnt physikalische Parameter wie Strömung und Exposition verantwortlich für einige der Verteilungsmuster. Große Muschelansammlungen an exponierten Standorten (Beispiel Brodtener Ufer, Timmendorfer Strand) können bei starken Stürmen mit hohen Wellen komplett an den Strand geworfen werden und dort verenden (eigene Beobachtungen, pers. Komm. Rolf Karez). Dies kann insbesondere an Standorten geschehen, an denen ausreichendes Hartsubstrat für eine feste Verankerung der Muschelbestände nicht zur Verfügung steht, wie an sandigen Abschnitten der Küsten. Die ältesten und konstantesten Muschelbänke finden sich dementsprechend entweder an sehr geschützten Standorten wie den Innenfördern oder an Orten mit ausreichendem Hartsubstrat und geringer Exposition gegenüber Wellen wie der Fehmarnsundregion, die durch die Insel geschützt wird.

Zusätzlich spielt sicher auch die Verfügbarkeit von Larven eine große Rolle bei der Verteilung der Muschelvorkommen. Franz et al. (2019) konnten anhand von Driftmodellen zeigen, dass beispielsweise innerhalb der Lübecker Bucht Region die Muschelvorkommen stärker miteinander vernetzt sind, als dies in der weitläufigeren Kieler Bucht Region der Fall ist. Muschelbänke innerhalb der Lübecker Bucht können so bei einem Ausfall eher wieder mit Larven versorgt werden. Muschellarven haben eine eher geringe Ausbreitungsdistanz von etwa 30-50 km, so dass beispielsweise der Bereich zwischen Gelting und Boknis Eck nur schwer mit frischen Larven versorgt werden kann, da größere Bänke im Umkreis von 30-50 km fehlen. Innerhalb der kleineren Lübecker Bucht können Larven jeden Punkt von fast allen Bänken erreichen. Zusätzlich berichten Franz et al., dass es auf Besiedlungsplatten einen großen Zusammenbruch der *Mytilus*-Populationen in der westlichen Ostsee in den Jahren ab 2006 gab, von dem sich die Bestände der (offenen) Kieler Bucht seither nicht komplett erholt haben, während die Bestände in der Lübecker Bucht Region sich vollständig erholten. In der Kieler Bucht führte dies in den Folgejahren zu einem drastischen Umbau der Benthos-Gemeinschaften, während dieser Umbau in der Lübecker Bucht nicht beobachtet wurde. Insgesamt betrachtet zeigen die Ergebnisse des vorliegenden Berichtes und aus der Literatur, dass die Muschelpopulationen der westlichen Ostsee starken Schwankungen unterliegen können, die durch die Verfügbarkeit von Larven, durch physikalische Parameter wie der vorherrschenden Strömung oder Wellenexposition und Standortfaktoren wie der Verfügbarkeit von Hartsubstrat abhängen können. Interannuelle Variabilität von beispielsweise der Wassertemperatur im Winter oder dem Zeitpunkt von schweren Stürmen verkomplizieren weiter das Bild, so dass sich daraus am ehesten schließen lässt, dass der Bestand von Miesmuscheln an der Ostseeküste weiterhin gemonitort werden sollte.

Dabei muss keinesfalls eine so umfassende Methode wie die hier vorliegende küstenweite Videokartierung gewählt werden, um die vorhandenen Bestände weiterhin in ihrer Dynamik zu erfassen.

Eine jährliche oder zumindest regelmäßig wiederkehrende Erfassung der Ausdehnung, Dichte und Größenzusammensetzung der Muschelbänke und zusätzliche Analyse der Begleitfauna an 4-5 ausgewählten Muschelbänken (beispielsweise Flensburger Förde, Kieler Förde, Fehmarnsund, Dahmeshöved und Brodtener Ufer) würde aufgrund der guten räumlichen Abdeckung innerhalb von SH ausreichen, den Bestand zu überwachen.

Miesmuscheln haben aufgrund ihres habitatformenden Einflusses und ihrer Konkurrenzstärke einen sehr großen Effekt auf die benthischen Artengemeinschaften, insbesondere in der artenarmen Ostsee, wo eine funktionale Redundanz der Rolle der Miesmuscheln nicht gegeben ist. Zusätzlich sind die Muschelbänke wichtige Nahrungsgrundlage oder Jagdrevier für viele Top-Predatoren wie Dorsch, Aal, Plattfische, Tauchenten, Kormorane und Schweinswale und haben so weitgehenden Einfluss auf das gesamte Ökosystem. Aus diesen Gründen sollten wir nicht „blind“ gegenüber Veränderungen bei dieser wichtigen Schlüsselart an unseren Küsten sein und ein effektives und ausreichendes Muschel-Monitoring etablieren, ähnlich wie dies bei anderen Schlüsselarten wie dem Seegras, Algenwäldern oder wichtigen Fischarten bereits seit Jahren implementiert ist.

## Karten

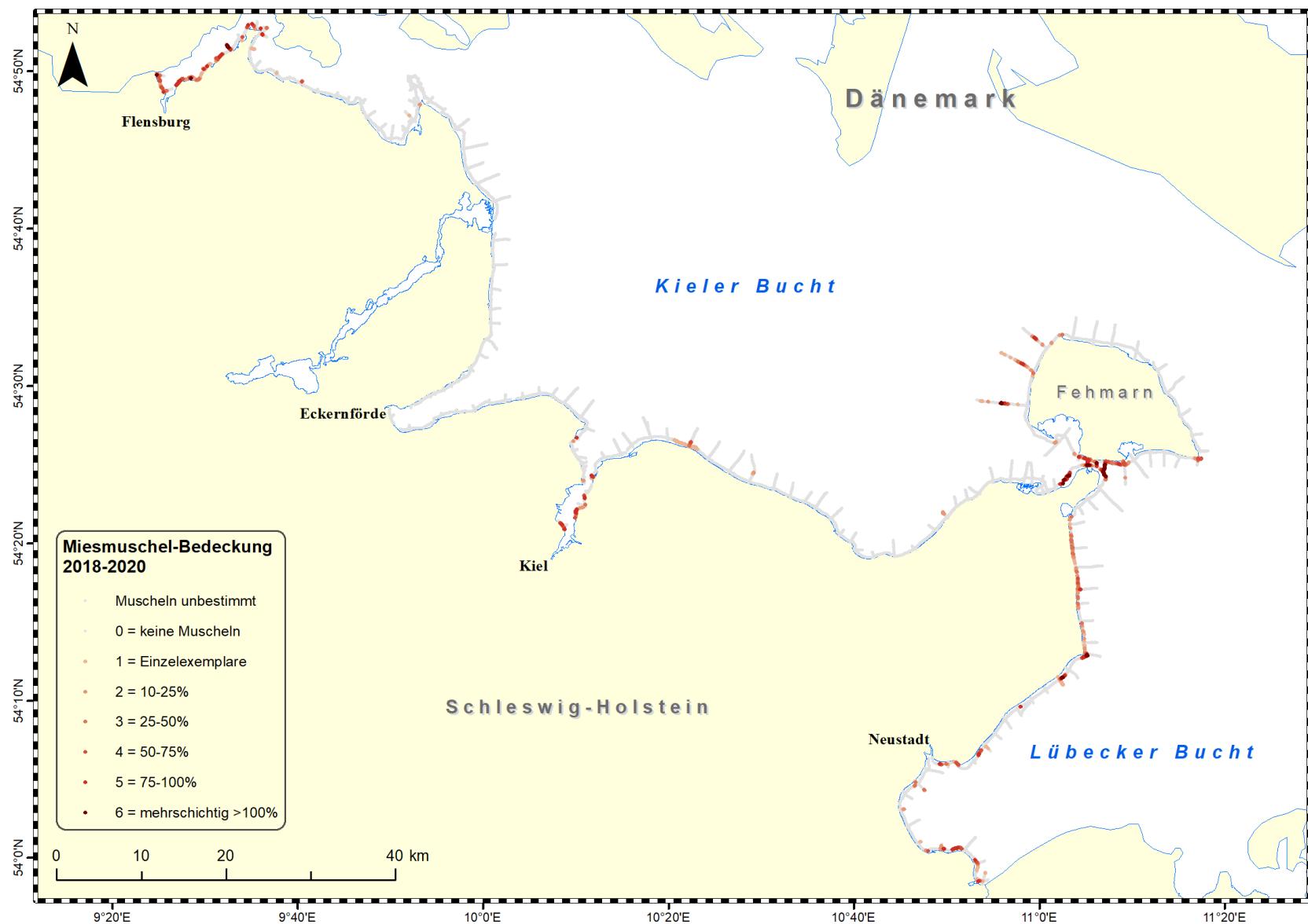


Abbildung 19: Übersichtskarte aller befahrenen Transekten (Vertikal- und Paralleltransekten) und der beobachteten Muschelbedeckung entlang der Küste von Schleswig-Holstein.

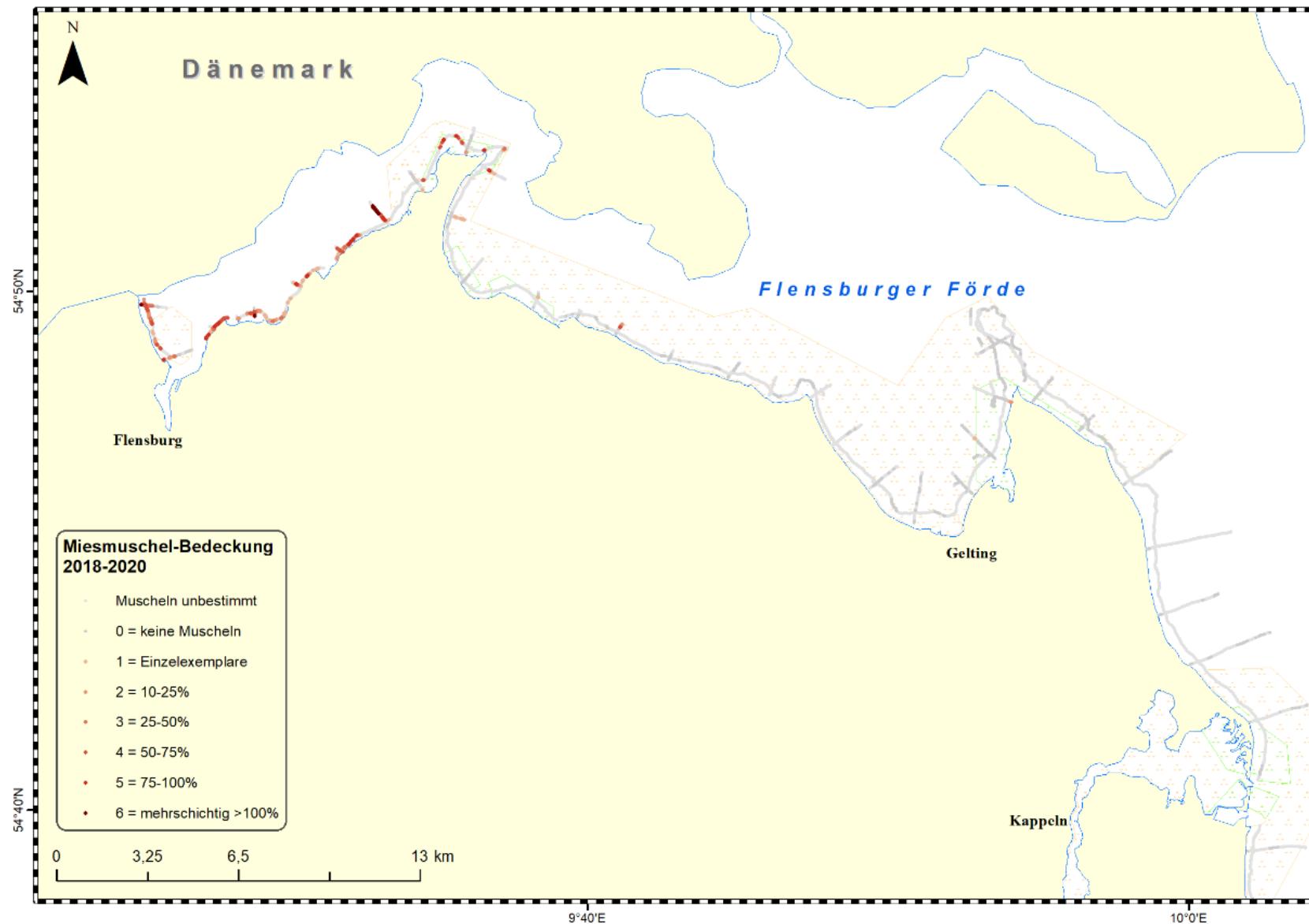


Abbildung 20: Karte der befahrenen Transekte und der beobachteten Muschelbedeckung entlang der Küste der Flensburger Förde bis zur Schleimündung. Zusätzlich sind die marinen Anteile der Naturschutzgebiete (grüne Polygone) und der FFH-Gebiete (Flora-Fauna-Habitatrichtlinie der EU, braune Polygone) eingezeichnet.

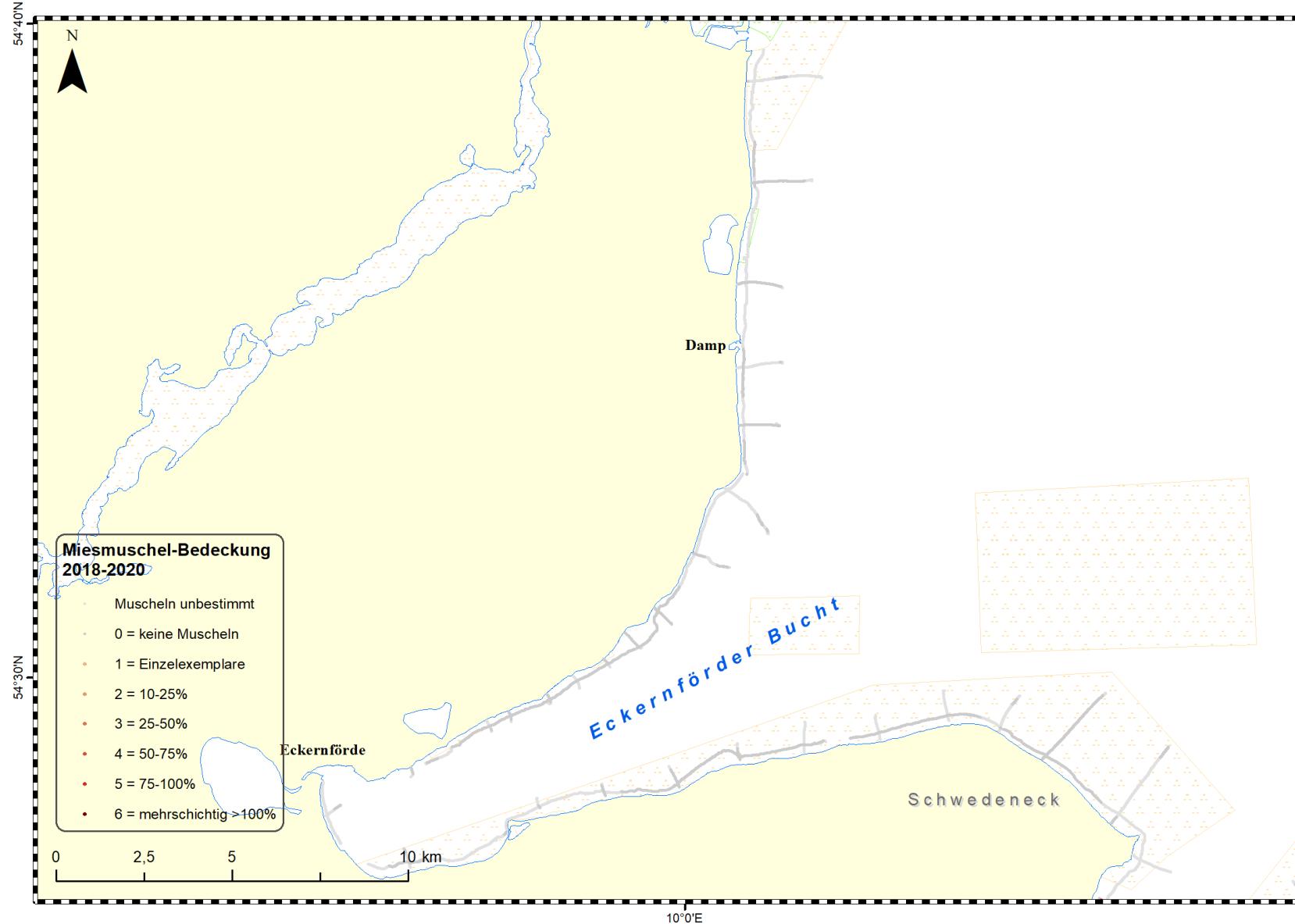


Abbildung 21: Karte der befahrenen Transekte und der beobachteten Muschelbedeckung entlang der Küste von der Schleimündung bis zur Kieler Förde. Zusätzlich sind die marinen Anteile der Naturschutzgebiete (grüne Polygone) und der FFH-Gebiete (Flora-Fauna-Habitatrichtlinie der EU, braune Polygone) eingezeichnet.

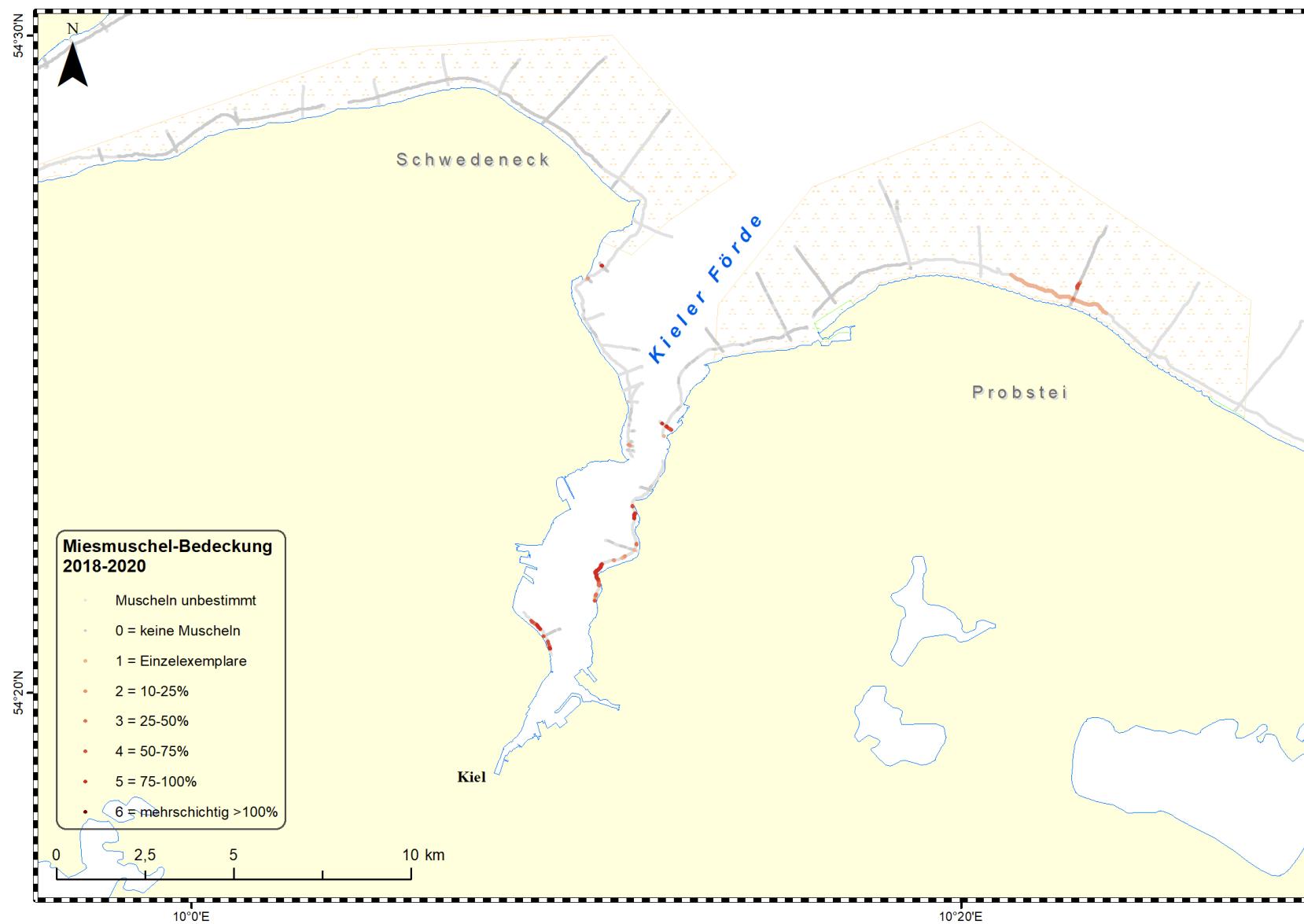


Abbildung 22: Karte der befahrenen Transekte und der beobachteten Muschelbedeckung entlang der Küste der Kieler Förde und Probstei. Zusätzlich sind die marinen Anteile der Naturschutzgebiete (grüne Polygone) und der FFH-Gebiete (Flora-Fauna-Habitatrichtlinie der EU, braune Polygone) eingezeichnet.

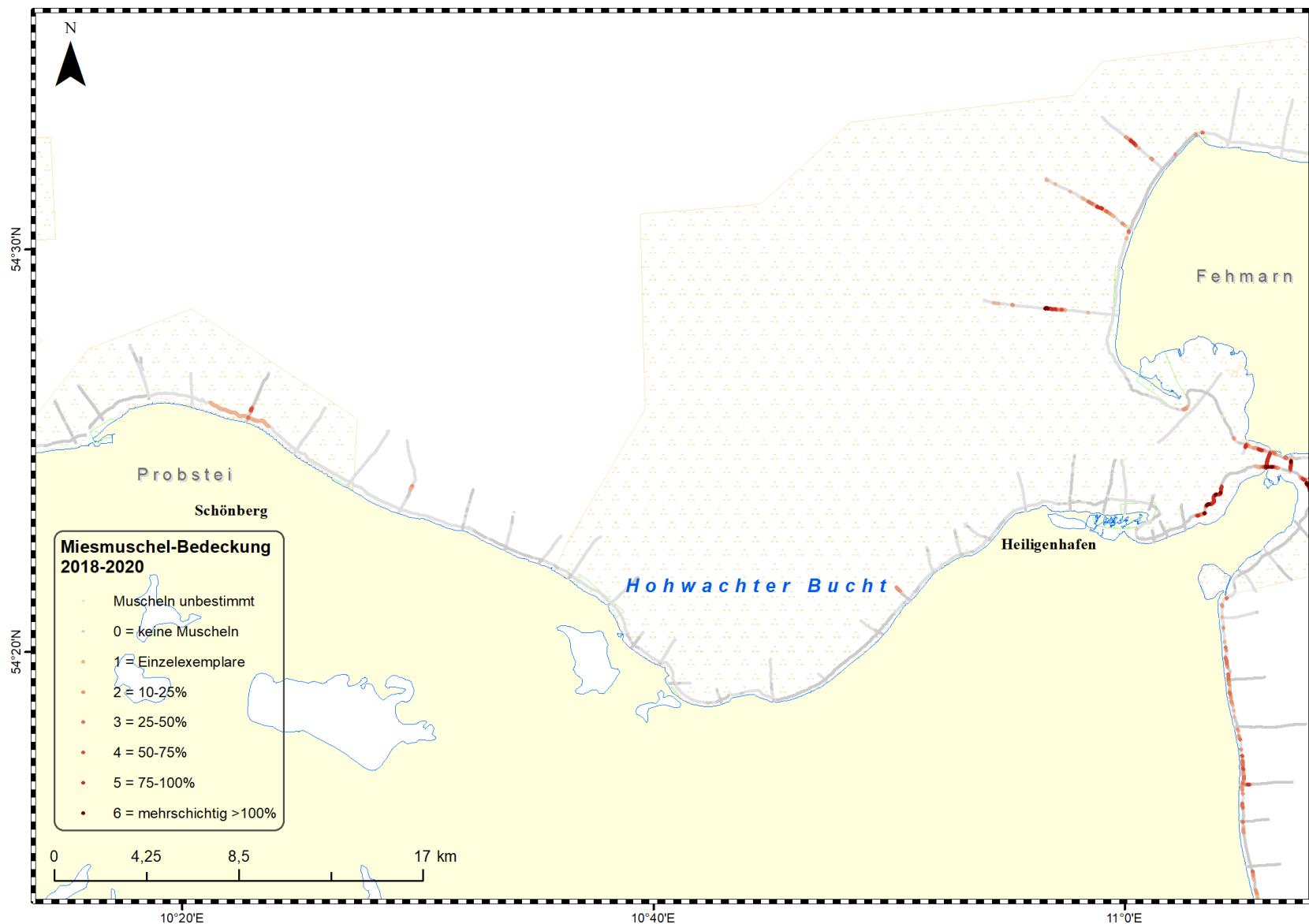


Abbildung 23: Karte der befahrenen Transekte und der beobachteten Muschelbedeckung entlang der Küste der Probstei bis Fehmarn. Zusätzlich sind die marinen Anteile der Naturschutzgebiete (grüne Polygone) und der FFH-Gebiete (Flora-Fauna-Habitatrichtlinie der EU, braune Polygone) eingezeichnet.

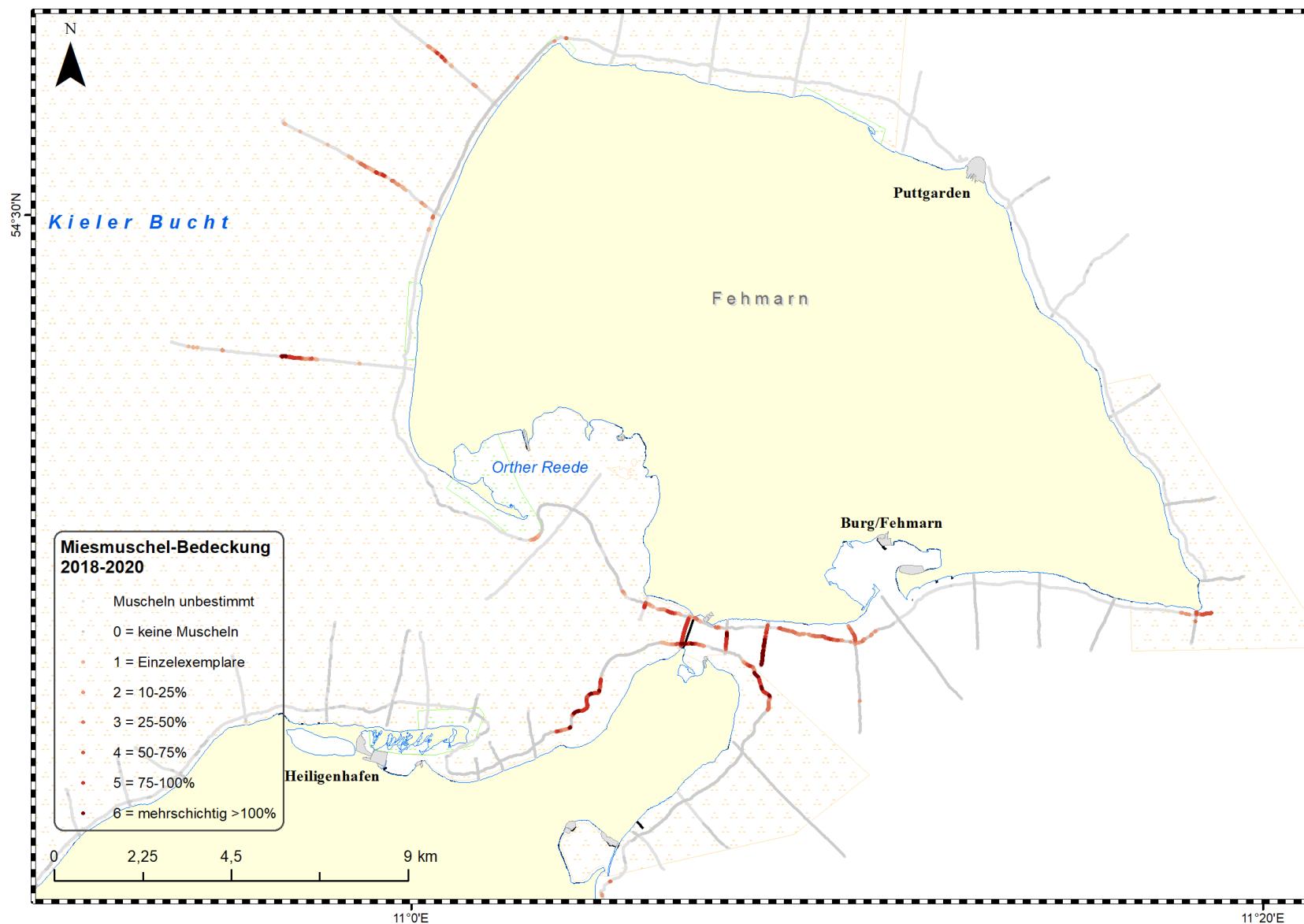


Abbildung 24: Karte der befahrenen Transekte und der beobachteten Muschelbedeckung entlang der Küste rund um Fehmarn. Zusätzlich sind die marinen Anteile der Naturschutzgebiete (grüne Polygone) und der FFH-Gebiete (Flora-Fauna-Habitatrichtlinie der EU, braune Polygone) eingezeichnet.

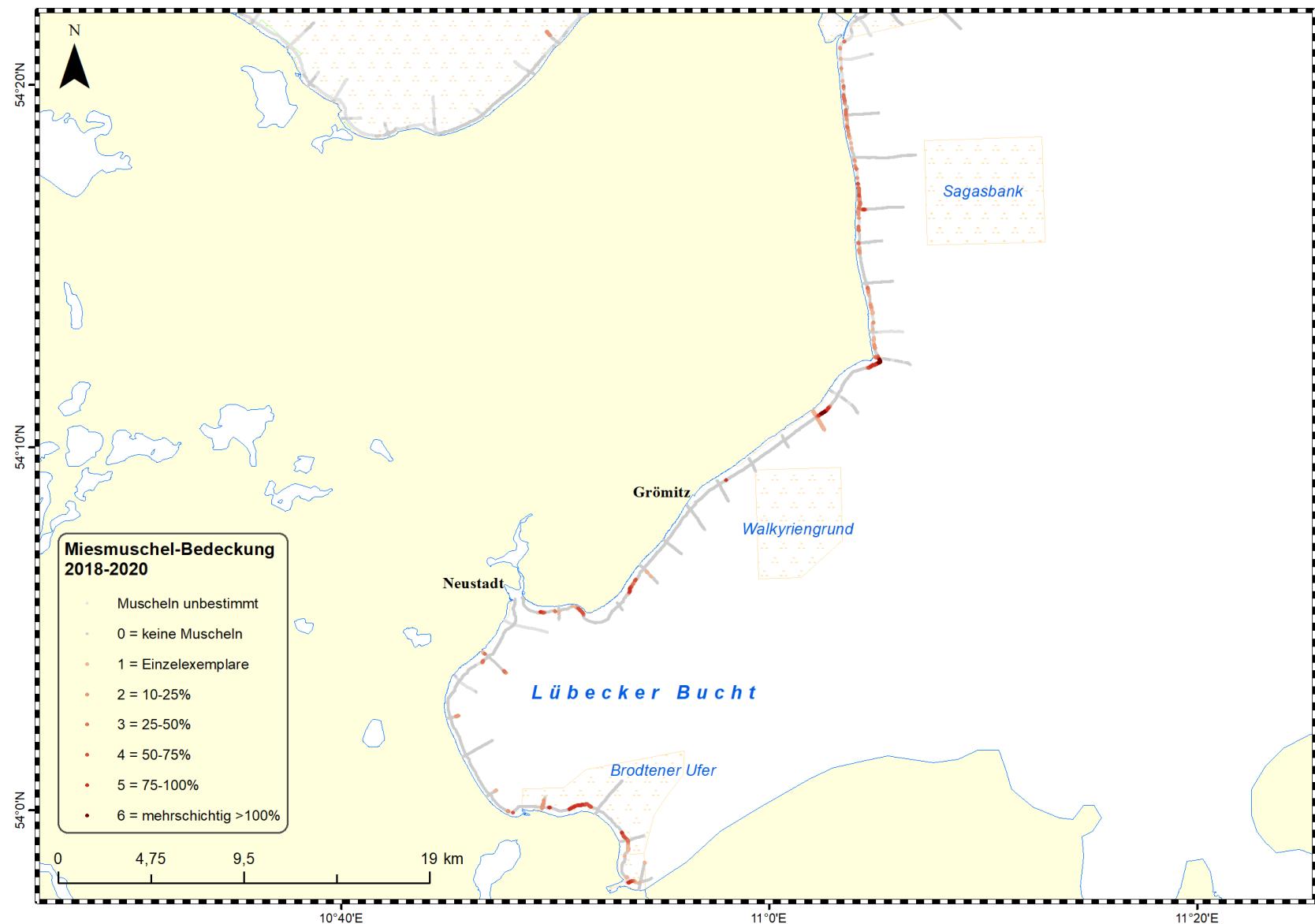


Abbildung 25: Karte der befahrenen Transekte und der beobachteten Muschelbedeckung entlang der Küste der Mecklenburger Bucht. Zusätzlich sind die marinen Anteile der Naturschutzgebiete (grüne Polygone) und der FFH-Gebiete (Flora-Fauna-Habitatrichtlinie der EU, braune Polygone) eingezeichnet.

## Artenliste der Muschelproben

lauf. Nr.	Artnname	Individuenanzahl in allen Proben
1	<i>Abra alba</i>	5
2	<i>Apherusa bispinosa</i>	3
3	<i>Arenicola marina</i>	16
4	<i>Asterias rubens</i>	22
5	<i>Athanas nitescens</i>	2
6	<i>Bittium reticulatum</i>	99
7	<i>Buccinum undatum</i>	6
8	<i>Capitella</i> sp.	37
9	<i>Cerastoderma</i> sp.	22
10	<i>Chalinula limbata</i>	1
11	<i>Corophium</i> sp.	233
12	<i>Cyathura carinata</i>	6
13	<i>Diadumene lineata</i>	1
14	<i>Ericthonius brasiliensis</i>	9
15	<i>Eteone longa</i>	1
16	<i>Eulalia bidentata</i>	1
17	Gruppe: Fischlarven	312
18	<i>Gammerus salinus</i> u. <i>oceanicus</i>	376
19	<i>Halichondria panicea</i>	1
20	<i>Harmothoe imbricata</i>	41
21	<i>Harmothoe impar</i>	23
22	<i>Harmothoe</i> juv.	35
23	<i>Hemigrapsus</i> sp.	10
24	<i>Heteromastus filiformis</i>	32
25	<i>Hydrobia</i> sp.	1500
26	<i>Idotea baltica</i>	36
27	<i>Jaera albifrons</i>	5
28	<i>Lagis koreni</i>	1
29	<i>Lepidochitona cinerea</i>	6
30	<i>Littorina</i> sp.	123
31	<i>Macoma balthica</i>	28
32	<i>Melita palmata</i>	52
33	<i>Microdeutopus</i> sp.	2362
34	<i>Musculus marmoratus</i>	7
35	<i>Mya arenaria</i>	331
36	<i>Mysella</i> = <i>Kurtiella bidentata</i>	173
37	<i>Mytilus edulis</i>	22739
38	Nemertea (Stamm)	6

lauf. Nr.	Artname	Individuenanzahl in allen Proben
39	<i>Nereimyra punctata</i>	15
40	<i>Nereis</i> sp. /juv	420
41	<i>Odostomia rissoides</i>	169
42	Oligochaeta (Ordnung)	324
43	<i>Palaemon varians</i>	2
44	<i>Pholoe inornata</i>	43
45	<i>Phtisica marina</i>	4
46	Turbellaria (Klasse)	57
47	<i>Polydora cornuta</i>	396
48	<i>Pygospio elegans</i>	76
49	<i>Retusa truncatula</i>	7
50	<i>Rhithropanopeus harrisii</i>	2
51	<i>Rissoa</i> sp.	2230
52	<i>Scoloplos armiger</i>	3
53	<i>Sinelobus</i> sp.	1
54	<i>Streblospio shrubsolii</i>	7
55	<i>Syllides</i> sp.	1
56	<i>Tritia reticulata</i>	1

## Literatur

Franz M, Barboza FR, Hinrichsen H-H, Lehmann A, Scotti M, Hiebenthal C, Molis M, Schütt R, Wahl M (2019) Long-term records of hard-bottom communities in the southwestern Baltic Sea reveal the decline of a foundation species. *Estuar Coast Shelf Sci* 219:242-251

Kautsky N (1982). Growth and size structure in a Baltic *Mytilus edulis* population. *Mar Biol* 68:117-133

Reusch TBH, Chapman ARO, Groger JP (1994). Blue Mussels *Mytilus edulis* do not interfere with Eelgrass *Zostera marina* but fertilize shoot growth through biodeposition. *Mar Ecol Prog Ser* 108:265-282

Riginos, C. and Cunningham, C.W. (2005). Local adaptation and species segregation in two mussel (*Mytilus edulis* x *Mytilus trossulus*) hybrid zones. *Molecular Ecology* 14:381-400.

Schubert, P.R., Hukriede, W., Karez, R., Reusch, T.B.H. (2015). Mapping and modeling eelgrass *Zostera marina* distribution in the western Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series* 522:79-95.

Vuorinen I, Antsulevich A, Maximovich N (2002). Spatial distribution and growth of the common mussel *Mytilus edulis* L. in the archipelago of SW-Finland, northern Baltic Sea. *Boreal Environ Res* 7:41-52

Westerbom M, Kilpi M, Mustonen O (2002). Blue mussels, *Mytilus edulis*, at the edge of the range: Population structure, growth and biomass along a salinity gradient in the north-eastern Baltic Sea. *Mar Biol* 140:991-999