

Ernst Moritz Arndt Universität Greifswald
Fachbereich Naturwissenschaften
Institut für Landschaftsökologie und Naturschutz

Diplomarbeit

**Zusammenhang zwischen
Makrophytobenthos und Sediment in
flachen Küstengewässern der Ostsee**

Antje Kerkow

30. März 2014

Dozenten:
PD Dr. Irmgard Blindow
Prof. Dr. Hendrik Schubert

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei meiner Diplomarbeit unterstützt haben.

Mein ganz besonderer Dank geht an Jutta Meyer, die mit unermüdlicher Ausdauer fast alle Schnorcheltouren bei jedem Wind und Wetter begleitet hat, die im Labor etliche Stunden Sedimente mit mir gesiebt und Biomasseproben ausgewaschen hat und die für jedes Problemchen immer ein offenes Ohr hatte. Ebenso herzlich möchte ich mich bei Milena Kafka, Caroline Lindner und Bozena Nawka für die gute Zusammenarbeit und bei Irmgard Blindow für die engagierte und intensive Betreuung bedanken.

Bei den Mitarbeitern des Nationalparkamtes möchte ich mich bedanken, dass sie diese Studie überhaupt ermöglicht und die Erlaubnis erteilt hat, für wissenschaftliche Zwecke im begrenzten Umfang die Schutzgebietszonen bei Hiddensee zu befahren und zu beproben.

Desweiteren möchte ich mich ganz herzlich bei Sven Dahlke bedanken, der mit viel Begeisterung, Fachkenntnis und Blick fürs Detail wichtige Probenahmeutensilien in Eigenbau angefertigt hat, der mich in die Unterwasserfotografie eingeführt und mir seine Unterwasserkamera zur Verfügung gestellt hat.

Auch bei Helmut Ehmke und Lothar Spengler möchte ich mich bedanken für die Anfertigung von Probenahmegeräten, für das Beibringen des Motorbootfahrens und die Begleitung auf See. Ebenso gilt mein Dank Wolfgang und Gerlinde Zenke, die sich um viel Organisatorisches und alles rund um das Labor gekümmert haben.

Bei Franziska Bitschofsky möchte ich mich für die Bereitstellung ihrer Analyseergebnisse des Sedimentes entlang des Salzgradienten bedanken und bei Maike Piepho für die Organisation der Unterkünfte für unsere Salzgradienten-Tour.

Zu guter Letzt geht ein ganz herzliches Dankeschön an meinen Bruder Daniel Kerkow, der mir für Fragen rund um das Anfertigen von Karten und das Schreiben in Latex zur Seite stand und an meine Eltern für die Unterstützung während des Schreibens der Diplomarbeit.

1 Einleitung

Die Studie wurde im Rahmen des Verbundprojektes BACOSA (Baltic Coastal System Analysis and Status Evaluation) durchgeführt, bei dem in Zusammenarbeit der Universitäten Kiel, Rostock und Greifswald die Flachgewässer der südlichen deutschen Ostsee untersucht werden. Die Studie umfasst den Zeitrahmen April 2013 bis April 2016 und setzt sich zum Ziel, die Funktionen der Ökosysteme ausgewählter Buchten der Ostsee in einer möglichst umfassenden Gesamtheit zu verstehen, insbesondere die Auswirkung von Makrophyten auf die Sedimentdynamik und die Erfassung der Pelagial-Benthos-Wechselwirkung hinsichtlich der Stofftransporte. Außerdem werden auf Basis vorhandener Daten die Ökosystemdienstleistungen dieser Gewässer bewertet. Die Forschungsergebnisse sollen zum grundsätzlichen Verständnis der Ökosysteme beitragen und damit eine Grundlage zum Erfüllen der Forderungen der Europäischen Meeressstrategierichtlinie (EU-MSRL) und der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) schaffen. In dieser Diplomarbeit werden die Wechselwirkungen von Makrophyten und Sedimentstruktur charakterisiert.

Es ist allgemein bekannt, dass es Interaktionen zwischen dem Makrophytenbewuchs, der Hydrodynamik und der Sedimentdynamik in Süßwasser- und in marin Systemen gibt. In vielen Studien im Freiland und in Strömungskanälen wurde festgestellt, dass dichte Makrophytenbestände dazu in der Lage sind das Strömungsregime so zu beeinflussen, dass die Sedimentation gefördert und die Resuspension vermindert wird. Wenn sich dies auch in Freilandversuchen in Buchten und Boddengewässern der Ostsee bestätigen ließe, ergäbe sich hieraus eine wichtige Funktion der Makrophytenbetten als lokale Nährstoffsenke und ein wichtiger Ansatz zum Verständnis von Stoffflüssen im Zuge der Gewässereutrophierung. In diesem Zusammenhang trägt die Arbeit dazu bei herauszufinden, welche vorhandenen Makrophytenbestände in welcher Intensität, unter welchen lokalen Strömungsbedingungen und in welchem Maß die Funktion als lokale Nährstoffsenke erfüllen.

Die Interaktionen zwischen den Faktoren Pflanzenwuchs, Strömung und Sediment sind sehr komplex. Pflanzen haben einen Einfluss auf die Strömung, indem sie Schwingungen mit niedriger Frequenz (Large Scale Eddies) zu Schwingungen mit hoher Frequenz (Small Scale Eddies) umbrechen und damit Turbulenzen verursachen (?). Außerdem wird die Strömungsgeschwindigkeit innerhalb eines Pflanzenbestandes mit zunehmenden Deckungsgraden herabgesetzt, während sie überhalb des Kronendaches unverändert hoch bleibt (?).

Die Strömungsgeschwindigkeit hat umgekehrt auch einen Einfluss auf das Makrophytenwachstum. So können starke Strömungen und Wellenschlag die Pflanzen mechanisch schädigen und wachstumsreduzierend wirken (BIGGS, 1996). *Myriophyllum spicatum* profitiert hiervon wiederum weil abgerissene Sprossesteile wurzeln können und auf diese Art eine vegetative Vermehrung stattfindet (?). Bei geringen Strömungen von 0 bis 0,1 m/s hingegen wirkt sich eine leicht erhöhte

Strömungsgeschwindigkeit positiv auf Wachstum und Photosyntheserate der Pflanzen aus (?). Die Strömung wiederum ist ein wichtiger Parameter für die Korngrößenverteilung des Sedimentes, da sie die Scherkraft und damit die Bodenschubspannung auf eine bestimmte Fläche des Seebodens positiv beeinflusst. Wird die für ein Korn kritische bodennahe Strömungsgeschwindigkeit (friction velocity) überschritten, gerät es in Bewegung, löst sich unter Überwindung von Schwerkraft und Partikelanziehung aus dem Sediment (Erosion) und wird in der Wassersäule gelöst (Resuspension) (?). Nach Studien mit Seesedimenten im Strömungskanal von ? erhöht sich die Resuspension mit steigender Strömungsgeschwindigkeit. Der direkte Zusammenhang der gesteigerten Resuspension und der erhöhten Sedimentation in Makrophytenbetten gegenüber vegetationsfreien Flächen wurde in zahlreichen limnischen Freilandstudien (??), und auch in Buchten der Ostsee (?) bei einem Anteil von Makrophyten in der Wasserfläche von 30 bis 35 %, gefunden.

? sowie ? fanden zudem einen Unterschied hinsichtlich der Resuspension bei unterschiedlichen Anteilen der Pflanzen an der Wassersäule. Die Strömungsgeschwindigkeiten wurden umso effizienter reduziert und das Material umso mehr akkumuliert, je höher der Anteil der Makrophyten an der Wassersäule war. Es ist nach ? davon auszugehen, dass sich die Makrophyten durch ihre Anwesenheit einen positiven Feedbackloop verschaffen, indem sie durch Steigerung der Sedimentation und die Reduzierung der Resuspension die Trübung vermindern und damit die Lichtverfügbarkeit am Grund zum Vorteil der eigenen Photosyntheseleistung erhöhen. In Makrophytenbetten befindet sich nach ? auch mehr organisches Material im Sediment als im makrophytenfreiem Bereich. Erst bei starken Windereignissen kann es hier zu schlagartigen Resuspensionsereignissen kommen, bei denen das feine organische Material und damit Nährstoffe in die Wassersäule gelangen (?). Hierdurch wird das Phytoplanktonwachstum angekurbelt (COWAN ET AL., 1996).

Um festzustellen, ob es auch Unterschiede in den südlichen deutschen Boddengewässern in unterschiedlichen Vegetationsformen und -Wuchsdichten in bewachsenen und unbewachsenen Bereichen gibt, wurden an verschiedenen Stellen die Vegetation kartiert und das Sediment auf seine Korngrößenverteilung, den organischen Gehalt und den Wassergehalt hin untersucht. Von besonderem Interesse war die Wechselwirkung zwischen Sediment und Wasser in einem bisher nur wenig und in diesem Zusammenhang überhaupt nicht untersuchten Ökosystem, dem Braunalgenbett aus *Fucus vesiculosus* f. *balticus*. *Fucus vesiculosus*, auch Blasentang genannt, ist eine in der Ostsee weit verbreitete Alge, deren Verschwinden jedoch, vermutlich aufgrund von Nährstoffbelastungen des Wassers und damit einhergehender reduzierter Sichttiefe und aufgrund von Änderungen des Salzgehaltes der Ostsee, seit 1976 beobachtet wird und deren Tiefengrenze sich in dieser Zeit von 10 auf etwa 4 Meter verlegt hat (?). Sie ist gelbbraun gefärbt und von derber Struktur, sitzt auf festem Gestein verankert und besitzt Gasblasen paarig an der Mittelrippe der Thallusäste angeordnet, die der photosynthetefähigen Zellfläche Auftrieb

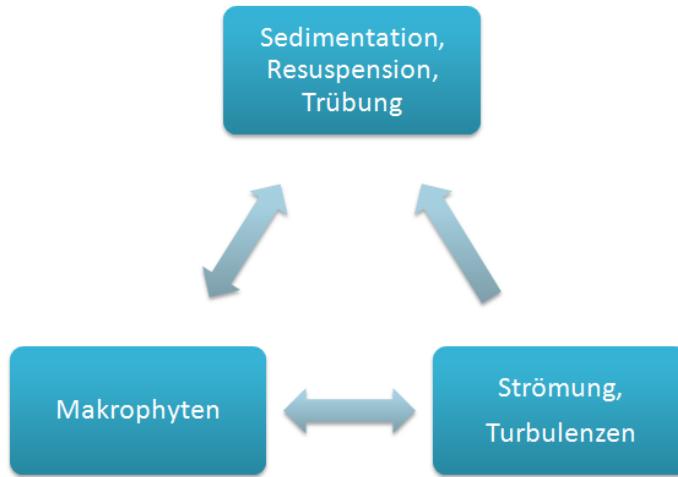


Abbildung 1: Schematische Darstellung der komplexen Zusammenhänge zwischen Makrophyten, Sediment- und Hydrodynamik

verleihen (?).

Der *Fucus vesiculosus* f. *balticus* ist taxonomisch keine eigene Art, sondern stellt nach genetischen Untersuchungen lediglich eine Wuchsform von *Fucus vesiculosus* dar (ATHANASIADIS, 1996). Er siedelt auf Sand und schlickigem Sand in geschützten Buchten bis maximal 2 m Tiefe (?) und ist nicht mit dem Untergrund verwachsen. Bei ausreichenden Bodenschubspannungen kann er verdriftet werden (CANAL-VERGES ET AL., 2010).

Im Gegensatz zum festsitzenden Blasentang gibt es bisher keine veröffentlichten Studien, die den Einfluss des losen Blasentangs auf das Sediment untersuchen. Aufgrund seines Vorkommens auf Weichbodensubstraten in Flachwasserbereichen, stellenweise vergesellschaftet mit den typischen Brackwasser-Pflanzenarten wie *Potamogeton pectinatus* und *Myriophyllum spicatum*, kann man sagen, dass es sich um einen eigenständigen Biotoptyp handelt.

Der Habitus der Alge nimmt hier eine annähernd kugelförmige Gestalt an. Sie siedelt in einer hohen Dichte, wodurch der Wasseraustausch zwischen den Wasserschichten innerhalb des Algenbettes und darüber erschwert ist, sodass sich nach eigenen Beobachtungen von Mai bis Anfang Juni eine deutliche Thermokline feststellen ließ (in gleicher Wassertiefe ohne *Fucus vesiculosus* f. *balticus* wurde diese Thermokline nicht festgestellt). In diesem Zusammenhang wurde auch die Biomasse und ihr Einfluss auf das Sediment untersucht.

CANAL-VERGES ET AL. (2010) fanden heraus, dass driftende Algen der Gattung *Ulva* sp., *Ceramium* sp. und *Chaetomorpha linum* die Resuspension erhöhen. Sie driften ab einer Strömungsgeschwindigkeit von 2-3 cm/s über das Sediment und erodieren damit das Sediment. An Vergleichsstandorten ohne Algen hingegen begann die Resuspension erst ab einer Strömungsgeschwindigkeit von 15-27 cm/s. Aus diesen Beobachtungen heraus ist es interessant zu untersuchen, ob dieses Phänomen auch auf die Algenmatte des baltischen Blasentanges zutrifft und sich demzufolge

nicht viel feines organisches Material dort akkumuliert oder ob die phytale Decke so sehr in sich geschlossen ist und den Wasserkörper am Boden vor Strömung schützt, dass die Resuspension gemindert wird und das Sediment dadurch nicht feiner als an benachbarten unbedeckten Stellen ist.

Die Hypothesen, die im Zusammenhang mit den angeführten Erläuterungen auf die Anwendbarkeit in den Boddengewässern hin untersucht werden, sind folgende:

- I An Standorten mit dichter wurzelnder Vegetation ist der Anteil des organischen Materials im Sediment größer als an vegetationsarmen Standorten.
- II An Standorten mit einer dichten Bedeckung durch Makrophyten ist das Sediment feiner als an vegetationsarmen Standorten.
- III Der Anteil der wurzelnden Pflanzen in der Wassersäule korreliert negativ mit der mittleren Korngrößenfraktion des Sedimentes.
- IV An Standorten mit einer dichten Bedeckung durch Makrophyten ist das Sediment schlechter sortiert als an vegetationsarmen Standorten.
- V Die Sedimente an Stellen mit dichter Bedeckung durch *Fucus vesiculosus f. balticus* sind nicht feiner als an benachbarten Stellen ohne Vorkommen von *Fucus vesiculosus f. balticus*.
- VI Der Organische Gehalt der Sedimente an Standorten mit dichter Bedeckung durch *Fucus vesiculosus f. balticus* ist nicht höher als an benachbarten Standorten ohne *Fucus vesiculosus f. balticus*.
- VII Die Sedimente werden im Verlauf der Vegetationsperiode mit dem Aufwachsen der Makrophyten feiner und ihr Anteil des organischen Gehalts erhöht sich.

2 Untersuchungsgebiete

Das vorliegende Kapitel wurde gemeinschaftlich mit drei weiteren Diplomandinnen des BACOSA-Projektes verfasst.

2.1 Hiddenseer Boddengewässer (Antje Kerkow, Caroline Lindner)

Die Insel Hiddensee liegt langgestreckt mit einer Nord-Süd-Ausdehnung von 16,6 Kilometern und einer WO-Ausdehnung von maximal 2 Kilometern nordöstlich der Halbinsel Fischland-Darß-Zingst und westlich der Insel Rügen. Auf ihrer Westseite ist sie von der offenen Ostsee, genauer betrachtet von ihrer großräumlichen Einheit Arkonasee, umgeben.

Die Arkonasee hat einen Salzgehalt von 7-9 PSU im Oberflächenbereich und 13 bis 21 PSU am Grund (?) und wird durch die Darßer Schwelle, einer Erhebung zwischen dem Darß und dem dänischen Gedser, von der östlich angrenzenden Beltsee getrennt (BIELE, 1997). Die Darßer Schwelle bildet aufgrund einer sprunghaften Änderung des Salzgehaltes eine natürliche ökologische Ausbreitungsgrenze für zahlreiche Organismen (BIELE, 1997).

Auf der Ostseite Hiddensees befinden sich mit einer Fläche von 170 km² die flachen westrügenschen Boddengewässer, die Gegenstand dieser Studie waren. Zu ihnen gehören der Vitter Bodden nördlich der Fährinsel mit der angrenzenden Griebener Bucht und der Schaproder Bodden, der sich von der Fährinsel bis zum Gellen, der Südspitze Hiddensees, erstreckt.

Der Einstrom in die Hiddenseer Boddengewässer erfolgt, je nach Windbedingungen, aus unterschiedlichen Richtungen. Im Norden bringt der Rassower Strom Wasser aus dem Libben, dem tiefen Einsnchnitt zwischen der Rügener Halbinsel Bug und dem Nordende Hiddensees. An der Südspitze Hiddensees strömt Wasser aus der offenen Ostsee über den Gellenstrom ein, der Barther Strom hingegen bringt durch Zuflüsse stark ausgesüßtes Wasser aus der sonst abgeschlossenen Darß-Zingster-Bodenkette. Ein größerer Zustrom von salzhaltigem Wasser erfolgt bei Einstrombedingungen aus dem Greifswalder Bodden über den Strelasund (?).

? fand bei 1000 Beobachtungen heraus, dass in der Region insgesamt Winde aus westlicher Richtung dominieren und einen Anteil von 45 % an allen örtlichen Stürmen haben. Dabei kann stark salziges Tiefenwasser aus der Arkonasee über den 4-5 m tiefen Gellenstrom hereingedrückt werden (?). Des Weiteren kommen 18 % der Stürme aus Nordwest und 17 % aus Südwest. In der sturmärmsten Jahreszeit, dem Frühling, gewinnen jedoch auch Nord- und Nord-Ost-Stürme an Bedeutung (?).

Neben den Zugängen zur Ostsee stehen die Hiddenseer Bodden mit der Nordrügenschen Boddenkette in Verbindung, die keinen weiteren Zustrom als über den Vitter Bodden und den Rassower Strom erfährt und die eine geringe Süßwasserzufluss von 41 Millionen m³ über den Karower Mühlenbach erhält.

2.1.1 Vitter Bodden (Bozena Nawka, verändert)

Der Vitter Bodden erstreckt sich zwischen 54° 32' 40" N und 54° 35' 51" N und zwischen 13° 6' 29" E und 13° 9' 37" E (?). Die 12,4 km² große Wasserfläche mit einer mittleren Tiefe von 1,4 m (CORRENS, 1976) und einer maximalen Tiefe von 6 m (BIELE, 1997) liegt im Nationalpark Vorpommersche Boddenlandschaft.

Der Vitter Bodden wird vom nördlichen Teil der Insel Hiddensee mit dem Dornbusch, einem am Ende des Weichselglazials entstandenen Stauchmoränen-Lobus, und von den holozänen Ablagerungen des Alten und Neuen Bessins eingerahmt (?). Im Süden ist er durch die Fährinsel-Schwelle, ein nur durch die Fahrrinne vertieftes Flachwassergebiet über Geschiebemergel, vom Schaproder Bodden abgegrenzt (?). Im Bereich der Fährinsel hebt sich der Geschiebemergel bis etwa 1 m unter Flur, während er sich westlich der Fährinsel und im mit holozänen Ablagerungen aus Mudden und Sanden gefüllten Becken des Vitter Boddens auf mehr als 20 m absenkt (?). Nach BACHOR (2005) beträgt der mittlere Salzgehalt des Vitter Boddens 8,8 PSU und liegt nach dem Venedig-System im β -mesohalinen Bereich (?), was durch eigene Messungen von 8,02 - 8,28 PSU (August und September 2013) bestätigt werden konnte.

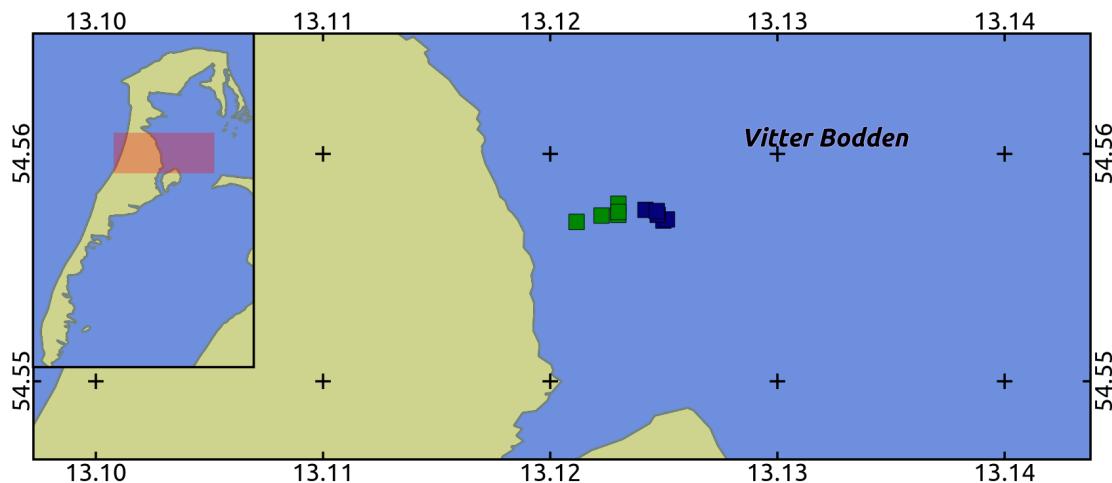


Abbildung 2: Probenahmepunkte Vitte; Markierungen: grün = dichte Vegetation, blau = spärliche Vegetation; Maßstab: 1:160.000

Die Probennahmestandorte lagen im Flachwasserbereich südlich des Vitter Hafens und nördlich der Fährinsel. Hier ist das Befahren mit motorbetriebenen Wasserfahrzeugen laut Nationalparkverordnung verboten (?).

Der makrophytendominierte Standort mit einer mittleren Wassertiefe von 0,83 m zeigt eine dichte Bedeckung der lose auf dem Boden aufliegenden Braunalge *F. vesiculosus f. filiformis*. Darin zahreich eingestreut sind winterannuelle Myriophylliden und Parvopotamiden. Der Makrophytenarme Standort hingegen ist auf einer kleinen Sandbank mit einer mittleren Wassertiefe

von 0,62 m gelegen. Hier wachsen vereinzelt Parvopotamiden und die erst später im Jahr aus den Oosporen auskeimenden Chariden.

2.1.2 Griebener Bucht (Milena Kafka, verändert)

Die Griebener Bucht ist Teil des Vitter Bodden und liegt im Nordosten der Insel Hiddensee. Sie ist nur im Süden zum Vitter Bodden hin geöffnet, ansonsten umschlossen von Land. Im Westen liegt der Ort Grieben und im Osten die Bessinsche Schaar (?). Durch die vorwiegenden Westwinde wird Geschiebemergel aus dem Pleistozän vom Nordufer der Insel abradiert und in südöstliche Richtung durch Hakenbildungen (Alt- und Neu-Bessim) abgelagert (?).

Der Alt-Bessim begann vor 300 bis 500 Jahren zu wachsen, während sich der vorgelagerte Neu-Bessim erst seit etwa 100 Jahren bildet und jährlich 30 bis 60 m wächst (?). Nach ? würden der Bug und der Altbessim zusammenwachsen, wenn für die Schiffahrt zwischen Hiddensee und Rügen die Libben-Fährrinne nicht ausgebaggert werden würde.

Die Griebener Bucht ist im Mittel etwa 1 m tief (??) und als Schutzgebietszone I des Nationalparks ausgewiesen, die das Befahren mit Wasserfahrzeugen, Angeln und Baden untersagt. Ihre Salinität beträgt 8,11 – 8,66 PSU (eigene Messungen von Juli bis September) und gehört nach ? ebenso wie der Vitter Bodden zur β – mesohalinen Zone.

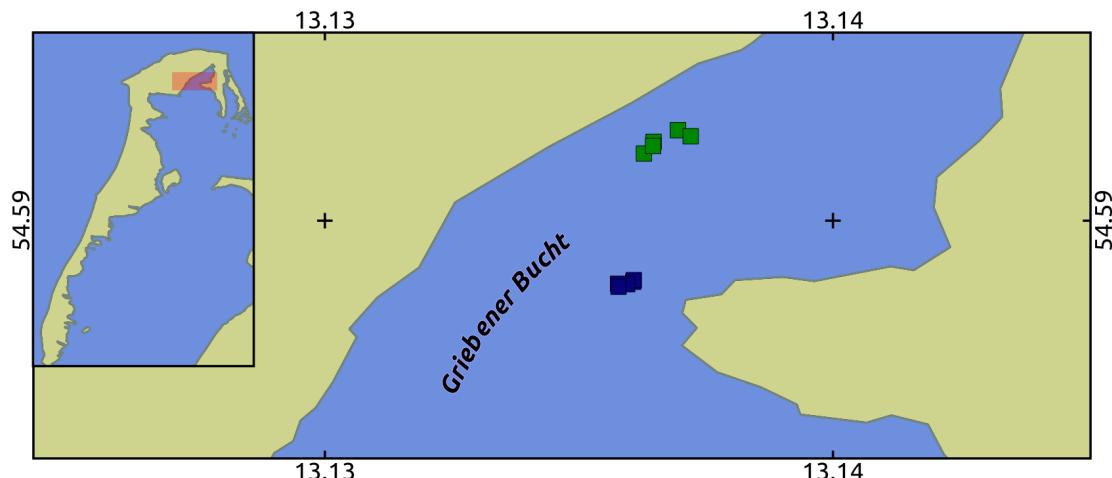


Abbildung 3: Probenahmepunkte Griebener Bucht bei Hiddensee; Markierungen: grün = dichte Vegetation, blau = spärliche Vegetation; Maßstab: 1:6700

Der makrophytendominierte Standort für die Probenahmen befand sich 80 m vom Ufer entfernt am Nordende des Ortes Grieben und die mittlere Wassertiefe dort beträgt 0,87 m. Hier zeigt sich ein Mosaik aus Parvopotamiden, insbesondere mit *Ruppia cirrhosa* als rasenhaft bestandsbildende Art, aus Chacaren und *Fucus vesiculosus* f. *filiformis*. Der makrophytenarme Standort befand sich mit einer mittleren Tiefe von 0,65 m 300 m südöstlich nahe der Ausbuchtung des Alten Bessins. Hier fanden sich vereinzelt Characeen, Parvopotamiden und lose Bällchen des baltischen Blasentangs.

2.2 Weitere Buchten und Bodden entlang des Salzgradienten

Es wurden in zwei Bundesländern insgesamt fünf Standorte von West nach Ost ausgewählt: die Geltinger Bucht in der Flensburger Förde, die Orther Bucht südlich der Insel Fehmarn, das Salzhaff in der Wismarer Bucht, der Vitter Bodden bei Hiddensee und die Spandowerhagener Wiek bei Usedom.

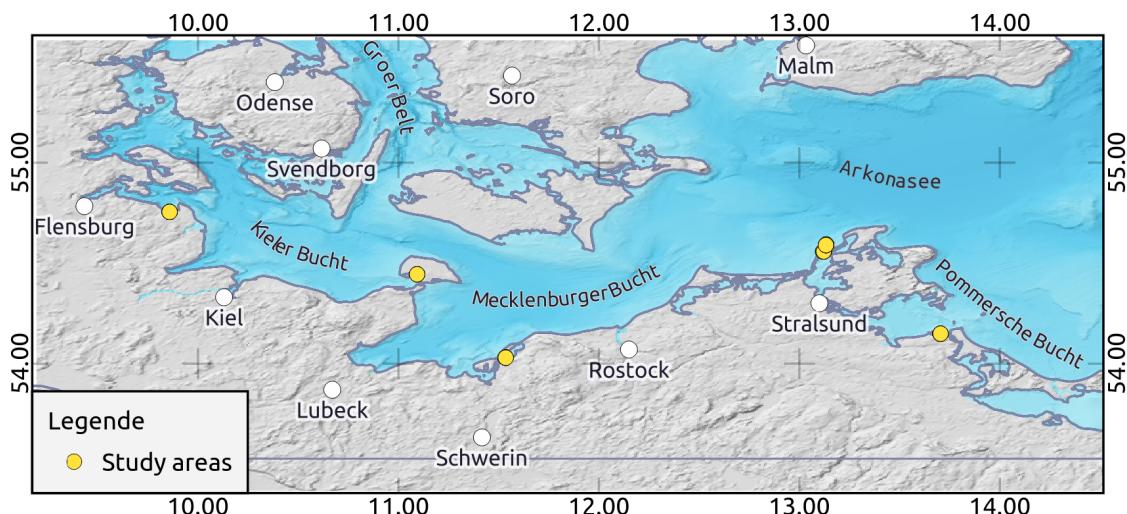


Abbildung 4: Probenahmestandorte entlang des Salzgradienten, von links nach rechts: Geltinger Bucht, Orther Bucht, Salzhaff, Hiddensee (Vitter Bodden und Griebener Bucht), Spandowerhagener Wiek; Maßstab: 1:1700000

2.2.1 Geltinger Bucht (Antje Kerkow)

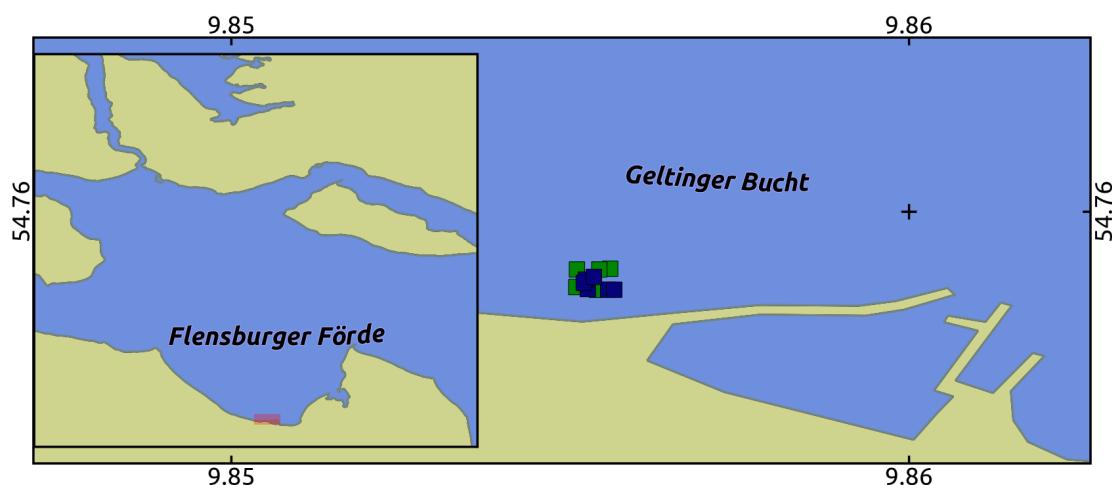


Abbildung 5: Probenahmepunkte Geltinger Bucht; Markierungen: grün = dichte Vegetation, blau = spärliche Vegetation; Maßstab: 1:5000

Die Geltinger Bucht ist ein südlicher Ausläufer der Flensburger Außenförde mit einer West-Ost-Ausdehnung von 7,3 km und einer Nord-Süd-Ausdehnung von 5 km. In ihrem Außenbereich ist sie 20 m tief (?), jedoch verfügt sie auch über Steinriffe und ausgedehnte Flachwasserzonen mit Seegrasbeständen (?).

Die Bucht entstand durch den Rückzug des Gletschereises der Weichseleiszeit. Durch Randmoränen entstanden Höhenzüge, die die Bucht in NNW und SSE-Richtung keilförmig einschlossen. Das Grundmoränenbecken dazwischen wurde während des Meeresspiegelanstieges der Litorinatransgression mit Wasser gefüllt (?).

Der Salzgehalt der Geltinger Bucht wird beeinträchtigt durch Stürme, die salziges Ostseewasser über die Holnisschwelle drücken und damit das Tiefenwasser erneuern (?). Der Süßwassereinstrom in die Flensburger Förde ist mit 30 km³/Jahr (?) dagegen gering. Das Wasser im tiefen Zentral- und Außenbereich der Bucht ist saisonal geschichtet und wird als meso-polyhalin eingestuft (?). ?? maßen Salzgehaltswerte zwischen 20 und 26 PSU für das Wasser am Grund und 15 bis 20 PSU für das Oberflächenwasser. Die küstennahen Bereiche hingegen werden als mesohalines äußeres Küstengewässer eingestuft. Zum Zeitpunkt der eigenen Untersuchung betrug der Salzgehalt dort zwischen 9,8 und 10,1 PSU.

Der Vegetationsbewuchs der Bucht ist geprägt durch ein dichtes Vorkommen der Arten *Fucus vesiculosus* und *Ruppia cirrhosa*. Zwischen 1900 und 1950 wurde ebenfalls das Vorkommen von *Chara aspera*, *Chara baltica*, *Lamprothamnium papulosum*, *Zannichellia palustris*, *Chorda filum* und *Fucus serratus* dokumentiert (?).

2.2.2 Orther Bucht (Antje Kerkow)

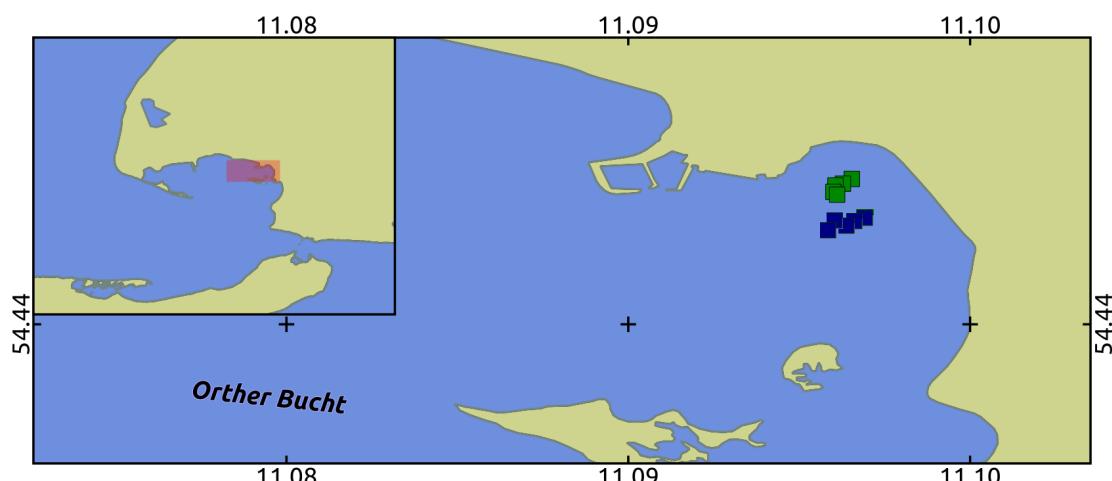


Abbildung 6: Probenahmepunkte Orther Bucht; Markierungen: grün = dichte Vegetation, blau = spärliche Vegetation; Maßstab: 1:10000

Die Orther Bucht liegt mit einer maximalen Tiefe von 4,1 m (?) an der Südwest- Seite der Insel Fehmarn. Die Landschaft in dieser Region ist ein Jungmoränengebiet des Schleswig-

Holsteinischen Hügellandes, das von der Weichseleiszeit geformt wurde. Die Bucht misst 4,8 km in ihrer West-Ost- und 2,8 km in ihrer Nord-Süd-Ausdehnung und wird halb umschlossen von der Nehrungshalbinsel Krummersteert. Diese entstand durch die Abtragung von Sand und Geschiebemergel an der Nordwest-Seite der Insel, wo durch die kräftige Brandung das Material gelockert und mit der Strömung in südliche Richtung abtransportiert wird (?). Die Orther Bucht wird eingestuft als mesohalines inneres Küstengewässer (?) und zeigte zum Zeitpunkt der Untersuchung einen Salzgehalt zwischen 11,0 und 11,5 PSU auf. Die Vegetation ist sehr artenreich, so bilden wurzelnde Arten, insbesondere Characeen, dichte Bestände bis 1 m Wassertiefe, während in 2 bis 3 m Tiefe *Zostera marina* die bestandsbildende Art ist. In einer umfangreichen Vegetationskartierung 2004 wurden folgende Arten gefunden: *Tolypellia nidifica*, *Chara aspera*, *Chara baltica*, *Chara canescens*, *Lamprothamnium papulosum*, *Ruppia maritima*, *Zostera marina*, *Zannichellia palustris*, *Potamogeton pectinatus*, *Chorda filum* und *Fucus vesiculosus*. Zudem wurden 1951 auch die Arten *Ruppia cirrhosa* und *Fucus serratus* vorgefunden (?).

2.2.3 Salzhaff (Caroline Lindner, verändert)

Das Salzhaff liegt im Nordwesten des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern im Bereich der Koordinaten 54° 2' 22" N bis 54° 5' 37" N und 11° 31' 26" E bis 11° 37' 1" E (?), nordöstlich der Stadt Wismar und per Luftlinie etwa 35 km von Rostock entfernt. Es bildet den Nordostteil der Wismar-Bucht, die zur Mecklenburger Bucht gehört und ist Teil der großräumigen Einheit Beltsee BIELE (1997).

Das Salzhaff wird im Nordwesten durch die Halbinsel Wustrow und die Insel Kieler Ort und im Südwesten durch die Halbinsel Boiensdorfer Werder von der Wismarer Bucht getrennt. Im Süden des Salzhaffs liegt das mecklenburgische Festland.

Die 1,5 km breite und 4 m tiefe Kielung zwischen Kieler Ort und Boiensdorfer Werder verbindet das Salzhaff mit der Wismarer Bucht. Seit 1987 gibt es an der schmalsten Stelle des Kieler Ortes infolge eines sturmbedingten Durchbruchs, der den Haken Kieler Ort von Wustrow trennte, eine zweite Verbindung zur Wismar-Bucht (?).

Das Salzhaff nimmt eine Fläche von 20 bis 22 km² ein und hat von Südwest nach Nordost eine Länge von 12 km. Der vorspringende Tessmannsdorfer Haken teilt das Salzhaff in eine äußere Bucht im Südwesten mit einer Tiefe von bis zu 5 m und in eine innere Bucht im Nordosten, die eine Tiefe von bis zu 3 m erreicht (?). Die tiefste Verbindung der beiden Buchten bildet der Ellbogen, eine Rinne von etwa 30 m Breite und 2 m Tiefe (?). Die mittlere Tiefe des Salzhaffs liegt bei 2,3 m. Die maximale Tiefe beträgt 10 m und befindet sich nordöstlich des Boiensdorfer Werders (?). Der einzige Süßwasserzufluss ist der Hellbach, der in die innere Bucht mündet, jedoch zu keiner nennenswerten Verringerung des Salzgehaltes führt (?). Die Mecklenburger Bucht und das Salzhaff unterliegen Salzgehaltsschwankungen, da sie über den Fehmarn Belt mit dem Kattegat und Skagerrak verbunden sind. Daher kamen, wie im Jahr 1994, schon Schwankungen von 8 bis

18 PSU vor. In der Regel liegt der Salzgehalt jedoch über 10 PSU (?). Im Juni 2013 konnte dies mit eigenen Messungen von 10,7 PSU im äußeren Salzhaff nachgewiesen werden. Das Salzhaff liegt demnach im α -mesohalinen Bereich (?).

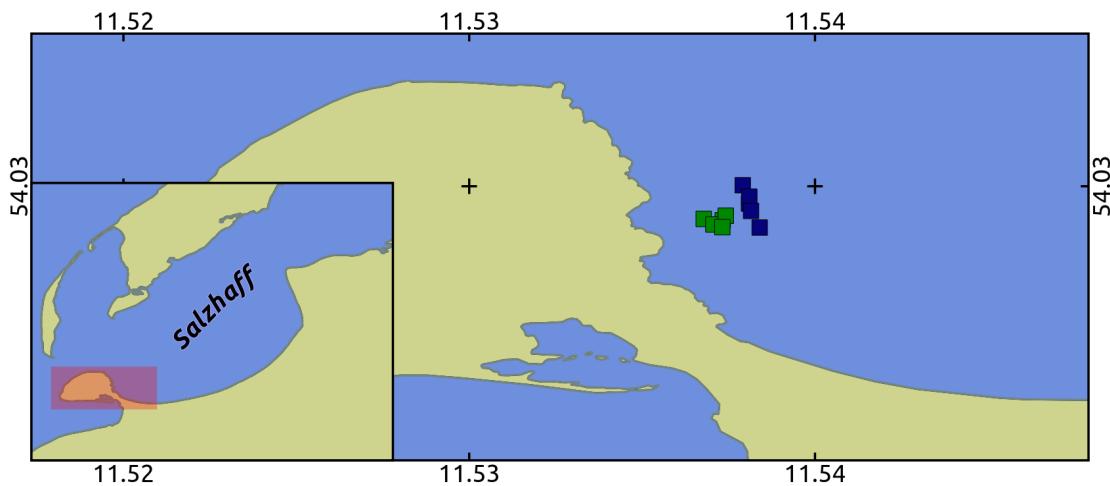


Abbildung 7: Probenahmepunkte Salzhaff; Markierungen: grün = dichte Vegetation, blau = spärliche Vegetation; Maßstab: 1:10000

2.2.4 Spandowerhagener Wiek (Caroline Lindner, verändert)

Die Spandowerhagener Wiek liegt im Nordwesten der Insel Usedom im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern, etwa 22 km (Luftlinie) von der Stadt Greifswald entfernt, zwischen den Koordinaten $54^{\circ} 8' 58''$ N bis $54^{\circ} 9' 40''$ N und $13^{\circ} 41' 55''$ E bis $13^{\circ} 45' 6''$ E (?). Es handelt sich um eine Bucht, die die Mündung des nördlichen Peenestroms mit dem Greifswalder Bodden verbindet. Sie wird im Osten von der Insel Usedom und im Westen vom vorpommerschen Festland sowie der Insel Struck begrenzt.

Die Wiek gehört zum Naturschutzgebiet „Peenemünder Haken, Struck und Ruden“ (?). Das Becken ist flach und wird sowohl von der ausgesüßten Zufuhr der Peene als auch von salzhaltigem Wasser des Greifswalder Boddens gespeist. Es nimmt eine Fläche von $5,4 \text{ km}^2$ ein (?) und erreicht von Nordwest nach Südost eine maximale Länge von 4 km.

Der Greifswalder Bodden ist mit seinen durchschnittlich 5,8 m etwas tiefer als die flache Spandowerhagener Wiek (?), deren Tiefe bei Struck 2,2 m beträgt (BARTELS/KLÜBER, 1998) und gegenüber im Süden der Wiek bei Freest eine mittlere Tiefe von 1,2 m aufweist (BUCKMANN ET AL. 1998). Der Flachwasserbereich ist durch die Fahrinne der Peene und der etwa 4 m tiefen Rinne zum Kühlwasserkanal des ehemaligen Kerkraftwerks Nord durchzogen (?).

Je nach Wasserstand kommt es im Bereich der Peenemündung und des Peenestroms zu salzhaltigem Einstrom aus dem Greifswalder Bodden oder zum Ausstrom von Wasser geringer Salinität aus der Peene (BUCKMANN ET AL., 1998). Dadurch kann der Salzgehalt im nördlichen Peenestrom und damit in der Spandowerhagener Wiek zwischen 1 und 8,5 PSU erheblich schwanken (?).

Im Bereich der Spandowerhagener Wiek bei dem Ort Freest wurde eine sprunghafte Abnahme des Salzgehaltes von etwa 6 bis 9 PSU im Greifswalder Bodden auf 3 PSU im Mündungsgebiet festgestellt (?). Untersuchungen im Rahmen des BACOSA-Projektes im Juli 2013 am Westufer nahe Spandowerhagen ergaben einen Salzgehalt von 2,7 PSU. Damit liegt die Spandowerhagener Wiek im α - oligohalinen Bereich.

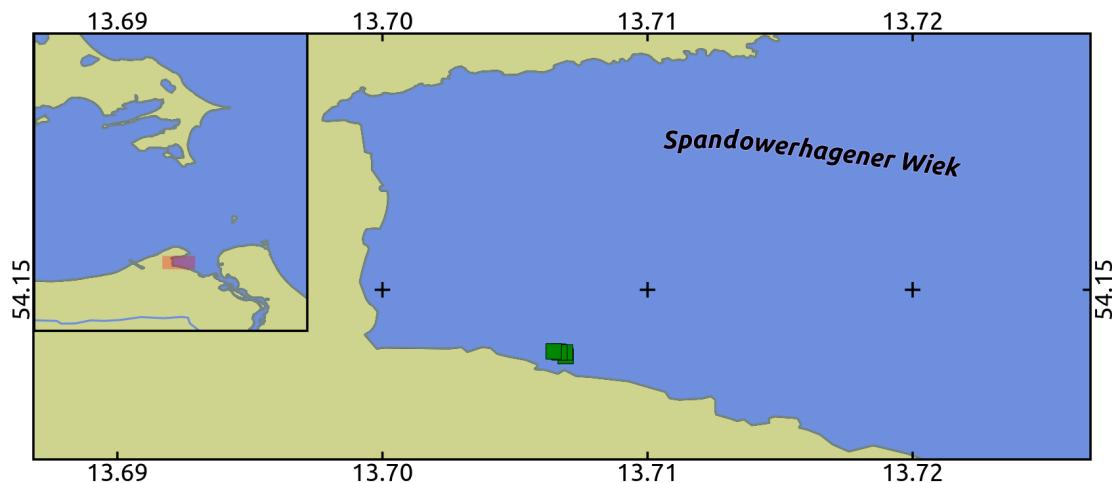


Abbildung 8: Probenahmepunkte Spandowerhagener Wiek; Markierungen: grün = dichte Vegetation, größere vegetationsfreie Flächen sind nicht vorhanden; Maßstab: 1:13000

3 Methoden

3.1 Probenahmen

Im Hauptuntersuchungsgebiet, in den Boddengewässern östlich Hiddensees gelegen, erfolgte eine umfassende Studie der Zusammenhänge vieler Einzelparameter und der Einfluss der Zeit mitberücksichtigt werden. Hier wurden jeweils an zwei Standorten fünf mal der Wuchs der Vegetation im Verlauf der Wachstumssaison von Juni bis September untersucht, davon zwei mal zusätzlich die Biomasse. Das Sediment wurde drei mal im Verlaufe der Saison untersucht. Parallel erfolgten Studien zu Strömungsverhältnissen, gelöstem Sediment in der Wassersäule und zu Phyto- und Zooplankton, ebenfalls fünf mal im Jahr an den gleichen Standorten.

Die Studie erfolgte in Gemeinschaftsarbeit von fünf Wissenschaftlerinnen, dabei wurden die Probenahmetermine für verschiedene Untersuchungen möglichst zeitnah miteinander verbunden, sodass bei der Auswertung des Datenmaterials aufeinander Bezug genommen werden konnte (Die genauen Termine sind in Tabelle 1 notiert.). Für die Befahrung und Beprobung der Standorte innerhalb des Nationalparkes lag eine Genehmigung der Aufsichtsbehörde des zuständigen Nationalparkamtes vor.

Zusätzlich zu den Hiddenseer Bodden wurden einmalig im Juni und Juli an 4 Standorten entlang des Salzgradienten in flachen Buchten und Boddengewässern der Ostsee in Zusammenarbeit mit weiteren Wissenschaftlern der Universitäten Rostock und Kiel Vegetation, Sediment, Phytoplankton und suspendiertes Material untersucht (Probenahmetermine siehe Tabelle 2.).

An jedem Standort wurde zwischen 2 Gruppen unterschieden: eine mit dichter Vegetation (über 50 % Deckung) und eine ohne oder nur mit spärlicher Vegetation (nicht mehr als 2 % Deckung zu Beginn der Studie). In jeder Gruppe gab es fünf Messparallelen. Diese waren Plots der Größe zwei mal zwei Meter, die circa acht bis zwölf Meter voneinander entfernt lagen und die jeweils homogen in ihrem Vegetationsbild waren. Um diese Flächen im Jahresverlauf untersuchen zu können, waren sie jeweils an ihrer Südwest-Ecke mit einer nummerierten Schwimmboje markiert.

Es wurde versucht, die Gruppen möglichst nah aneinander und in der gleichen Wassertiefe zu platzieren, jedoch ließ sich dies nur bedingt in der Praxis umsetzen. Damit sich die Vegetation zwischen den Gruppen deutlich unterschied, mussten sie 30-300 m voneinander entfernt liegen, was zum Beispiel in der 54 m schmalen Griebener Bucht bedeutet, dass sich die Gruppen auf unterschiedlichen Seiten der Bucht befanden.

3.2 Vegetationskartierung

Um die Vegetation (und weitere Parameter) zu untersuchen, wurden die Plots mit einem motorisierten Ruderboot von der Lee-Seite angefahren, wobei unmittelbar in der Nähe eines Plots der Motor möglichst nicht in Betrieb genommen wurde. Der Anker wurde so geworfen, dass er weit

Tabelle 1: Übersicht Untersuchungen und Probenahmetermine

Nr.	Date	Vitte	Date	Grieben
1	Jun 04	Vegetation	Jun 09	Vegetation
	Jun 05	Susp. Material, Plankton	Jun 11	Susp. Material, Plankton
	Jun 05	Sediment	Jun 11	Sediment
2	Jul 03	Vegetation	Jul 05	Vegetation
	Jul 03	Susp. Material, Plankton	Jul 05	Susp. Material, Plankton
	Jul 06	Biomass	Jul 05	Biomass
3	Jul 05	Sediment (F. Bitschofsky)		
	Aug 01	Susp. Material, Plankton	Jul 30	Susp. Material, Plankton
	Aug 01	Sediment	Jul 30	Sediment
	Aug 06	Vegetation	Aug 07	Vegetation
4	Aug 06	Biomass	Aug 07	Biomass
	Aug 19	Susp. Material, Plankton	Aug 17	Susp. Material, Plankton
	Aug 19	Sediment	Aug 17	Sediment
5	Aug 21	Vegetation	Aug 21	Vegetation
	Sep 16	Susp. Material, Plankton	Sep 16	Susp. Material, Plankton
	Sep 22	Vegetation	Sep 22	Vegetation

genug entfernt war, um kein Sediment über der Fläche aufzuwirbeln und dass das Boot an der Lee-Seite der Fläche zum Stehen kam. Dann wurde (nach der Lichtmessung und der Wasserprobeentnahme für weitere Analysen) ein absenkbarer Aluminium-Vegetationsrahmen der Größe zwei mal zwei Meter so abgelegt, dass der Zementstein der Schwimmboje die Süd-West-Ecke des Plots einnahm.

Nun wurde per Schnorcheln die Vegetationsbedeckung insgesamt und für jede vorkommende Pflanzen-und Großalgenart geschätzt. Auch fädige Algen, wurden mit berücksichtigt und Proben davon eingepackt.

Zur Identifizierung der nicht ohne Hilfsmittel erkennbaren Arten, insbesondere der Characeen-

Tabelle 2: Eckdaten für die Standorte entlang des Salzgradienten

Location	Date	Mean Depth (+M / -M)	PSU	Salinity Range (Venice System 1959)
Geltinger Bucht	June 25	1,09 / 0,55	9,67 - 10,15	α -mesohaline
Orther Bucht	June 26	0,66 / -	10,34 - 11,49	α -mesohaline
Salzhaff	June 18	0,86 / 0,30	7,80 - 8,30	α -mesohaline
Vitter Bodden	July 03	0,83 / 0,62	8,02 - 8,28	β -mesohaline
Griebener Bucht	July 05	0,87 / 0,65	8,11 - 8,86	β -mesohaline
Spandowerhagener Wiek	July 02	0,84 / -	2,70 - 2,76	α -oligohaline

Arten, wurden anfänglich jeweils gleich aussehende Exemplare aus dem Plot-angrenzenden Gebiet entnommen und im Labor mit dem Binokular bestimmt, später im Jahr konnten sie bei guten Sichtverhältnissen ohne Hilfsmittel bestimmt werden. Die fädigen Algen wurden nur bestimmt, sofern sie als Bestand aus nur einer Art bestanden, jedoch nicht, wenn es sich um ein Geflecht unterschiedlicher Arten handelte.

Die Gefäßpflanzen wurden bestimmt nach ? und ? und die Algen nach ?.

Tabelle 3: Skala für die Schätzung der Makrophytenbedeckung

Code	Translation
0,5	<1 %
2	1-4 %
5	5 %
10	6-14 %
20	15-24 %
30	25-34 %
40	35-44 %
50	45-54 %
60	55-64 %
70	65-74 %
80	75-84 %
90	85-94 %
100	95-100 %

Die Schätzung der Deckungsgrade erfolgte nach einer Skala, die im Bereich der unteren Deckungsgrade an die Braun-Blanquet-Skala angepasst, jedoch im Bereich größerer Deckungen eine höhere Genauigkeit aufweist (Vgl. Tabelle 3).

Außerdem wurde eine Höhenstufenkartierung an jedem Plot durchgeführt. Hierbei wurde die Deckung der Vegetation insgesamt und für jede vorkommende Art in unterschiedlichen Abständen vom Grund geschätzt. Dabei wurden auf den Wuchshöhen 5 cm; 10 cm und alle weiteren zehn Zentimeter bis zur Oberfläche kartiert. Zur Orientierung dabei wurden zwei Stäbe gesetzt, die bis zur Null-Marke an zwei Plot-Enden ins Sediment gesteckt wurden und an denen Ösen für jede Wuchshöhe angebracht waren, in die eine Schnur eingespannt werden konnte. Die Deckungen wurden dann auf einem Unterwasserprotokoll notiert.

3.3 PV und PVI

Der Anteil des Pflanzenvolumens am Gesamtwasservolumen (Plant Volume Infested, PVI), wird nach ??CANFIELD ET AL. (1984) berechnet als

$$\frac{\text{Mittlere Wuchshöhe} * \text{Deckung}}{\text{Wassertiefe}}$$

Die mittlere Wuchshöhe, multipliziert mit der Deckung, wird auch als 'Area specific plant volume', PV, bezeichnet (?).

In dieser Studie wurde ein genaueres Verfahren angewendet, in dem die Deckungen aller Höhenstufen (vgl. Vegetationskartierung, Höhenstufenkartierung) bei der Berechnung berücksichtigt wurden:

$$PV = \sum_{i=a}^n \frac{H_i * C_i}{100} \quad H_i = \text{Länge einer jeden Höhenschicht}$$

$$C_i = \text{Deckung auf dieser Höhenschicht}$$

$$a - n = \text{Höhenstufen vom Boden}$$

$$\text{bis zur Wasseroberfläche}$$

$$PVI = \frac{PV}{\text{mittlere Wassertiefe}}.$$

3.4 Mittlere Wassertiefe

Die Wassertiefen wurden einmalig an jedem Plot mit dem Zollstock gemessen und zusammen mit der Uhrzeit notiert. Später wurde der aktuelle Pegelstand der nächstgelegenen Pegelmessstation und deren Mittelwasserstand recherchiert. Mit diesen Informationen konnte der mittlere Wasserstand für jeden Plot berechnet werden.

Die Pegelmessstationen für die jeweiligen Standorte waren Kappeln für die Geltinger Bucht, Heiligenhafen für die Orther Bucht, Timmendorf für das Salzhaff, Kloster für die Hiddenseeer Standorte und Stahlbrode für die Spandowerhagener Wiek. Die minutengenauen Wasserstände hielten die Wasser- und Schifffahrtsämter von Stralsund und Lübeck bereit. Die Mittelwasserstände stammen von der Webseite Pegelonline des **UND SCHIFFFAHRTSVERWALTUNG DES BUNDES (2013)**.

3.5 Biomasse

Um die Biomasse zu untersuchen, wurde ein 20 cm hoher quadratischer Stahlrahmen mit einer Kantenlänge von 50 cm angefertigt. Dieser wurde in ungefähr einem halben Meter Abstand zum Hauptplotuntersuchungs-Plot auf dem Boden abgesetzt und leicht ins Sediment eingedrückt. Bei der Auswahl der benachbarten kleineren Fläche, nachfolgend als Miniplot bezeichnet, wurde darauf geachtet, dass sich das Vegetationsbild möglichst wenig von dem im Hauptuntersuchungs-Plot unterscheidet.

Die Biomasse wurde schnorchelnd mit einer Harke abgeerntet und in einen Angelkescher gefüllt, wobei der Kescher ständig in einer leicht kreisenden Bewegung unter Wasser gehalten wurde, sodass die Biomasse nicht entweichen konnte. Um sicher zu gehen, dass keine Biomasse übersehen wurde, wurde zum Schluss noch einmal ein paar Minuten abgewartet, bis sich die Trübung durch das aufgewirbelte Sediment gelegt hatte und eventuell noch einmal nachgeerntet. Durch die harkende Methode wurde nicht nur die oberirdische sondern auch die Wurzelbiomasse abgeerntet und ging in die Analyse mit ein.

Für den Transport wurde die Biomasse in Plastiktüten verpackt und im Labor möglichst rasch bearbeitet. Hierfür wurde sie gewaschen und Steine und Muscheln herausgesammelt. Anschließend wurde sie bei 105 °C so lange getrocknet, bis kein Gewichtsverlust durch weiteres Trocknen mehr beobachtet werden konnte. Anschließend wurden die Proben im Exsikkator abgekühlt und gewogen.

Für die Bestimmung des aschfreien Trockengewichtes wurden jeweils etwa 30 g Trockenbiomasse aus jeder Probe in Aluminium-Schalen, die vorher bei 500 °C erhitzt wurden, im Exsikkator abgekühlt sind und danach gewogen wurden, eingewogen. Proben aus Plots mit einer sehr geringen Menge Biomasse wurden vollständig verascht und bereits vor dem Trocknen in Schalen gefüllt, die auf diese Weise behandelt wurden. Die Subproben wurden dann bei 500 °C drei Stunden im Ofen verbrannt. Die lineare Anheizzeit betrug 3 Stunden. Dann wurden die Proben wieder im Exsikkator abkühlen lassen und erneut eingewogen. Das prozentuale aschfreie Trockengewicht [AFDW (%)] wurde dann berechnet als:

$$AFDW(\%) = \frac{100(B_d - B_b)}{B_d} \quad B_b = \text{Gewicht der Biomasse}$$

verascht bei 500°C

$$B_d = \text{Gewicht der Biomasse}$$

getrocknet bei 105°C

3.6 Sediment

3.6.1 Analytik in Gelände und Labor

Die Sedimententnahme unmittelbar neben jedem Plot erfolgte mittels eines Stechzylinders mit einem Innendurchmesser von 10 cm, welcher mit Hilfe eines langen Carbon-Rohres vom Boot aus in das Sediment gestoßen wurde. Mit Hilfe einer am Rohr angebrachten, handgefertigten Schelle wurde der Zylinder am Rohr angebracht. Anschließend wurde er mit einem Stopfen mit Rücklassventil oben verschlossen, circa 10 cm lotrecht ins Sediment geschoben und an die Oberfläche befördert, wobei das Rücklassventil beim Herausnehmen aus dem Wasser geschlossen gehalten und der Sedimentkern zusätzlich von unten mit einem Stopfen gesichert wurde.

Auf dem Boot wurde zuerst der obere Stopfen abgenommen und das im Zylinder überstehende Wasser mit einem Schlauch von circa 5 mm Innendurchmesser abgesaugt. Danach wurde der untere Stopfen entfernt und der Zylinder auf einem Ständer mit Gummistempel platziert. Das Sediment wurde mit dem Stempel aus dem Zylinder herausgedrückt und die obersten 2 cm mit einem Spatel abgenommen und zur weiteren Untersuchung im Labor in feste Tüten verpackt. Im Labor wurde jede Sedimentprobe zu einer Mischprobe verarbeitet, sichtbare Tier- und Pflanzenteile wurden herausgesammelt. Für die Bestimmung des Wassergehaltes wurden Aluminiumschälchen vorbereitet. Für 2 Stunden wurden sie bei 500 °C in den Ofen und danach in den Exsikkator zum Abkühlen gestellt. Anschließend wurden sie mit einer Feinwaage gewogen und das Gewicht notiert.

Aus den Mischproben wurden mit einer manuell vorn eingekürzten Spritze etwa 10 ml Probenmaterial entnommen und in die Aluminiumschälchen gefüllt. Anschließend wurden die Schalen mit dem Probenmaterial eingewogen. Danach wurde das Sediment 12 Stunden bei 105 °C getrocknet, im Exsikkator abgekühlt und erneut eingewogen. Anhand des Gewichtsunterschiedes der Probe vor und nach dem Trocknen konnte der prozentuale Wassergehalt ermittelt werden.

Um den organischen Gehalt in Form des aschfreien Trockengewichtes zu untersuchen, wurde das getrocknete Sediment aus den 10 ml-Proben 12 Stunden bei 500 °C in den Ofen gestellt, erneut im Exsikkator abgekühlt und eingewogen. Anschließend wurde der Anteil des Glühverlustes am Trockengewicht berechnet.

Für die Korngrößenanalyse wurden weitere 100 g des frischen Sedimentes abgewogen und nass gesiebt. Dafür wurde eine Siebkaskade mit mittleren Korngrößendurchlässen von 1000 µm, 500 µm, 250 µm, 125 µm und 63 µm verwendet. Der Anteil einer jeden Kornfraktion wurde in bei 105 °C getrocknete und danach eingewogene Aluminiumschälchen gefüllt und ebenso wie die 5 ml-Proben mindestens 24 Stunden bei 105 °C getrocknet und nach dem Abkühlen gewogen. Durch Aufaddieren aller Gewichte der getrockneten Korngrößen abzüglich des prozentualen Wassergehaltes konnte geschlussfolgert werden, wie groß der Anteil der Sedimentfraktion unter 63 µm Durchmesser war. Mit Hilfe dieser Werte konnten die Gewichte aller größeren Korngrößenfraktionen anteilig zur Summe der Gewichte aller Korngrößen berechnet werden.

Für die weitere statistische Auswertung wurden alle Korngrößenklassen mit dem negativen Logarithmus zur Basis 2 in ϕ -Werte umgerechnet. Zur Beschreibung der Korngrößenverteilungen wurden für jeden Plot an jedem Untersuchungstag Median, Mittelwert, Sortierung und Schiefe ausgerechnet und die Werte der jeweiligen Replikate für jedes Datum gemittelt.

Die Sedimentproben entlang des Salzgradienten wurden von Franziska Bitschofsky (BACOSA-Doktorandin der Universität Rostock) aus den Untersuchungsflächen entnommen und bearbeitet. Dabei wurde jeweils nur ein Sedimentkern pro Standort für die Korngrößenanalyse aus dem dichtbewachsenen und aus dem spärlich bewachsenen Bereich entnommen. Aus jedem Kern

wurden im Labor 3 Messparallelen untersucht. Die Nasssiebung, das Trocknen und Verbrennen erfolgten auf die gleiche Art wie bei den Hiddenseer Langzeitstandorten.

3.6.2 Berechnungen der Kennwerte

$$AFDW(\%) = \frac{100(S_d - S_b)}{S_d} \quad AFDW = \text{Aschfreies Trockengewicht}$$

S_b = Gewicht des Sedimentes

verascht bei 500°C

S_d = Gewicht des Sedimentes

getrocknet bei 105°C

$$L(\%) = \frac{100(S_w - S_d)}{S_w} \quad L = \text{Wassergehalt}$$

S_w = Gewicht des feuchten
Sedimentes

$$S_{d_i}(\%) = \frac{100 * S_{d_i}}{\sum_{k=a}^f S_{d_k}} \quad i = \text{Gewicht einer Korngrößen-}\\ \text{fraktion der Kategorien a-f}$$

$$S_{b_i}(\%) = \frac{100 * S_{b_i}}{\sum_{k=a}^f S_{b_k}}$$

$$S_{d_{<63}}(\%) = \frac{M - L(\%)}{100} - \sum_{k=a}^e S_{d_k} \quad M = \text{Gesamteinwaage Feucht-}\\ \text{probe}$$

$$\phi = -\log_2 \frac{d}{d_0} \quad d = \text{Korndurchmesser}$$

$$\tilde{x} = \phi_{50}$$

\tilde{x} = Median

$$\bar{x} = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \quad \bar{x} = \text{Mittelwert}$$

$$So = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6} \quad So = \text{Sortierung}$$

$$Sk = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2 * \phi_{50}}{2 * (\phi_{95} - \phi_5)} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2 * \phi_{50}}{2 * (\phi_{84} - \phi_{16})} \quad Sk = \text{Schiefe}$$

3.7 Datenanalyse und Kartenerstellung

Dateneingabe und Berechnungen erfolgten in Microsoft Office Excel 2007. Histogramme, Box-plots und Balkendiagramme wurden mit IBM SPSS Statistics 20 erstellt. Auch der Mann-Whitney-Test und der Kruskal-Wallis-Test wurden damit berechnet. Für multiple Vergleiche mit dem Dunn's-Test wurde das Programm GraphPad Prism 6 benutzt. Die Visualisierung der Regressionsmatrizen und die Bestimmung der besten multiplen Regressionsmodelle wurden mit Minitab 16 durchgeführt. Die Erstellung der Karten erfolgte mit QGIS 2.0.1.

4 Ergebnisse - Hiddenseer Standorte

4.1 Detaillierte Vegetationsstruktur

4.1.1 Vitte, dicht bewachsener Standort



Abbildung 9: Vegetation in Vitte, vegetationsdominierter Standort (links) und vegetationsarmer Standort (rechts), 0,25 m²- Miniplots, Aufnahme August 2013

Die Deckung in Vitte an den vegetationsdominierten Standorten betrug ganzjährig 100 %, wobei der baltische Blasentang *Fucus vesiculosus f. balticus* den Boden vollständig abdeckte. Zwischen dem baltischen Blasentang kam vereinzelt die ebenfalls nicht verwurzelte, kugelförmige Rotalge *Furcellaria fastigiata f. aegagropila* mit einer Deckung von 0,5 % während des gesamten Beobachtungszeitraumes vor. Während die sessilen Makroalgen im Juni bis maximal 5 cm- Wuchshöhe kartiert wurden, sind sie in der Hauptvegetationsperiode (Anfang Juli bis Mitte August) auch auf 10 cm Wuchshöhe mit einer Deckung von 50 % zu finden. Im weiteren Jahresverlauf nimmt die Deckung von *Fucus vesiculosus f. balticus* auf 10 cm Wuchshöhe allmählich wieder ab. Ende August waren es 40 % und Ende September 30 %.

Des Weiteren ist die Angiosperme *Potamogeton pectinatus* prägend für den Vitter makrophyten-dominierten Standort. Mit einer Deckung von 5 % im Mai bis 20 % im August findet sie sich an vielen Stellen zwischen dem dichten Makroalgentepich und wächst bis an die Wasseroberfläche, an der sich ihr langgestreckter, fadenartiger Wuchs fortsetzt. Insgesamt nimmt die Deckung der Art und die Dichte ihrer Verzweigungen vom Grund zur Oberfläche hin deutlich ab.

Auch die Angiosperme *Myriophyllum spicatum* findet sich vereinzelt zwischen den Makroalgen mit einer maximalen Deckung von 2 % Ende August. Auch diese zeigt ihre größte Dichte und die meisten Verzweigungen am Grund und nur wenige Äste reichen weiter als 10 cm in den Wasserkörper hinein. Ihre maximale Höhe Ende August beträgt 60 cm.

Im Mai und Juni war der Standort dicht bedeckt von Matten filamentöser Algen, die sich freischwimmend dicht am Grund zwischen den aufwachsenden Angiospermen befanden und später im Jahr verschwanden. Auch die Meerseite *Chorda filum*, eine 40-60 cm lange, fadenförmige Braunalge, war im Juni und Juli in alle Plots eingestreut, später im Jahr zog sie sich zusammen und

lag schließlich flach eingerollt der *Fucus*-Decke auf. Von Juli bis Ende August wurden zusätzlich Blaualgen-Zellkugeln der Art *Isactis plana* gefunden, die sich vor allem an *Myriophyllum spicatum* und *Potamogeton pectinatus* angeheftet hatten.

4.1.2 Vitte, spärlich bewachsener Standort

Dieser Standort war im Juni noch gänzlich unbedeckt. Anfang Juli zeigten sich erste wenige Sprösslinge von *Chara baltica* und *Chara canescens* auf 5 cm Wuchshöhe. Im August wuchs *Chara baltica* bis auf durchschnittlich 10 cm, an einigen Plots auch bis 0,5 cm Deckung auf, während die Bedeckung durch *Chara canescens* unverändert blieb. Zudem traten Anfang August *Potamogeton pectinatus* und *Myriophyllum spicatum* auf einer Wuchshöhe von 5 cm auf, sodass die Gesamtdeckung zu diesem Zeitpunkt 2-5 betrug.

Ende August bis Anfang September zeigten sich die höchsten Vegetationsbedeckungen mit 2-20 % bei dieser Untersuchungsgruppe. *Myriophyllum spicatum* und *Potamogeton pectinatus* wuchsen bei gleichbleibend geringer Deckung bis 10 cm auf und *Chara baltica* zeigt nun eine Deckung von 2-5 % auf 10 cm. An einem Plot expandierte *Chara canescens* und bedeckte dort 20 % des Grundes. Auch *Ruppia cirrhosa* trat dazu und bedeckte Ende August zu 0-2 % die Fläche. Im September war *Chara canescens* nicht mehr anwesend, dafür breitete sich *Ruppia cirrhosa* auf den Plots auf einer Höhe von maximal 5 cm mit Deckungsgraden von 0-20 % aus. Auch Seegras (*Zostera marina*) zeigte sich Ende August und Anfang September stellenweise auf den Plots.

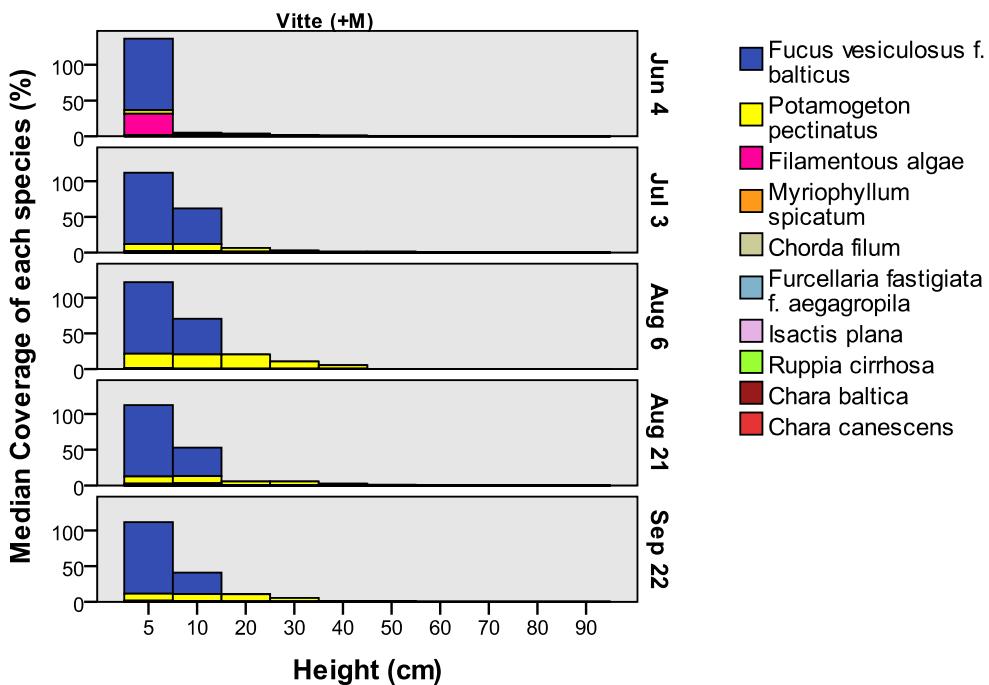


Abbildung 10: Deckungen aller Arten auf Höhenstufen vom Grund bis zur Oberfläche, Vitte, dicht bewachsener Standort

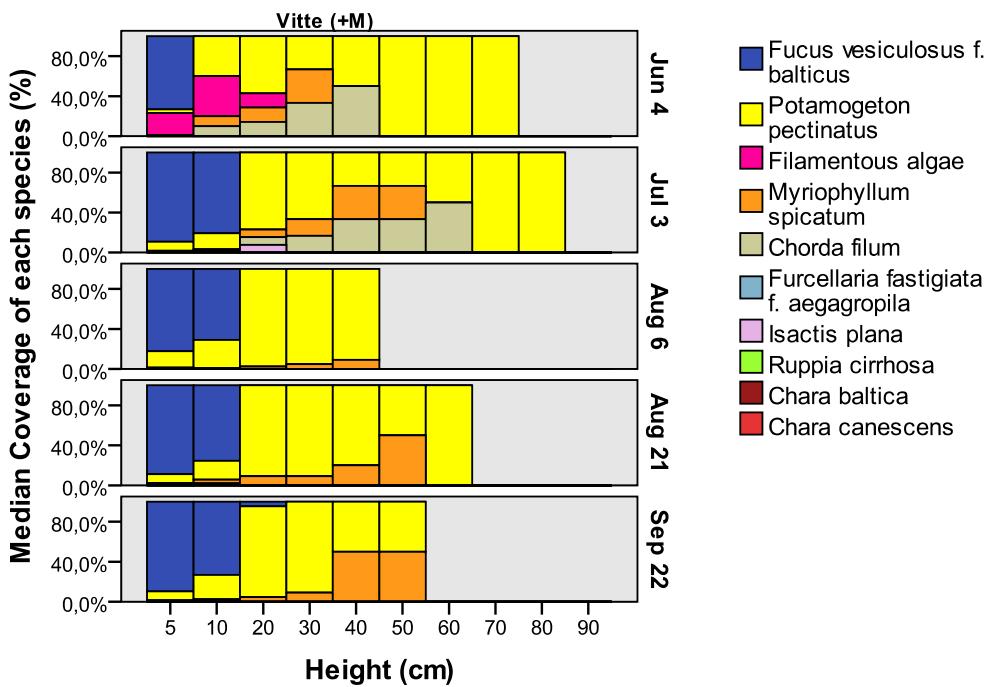


Abbildung 11: Prozentuale Deckungen aller Arten, bezogen auf die Gesamtdeckung auf jeder Höhenstufe, vom Grund bis zur Oberfläche, Vitte, dicht bewachsener Standort

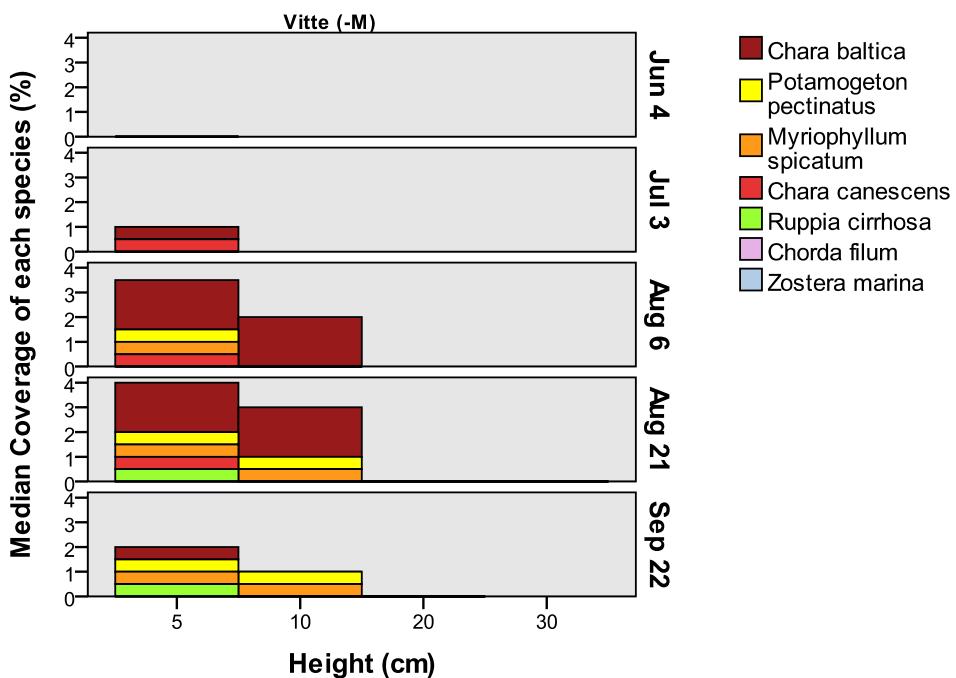


Abbildung 12: Deckungen aller Arten auf Höhenstufen vom Grund bis zur Oberfläche, Vitte, spärlich bewachsener Standort

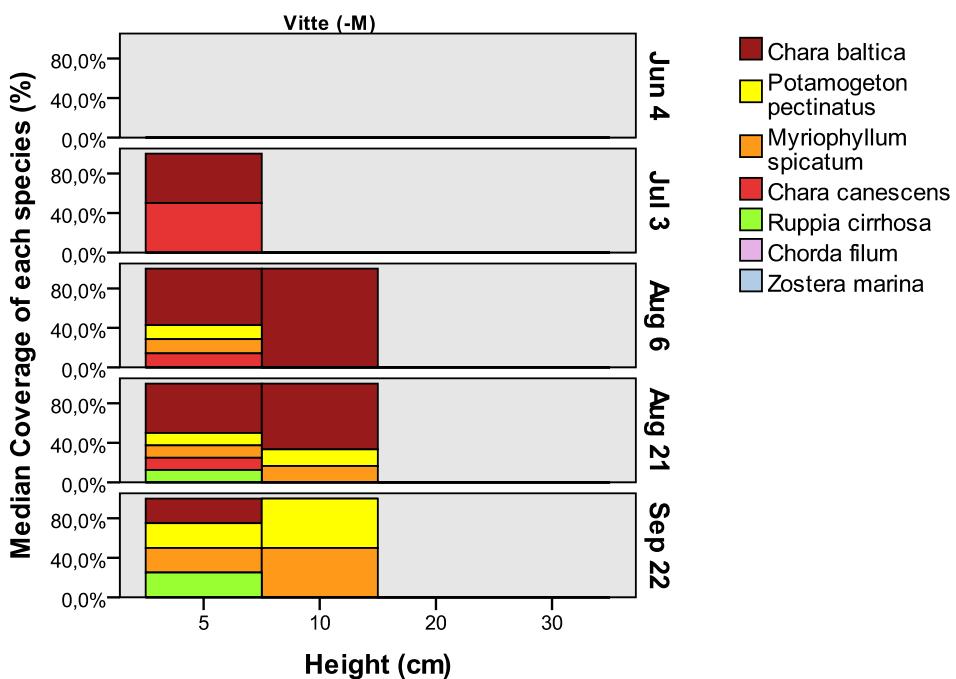


Abbildung 13: Prozentuale Deckungen aller Arten, bezogen auf die Gesamtdeckung auf jeder Höhenstufe vom Grund bis zur Oberfläche, Vitte, spärlich bewachsener Standort

4.1.3 Grieben, dicht bewachsener Standort

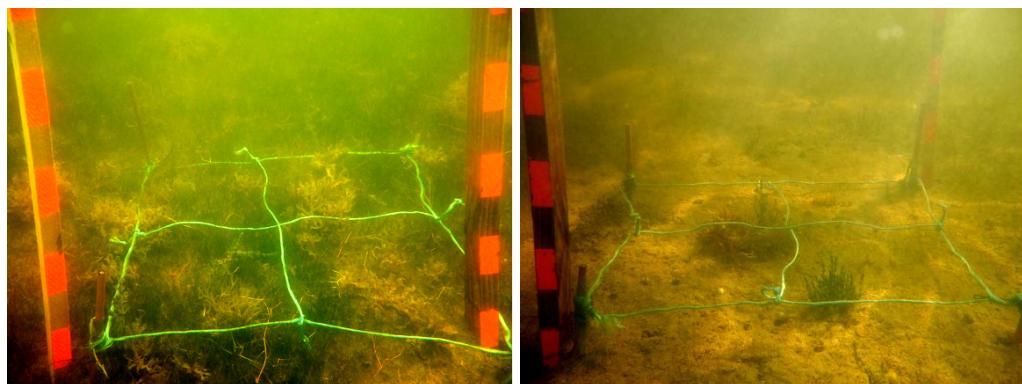


Abbildung 14: Vegetation in Grieben, vegetationsdominierter Standort (links) und vegetationsarmer Standort (rechts), 0,25 m²- Miniplots, Aufnahme August 2013

Die Vegetation am dicht bewachsenen Standort in Grieben ist sehr vielfältig. Im Verlauf der Wachstumssaisong wurden 11 Pflanzenarten kartiert, deren jeweiliges maximales Vorkommen sich abwechselt. Anfang Juni war der Standort zu 30-50 % bedeckt, davon machten ineinander verwobene, fädige Mikroalgen verschiedener Stämme und Arten mit 20-40 % den größten Anteil aus. Sie schwebten lose oder waren zwischen den Makrophyten verhakt. Die dominanten Makrophyten waren *Ruppia cirrhosa* (10-20 % Deckung) und *Fucus vesiculosus* mit 2-10 % Deckung. An einem Plot war der Anteil von *Fucus vesiculosus* mit 40 % höher. Außerdem wurden jeweils mit geringen Deckungsgraden die Arten *Potamogeton pectinatus* und *Myriophyllum spicatum* sowie *Chara baltica* und *Chorda filum* gefunden. Insgesamt nimmt die Deckung im Juni überhalb 5 m Höhe vom Grund stark ab. Ab 20 cm Wuchshöhe kommen nur noch *Potamogeton pectinatus* und die fadenförmige Alge *Chorda filum* mit jeweiligen Deckungen unter einem Prozent vor. Im Juli ging der Anteil filamentöser Algen stark zurück. Sie wurden ans Ufer gespült und starben dort ab. Die Bestände wurden nun hauptsächlich durch die rasig wachsende schraubige Salde *Ruppia cirrhosa* (im Mittel 40 % Deckung) und durch *Potamogeton pectinatus* (10-30 % Deckung) gebildet. Während *Ruppia cirrhosa* auf 5 cm-Wuchshöhe beschränkt bleibt, ist *Potamogeton pectinatus* deutlich aufgewachsen. Die Pflanzen verzweigen sich im unteren Bereich am Grund und das Volumen nimmt zur Oberfläche hin ab. Auf 10 und 20 cm deckt *Potamogeton pectinatus* durchschnittlich 10 bzw. 2 % der Fläche ab. Mit bis zu 10 % Deckung und bis zu 20 cm tritt erstmals *Chara horrida* im Juli auf.

Anfang August beträgt die Gesamtdeckung auf den Plots bereits 60 bis 70 %. Mit im Mittel 30 % Deckung hat sich *Fucus vesiculosus f. balticus* ausgebreitet und ist bis auf 30 cm vom Grund aufgewachsen. Er zeigt hier seine maximale Deckung. Auch die Bedeckung durch Characeen hat zugenommen. *Chara baltica*, *Chara horrida* und neu hinzugekommen *Chara canescens* bedecken bis zu 5 % die Plots. Während sich *Chorda filum* bereits zurückzog, erschien *Chaetomorpha linum* neu auf den Flächen. Die losen, tellerartig ineinander verschlungenen fadenförmigen

Algen wurden auf die Plots verdriftet. *Myriophyllum spicatum* zeigte bei gleichbleibend geringer Gesamtdeckung von unter einem Prozent ihre maximale Wuchshöhe von bis zu 40 cm.

Bis zum September breitete sich *Ruppia cirrhosa* stark aus und bedeckte etwa 60 % der Flächen. Mit Ausnahme einer Aufnahmefläche, deren Gesamtdeckung sich auf 40 % reduzierte, waren die Flächen im September mit 70-100 % maximal mit Pflanzen bedeckt. Die Art blieb während des gesamten Untersuchungszeitraumes kleinwüchsrig, selten über die 5 cm Wuchshöhe hinauswachsend und sie bildete keine Fruchtstände. Auffällig war jedoch, dass sie Turionen ausgebildet hatte.

Die zweite Bestandbildende Art im September mit 2-30 % Deckung war *Fucus vesiculosus*. Im Vergleich zum Juli befindet sich die Vegetation auf 5 cm Wuchshöhe konzentriert, auf 10 cm beträgt die Deckung durch Pflanzen lediglich 5 %. Die Characeen sowie *Myriophyllum spicatum* und *Potamogeton pectinatus* haben sich stark zurückgezogen. Neu erschienen sind Algenbüschel von *Polysiphonia violacea*, die sich losgerissen zwischen den Pflanzen und sowie festgewachsen an der Schnur der Schwimmboje befanden.

4.1.4 Grieben, spärlich bewachsener Standort

Zu Beginn der Felduntersuchungen im Juni waren die Flächen vollkommen vegetationsfrei. Bis zum August hat sich dies geändert: *Fucus vesiculosus*-Bällchen sind an den Standort gedriftet und verursachen Bedeckungen von 2-10 %. Daneben gibt es spärliche Bestände von *Ruppia cirrhosa*, *Chara canescens* und *Chara baltica* mit jeweils unter einem bis zehn Prozent Deckung. *Myriophyllum spicatum* und *Potamogeton pectinatus* sind mit unter einem Prozent Deckung vertreten und wachsen am Höchsten (bis 20 cm) auf. Im Mittel ist der Standort Anfang August zu 5 % mit Pflanzen bedeckt.

Die Vegetationsbedeckung nimmt im weiteren Jahresverlauf zu. Im September wurde die maximale Bedeckung von im Mittel 30 % beobachtet. Maximale und minimale Bedeckungen auf den Plots betragen 60 bzw. 10 %. Der Anstieg des Anteils der Vegetation wird durch *Fucus vesiculosus f. filiformis* verursacht, der vermehrt auf den Standort verdriftet wurde.

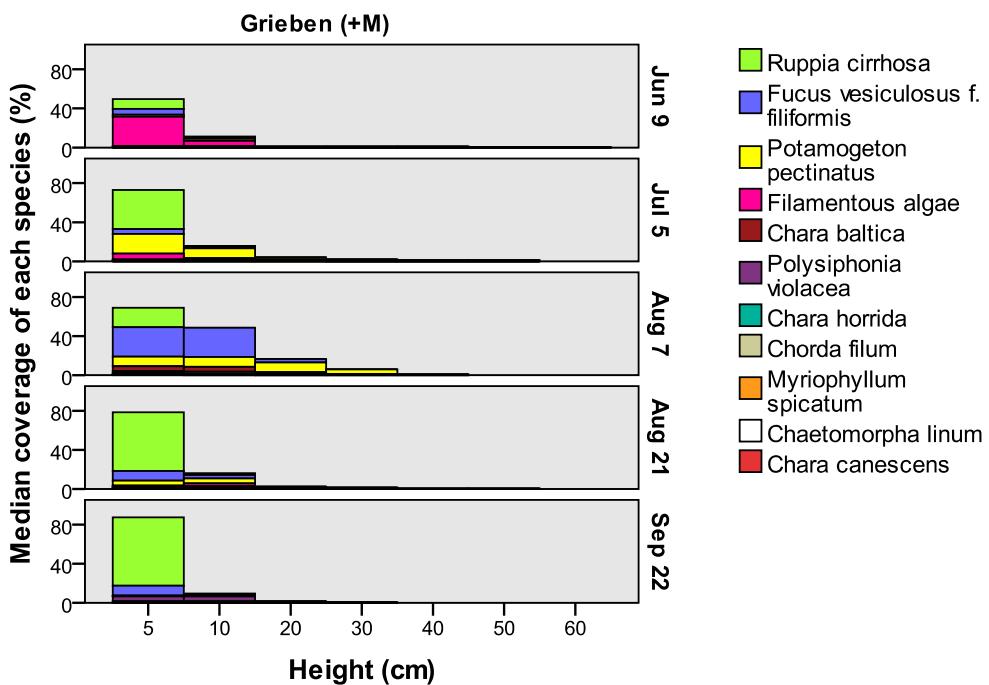


Abbildung 15: Deckungen aller Arten auf Höhenstufen vom Grund bis zur Oberfläche, Grieben, dicht bewachsener Standort

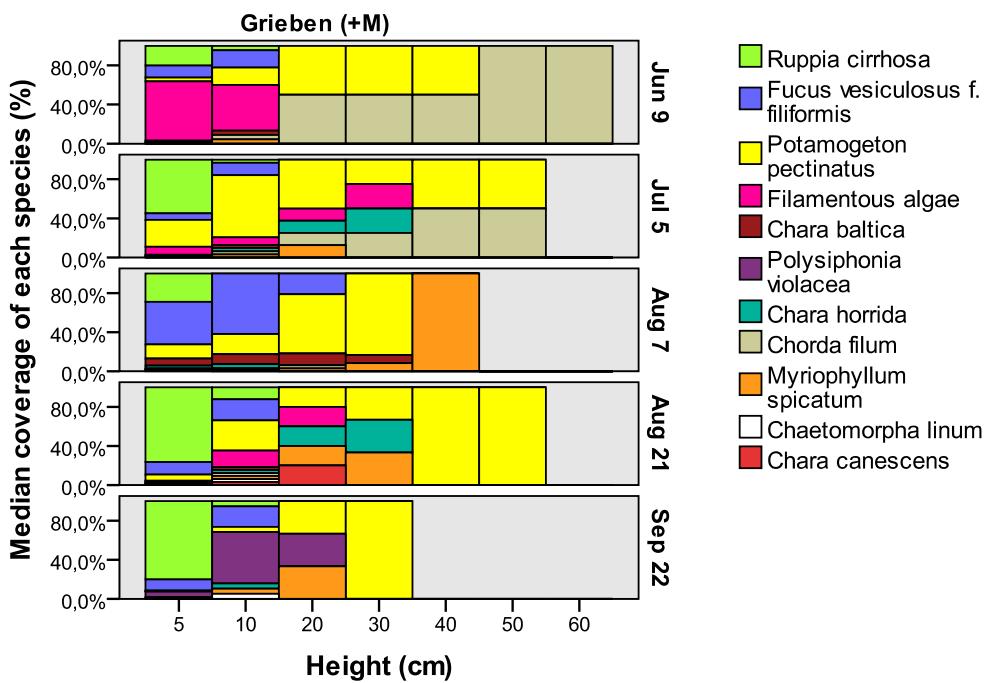


Abbildung 16: Prozentuale Deckungen aller Arten, bezogen auf die Gesamtdeckung auf jeder Höhenstufe, vom Grund bis zur Oberfläche, Grieben, dicht bewachsener Standort

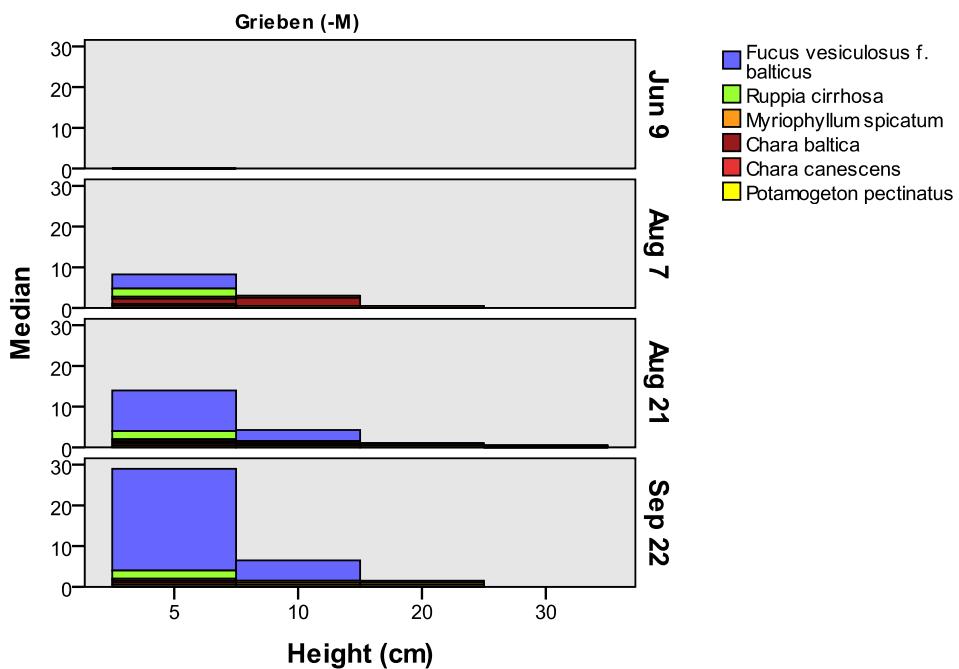


Abbildung 17: Deckungen aller Arten auf Höhenstufen vom Grund bis zur Oberfläche, Grieben, spärlich bewachsener Standort

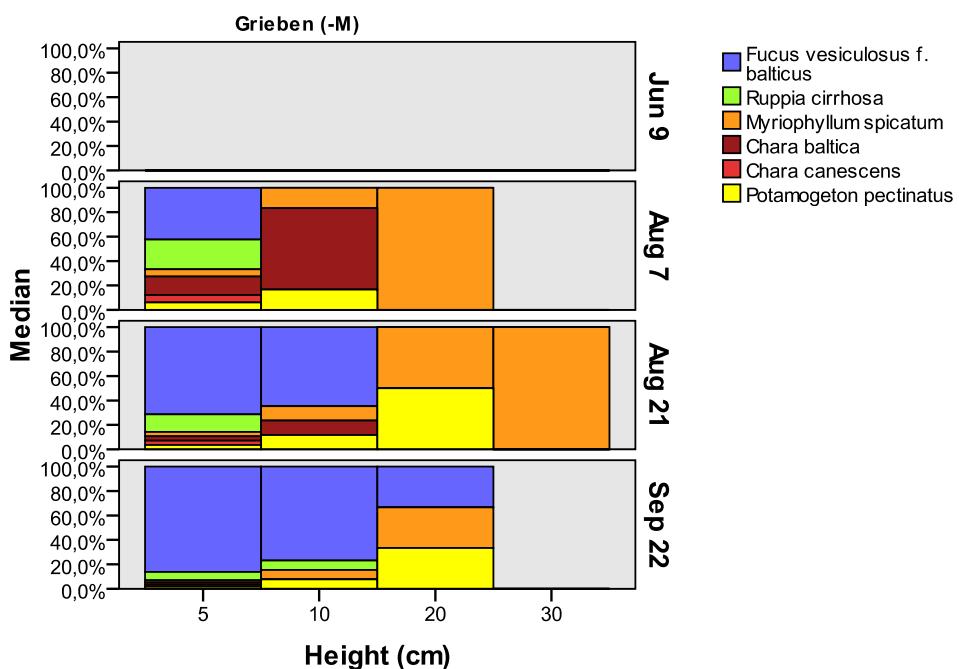


Abbildung 18: Prozentuale Deckungen aller Arten, bezogen auf die Gesamtdeckung auf jeder Höhenstufe, vom Grund bis zur Oberfläche, Grieben, spärlich bewachsener Standort

4.2 Deckung und PVI

Sowohl im Vitter Bodden als auch in der Griebener Bucht gab es ganzjährig einen Unterschied in der Bedeckung mit Phytobenthos zwischen den zu Beginn der Vegetationsperiode dicht und spärlich besiedelten Standorten.

Im Vitter Bodden war der Unterschied im Juni besonders groß. Die Plots waren vollständig bedeckt beziehungsweise komplett vegetationsfrei. Am vegetationsdominierten Standort verändert sich die Deckung im Jahresverlauf nicht, nur einmal im Juli ist aufgrund eines Ankerwurfs ein Loch in der *Fucus vesiculosus*- dominierten Vegetationsdecke entstanden. Anfang August hatte sich die Decke durch den beweglichen *Fucus* wieder geschlossen. In der zu Beginn der Studie unbesiedelten Kontrollgruppe im Vitter Bodden hat sich bis Anfang August eine spärliche Vegetationsdecke mit einer mittleren Deckung von 5 % herausgebildet, welche sich bis Ende September aufrecht erhielt.

In der Griebener Bucht war der Unterschied in der Bedeckung zwischen den beiden Untersuchungsgruppen zu Beginn der Studie nicht so groß wie im Vitter Bodden. Die Gruppe auf der Ostseite der Bucht war im Juni vegetationsfrei und die andere zu 30-40 % mit Phytobenthos bedeckt. An beiden Standorten erhöhte sich die Deckung signifikant im Verlauf der Wachstumsperiode. Der dicht besiedelte Bereich war bereits im Juli zu 60 % mit Makrophyten bedeckt, bis Ende September stieg die Deckung allmählich auf 90 % an. Auf dem vorerst nicht besiedelten Bereich entwickelte sich bis Anfang August eine Bedeckung von 5 %. Bis Ende September stieg die Bedeckung auf 30 % an.

Nicht nur die Bedeckung mit Phytobenthos verändert sich im Jahresverlauf, sondern auch dessen Anteil an der Wassersäule. Neben der Wassertiefe, die als mehrjähriger Mittelwert in die Berechnung eingeht, nimmt die zunehmende Wuchshöhe einen Einfluss auf das PVI.

Obwohl das Wasser im Vitter Bodden im dicht besiedelten Bereich mit 83 cm vergleichsweise tief ist, fanden sich hier deutlich höhere Anteile an Makrophyten in der Wassersäule. Im Juni waren es im Mittel 7,7 %. Bis Anfang August stieg der Anteil auf über 15 %. Der spärlich besiedelte Bereich ist mit 62 cm flacher als der dicht besiedelte. Aufgrund der geringen Deckung und der geringen Wuchshöhe betrug das maximale PVI im August und im September 0,6 %.

In der Griebener Bucht steigt das PVI im Verlauf der Wachstumssaisong in beiden Untersuchungsgruppen deutlich. Bei einer Wassertiefe von 87 cm betrug der Anteil im dicht besiedelten Bereich im Juni 2,4 %. Anfang August erhöhte sich der Anteil auf 7,1 %. Bis zum September nimmt das PVI leicht ab, jedoch bewegt sich diese Abnahme auf 5,5 % außerhalb des signifikanten Bereiches.

Der Spärlich besiedelte Bereich ist mit einer durchschnittlichen Tiefe von 65 cm deutlich flacher als der dichtbesiedelte Bereich. Das PVI steigt hier im Verlauf der Wachstumssaisong auf 1,2 % im September an. Ende September gibt es keinen signifikanten Unterschied mehr zwischen dem PVI des dicht und des spärlich besiedelten Bereiches.

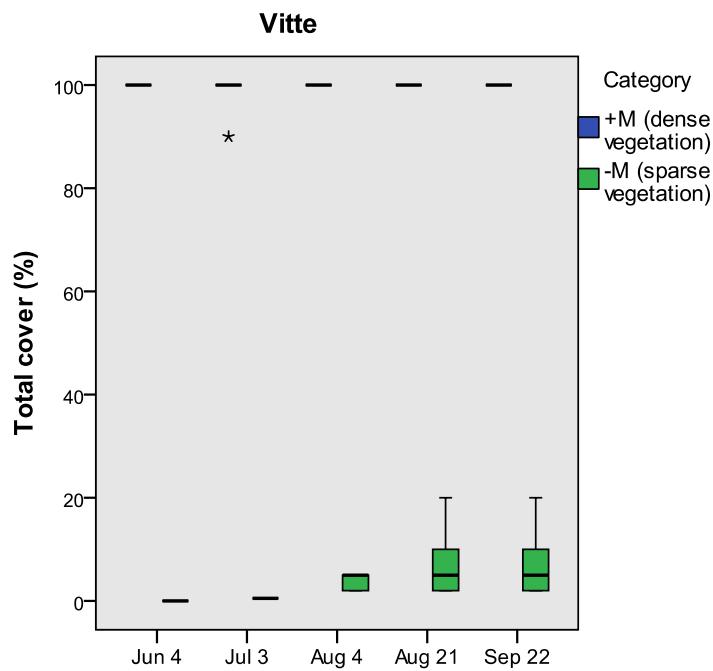


Abbildung 19: Bedeckung der Hauptuntersuchungs-Plots (4 m^2) im Vitter Bodden im Verlauf der Wachstumssaisong 2013

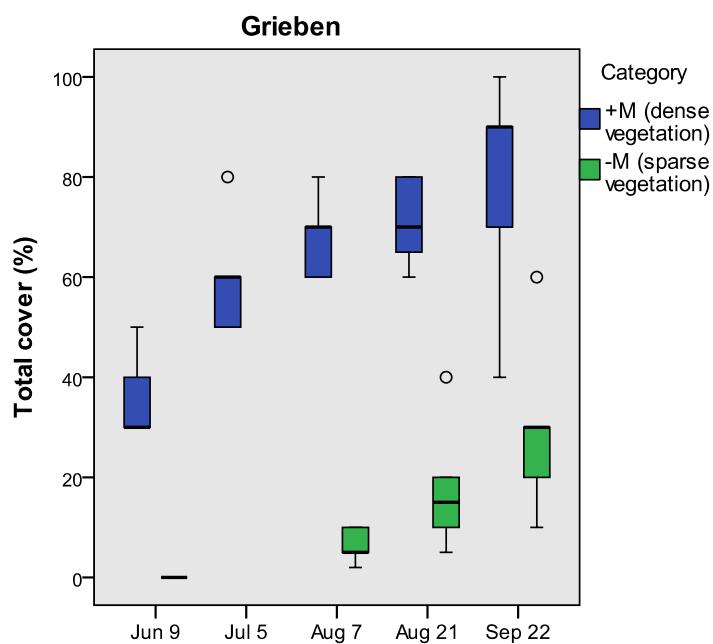


Abbildung 20: Bedeckung der Hauptuntersuchungs-Plots (4 m^2) in der Griebener Bucht im Verlauf der Wachstumssaisong 2013

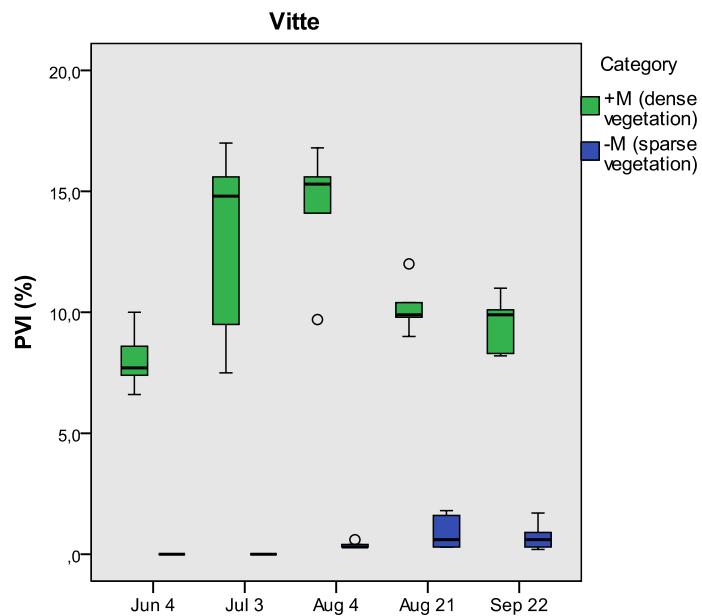


Abbildung 21: Anteil des Phytobenthos an der Wassersäule (PVI nach ?) im Vitter Bodden im Verlauf der Wachstumssaisong 2013

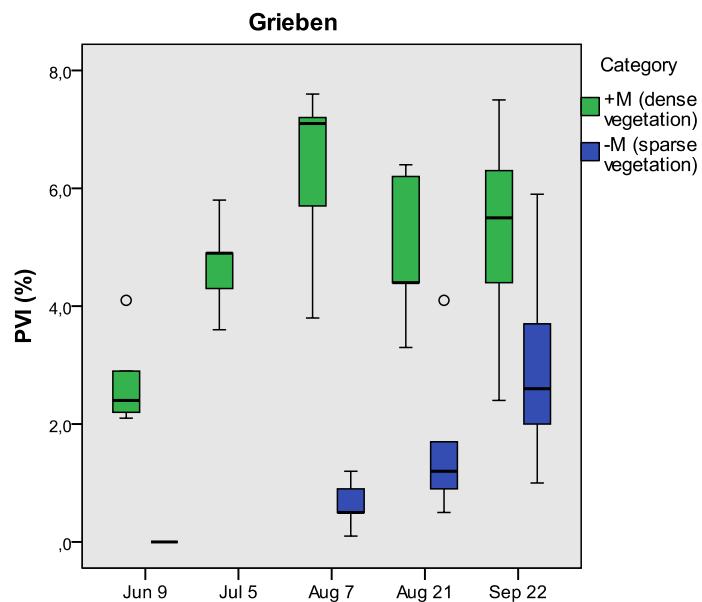


Abbildung 22: Anteil des Phytobenthos an der Wassersäule (PVI nach ?) in der Griebener Bucht im Verlauf der Wachstumssaisong 2013

Tabelle 4: Mann-Whitney-Teststatistik zur Ermittlung von Unterschieden in Deckung und PVI zwischen dicht und spärlich mit Phytobenthos besiedelten Standorten im Vitter Bodden und in der Griebener Bucht

Location	Date	Total Cover		PVI	
		Z	p	Z	p
Vitter Bodden	Jun 04	-3.000	0.008*	-2.785	0.008*
	Jul 03	-2.887	0.008*	-2.783	0.008*
	Aug 04	-2.835	0.008*	-2.643	0.008*
	Aug 21	-2.798	0.008*	-2.619	0.008*
	Sep 22	-2.795	0.008*	-2.611	0.008*
Griebener Bucht	Jun 09	-2.825	0.008*	-2.785	0.008*
	Aug 07	-2.643	0.008*	-2.619	0.008*
	Aug 21	-2.619	0.008*	-2.410	0.016*
	Sep 22	-2.417	0.016*	-1.567	0.151

Tabelle 5: Deskriptive Statistik zu Deckung und PVI in Vitter Bodden und Griebener Bucht; +M = dichte Vegetation, -M = spärliche Vegetation, MAD = Mittlere Abweichung vom Median

Location	Date	Total Cover		PVI	
		Median	MAD	Median	MAD
Vitter Bodden (+M)	Jun 04	100.00	0.00	7.70	0.92
	Jul 03	100.00	2.00	14.80	3.12
	Aug 04	100.00	0.00	15.30	1.72
	Aug 21	100.00	0.00	9.90	0.72
	Sep 22	100.00	0.00	9.90	0.92
Vitter Bodden (-M)	Jun 04	0.00	0.00	0.00	0.00
	Jul 03	0.00	0.00	0.00	0.00
	Aug 06	5.00	1.20	0.30	0.08
	Aug 21	5.00	5.20	0.60	0.56
	Sep 22	5.00	5.20	0.60	0.42
Griebener Bucht (+M)	Jun 09	30.00	6.00	2.42	0.54
	Jul 05	60.00	8.00	4.90	0.56
	Aug 07	70.00	6.00	7.10	1.06
	Aug 21	70.00	7.00	4.40	0.98
	Sep 22	90.00	16.00	5.50	1.40
Griebener Bucht (-M)	Jun 09	0.00	0.00	0.00	0.00
	Aug 07	5.00	2.60	0.50	0.30
	Aug 21	15.00	9.00	1.20	0.88
	Sep 22	30.00	12.00	2.60	1.32

Tabelle 6: Kruskal-Wallis-Teststatistik zur Ermittlung von Unterschieden in der Bedeckung mit Phyto-benthos im Jahresverlauf sowie Multiple Vergleiche mit dem Dunn's Test bei Signifikanz ($p < 0,05$; Kennzeichnung mit Stern) im Vitter Bodden und in der Griebener Bucht

Location	Kruskal Wallis Test			Dunn's Multiple Comparisons Test	
	χ^2	df	p-Value (Asymptotic)	Date	p-Value (Adjusted)
Vitte (+M)	4.000	4	0.406		
Vitter Bodden (-M)	19.384	4	0.001*	Jun 4 vs. Jul 03	> 0.999
				Jun 04 vs. Aug 06	0.025*
				Jun 04 vs. Aug 21	0.006*
				Jun 04 vs. Sep 22	0.006*
				Jul 03 vs. Aug 06	0.540
				Jul 03 vs. Aug 21	0.203
				Jul 03 vs. Sep 22	0.203
				Aug 06 vs. Aug 21	> 0.999
				Aug 06 vs. Sep 22	> 0.999
				Aug 21 vs. Sep 22	> 0.999
Griebener Bucht (+M)	13.283	4	0.010*	Jun 09 vs. Jul 05	0.906
				Jun 09 vs. Aug 07	0.119
				Jun 09 vs. Aug 21	0.048*
				Jun 09 vs. Sep 22	0.001*
				Jul 05 vs. Aug 07	> 0.999
				Jul 05 vs. Sep 22	> 0.999
				Aug 07 vs. Aug 21	> 0.999
				Aug 07 vs. Sep 22	> 0.999
				Aug 21 vs. Sep 22	> 0.999
Griebener Bucht (-M)	15.112	3	0.002*	Jun 09 vs. Aug 07	0.624
				Jun 09 vs. Aug 21	0.025*
				Jun 09 vs. Sep 22	0.002*
				Aug 07 vs. Aug 21	> 0.999
				Aug 07 vs. Sep 22	0.270
				Aug 21 vs. Sep 22	> 0.999

Tabelle 7: Kruskal-Wallis-Teststatistik zur Ermittlung von Unterschieden im Anteil des Phytobenthos an der Wassersäule (PVI) sowie Multiple Vergleiche mit dem Dunn's Test bei Signifikanz ($p < 0,05$, Kennzeichnung mit Stern) im Vitter Bodden und in der Griebener Bucht

Location	Kruskal Wallis Test			Dunn's Multiple Comparisons Test	
	χ^2	df	p-Value (Asymptotic)	Date	p-Value (Adjusted)
Vitte (+M)	4.000	4	0.406		
Vitter Bodden (+M)	9.836	4	0.043*	Jun 04 vs. Jul 03	0.269
				Jun 04 vs. Aug 06	0.032*
				Jun 04 vs. Aug 21	> 0.999
				Jun 04 vs. Sep 22	> 0.999
				Jul 03 vs. Aug 06	> 0.999
				Jul 03 vs. Aug 21	> 0.999
				Jul 03 vs. Sep 22	> 0.999
				Aug 06 vs. Aug 21	> 0.999
				Aug 06 vs. Sep 22	0.780
				Aug 21 vs. Sep 22	> 0.999
Vitter Bodden (-M)	19.276	4	0.025*	Jun 04 vs. Jul 03	> 0.999
				Jun 04 vs. Aug 06	0.157
				Jun 04 vs. Aug 21	0.019*
				Jun 04 vs. Sep 22	0.042*
				Jul 03 vs. Aug 06	0.157
				Jul 03 vs. Aug 21	0.019*
				Jul 03 vs. Sep 22	0.042*
				Aug 06 vs. Aug 21	> 0.999
				Aug 06 vs. Sep 22	> 0.999
				Aug 21 vs. Sep 22	> 0.999
Griebener Bucht (+M)	11.164	4	0.025*	Jun 09 vs. Jul 05	0.613
				Jun 09 vs. Aug 07	0.014*
				Jun 09 vs. Aug 21	0.332
				Jun 09 vs. Sep 22	0.180
				Jul 05 vs. Aug 07	> 0.999
				Jul 05 vs. Sep 22	> 0.999
				Aug 07 vs. Aug 21	> 0.999
				Aug 07 vs. Sep 22	> 0.999
				Aug 21 vs. Sep 22	> 0.999
Griebener Bucht (-M)	14.926	3	0.002*	Jun 09 vs. Aug 07	0.565
				Jun 09 vs. Aug 21	0.035*
				Jun 09 vs. Sep 22	0.002*
				Aug 07 vs. Aug 21	> 0.999
				Aug 07 vs. Sep 22	0.275
				Aug 21 vs. Sep 22	> 0.999

4.3 Biomasse

Bereits Anfang Juli gab es im Vitter Bodden auf den vegetationsdominierten Untersuchungsflächen im Mittel Biomassewerte von 558 g/m^2 Trockensubstanz. Dabei ist die mittlere Abweichung vom Median recht groß, auf einer Untersuchungsfläche fanden sich sogar etwa 800 g/m^2 . Bis zum August erhöht sich die Biomasse auf den Plots auf im Mittel 890 g/m^2 . Es gibt einen deutlichen Unterschied zu der vegetationsarmen Untersuchungsgruppe. Hier gab es im Mittel 15 g/m^2 Trocken-Biomasse im August. Etwa gleich viel ($16,5 \text{ g/m}^2$) fanden sich auch in der Griebener Bucht im spärlich bewachsenen Bereich.

Auch die Biomasse in der Griebener Bucht unterscheidet sich signifikant zwischen den beiden Untersuchungsgruppen, jedoch waren hier die Biomassewerte im dicht bewachsenen Bereich von im Mittel 132 g/m^2 im Juli und 126 g/m^2 im August deutlich geringer als die des dicht bewachsenen Bereiches im *Fucus vesiculosus*-dominierten Vitter Bodden. Es gab hier keine signifikante Zunahme der Biomasse von Anfang Juli bis Anfang August.

Der Organische Gehalt der Biomasse unterscheidet sich zwischen den Standorten im Vitter Bodden $60\text{-}68 \text{ g/m}^2$ und in der Griebener Bucht $80\text{-}81 \text{ g/m}^2$. Es gibt jedoch jeweils keine signifikanten Unterschiede zwischen den vegetationsarmen und vegetationsreichen Untersuchungsgruppen.

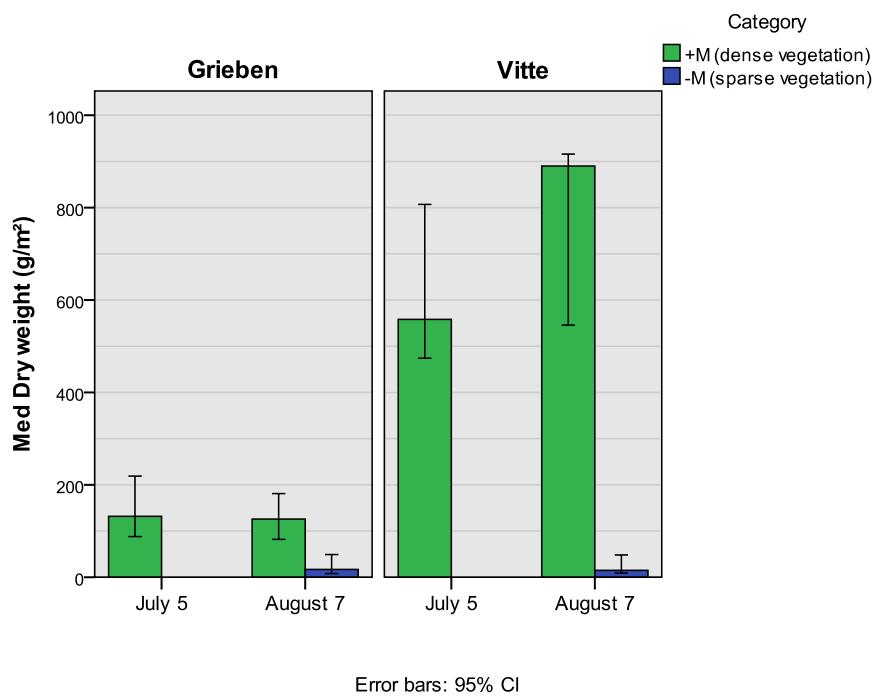


Abbildung 23: Biomasse (Trockengewicht) geerntet auf Miniplots ($0,25 \text{ m}^2$) neben den Hauptuntersuchungsplots in Grieben und Vitte, Probenahme Anfang Juli (nur dicht bewachsene Standorte) und Anfang August (dicht und spärlich bewachsene Standorte); Median (Balken) und 95 %-Bereich(Antennen) der Daten von jeweils 5 Replikaten

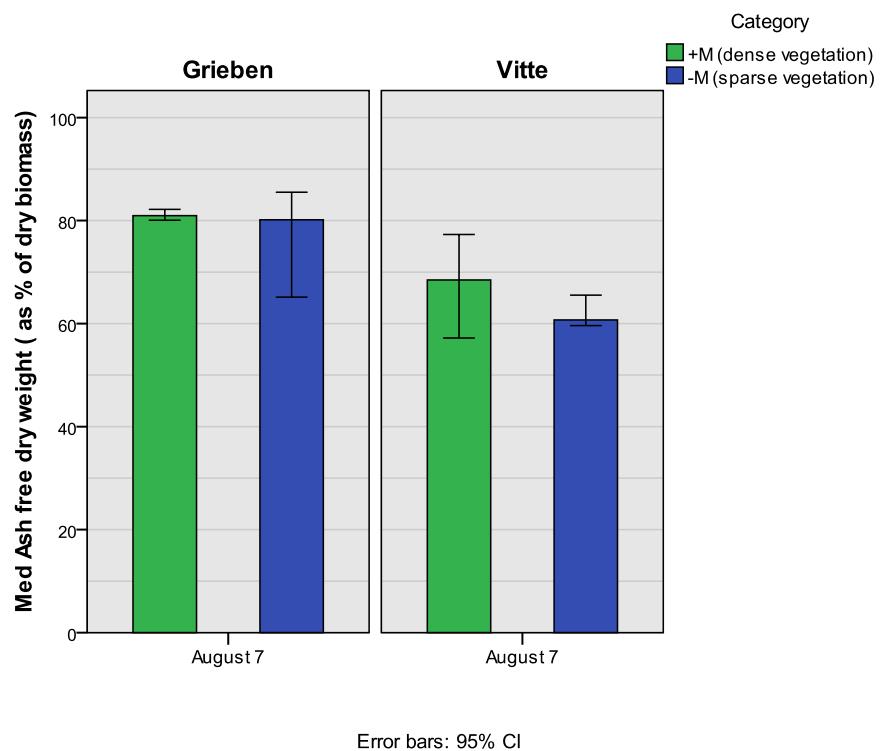


Abbildung 24: Organischer Anteil (ermittelt als aschfreies Trockengewicht) der Biomasse auf den Miniplots ($0,25 \text{ m}^2$) in Grieben und Vitte, Probenahme Anfang August; Median (Balken) und 95 %-Bereich(Antennen) der Daten von jeweils 5 Replikaten

Tabelle 8: Deskriptive Statistik zur Biomasse (Dry Weight, Trockengewicht) und Organischer Gehalt (AFDW) im Vitter Bodden und in der Griebener Bucht; +M = dichte Vegetation, -M = spärliche Vegetation, MAD = Mittlere Abweichung vom Median

Location	Date	Dry Weight (g/m ²)		AFDW (%)	
		Median	MAD	Median	MAD
Vitter Bodden (+M)	July	558.48	100.92		
	August	890.28	119.74	68.47	4.77
Vitter Bodden (-M)	August	15.08	9.42	60.70	1.35
Griebener Bucht (+M)	July	132.12	30.81		
	August	126.48	36.50	80.95	0.62
Griebener Bucht (-M)	August	16.52	9.23	80.16	5.94

4.4 Sediment

Tabelle 9: Deskriptive Statistik zu den Korngrößenverteilungen im Vitter Bodden (V) und in der Griebener Bucht (G); +M = dichte Vegetation, -M = spärliche Vegetation, MD = Median, MAD = Mittlere Abweichung vom Median, die Schiefe (Skewness) bezieht sich auf die Phi-Korngrößen

Location	Date	MD Grain Size (ϕ)		Sorting		Skewness		< 63 µm (%)		AFDW (%)	
		MD	MAD	MD	MAD	MD	MAD	MD	MAD	MD	MAD
V (+M)	Jul 05	2.13		0.54				6.04		1.23	
	Aug 01	2.37	0.03	0.93	0.07	0.10	0.05	9.05	1.79	1.43	0.41
	Aug 19	2.08	0.16	0.93	0.02	0.22	0.09	8.61	0.60	1.70	0.28
V (-M)	Jul 05	2.69		0.56				5.56		0.91	
	Aug 01	2.10	0.14	0.74	0.06	0.15	0.10	4.24	0.97	0.79	0.15
	Aug 19	2.1	0.08	0.74	0.06	0.18	0.03	4.11	1.15	0.95	0.15
G (+M)	Jun 11	3.65	0.04	0.94	0.13	-0.16	0.08	32.05	2.77	4.77	0.42
	Jul 30	3.61	0.96	0.95	0.31	-0.17	0.05	28.31	3.09	4.19	0.44
	Aug 17	3.63	0.06	1.11	0.19	-0.29	0.11	30.15	3.57	4.18	0.20
G (-M)	Jun 11	3.47	0.02	0.66	0.03	-0.09	0.03	11.95	1.06	1.69	0.24
	Jul 30	3.42	0.11	0.67	0.04	-0.13	0.08	10.23	1.30	1.43	0.06
	Aug 17	3.47	0.89	0.66	0.18	-0.09	0.03	14.38	4.92	1.65	0.16

4.4.1 Vitte, dicht bewachsener Standort

Das Sediment auf diesen Untersuchungsflächen ändert sich nicht signifikant im Jahresverlauf in Hinsicht auf den Median der Korngrößenverteilung, die Sortierung und die Schiefe. Mit

einem Anteil von 40-50 % beziehungsweise von 30-40 % dominieren die Anteile von feinem Sand ($2-3 \phi$) und Mittelsand ($1-2 \phi$). Der Median der Korngröße beträgt $2,08-2,13 \phi$. Das Sediment ist mäßig gut sortiert und zeigt eine positive Schiefe, das heißt, der Median der Verteilungskurve ist nach rechts in den grobkörnigeren Bereich (auf der ϕ -Verteilungskurve nach links) verschoben. Der Anteil der $< 63 \mu\text{m}$ -Fraktion, welche den Silt- und Tongehalt repräsentiert, beträgt im Juli 6 % und im August 8,6-9 %, die Zunahme ist jedoch nicht signifikant. Etwa gleich viel sehr feiner Sand ($3-4 \phi$) ist enthalten, während der Gehalt an Grobsanden und sehr groben Sanden vernachlässigbar ist. Der organische Gehalt des Sedimentes beträgt zwischen 1,2 % im Juli und 1,7 % Ende August. Die Zunahme des organischen Gehaltes in der Vegetationsperiode ist nicht signifikant.

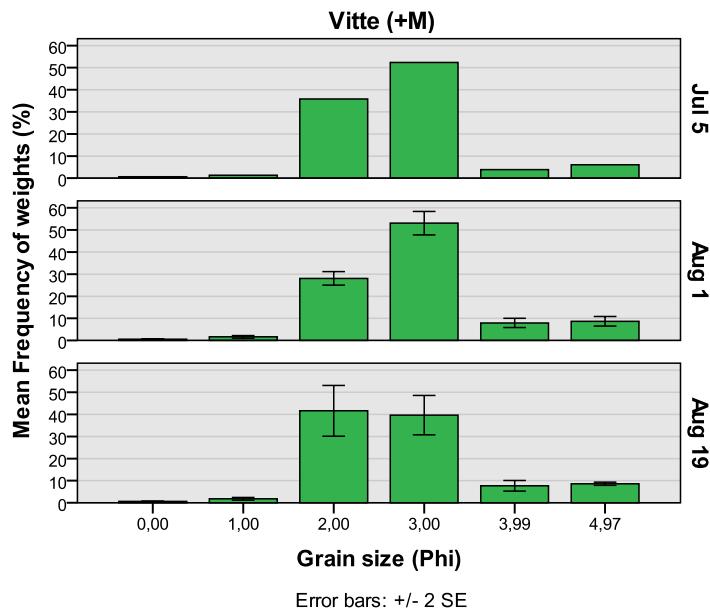


Abbildung 25: Korngrößenverteilungen am dicht bewachsenen Standort im Vitter Bodden; Juli: 3 Messparallelen aus einem Kern, August: Messparallelen aus 5 Sedimentkernen

4.4.2 Vitte, spärlich bewachsener Standort

Die Sedimente an dieser Untersuchungsgruppe unterscheiden sich von denen auf den dicht bewachsenen Untersuchungsflächen im Vitter Bodden, jedoch mit Ausnahme des organischen Gehaltes, welcher im Mittel 0,8-1 % betrug. Die Verteilungskurve ist mäßig bis schlecht sortiert und ebenfalls in den grobkörnigen Bereich verschoben. Die Mittelsand und Feinsandanteile dominieren und nehmen zusammen über 90 % des Gesamtprobenmaterials ein. Sowohl grobe als auch sehr feine Sande sind kaum vorhanden und auch der Ton- und Silt-Anteil ist mit ca. 4 % etwas geringer. Das Verhältnis von Mittelsand zu Feinsand ist hier umgekehrt. Der Mittelsand

hat einen größeren Anteil von etwa 50 % während der Feinsand einen geringeren Anteil von etwa 40-45 % hat.

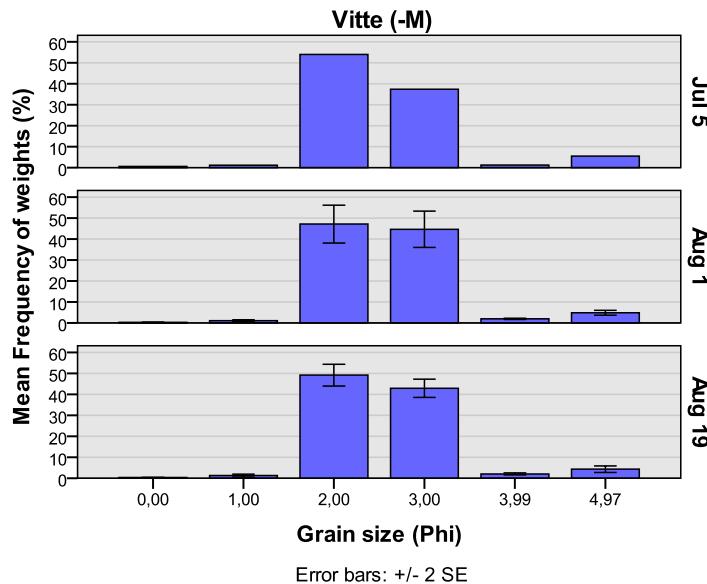


Abbildung 26: Korngrößenverteilungen am spärlich bewachsenen Standort im Vitter Bodden; Juli: 3 Messparallelen aus einem Kern, August: Messparallelen aus 5 Sedimentkernen

4.4.3 Grieben, dicht bewachsener Standort

Die Sedimente auf den Flächen dieser Untersuchungsgruppe sind mäßig bis schlecht sortiert und zeigen eine negative Schiefe aufgrund der Dominanz der feinen Korngrößenfraktionen. Mit etwa 50-52 % ist sehr feiner Sand ($3-4 \phi$) am stärksten vertreten. Auch der Ton- und Siltanteil ist mit 30-35 % sehr hoch. Der Median der Korngröße beträgt im Mittel $3,6 \phi$ und verringert sich zwischen Juni und Juli leicht im Jahresverlauf. Insgesamt verschiebt sich das Verteilungsmuster im Verlauf der Vegetationsperiode leicht in den feinkörnigeren Bereich. Mittelsand und Feinsand sind insgesamt mit nur etwa 5 bzw 8 % vertreten. Im Vergleich zu den Vitter Untersuchungsgruppen gab es eine geringe Menge (etwa 2-6 % sehr groben Sand beziehungsweise Kiessteinchen oder Muschelschalenreste. Der Organische Anteil des Sedimentes beträgt im Mittel 0,2-0,4 % und entspricht damit dem organischen Gehalt des vegetationsfreien Standortes im Vitter Bodden.

4.4.4 Grieben, spärlich bewachsener Standort

Hier ist die Korngrößenverteilung signifikant unterschiedlich gegenüber der der dicht mit Phyto-benthos besiedelten Untersuchungsgruppe. Sie ist nur leicht linksschief, fast symmetrisch. Der Median der Korngröße beträgt $3,42-3,47 \phi$, wobei im Juli signifikant geringere Werte gefunden

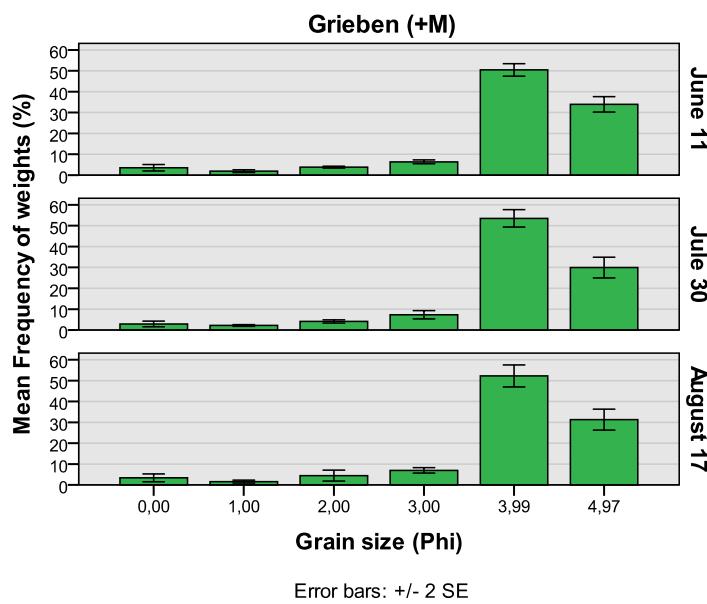


Abbildung 27: Korngrößenverteilungen am dicht bewachsenen Standort in der Griebener Bucht; Messparallelen aus 5 Sedimentkernen

wurden als im Juni und im August. Das bedeutet, dass im Juli der Anteil der feinkörnigeren Fraktionen im Mittel etwas geringer war. Grund hierfür ist ein leichter Anstieg der Feinsandfraktion und ein Rückgang sehr feiner Sande, Tone und Silte. Im Mittel ist das Sediment hier etwas größer als im dicht besiedelten Bereich der Bucht und der Silt-/ Tonanteil deutlich geringer. Grobsande sind kaum enthalten und das Sediment ist aufgrund der Dominanz der sehr feinen Sandfraktion mit einem Anteil von etwa 60-70 % an der Gesamtprobe mäßig sortiert. Der organische Anteil beträgt 0,1-0,2 % und ist deutlich geringer als am vegetationsdominierten Standort, jedoch mit dem vegetationsarmen Standort des Vitter Bodden vergleichbar.

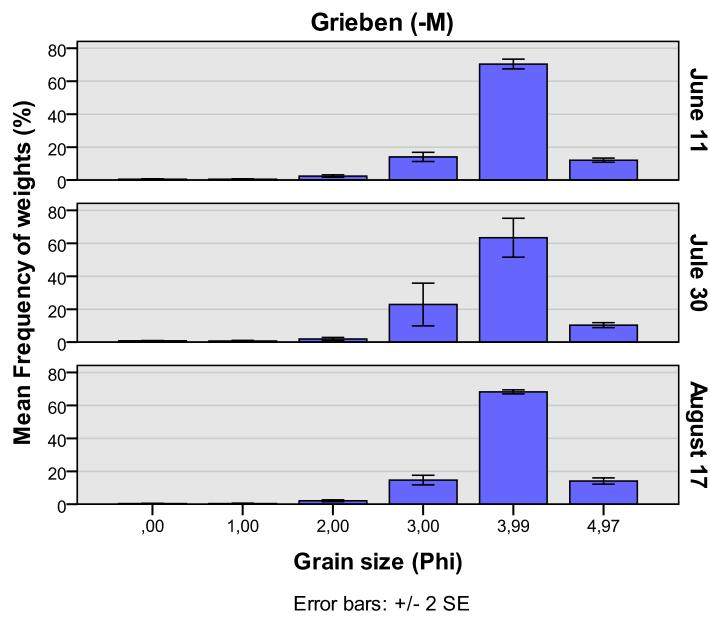


Abbildung 28: Korngrößenverteilungen am spärlich bewachsenen Standort in der Griebener Bucht; Messparallelen aus 5 Sedimentkernen

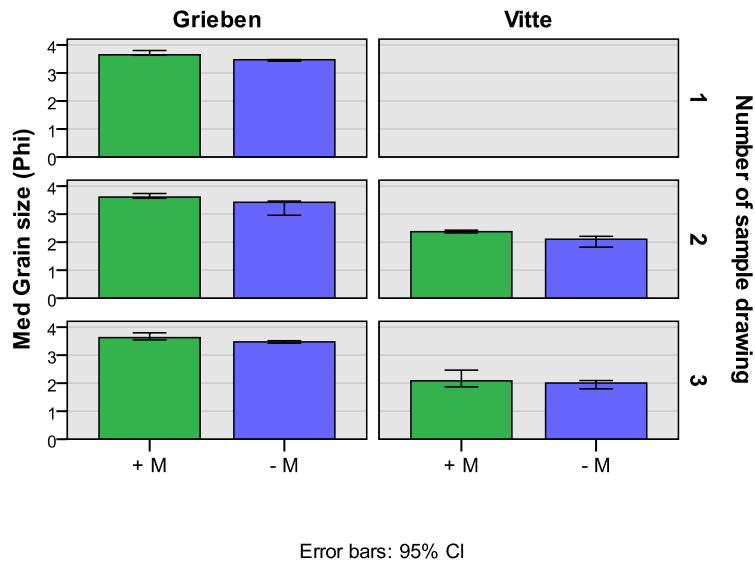


Abbildung 29: Median der Korngröße an dicht (+M) und spärlich (-M) bewachsenen Standorten im Vitter Bodden und in der Griebener Bucht im Verlauf der Wachstumsperiode

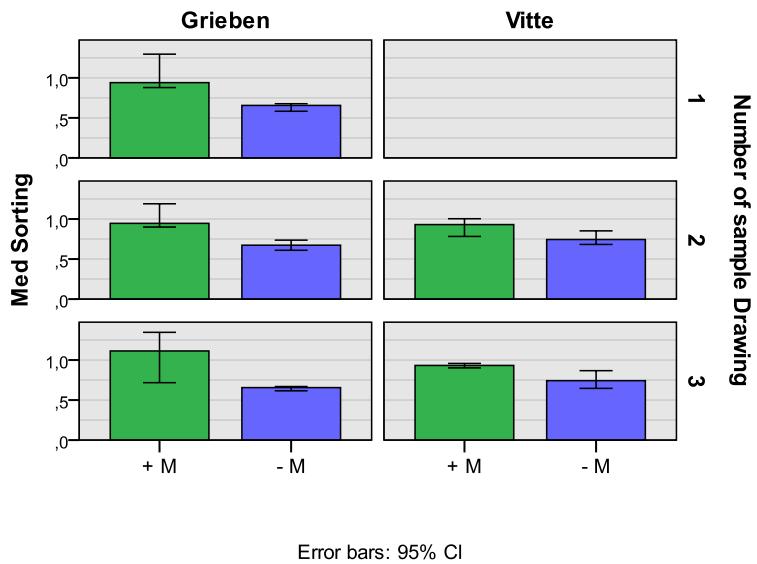


Abbildung 30: Sortierung der Sedimente an dicht (+M) und spärlich (-M) bewachsenen Standorten im Vitter Bodden und in der Griebener Bucht im Verlauf der Wachstumsperiode

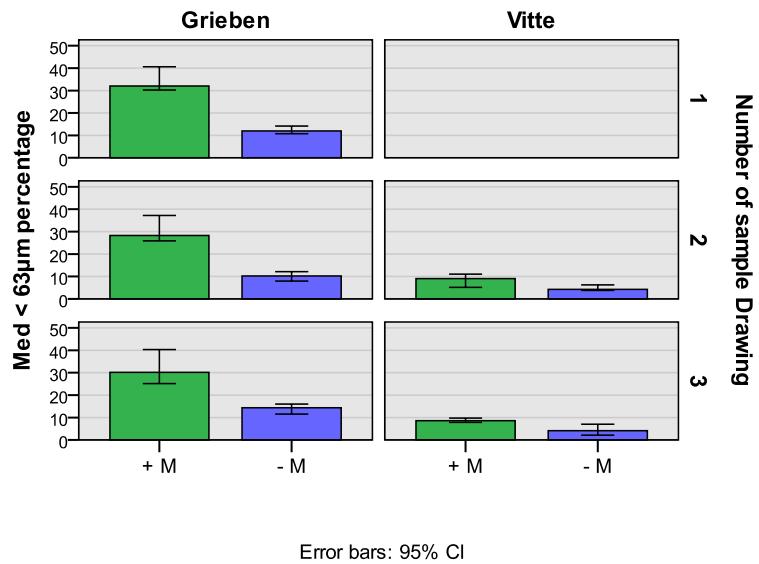


Abbildung 31: A
Anteil der $<63 \mu\text{m}$ -Korngrößenfraktion an dicht (+M) und spärlich (-M) bewachsenen Standorten im Vitter Bodden und in der Griebener Bucht im Verlauf der Wachstumsperiode

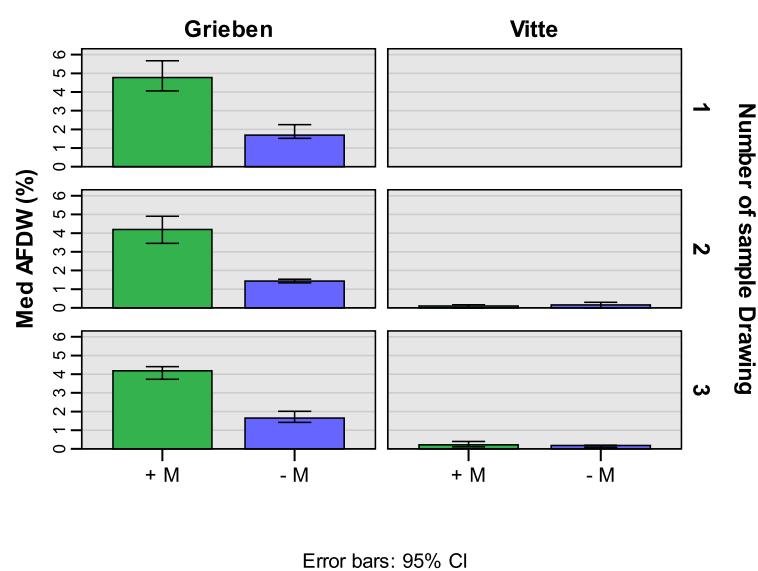


Abbildung 32: Organischer Gehalt des Sedimentes, ermittelt als aschfreies Trockengewicht (AFDW) an dicht (+M) und spärlich (-M) bewachsenen Standorten im Vitter Bodden und in der Griebener Bucht im Verlauf der Wachstumsperiode

5 Ergebnisse - Standorte entlang des Salzgradienten

5.1 Detaillierte Vegetationsstruktur

5.1.1 Geltinger Bucht

Die Vegetationsbestände in der Geltinger Bucht (dicht bewachsener Standort) setzen sich zusammen aus *Zostera marina* und *Fucus vesiculosus f. balticus*. Das Seegras wuchs bis 30 cm vom Grund mit Deckungsgraden von 70-80 %. In den Wasserschichten darüber bis 60 cm vom Grund reduzierte sich die Deckung allmählich bis auf 10 %. Nur wenige der schmalen Blattspreiten erstreckten sich darüber hinaus bis zur Oberfläche. Das Wasser war hier etwa 100 cm tief.

Der lose Blasentang ist von kräftigem Wuchs und bedeckt den Boden mit 20 %. Auf 20 und 30 cm Höhe gehen die Pflanzen in die Breite und sorgen für Deckungen von 30 %, darüber verschmälert sich der Blasentang wieder. Große Exemplare erreichten Wuchshöhen von bis zu 50 cm. In der Mitte der Wassersäule befanden sich mit Deckungsgraden unter einem Prozent freischwimmende filamentöse Algen, die jedoch an zwei Plots Deckungen von 10 und 20 % ausmachten. Die Gesamtdeckung auf den Flächen betrug 90 %, diese wurden vom Grund bis 20 cm Wuchshöhe kartiert, danach nahmen die Deckungen stetig bis zur Oberfläche ab.

5.1.2 Orther Bucht

Die Orther Bucht ist zu 30-60 %, im Mittel mit 40 % mit Pflanzen bedeckt. Auf 10 cm Entfernung vom Grund sind 30 % der Wasserschicht bedeckt, darüber ragen nur noch einzelne Stängel von *Potamogeton pectinatus* bis 40 cm Höhe. Das Wasser an diesem Standort ist im Mittel 70 tief. Bestandsbildende Art ist *Zannichellia palustris* mit Deckungen von 20-40 %. An einem Plot fehlte die Art, dafür kam hier *Ruppia cirrhosa* mit einer Deckung von 40 % vor. Ebenfalls deckten filamentöse Algen auf 5 bis 10 cm Wuchshöhe zu 20 % den Standort ab. *Potamogeton pectinatus* kam mit Deckungen von bis zu 10 % am Grund vor und verschmälerte sich in der Wassersäule. Von *Chara canescens* und *Tolypella nidifica* wurden vereinzelt Exemplare gefunden.

5.1.3 Salzhaff

Das Salzhaff ist zu 80-90 % mit Vegetation bedeckt. Davon machen nicht fest verankerte, filamentöse Algen mit 80 % Deckung auf 5 cm Wuchshöhe den größten Anteil aus. Ihr Anteil reduziert sich in der Wassersäule allmählich bis auf 50 cm Wuchshöhe. *Potamogeton pectinatus* ist mit 30-60 % Deckung die bestandsbildende festsitzende Pflanzenart. Auch sein Anteil reduziert sich allmählich bis 50 cm Wuchshöhe, darüber hinaus reichen wenige Äste bis zur Oberfläche. Das Wasser an diesem Standort ist 80 bis 90 cm tief. Vereinzelt kam auch lose am Grund die Alge *Monostroma sp.* und *Zannichellia palustris* vor.

5.1.4 Spandowerhagener Wiek

Die gesamte Spandowerhagener Wiek war zu etwa 90 % mit Pflanzen bedeckt, es gab keine ausgedehnten freien Flächen. Den Hauptanteil der Vegetation bildete *Potamogeton pectinatus* mit Deckungsgraden von im Mittel 90 % am Grund, sich allmählich in der Wassersäule reduzierend. Dabei trägt er auf 30 cm Wuchshöhe noch zu einer mittleren Deckung von 50 % bei und wächst bis 50 cm auf. Das Wasser ist 80-85 cm tief. Außerdem kommen *Myriophyllum spicatum* mit 10 bis 20 % Deckung und *Potamogeton perfoliatus*, auf einigen Plots mit bis zu 10 % Deckung vor. *Myriophyllum spicatum* bedeckt mit einem Grund-Abstand von 10 und 20 cm noch 10 bzw. 5 % der jeweiligen Wasserschichten, nur vereinzelte Halme wachsen bis 50 cm auf. *Potamogeton perfoliatus* hingegen nimmt nur bis auf 10 cm relevante Deckungen ein, darüber hinaus gehen wenige Zweige bis 70 cm Wuchshöhe. Auf 2 Plots wurde auch mit 10 bzw. 20 % Anteil in der Wasserschicht *Zannichellia palustris* gefunden und es gab wenige vereinzelte Exemplare von *Najas marina*.

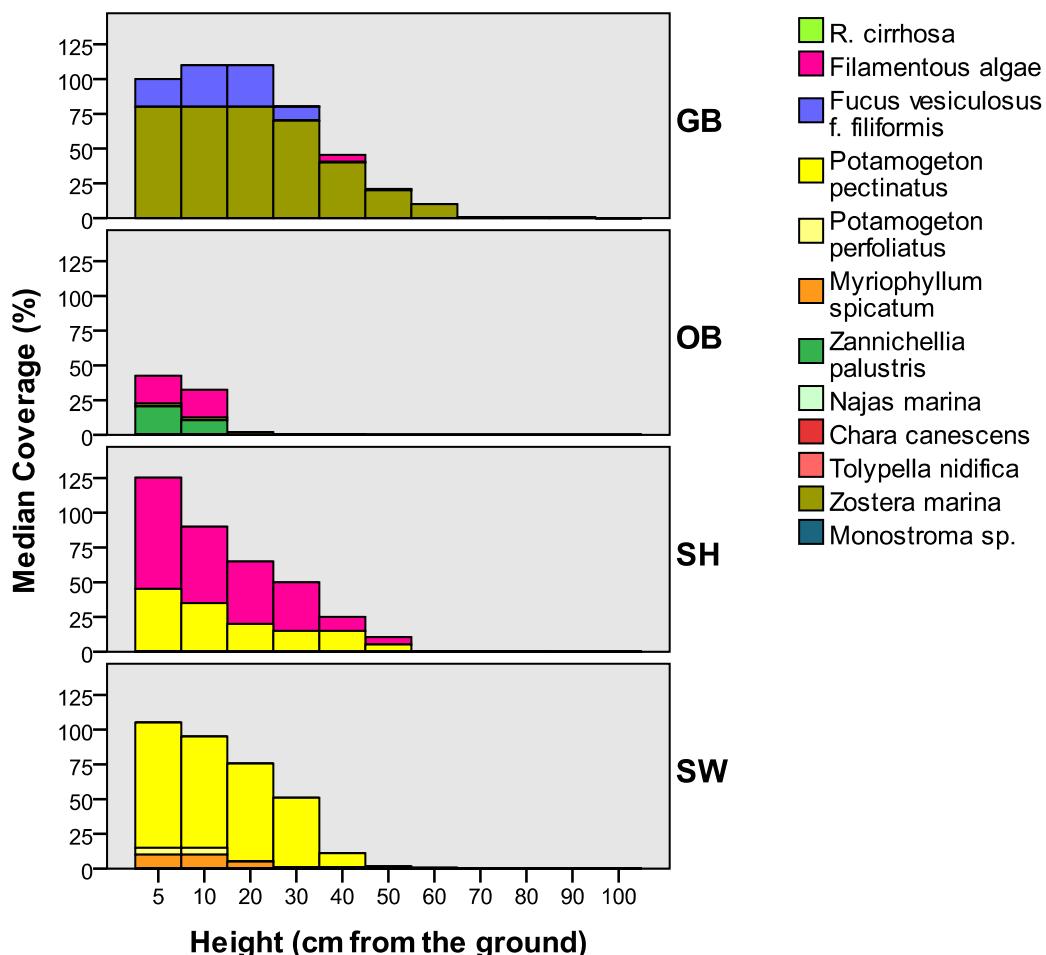


Abbildung 33: Deckungen aller Arten auf Höhenstufen vom Grund bis zur Oberfläche an den dicht bewachsenen Standorten entlang des Salzgradienten; GB = Geltinger Bucht, OB = Orther Bucht; SH = Salzhaff; SW = Spandowerhagener Wiek

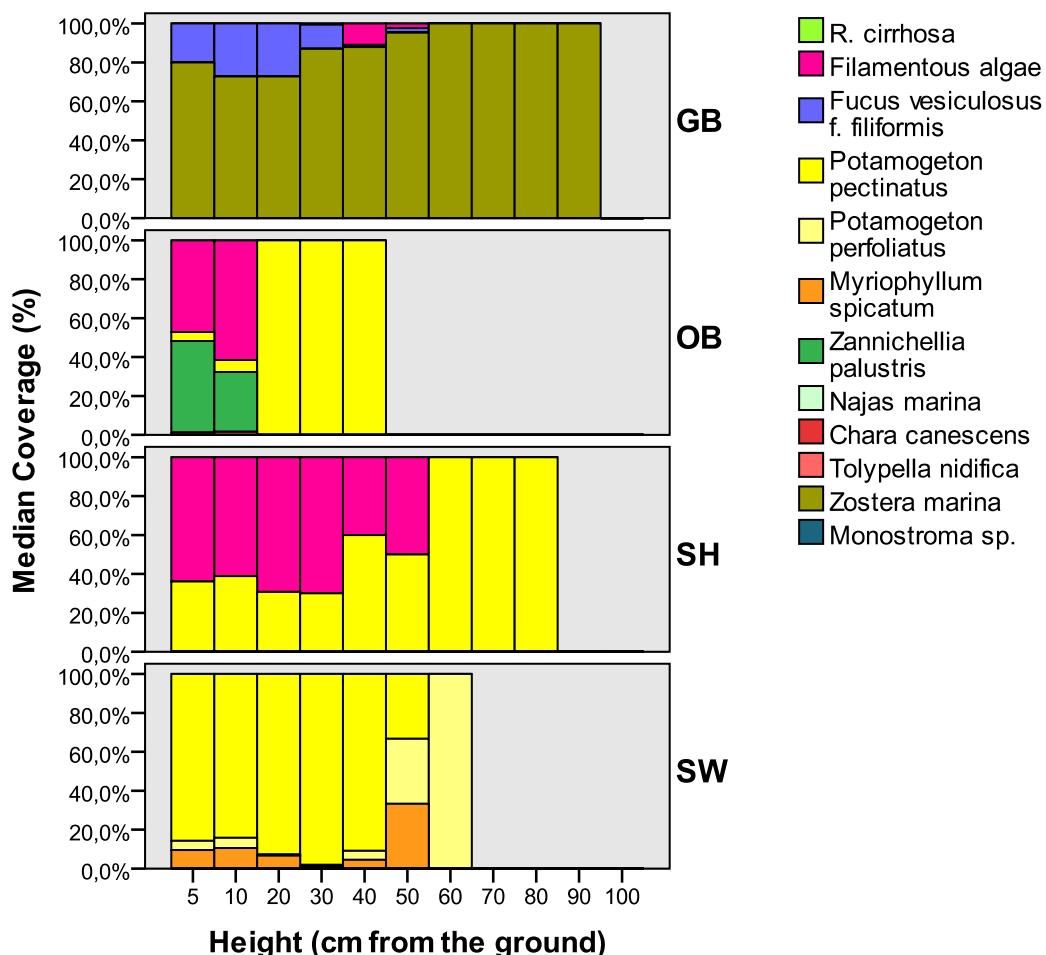


Abbildung 34: Prozentuale Deckungen aller Arten, bezogen auf die Gesamtdeckung auf jeder Höhenstufe an den dicht bewachsenen Standorten entlang des Salzgradienten; GB = Geltinger Bucht, OB = Orther Bucht; SH = Salzhaff; SW = Spandowerhagener Wiek

5.2 Deckung und PVI

Zum Zeitpunkt der Probenahmen entlang des Salzgradienten waren sowohl die Deckung als auch das PVI an allen vegetationsarmen Untersuchungsgruppen sehr gering. Maximal 22% der Fläche wurden von Phytobenthos eingenommen und es machte maximal 0,3% der Wassersäulen aus.

Bei Betrachtung aller vegetationsdominierten Stationen des Salzgradienten im Vergleich zeigt sich, dass es 3 verschiedene Kategorien von Vegetationsbeständen gab. In die erste Kategorie fallen die Orther Bucht und die Griebener Bucht. Diese zeigten Deckungsgrade von 40-60%. Auch ihre pflanzliche Zusammensetzung ist sich ähnlich. Es gibt grundrasenbildende Arten (*Zannichellia palustris* in der Orther Bucht und *Ruppia cirrhosa* in der Griebener Bucht) sowie das höher aufwachsende Laichkraut *Potamogeton pectintus* und dazwischen Matten aus fädigen Algen. In dem verhältnismäßig flachen Wasser von 60-70 cm werden PVI-Werte von im Mittel 5% erreicht. Das Maximum waren 14,4% in der Orther Bucht.

Die Geltinger Bucht, das Salzhaff und die Spandowerhagener Wiek bilden die zweite Kategorie mit wesentlich höheren Deckungsgraden von 80-95% und ebenfalls hohen PVI-Werten von 20-30%. Diese Standorte befinden sich auch in etwas tieferem Wasser (80-110 cm). Die Geltinger Bucht und die Spandowerhagener Wiek sind sich auch in ihrer Vegetationsstruktur ähnlich. Beide beherbergen Makrophyten, die weit in die Wassersäule hineinreichen und auch in größerem Abstand vom Grund noch hohe Deckungsgrade verursachen. In der Geltinger Bucht ist dies *Zostera marina* und in der Spandowerhagener Wiek sind es parvopotamiden und *Myriophyllum spicatum*. Im Salhhaff hingegen werden die hohen Deckungsgrade und pflanzlichen Anteile in der Wassersäule neben dem hoch aufwachsenden *Potamogeton pectintus* zu einem großen Teil von filamentösen Algen verursacht.

Die dritte Kategorie nimmt der Vitter Bodden ein. Bei einer Bedeckung von 100% ist der Anteil des Phytobenthos an der Wassersäule mit 8-17% deutlich weniger als bei den 3 zuvor genannten Standorten. Grund hierfür ist die dichte Bedeckung mit *Fucus vesiculosus*, welcher zwar hohe Deckungsgrade verursacht, aber nicht weit in die etwa 83 cm tiefe Wassersäule hineinreicht.

5.3 Sediment

5.3.1 Geltinger Bucht

Das Sediment am dicht mit Phytobenthos besiedelten Standort ist mäßig sortiert und die Verteilungskurve etwas in den grobkörnigen Bereich verschoben. Feinsand und Mittelsand haben mit 45 und 27,5% den größten Anteil am Gesamt-Korngrößenspektrum. Mit 9 und 8,3% sind auch sehr grobe und grobe Sande im Sediment enthalten und mit je etwa 5% sind Feinsand und Ton-/Siltfraktionen vertreten. Der Median der Korngrößenverteilung beträgt 2,2 ϕ % und der organische Gehalt 1,4%.

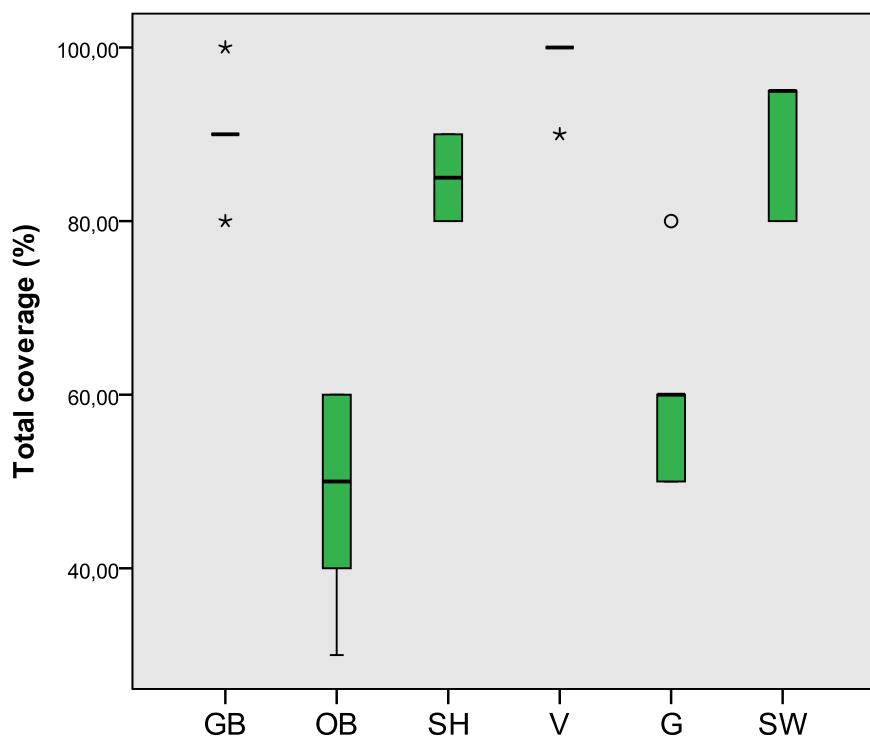


Abbildung 35: Gesamtbedeckung der Plots mit Makrophyten an den dicht bewachsenen Standorten entlang des Salzgradienten; GB = Geltinger Bucht, OB = Orther Bucht; SH = Salzhaff; SW = Spandowerhagener Wiek

Tabelle 10: Deskriptive Statistik zu Deckung und PVI an Standorten entlang des Salzgradienten; MAD = Mittlere Abweichung vom Median

Category	Location	Total Cover		PVI	
		Median	MAD	Median	MAD
Dense Vegetation	Geltinger Bucht	90.00	4.00	29.60	4.16
	Orther Bucht	50.00	10.00	5.10	3.10
	Salzhaff	85.00	5.00	23.35	4.58
	Vitter Bodden	100.00	2.00	14.80	3.12
	Griebener Bucht	60.00	8.00	4.90	0.56
	Spandowerhagener Wiek	95.00	6.00	28.90	2.88
Sparse Vegetation	Geltinger Bucht	2.00	0.00	0.18	0.00
	Orther Bucht	2.00	0.00	0.30	0.00
	Salzhaff	0.50	0.00	0.10	0.00
	Vitter Bodden	0.50	0.00	0.00	0.00
	Griebener Bucht	2.50	1.30	0.33	0.01

Das Sediment der kaum mit Phytobenthos besiedelten Untersuchungsgruppe war besser sortiert

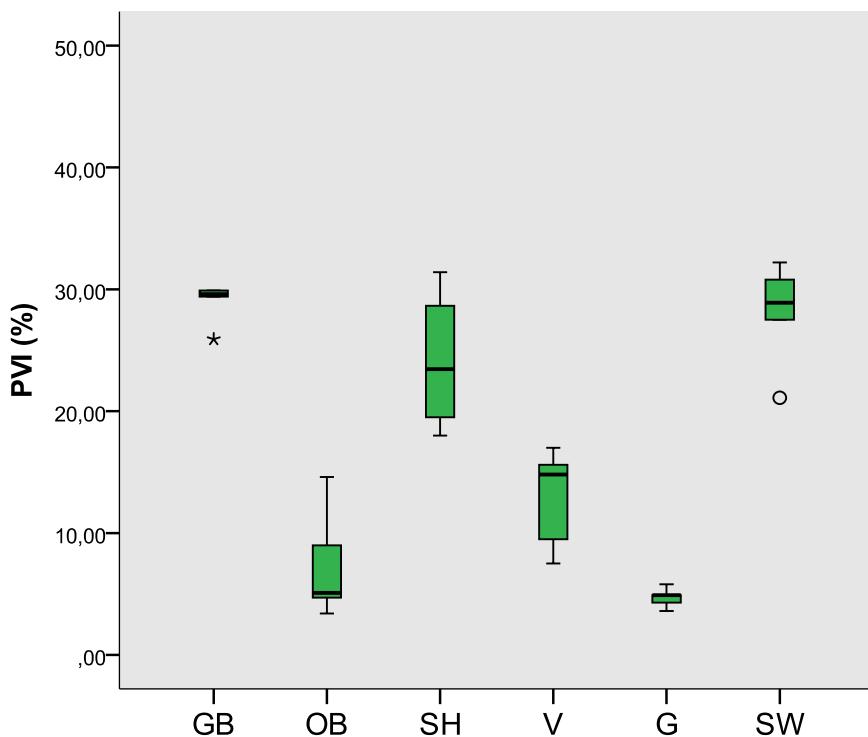


Abbildung 36: Anteil des Phytobenthos an der Wassersäule (PVI nach ?) an den dicht bewachsenen Standorten entlang des Salzgradienten; GB = Geltinger Bucht, OB = Orther Bucht; SH = Salzhaff; SW = Spandowerhagener Wiek

als die der dicht besiedelten Gruppe. Feinsande und Mittelsande hatten hier einen größeren Anteil von 53 und 34 %. Sehr grober Sand war fast nicht und grober Sand nur zu 3 % enthalten. Es waren weniger feine Sande (2,5 %) aber dafür mit etwa 7 % mehr Ton und Silt enthalten. Der Organische Gehalt ist mit 0,7 % geringer als bei den Sedimenten der dicht mit Seegras und *Fucus* besiedelten Fläche.

5.3.2 Orther Bucht

Auf der Phytobenthos-dominierten Untersuchungsfläche ist das Sediment sehr gut sortiert und die Feinsandfraktion dominiert mit 72 %. Daneben kommen zu 16 und 7 % sehr feine und Mittelsande vor. Der Anteil der $<63 \mu\text{m}$ -Fraktion beträgt hier nur 3 %. Insgesamt ist die Verteilungskurve leicht linksschief (in den feinkörnigen Bereich verschoben) und der Median der Korngröße beträgt $1,6 \phi$. Der organische Gehalt des Sedimentes ist mit 0,5 % sehr gering. Das Sediment der Vegetationsreichen Untersuchungsgruppe hingegen ist weniger gut sortiert. Mit 62 % ist der Feinsand ebenfalls die am meisten vertretene Korngrößenfraktion, jedoch ist auch der Anteil des Mittelsandes mit etwa 18 % höher. Der Median der Korngröße beträgt $1,8 \phi$.

5.3.3 Salzhaff

5.3.4 Spandowerhagener Wiek

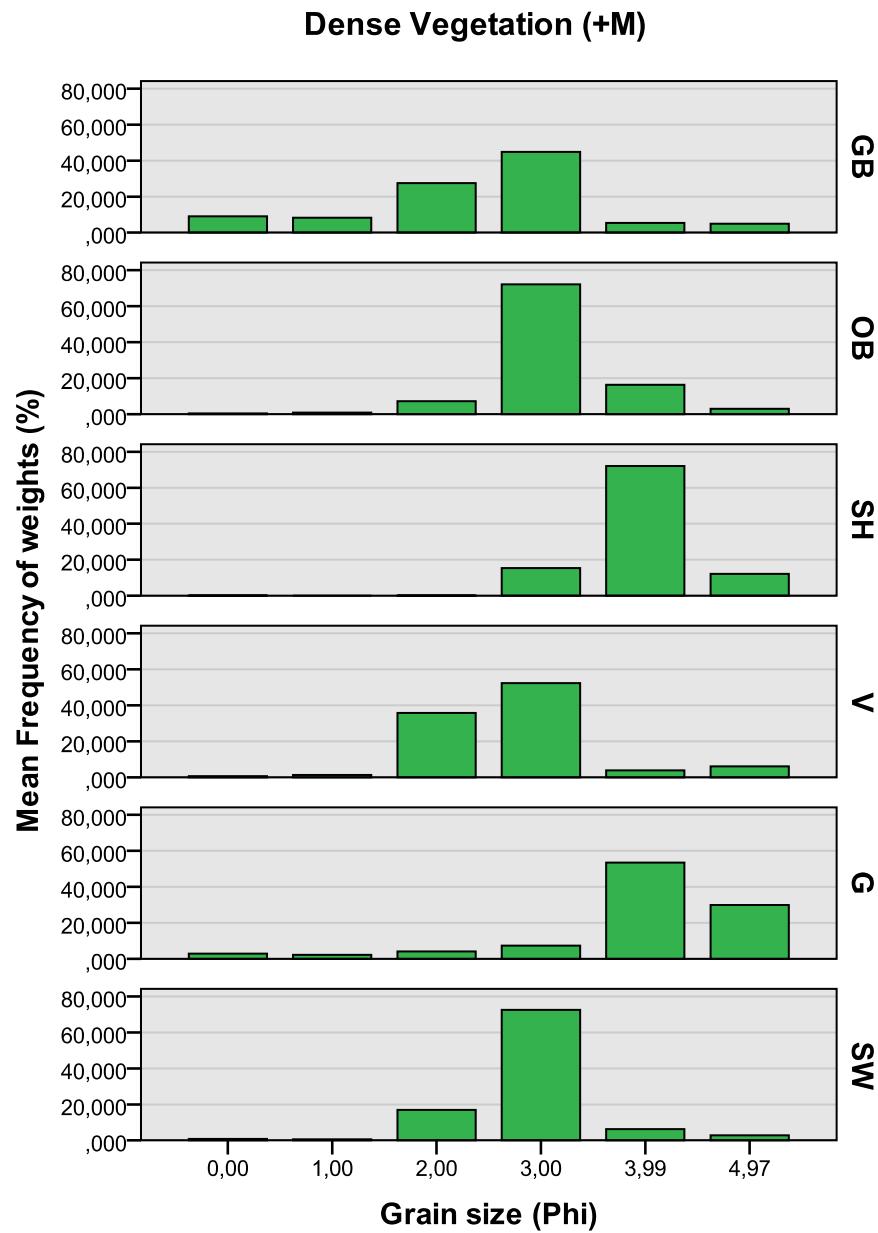


Abbildung 37: Korngrößenverteilungen an dicht bewachsenen Standorten entlang des Salzgradienten (+M); GB = Geltinger Bucht; OB = Orther Bucht; SH = Salzhaff; V = Vitter Bodden (5.7.2013), G = Griebener Bucht (30.7.2013), SW = Spandowerhagener Wiek

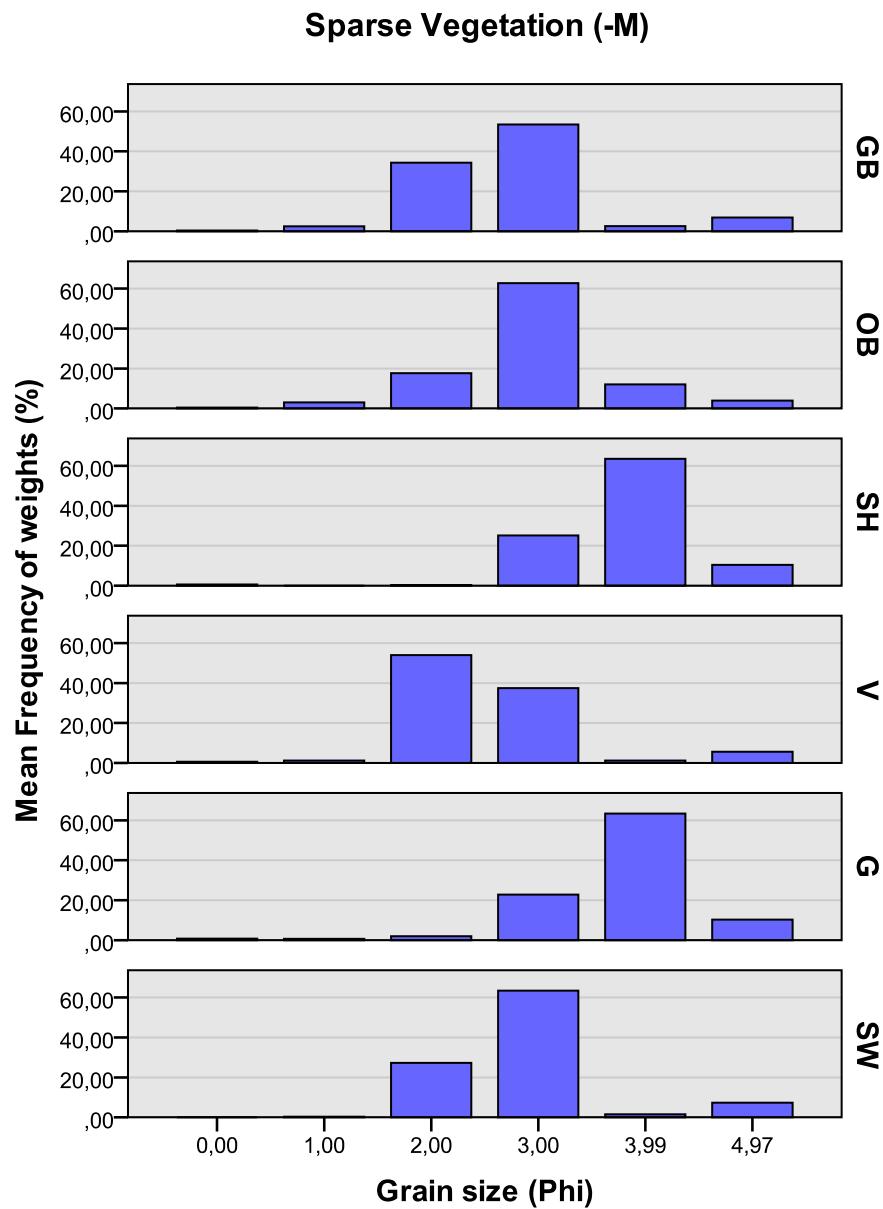


Abbildung 38: Korngrößenverteilungen an spärlich bewachsenen Standorten entlang des Salzgradienten (-M); GB = Geltinger Bucht, OB = Orther Bucht; SH = Salzhaff; V = Vitter Bodden (5.7.2013), G = Griebener Bucht (30.7.2013), SW = Spandowerhagener Wiek

Tabelle 11: Deskriptive Statistik zu den Korngrößenverteilungen an den Standorten entlang des Salzgradienten; MAD = Mittlere Abweichung vom Median; +M = dichte Vegetation, -M = spärliche Vegetation; Kennwerte aus den obersten 2 cm des Sedimentkörpers

Location	Category	Med Grain Size (mm)	Sorting (ϕ)	< 63 μm (%)	AFDW (%)
Geltinger Bucht	+M	2.12	0.71	4.94	1.42
	-M	2.24	0.54	6.88	0.72
Orther Bucht	+M	2.57	0.35	3.03	0.52
	-M	2.46	0.41	4.00	0.55
Salzhaff	+M	3.47	0.35	12.15	1.21
	-M	3.37	0.40	10.45	0.78
Vitter Bodden	+M	2.23	0.54	6.04	1.23
	-M	1.89	0.56	5.56	0.91
Griebener Bucht	+M	3.61	0.95	28.31	4.19
	-M	3.42	0.67	10.23	1.43
Spandowerhagener Wiek	+M	2.44	0.36	2.84	0.93
	-M	2.35	0.43	7.31	1.24

6 Diskussion

7 Zusammenfassung

Literatur

- ATHANASIADIS, A. (1996): Taxonomisk litteratur och biogeografi av skandinaviska rodalger och brunalger, *Algologia*, Goteborg, ISBN 9163049406.
- BACHOR, A. (2005): Nährstoff- und Schwermetallbilanzen der Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns unter besonderer Berücksichtigung ihrer Sedimente, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern.
- BARTELS, S./KLÜBER, U. (1998): Die räumliche Verbreitung des Makrophytobenthos und seine Akkumulation von Nährstoffen und Schwermetallen. Teil 1: Erfassung des Bedeckungsgrades des Greifswalder Bodden mit submersen Makrophyten, in: In: Lampe, R. (Ed.). Greifswalder Bodden und Oder-Ästuar - Austauschprozesse, Synthesebericht des Verbundprojektes, 16, S. 316–325.
- BIELE, S. (1997): Vorschlag zur naturräumlichen Gliederung der Ostsee von Mecklenburg-Vorpommern für eine kartographische Darstellung im Maßstab 1: 250.000 : Erläuterungstext, UmweltPlan GmbH.
- BIGGS, B. J. F. (1996): Hydraulic habitat of plants in streams, in: Regulated Rivers-Research & Management, 12(2-3), S. 131–144, ISSN 0886-9375, doi:10.1002/(SICI)1099-1646(199603)12:2/3<131::AID-RRR385>3.3.CO;2-O, WOS:A1996UM71600003.
- BUCKMANN, K./GEBHARDT, U./WEIDAUER, A./PFEIFFER, K./DUWE, K./FEY, A./HELLMANN, B./POST, J. (1998): Simulation und Messung von Zirkulations- und Transportprozessen im Greifswalder Bodden, Oderästuar und den angrenzenden Küstengewässern, in: In: Lampe, R. (Ed.) Greifswalder Bodden und Oder-Ästuar - Austauschprozesse (GOAP), Synthesebericht des Verbundprojektes, 16, S. 12–41.
- UND SCHIFFFAHRTSVERWALTUNG DES BUNDES, W. (2013): PEGELOWNLINE, URL: <https://www.pegelonline.wsv.de/gast/karte/standard;jsessionid=D81474BB24FD3006B2F14E99013C3A32>, {Aufruf 2013-09-02, 15:07:29}.
- CANAL-VERGES, P./VEDEL, M./VALDEMAREN, T./KRISTENSEN, E./FLINDT, M. R. (2010): Resuspension created by bedload transport of macroalgae: implications for ecosystem functioning, in: Hydrobiologia, 649(1), S. 69–76, ISSN 0018-8158, doi:10.1007/s10750-010-0259-y, WOS:000277720100007.
- CANFIELD, D./SHIREMAN, J./COLLE, D./HALLER, W./WATKINS, C./MACEINA, M. (1984): Prediction of chlorophyll a concentrations in Florida lakes - Importance of aquatic macrophytes, in: Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 41(3), S. 497–501.
- CORRENS, M. (1976): Charakteristische morphometrische Daten der Bodden- und Haffgewässer der DDR, in: Vermessungstechnik, 24(12), S. 459–461.

- COWAN, J. L. W./PENNOCK, J. R./BOYNTON, W. R. (1996): Seasonal and interannual patterns of sediment-water nutrient and oxygen fluxes in Mobile Bay, Alabama (USA): Regulating factors and ecological significance, in: Marine Ecology Progress Series, 141(1-3), S. 229–245, ISSN 0171-8630, doi:10.3354/meps141229, WOS:A1996VN38000023.
- DAUBY, P./BALE, A./BLOOMER, N./CANON, C./LING, R./NORRO, A./ROBERTSON, J./SIMON, A./THEATE, J./WATSON, A./FRANKIGNOULLE, M. (1995): Particle Fluxes Over a Mediterranean Seagrass Bed - a One-Year Case-Study, in: Marine Ecology Progress Series, 126(1-3), S. 233–246, ISSN 0171-8630, doi:10.3354/meps126233, WOS:A1995TD59800021.
- ESCHWE, S. (2005): ikzm-d Lernen, URL: <http://www.ikzm-d.de/main.php?page=21>, 587, {Aufruf 2014-02-22, 19:19:51}.
- FLÜGGE, S. (2004): Aktuelle Situation und Besiedlungspotenzial der submersen Vegetation in den Boddengewässern bei Hiddensee, Diplomarbeit, Universität Greifswald, Math.-Naturwiss. Fakultätat.
- FONSECA, M./FISHER, J. (1986): A Comparison of Canopy Friction and Sediment Movement Between 4 Species, in: Marine Ecology Progress Series, 29(1), S. 15–22, ISSN 0171-8630, doi: 10.3354/meps029015, WOS:A1986A243600003.
- GÜNTHER, B. (1998): Die Bedeutung des Makrozoobenthos für den Kohlenstoffumsatz im Sediment, in: Greifswalder Bodden und Oder-Ästuar - Austauschprozesse, Synthesebericht des Verbundprojektes, (16), S. 286–315.
- GOSSELCK, F. (2007): Anpassung der Seewasserstraße „Nördlicher Peenestrom“, Fachgutachten makrophyten, Wasser und Schifffahrtsamt Stralsund, Institut für angewandte Ökologie GmbH, Neu Brodersdorf.
- GOSSELCK, F. (2011): Anleitung für die Kartierung von marinen Biotopen und FFH-Lebensraumtypen in den Küstengewässern-Mecklenburg-Vorpommerns, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Mecklenburg Vorpommern, Güstrow.
- HARTNACK, W. (1926): Die Küste Hinterpommerns unter besonderer Berücksichtigung der Morphologie, Geographische Gesellschaft.
- {HELCOM}, {RED LIST MACROPHYTE EXPERT GROUP}. (2013): Species information sheet *Fucus vesiculosus*.
- HENDRESCHKE, M. (2009): Aktuelle Situation und Diasporenreservoir submerser Makrophyten in der Griebener Bucht bei Hiddensee, Diplomarbeit, Universität Greifswald, Math.-Naturwiss. Fakultätat.

- HORPPILA, J./NURMINEN, L. (2003): Effects of submerged macrophytes on sediment resuspension and internal phosphorus loading in Lake Hiidenvesi (southern Finland), in: Water Research, 37(18), S. 4468–4474, ISSN 0043-1354, doi:10.1016/S0043-1354(03)00405-6, WOS:000185812200017.
- HORPPILA, J./NURMINEN, L. (2005): Effects of different macrophyte growth forms on sediment and P resuspension in a shallow lake, in: Hydrobiologia, 545, S. 167–175, ISSN 0018-8158, doi:10.1007/s10750-005-2677-9, WOS:000231958700014.
- Hu, K./PANG, Y./WANG, H./WANG, X./Wu, X./Bao, K./Liu, Q. (2011): Simulation study on water quality based on sediment release flume experiment in Lake Taihu, China, in: Ecological Engineering, 37(4), S. 607–615, ISSN 0925-8574, doi:10.1016/j.ecoleng.2010.12.022, WOS:000288734100010.
- IOW (2014): Leibnitz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, URL: <http://www.io-warnemuende.de/marnet-arkona-see.html>, {Aufruf 2014-03-01, 03:20:18}.
- JEPPESEN, E./JENSEN, J. P./SONDERGAARD, M./LAURIDSEN, T./MOLLER, F. P./SANDBY, K. (1998): Changes in nitrogen retention in shallow eutrophic lakes following a decline in density of cyprinids, in: Archiv für Hydrobiologie, 142(2), S. 129–151.
- KAITARANTA, J./NIEMISTO, J./BUHVESTOVA, O./NURMINEN, L. (2013): Quantifying sediment resuspension and internal phosphorus loading in shallow near-shore areas in the Gulf of Finland, in: Boreal Environment Research, 18(6), S. 473–487, ISSN 1239-6095, WOS:000327807000004.
- KARGE, W. (2007): Hiddensee, Ellert & Richter, Hamburg.
- KATZUNG, G. (2004): Geologie von Mecklenburg-Vorpommern: mit ... 50 Tabellen, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- KENWORTHY, W./ZIEMAN, J./THAYER, G. (1982): Evidence for the Influence of Seagrasses on the Benthic Nitrogen-Cycle, in: Oecologia, 54(2), S. 152–158, ISSN 0029-8549, doi:10.1007/BF00378387, WOS:A1982PB47200003.
- KÄNDLER, R. (1963): Hydrologische Untersuchung über die Abwasserbelastung der Flensburger Förde, in: Kieler Meeresforschungen, (19), S. 142–157.
- KOHN, J. (1991): Das Salzhaff - Notwendigkeit und Möglichkeit der Schaffung eines Meeres-schutzgebietes, 7, Stralsund.
- LANU (2001): Deutsch-dänisches Messprogramm Flensburger Förde: Ergebnisse 1996 – 1997.
- LEONARD, L. A./CROFT, A. L. (2006): The effect of standing biomass on flow velocity and turbulence in *Spartina alterniflora* canopies, in: Estuarine Coastal and Shelf Science, 69(3-4), S. 325–336, ISSN 0272-7714, doi:10.1016/j.ecss.2006.05.004, WOS:000240947300003.

- LEPS, W. (1933): Salzgehalt und Stromverhältnisse in den Binnengewässern westlich Rügens: (Prohnerwiek, Kubitzaer Bodden, Schaproder Bodden und Nebengewässer mit den verbindenden Stromrinnen), Adler, Greifswald.
- LI, Y./WANG, Y./ANIM, D. O./TANG, C./DU, W./NI, L./YU, Z./ACHARYA, K. (2014): Flow characteristics in different densities of submerged flexible vegetation from an open-channel flume study of artificial plants, in: *Geomorphology*, 204, S. 314–324, ISSN 0169-555X, doi:10.1016/j.geomorph.2013.08.015, WOS:000328234200025.
- MADSEN, J. D./CHAMBERS, P. A./JAMES, W. F./KOCHE, E. W./WESTLAKE, D. F. (2001): The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes, in: *Hydrobiologia*, 444(1-3), S. 71–84, ISSN 0018-8158, doi:10.1023/A:1017520800568, WOS:000168334400004.
- MADSEN, J. D./SMITH, D. H. (1997): Vegetative spread of Eurasian watermilfoil colonies, in: *Journal of Aquatic Plant Management*, 35, S. 63–68, ISSN 0146-6623, WOS:A1997YF96100005.
- MADSEN, T./SONDERGAARD, M. (1983): The Effects of Current Velocity on the Photosynthesis of Callitricha-Stagnalis Scop, in: *Aquatic Botany*, 15(2), S. 187–193, ISSN 0304-3770, doi: 10.1016/0304-3770(83)90028-1, WOS:A1983QD36800006.
- MÖBUS, G. (2000): Geologie der Insel Hiddensee (südliche Ostsee) in Vergangenheit und Gegenwart: eine Monographie, Bd. 2000 von Greifswalder Geowissenschaftliche Beiträge, Inst. für Geolog. Wiss.
- MERTENS, M./SELIG, U. (2007): Vergleich von historischen und rezenten makrophytenbeständen in den inneren Küstengewässern Schleswig-Holsteins, in: Rostocker Meeresbiologischer Beitrag, Heft 17, S. 55–66.
- MEYER, H./LAMPE, R./JONAS, P./BUCKMANN, K. (1998): Nährstoffe im Oderästuar - Transporte und Inventare, in: In: Lampe, R. (Ed). Greifswalder Bodden und Oder-Ästuar - Austauschprozesse, Synthesebericht des Verbundprojektes, (16), S. 99–129.
- MOBUS, G. (2001): Wie Hiddensee zur Insel wurde: aus der geologischen Vergangenheit und Gegenwart, Helms, Schwerin.
- NATHANSEN, M. (2014): GPS Geoplaner - GeoConverter | Routenplaner online, URL: <http://gpso.de/maps/>, {Aufruf 2014-02-23}.
- NATIONALPARKPLAN (2002): Bestandsanalyse Nationalpark Vorpommersche Boddenlandschaft.
- NAUMANN, M. (2012): Holozäne Küstenentwicklung im Raum Darss-Zingst-Hiddensee und das Zusammenspiel von Eustasie, Neotektonik und Sedimentzufuhr, Dissertation, Universität Greifswald, Math.-Naturwiss. Fakultätat.

- NIEDERMEYER, R.-O./LAMPE, R./JANKE, W./SCHWARZER, K./DUPHORN, K./KLEWE, H./WERNER, F. (2011): Die deutsche Ostseeküste, Nr. 105 in Sammlung geologischer Führer, Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- NIKULINA, A./DULLO, W.-C. (2009): Eutrophication and heavy metal pollution in the Flensburg Fjord: A reassessment after 30 years, in: Marine Pollution Bulletin, 58(6), S. 905–915.
- PANKOW, H. (1971): Algenflora des Ostsee I Benthos (Blau-, Grün-, Braun- und Rotalgen), Veb Gustav Fischer Verlag, Jena.
- PEHLKE, C./SELIG, U./SCHUBERT, H. (2008): Verbreitung und Ökophysiologie von *Fucus*-Beständen der Mecklenburger Bucht (südliche Ostseeküste), in: Rostocker Meeresbiologischer Beitrag, 20, S. 123–142.
- REIMERS, H.-C. (2005): Typologie der Küstengewässer der Nord- und Ostsee.
- REISCH, F./SCHMOLL, D. (1997): Morphologische und sedimentologische Untersuchungen von Strand und Seegrund im Bereich Geltinger Birk (Flensburger Außenförde), in: Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein, 67, S. 1–16.
- ROTHMALER, W. (2005): Exkursionsflora von Deutschland 4, 10. Aufl., Elsevier Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- SCHRIVER, P./BOGESTRAND, J./JEPPESEN, E./SONDERGAARD, M. (1995): Impact of Submerged Macrophytes on Fish-Zooplankton-Phytoplankton Interactions - Large-Scale Enclosure Experiments in a Shallow Eutrophic Lake, in: Freshwater Biology, 33(2), S. 255–270.
- SUND, S. F. (1902): Autor unbekannt, URL: http://greif.uni-greifswald.de/geogreif/?map=theme&signatur=P%202&map_them=51.
- WARD, L./KEMP, W./BOYNTON, W. (1984): The Influence of Waves and Seagrass Communities on Suspended Particulates in an Estuarine Embayment, in: Marine Geology, 59(1-4), S. 85–103, ISSN 0025-3227, doi:10.1016/0025-3227(84)90089-6, WOS:A1984TE59800004.
- WATERMANN, B. (2013): bewuchs-atlas.de - Organismen-Lexikon, URL: http://www.bewuchs-atlas.de/index.php?option=com_content&task=view&id=84&Itemid=59&orgtsn=11335&PHPSESSID=9ecdc30a52606fed4959e812ed4e6f35.
- WEBER, M. v./GOSSELCK, F. (1997): Morphologie und Hydrographie der Wismar-Bucht., in: Meer und Museum, Schriftenreihe des Deutschen Museums für Meereskunde und Fischerei Stralsund, (13), S. 33–36.

VAN DE WEYER, K./SCHMIDT, C. (2007): Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten (Gefäßpflanzen, Armleuchteralgen und Moose) in Deutschland, 1. Aufl., Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, Potsdam.

Anhang