

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

9. März 2014

Dozenten:

PD Dr. Irmgard Blindow
Prof. Dr. Hendrik Schubert

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	IV
Script-Verzeichnis	IV
1 Einleitung	1
2 Hypothesen und Versuchsaufbau	2
2.1 Hypothesen	2
2.2 Versuchsaufbau	2
3 Untersuchungsgebiete	4
3.1 Hiddenseer Boddengewässer (Antje Kerkow, Caroline Lindner)	4
3.1.1 Vitter Bodden (Bozena Nawka, verändert)	5
3.1.2 Griebener Bucht (Milena Kafka, verändert)	6
3.2 Weitere Buchten und Bodden der südlichen Deutschen Ostsee entlang des Salzgradienten	7
3.2.1 Geltinger Bucht (Antje Kerkow)	7
3.2.2 Orther Bucht (Antje Kerkow)	8
3.2.3 Salzhaff (Caroline Lindner, verändert)	9
3.2.4 Spandowerhagener Wiek (Caroline Lindner, verändert)	10
4 Methoden	12
4.1 Vegetationskartierung	12
4.2 PV und PVI	13
4.3 Mittlere Wassertiefe	13
4.4 Biomasse	14
4.5 Sediment	15
4.5.1 Analytik in Gelände und Labor	15
4.5.2 Berechnungen der Kennwerte	17
4.6 Datenanalyse und Kartenerstellung	18
5 Ergebnisse	19
5.1 Hiddenseer Standorte im Verlauf der Wachstumssaison	19
5.1.1 Vegetation	19
5.1.2 Sediment	19
5.1.3 Biomasse	19
5.2 Standorte entlang des Salzgradienten	19
5.2.1 Vegetation	19
5.2.2 Sediment	19

6 Diskussion	20
7 Zusammenfassung	21
Literatur	22
Anhang	26

Abbildungsverzeichnis

1	Probenahmepunkte Vitte	5
2	Probenahmepunkte Griebener Bucht	6
3	Übersichtskarte der Probenahmestandorte entlang des Salzgradienten	7
4	Probenahmepunkte Geltinger Bucht	8
5	Probenahmepunkte Orther Bucht	9
6	Probenahmepunkte Salzhaff	10
7	Probenahmepunkte Spandowerhagener Wiek	11
8	Vegetation Vitte	19
9	Vegetation Vitte	19

Tabellenverzeichnis

1	Übersicht Untersuchungen und Probenahmetermine	3
2	Eckdaten für die Standorte entlang des Salzgradienten	3
3	Skala für die Schätzung der Makrophytenbedeckung	12

Script-Verzeichnis

1 Einleitung

2 Hypothesen und Versuchsaufbau

2.1 Hypothesen

2.2 Versuchsaufbau

Im Hauptuntersuchungsgebiet, in den Boddengewässern östlich Hiddensees gelegen, sollte eine möglichst umfassende Studie der Zusammenhänge vieler Einzelparameter stattfinden und der Einfluss der Zeit mitberücksichtigt werden. Hier wurden jeweils an zwei Standorten fünf mal der Wuchs der Vegetation im Verlauf der Wachstumsaison 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 Nationalparks 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.

Die Gruppen selbst sollten auch möglichst nah aneinander und in der gleichen Wassertiefe liegen, wobei sich die Umsetzung dieser Kriterien in der Praxis als schwierig herausgestellt hat. Um einen deutlichen Unterschied in der Vegetation zu bekommen, mussten sie circa 50-300 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.

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
	Jul 05	Sediment (F. Bitschofsky)		
3	Aug 01	Susp. Material, Plankton	Jul 30	Susp. Material, Plankton
	Aug 01	Sediment	Jul 30	Sediment
	Aug 06	Vegetation	Aug 07	Vegetation
	Aug 06	Biomass	Aug 07	Biomass
4	Aug 19	Susp. Material, Plankton	Aug 17	Susp. Material, Plankton
	Aug 19	Sediment	Aug 17	Sediment
	Aug 21	Vegetation	Aug 21	Vegetation
5	Sep 16	Susp. Material, Plankton	Sep 16	Susp. Material, Plankton
	Sep 22	Vegetation	Sep 22	Vegetation

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

3 Untersuchungsgebiete

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

3.1 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 (IOW, 2014) 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 westrügischen 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 Einnschnitt 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-Boddenkette. Ein größerer Zustrom von salzhaltigem Wasser erfolgt bei Einstrombedingungen aus dem Greifswalder Bodden über den Strelasund (LEPS, 1933).

HARTNACK (1926) 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 4-5m tiefen Gellenstrom hereingedrückt werden (LEPS, 1933). Desweiteren 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 (HARTNACK, 1926).

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

3.1.1 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 (NATHANSEN, 2014). 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 (KATZUNG, 2004). Im Süden ist er durch die Fährinsel-Schwelle, ein nur durch die Fahrinne vertieftes Flachwassergebiet über Geschiebemergel, vom Schaproder Bodden abgegrenzt (MOBUS, 2001). 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 (MOBUS, 2001).

Nach BACHOR (2005) beträgt der mittlere Salzgehalt des Vitter Boddens 8,8 PSU und liegt nach dem Venedig-System im β -mesohalinen Bereich (GOSSELCK, 2011), was durch eigene Messungen von 8,02 - 8,28 PSU (August und September 2013) bestätigt werden konnte.

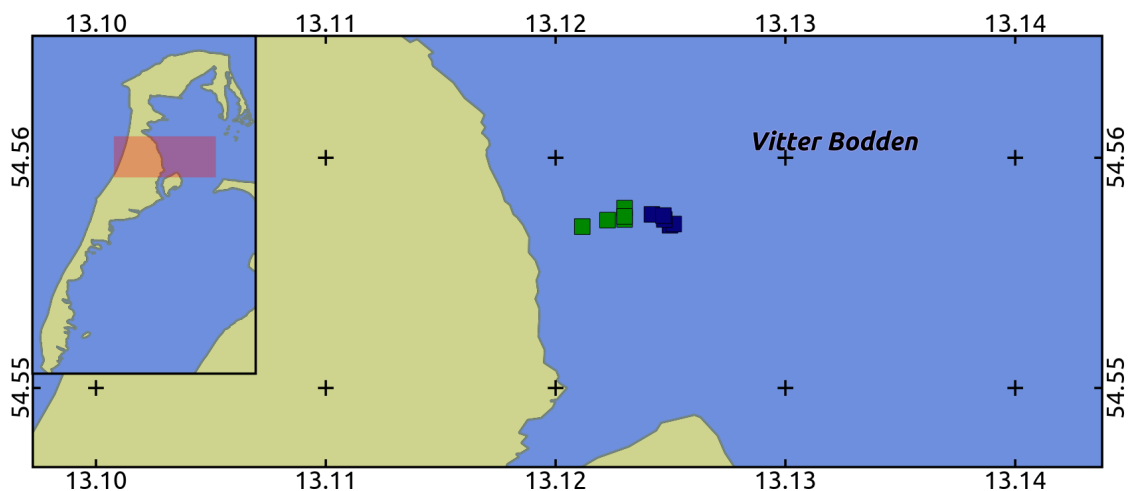


Abbildung 1: Probenahmepunkte Vitte; Markierungen: grün = dichte Vegetation, blau = spärliche Vegetation; Maßstab: 1:160.000

Die Probennahmestandorte lagen im Flachwasserbereich südlich des Vitter Hafens und nördlich der Fährinsel. Hier ist das Befahren mit motorbetriebenen Wasserfahrzeugen laut Nationalparkverordnung verboten (NATIONALPARKPLAN, 2002).

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 zahlreiche eingestreut sind winterannuelle Myriophylliden und Parvopotamiden. Der Makrophytenarme Standort hingegen ist auf einer kleinen Sandbank mit einer mittleren Wassertiefe

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

3.1.2 Griebener Bucht (Milena Kafka, verändert)

Die Griebener Bucht ist Teil des Vitter Boddens 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 (MÖBUS, 2000). Durch die vorwiegenden Westwinde wird Geschiebemergel aus dem Pleistozän vom Nordufer der Insel abradiert und in südöstliche Richtung durch Hakenbildungen (Alt- und Neu-Bessin) abgelagert (NAUMANN, 2012).

Der Alt-Bessin begann vor 300 bis 500 Jahren zu wachsen, während sich der vorgelagerte Neu-Bessin erst seit etwa 100 Jahren bildet und jährlich 30 bis 60m wächst (KARGE, 2007). Nach MÖBUS (2000) würden der Bug und der Altbessin zusammenwachsen, wenn für die Schifffahrt zwischen Hiddensee und Rügen die Libben-Fährrinne nicht ausgebaggert werden würde.

Die Griebener Bucht ist im Mittel etwa 1 m tief (FLÜGGE, 2004, HENDRESCHKE, 2009) 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 GOSSELCK (2011) ebenso wie der Vitter Bodden zur β – mesohalinen Zone.

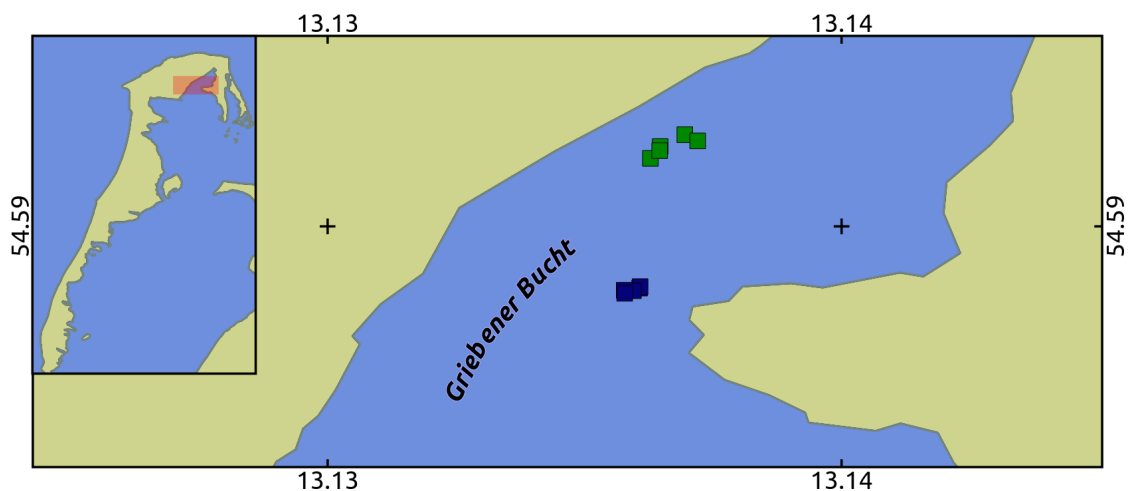


Abbildung 2: Probenahmepunkte Griebener Bucht bei Hiddensee; Markierungen: grün = dichte Vegetation, blau = spärliche Vegetation; Maßstab: 1:6700

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 Chacareen 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.

3.2 Weitere Buchten und Bodden der südlichen Deutschen Ostsee 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.

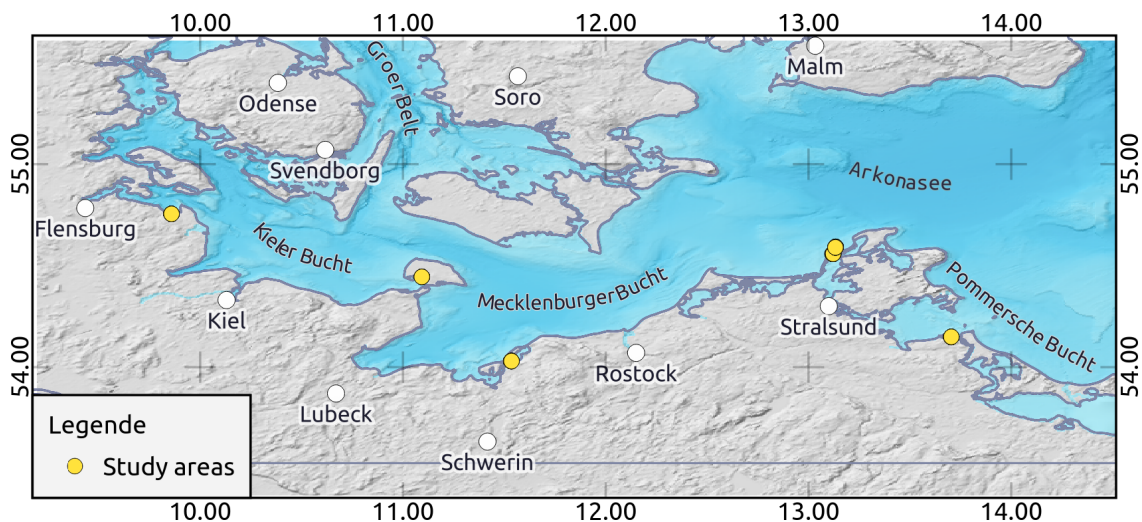


Abbildung 3: Probenahmestandorte entlang des Salzgradienten, von links nach rechts: Geltinger Bucht, Orther Bucht, Salzhaff, Hiddensee (Vitter Bodden und Griebener Bucht), Spandowerhagener Wiek; Maßstab: 1:1700000

3.2.1 Geltinger Bucht (Antje Kerkow)

Die Geltinger Bucht ist ein südlicher Ausläufer der Flensburger Außenförde mit einer West-Ost-Ausdehnung von 7,3km und einer Nord-Süd-Ausdehnung von 5km. In ihrem Außenbereich ist sie 20m tief (NIKULINA/DULLO, 2009), jedoch verfügt sie auch über Steinriffe und ausgedehnte Flachwasserzonen mit Seegrasbeständen (LANDESBETRIEB FÜR KÜSTENSCHUTZ, 2013).

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 Litorinatrangression mit Wasser gefüllt (REISCH/SCHMOLL, 1997).

Der Salzgehalt der Geltinger Bucht wird beeinträchtigt durch Stürme, die salziges Ostseewasser über die Holnisschwelle drücken und damit das Tiefenwasser erneuern (NIKULINA/DULLO, 2009). Der Süßwassereinstrom in die Flensburger Förde ist mit 30km³/Jahr (LANU, 2001)

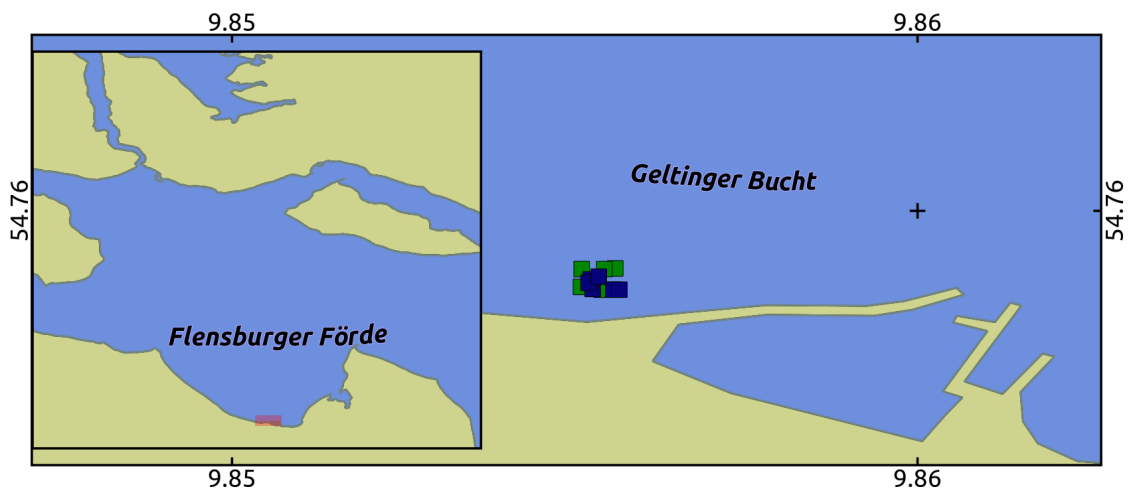


Abbildung 4: Probenahmepunkte Geltinger Bucht; Markierungen: grün = dichte Vegetation, blau = spärliche Vegetation; Maßstab: 1:5000

dagegen gering. Das Wasser im tiefen Zentral- und Außenbereich der Bucht ist saisonal geschichtet und wird als meso-polyhalin eingestuft (REIMERS, 2005). KÄNDLER (1963), ? 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 9,6 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 (MERTENS/SELIG, 2007).

3.2.2 Orther Bucht (Antje Kerkow)

Die Orther Bucht liegt mit einer maximalen Tiefe von 4,1 m (SUND, 1902) 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 4,8km in ihrer West-Ost- und 2,8km 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 (ESCHWE, 2005). Die Orther Bucht wird eingestuft als mesohalines inneres Küstengewässer (REIMERS, 2005) und zeigte zum Zeitpunkt der Untersuchung einen Salzgehalt zwischen 10,3 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*,

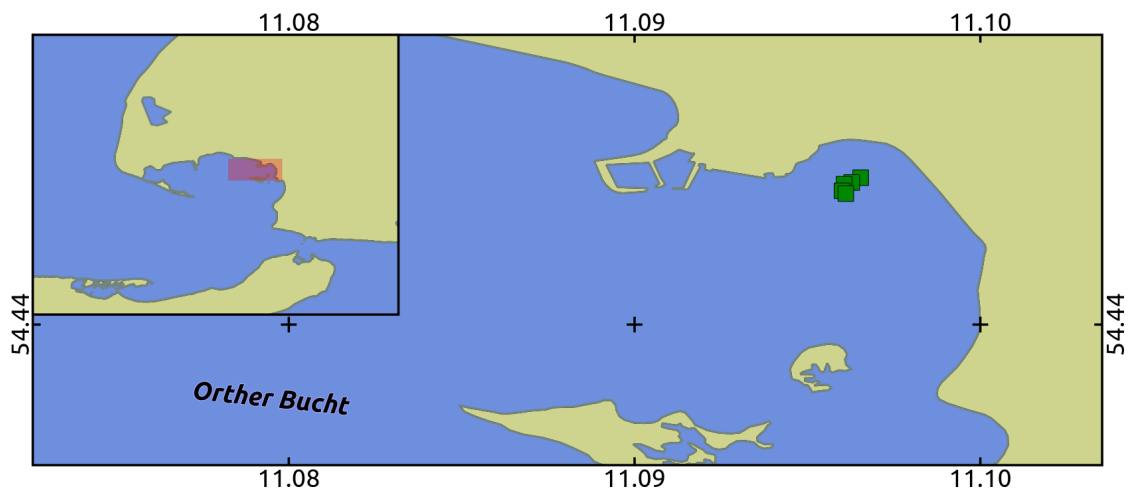


Abbildung 5: Probenahmepunkte Orther Bucht; Markierungen: grün = dichte Vegetation, blau = spärliche Vegetation; Maßstab: 1:10000

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 (MERTENS/SELIG, 2007).

3.2.3 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 (NATHANSEN, 2014), nordöstlich der Stadt Wismar und per Luftlinie etwa 35km 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 1,5km breite und 4m 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 (KOHN, 1991).

Das Salzhaff nimmt eine Fläche von 20 bis 22km² ein und hat von Südwest nach Nordost eine Länge von 12km. Der vorspringende Tessmannsdorfer Haken teilt das Salzhaff in eine äußere Bucht im Südwesten mit einer Tiefe von bis zu 5m und in eine innere Bucht im Nordosten, die eine Tiefe von bis zu 3m erreicht (WEBER/GOSSELCK, 1997). Die tiefste Verbindung der beiden Buchten bildet der Ellbogen, eine Rinne von etwa 30m Breite und 2m Tiefe (KOHN, 1991). Die mittlere Tiefe des Salzhaffs liegt bei 2,3m. Die maximale Tiefe beträgt 10m und befindet sich nordöstlich des Boiensdorfer Werders (KOHN, 1991). Der einzige Süßwasserzufluss ist der Hellbach, der in die innere Bucht mündet, jedoch zu keiner nennenswerten Verringerung des

Salzgehaltes führt (WEBER/GOSSELCK, 1997). 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 (WEBER/GOSSELCK, 1997). Im Juni 2013 konnte dies mit eigenen Messungen von 10,7 PSU im äußeren Salzhaff nachwiesen werden. Das Salzhaff liegt demnach im α -mesohalinen Bereich (GOSSELCK, 2011).

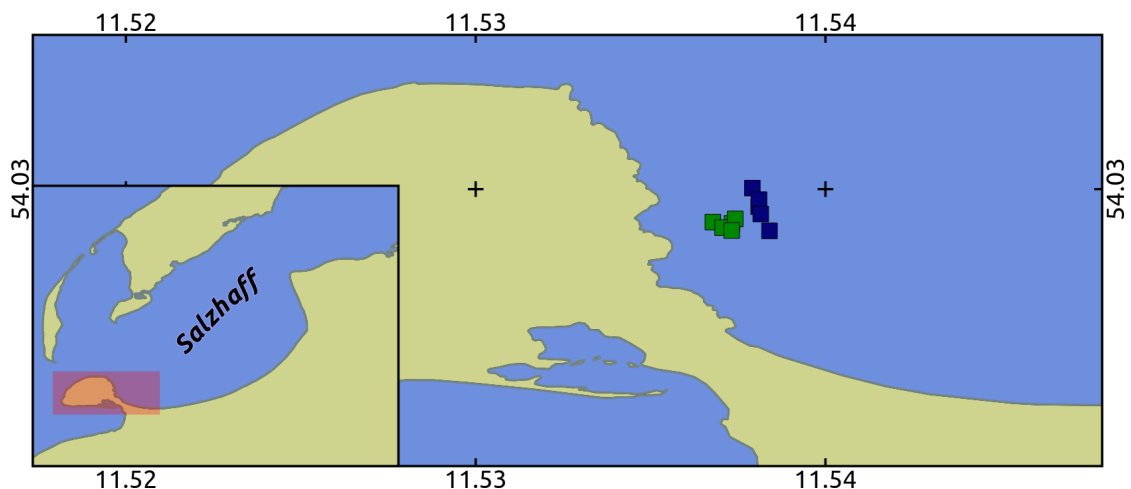


Abbildung 6: Probenahmepunkte Salzhaff; Markierungen: grün = dichte Vegetation, blau = spärliche Vegetation; Maßstab: 1:10000

3.2.4 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° 8' 58" N bis 54° 9' 40" N und 13° 41' 55" E bis 13° 45' 6" E (NATHANSEN, 2014). 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“ (NIEDERMEYER ET AL., 2011). 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 km² ein (NIEDERMEYER ET AL., 2011) 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 (MEYER ET AL., 1998), 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 Fahrrinne der Peene und der etwa 4 m tiefen Rinne zum Kühlwasserkanal des ehemaligen Kernkraftwerks Nord durchzogen (GOSSELCK, 2007).

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 (MEYER ET AL., 1998). 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 (GÜNTHER, 1998). 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.

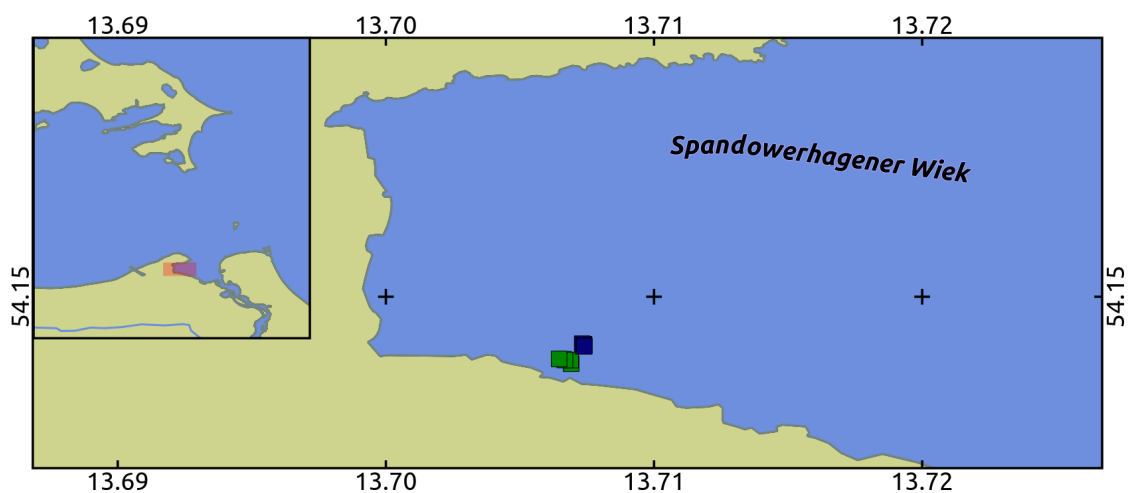


Abbildung 7: Probenahmepunkte Spandowerhagener Wiek; Markierungen: grün = dichte Vegetation, blau = spärliche Vegetation; Maßstab: 1:13000

4 Methoden

4.1 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 genug entfernt war, um kein Sediment über der Fläche aufzuwirbeln und dass das Boot genau 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, die im Frühjahr bis in den Juni hinein große deckende Matten gebildet hatten, wurden mit berücksichtigt, jedoch wurde dieses Geflecht unterschiedlichster Gattungen und Arten nicht genauer bestimmt.

Zur Identifizierung der nicht ohne Hilfsmittel erkennbaren Arten, insbesondere der Characeen-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 Gefäßpflanzen wurden bestimmt nach VAN DE WEYER/SCHMIDT (2007) und ROTHMALER (2005) und die Algen nach PANKOW (1971).

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. Dabei 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.

4.2 PV und PVI

Der Anteil des Pflanzenvolumens am Gesamtwasservolumen (Plant Volume Infested, PVI), wird nach JEPPESEN ET AL. (1998), SCHRIVER ET AL. (1995), 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 (JEPPESEN ET AL., 1998).

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

$$PV = \sum_{i=a}^n \frac{H_i * C_i}{100}$$

H_i = Länge einer jeden Höhenschicht

C_i = Deckung auf dieser Höhenschicht

$a - n$ = Höhestufen vom Boden

bis zur Wasseroberfläche

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

4.3 Mittlere Wassertiefe

Die Wassertiefen wurden an jedem Plot mit dem Zollstock gemessen und zusammen mit der Uhrzeit notiert. Später wurde der mittlere Wasserstand und die Abweichung davon zum Zeitpunkt der Messung für die nächstgelegene Pegelmessstation recherchiert. Mit dieser Information 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 Hiddenseer

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).

4.4 Biomasse

Um die Biomasse zu untersuchen, wurde ein 20cm hoher quadratischer Stahlrahmen mit einer Kantenlänge von 50cm 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 gewöhnlichen Angelkäscher gefüllt, wobei der Käscher 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 mit abgeerntet und ging in die Analyse mit ein.

Für den Transport wurde die Biomasse in stabile Tüten 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 abkühlen lassen und gewogen.

Für die Bestimmung des aschfreien Trockengewichtes wurden jeweils 30g aus den getrockneten Proben in Aluminium-Schalen gefüllt, die vorher bei 500 °C erhitzt wurden, im Exsikkator abgekühlt sind und danach gewogen wurden. Proben aus Plots mit einer sehr geringen Menge Biomasse wurden von vornherein 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:

$$AFDW(\%) = \frac{100(B_d - B_b)}{B_d}$$

B_b = Gewicht der Biomasse

gebrannt bei 500 °C

B_d = Gewicht der Biomasse

getrocknet bei 105 °C

4.5 Sediment

4.5.1 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 und sichtbare Tier- und Pflanzenteile 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 10 ml Probenmaterial entnommen und in die Aluminiumschälchen gefüllt. 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 Lo-

garithmus 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.

4.5.2 Berechnungen der Kennwerte

$$AFDW(\%) = \frac{100(S_d - S_b)}{S_d}$$

$AFDW$ = Aschfreies Trockengewicht

S_b = Gewicht des Sedimentes
gebrannt bei 500°C

S_d = Gewicht des Sedimentes
getrocknet bei 105°C

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

L = Wassergehalt

S_w = Gewicht des feuchten Sedimentes

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

i = Gewicht einer Korngrößenfraktion
der Kategorien a-f

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

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

M = Gesamteinwaage Feuchtprobe

$$\phi = -\log_2 \frac{d}{d_0}$$

d = Korndurchmesser

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

\tilde{x} = Median

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

\bar{x} = Mittelwert

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

So = Sortierung

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

Sk = Schiefe

4.6 Datenanalyse und Kartenerstellung

Dateneingabe und Berechnungen erfolgten in Microsoft Office Excel 2007. Histogramme, Boxplots und Balkendiagramme wurden mit IBM SPSS Statistics 20 ertellt. Auch der Wilcoxon-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 Regressionsmatritzen und die Bestimmung der besten multiplen Regressionsmodelle wurde mit Minitab 16 durchgeführt. Die Erstellung der Karten erfolgte mit QGIS 2.0.1.

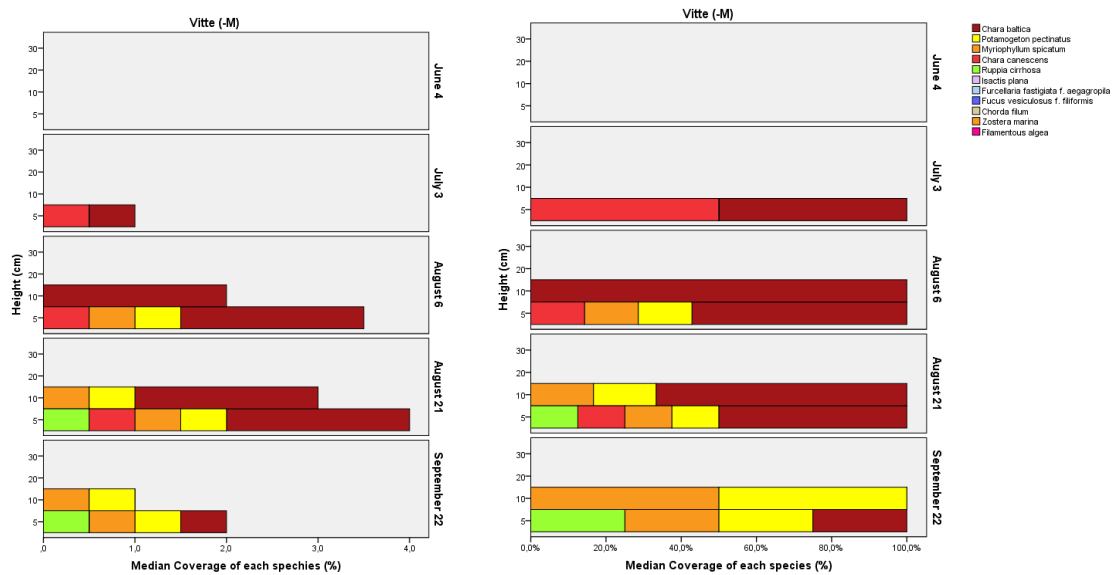


Abbildung 8: Vegetation Vitte

Abbildung 9: Vegetation Vitte

5 Ergebnisse

5.1 Hiddenseer Standorte im Verlauf der Wachstumssaison

5.1.1 Vegetation

5.1.2 Sediment

5.1.3 Biomasse

5.2 Standorte entlang des Salzgradienten

5.2.1 Vegetation

5.2.2 Sediment

6 Diskussion

7 Zusammenfassung

Literatur

- 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 Boddens 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.
- 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): PEGELONLINE, URL: <https://www.pegelonline.wsv.de/gast/karte/standard;jsessionid=D81474BB24FD3006B2F14E99013C3A32>, {Aufruf 2013-09-02, 15:07:29}.
- 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.
- 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. Fakultät.
- 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.
- HENDRESCHKE, M. (2009): Aktuelle Situation und Diasporenreservoir submerser Makrophyten in der Griebener Bucht bei Hiddensee, Diplomarbeit, Universität Greifswald, Math.-Naturwiss. Fakultät.
- IOW (2014): Leibnitz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, URL: <http://www.io-warnemuende.de/marnet-arkona-see.html>, {Aufruf 2014-03-01, 03:20:18}.
- JEPPSEN, 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.
- KARGE, W. (2007): Hiddensee, Ellert & Richter, Hamburg.
- KATZUNG, G. (2004): Geologie von Mecklenburg-Vorpommern: mit ... 50 Tabellen, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- 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 Meereschutzgebietes, 7, Stralsund.
- LANDESBETRIEB FÜR KÜSTENSCHUTZ, N. U. M. S.-H. (2013): Schleswig-Holstein – Fachplan Ostseeküste - Schutzgebiete an der Flensburger Förde, URL: http://www.schleswig-holstein.de/KuestenSchutz/DE/06_Ostseekueste/02_Grundlagen/22_Naturschutz/SchutzgebKuestenabschn/81-Schutzgebiete/81-Schutzgebiete_node.html, {Aufruf 2014-02-23, 01:05:20}.
- LANU (2001): Deutsch-dänisches Messprogramm Flensburger Förde: Ergebnisse 1996 - 1997.
- LEPS, W. (1933): Salzgehalt und Stromverhältnisse in den Binnengewässern westlich Rügens: (Prohnerwiek, Kubitzer Bodden, Schaproder Bodden und Nebengewässer mit den verbindenden Stromrinnen), Adler, Greifswald.
-

-
- 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 Vorpommernsche Boddenlandschaft.
- NAUMANN, M. (2012): Holozäne Küstenentwicklung im Raum Darss-Zingst-Hiddensee und das Zusammenspiel von Eustasie, Neotektonik und Sedimentzufuhr, Dissertation, Universität Greifswald, Math.-Naturwiss. Fakultät.
- NIEDERMEYER, R.-O./LAMPE, R./JANKE, W./SCHWARZER, K./DUPHORN, K./KLIEWE, 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.
- 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.

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