



„Vom Sediment zum Top-Prädator“

ABSCHLUSSBERICHT

Autoren: Philipp Schwemmer, Kai Eskildsen, Leonie Enners, Sabine Horn, Kerstin Wittbrodt, Maria Stage, Kirsten Binder, Heike Büttger, Alexandra Ruales, Kerstin Stelzer, Harald Asmus, Ragnhild Asmus, Stefan Garthe, Jörn Kohlus, Hans-Christian Reimers, Klaus Ricklefs & Klaus Schwarzer

Verbundleitung: Kai Eskildsen

Teilprojektleitung:

Zuwendungsempfänger:

Dipl.-Ökol. Kai Eskildsen

Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz
- Nationalparkverwaltung (NPV), Schlossgarten 1, 25832 Tönning
(03F0672A)

Prof. Dr. Stefan Garthe

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel mit dem
Forschungs- und Technologiezentrum Westküste,(FTZ) Hafentörn,
25761 Büsum,
Institut für Geowissenschaften (IfG), Otto-Hahn-Platz 1, 24118 Kiel
(03F0672B)

Dr. Hans-Christian Reimers

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Lan-
des Schleswig-Holstein (LLUR), Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek
(03F0672C)

Dr. Ragnhild Asmus

Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresfor-
schung, - Wattenmeerstation (AWI)
Hafenstraße 43, 25992 List/Sylt
(03F0672D)

Laufzeit: 01.04.2013 – 31.03.2016

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

INHALTSVERZEICHNIS

1	Kurzdarstellung des Projektes.....	7
1.1	Aufgabenstellung	7
1.2	Planung und Ablauf des Vorhabens	9
1.3	Stand von Wissenschaft und Technik bei Beginn des Projektes	9
1.3.1	Stand von Wissenschaft und Technik.....	9
1.3.2	Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden	13
1.3.3	Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste.....	13
1.4	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	19
2	Ausführliche Darstellung der Projektergebnisse.....	21
2.1	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses	21
2.1.1	Projektmanagement (WP6).....	24
2.1.2	Verteilungsmuster im Sublitoral (AP1).....	30
2.1.3	Verteilungsmuster im Gezeitenbereich (AP2).....	56
2.1.4	Simulation hydrodynamischer Verhältnisse (AP3).....	70
2.1.5	Funktionale Modelle (AP4).....	73
2.1.6	Bewertung und Synthese (AP5)	84
2.1.7	Sonstige Arbeiten	92
2.2	Wichtigste Positionen des zahlenmässigen Nachweises	92
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	92
2.4	Verwertbarkeit der Ergebnisse	93
2.5	Stand von Wissenschaft und Technik.....	94
2.6	Veröffentlichungen	94
2.7	Vertraulichkeit.....	96

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Veranstaltungen, an denen Projektbeteiligte im Berichtszeitraum teilgenommen haben. V=Vortrag, P=Poster	25
Tabelle 2: Informationen zu den Messfahrten. Die Kampagnen fanden in der Regel unter Beteiligung mehrerer Partnerinstitutionen statt, um einerseits der inter- und transdisziplinären Gesamtfragestellung Rechnung zu tragen und andererseits Ressourcen effizient einzusetzen.	32
Tabelle 3: Darstellung der Sedimentcharakteristika in denen Ensis und Lanice conchilega gefunden wurden.....	43
Tabelle 5: Ergebnisse des Testlaufs der ENA. Verwendet wurden die Daten der Begleitfauna der Muschelbank Uthörn Außenwatt im Lister Tief aus den Jahren 1999, 2007 und 2010 (Daten aus dem Miesmuschelmonitoring).	88
Tabelle 5: Mitwirkung der STopP-Partner in relevanten nationalen und internationalen Arbeitsgruppen zur Umsetzung von EU-Richtlinien.	93

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Übersicht über die STopP-Verbundstruktur.	7
Abbildung 2: Das Untersuchungsgebiet des STopP-Verbunds mit der Unterteilung in STopP-See und STopP-Watt.	8
Abbildung 3: Planung des Vorhabenablaufs mit Meilensteinen (rote Romben).	9
Abbildung 4: Datenmodell für Sediment, Makrobenthos, Kotproben und Makrobenthos mit identifizierten Vögelkonzentrationen.	29
Abbildung 5: Datenmodell für Sediment-Benthos-Kartierungen.	29
Abbildung 6: Datenmodell für Muscheln.	30
Abbildung 7: Datenmodell für Pegeldata.	30
Abbildung 8: Datenmodell für Biomasse (Vögel).	30
Abbildung 9: Seitensicht-Sonar Mosaik des gesamten Untersuchungsgebietes.	33
Abbildung 10: Die Sedimentverteilung nach Folk & Ward (1957), das Vorkommen von Rippeln mit einem Kammabstand > 1 m und „Sorted Bedforms“ im gesamten Arbeitsgebiet.	33
Abbildung 11: Das Vorkommen von Hartsubstraten im inneren Bereich des STopP-Gebiets.	35
Abbildung 12: Das Vorkommen von Sorted Bedforms unterschiedlicher Ausprägung im Arbeitsgebiet.	36
Abbildung 13: Geographische Lage und sedimentologische Ausbildung eines Sedimentkernes aus dem Gebiet STopP-See.	37
Abbildung 14: Benthosverteilung (<i>Lanice conchilega</i> und Miesmuschelbänke) mit dem Vorkommen von Hartsubstraten. Als einzelne Punkte sind Greiferpositionen markiert, in denen <i>Ensis</i> , <i>Lanice conchilega</i> oder beides zusammen anzutreffen waren.	38
Abbildung 15: Stabilität von Miesmuschel-Bänken. a) Lage der beiden Bänke (Siedlungssubstrat: Torf); b) Ausbreitung der Miesmuscheln in der Querrinne in den Jahren 2012, 2013, 2014 auf einem Seitensichtsonar-Mosaik von 2015; c) besiedelte Miesmuschel-Fläche nordöstlich Föhr in den Jahren 2012 - 2015.	39
Abbildung 16: In der oberen Abbildung sind 9 unterschiedliche <i>Lanice</i> -Signaturen in Seitensicht-Sonaraufnahmen aus dem STopP-Gebiet dargestellt. Die untere Abbildung zeigt dazu das Vorkommen von <i>Lanice</i> -Röhren in Kastengreiferproben.	40
Abbildung 17: Das Vorkommen von <i>Lanice conchilega</i> im Gebiet STopP-See. Dieser Polychät tritt vornehmlich auf den Feinsandflächen auf.	41
Abbildung 18: Verbreitung von <i>Lanice conchilega</i> und <i>Ensis</i> -Vorkommen auf Informationen zur Sedimentverteilung und dem Vorkommen von Sohltransportkörpern.	42

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Abbildung 19: Probestationen für Makrozoobenthos im Sublitoral. Die unterschiedlichen Farben geben die Datenherkunft wieder.....	44
Abbildung 20: Abundanz von Schwertmuscheln im Sublitoral.	46
Abbildung 21: Abundanz von Schwertmuscheln im Sublitoral – nur Daten, die innerhalb der Laufzeit des Vorhabens erhoben wurden.	47
Abbildung 22: Abundanzen von Herzmuscheln im Sublitoral.....	48
Abbildung 23: Verteilung von Trauerenten während des Frühjahrs.	49
Abbildung 24: Verteilung von Trauerenten während des Sommers.....	49
Abbildung 25: Verteilung von Trauerenten während des Herbstes.	50
Abbildung 26: Verteilung von Trauerenten während des Winters.	50
Abbildung 27: Verteilung von Eiderenten während des Frühjahres.....	51
Abbildung 28: Verteilung von Eiderenten während des Sommers.....	52
Abbildung 29: Verteilung von Eiderenten während des Herbstes.....	52
Abbildung 30: Verteilung von Eiderenten während des Winters.	53
Abbildung 31: Verbreitung von rastenden Eiderenten auf freigefallenen Wattflächen im Juli 2010. Datenquelle N Kempf, Nationalparkverwaltung.	54
Abbildung 32: Verteilungsmuster von Eiderenten während eines SAS-basierten Flugsurveys im Rückseitenwatt zu einem Zeitpunkt zwischen Hoch- und Niedrigwasser (August 2014).	55
Abbildung 33: Verteilungsmuster von Eiderenten während eines SAS-basierten Flugsurveys im Rückseitenwatt zu einem Zeitpunkt zwischen Hoch- und Niedrigwasser (April 2015)...	55
Abbildung 34: Verteilungsmuster von Eiderenten während eines SAS-basierten Flugsurveys im Rückseitenwatt zu einem Zeitpunkt zwischen Hoch- und Niedrigwasser (September 2015).	56
Abbildung 35: Verteilungsmuster von Sedimenten der Korngröße < 63 µm im Gezeitenbereich.	57
Abbildung 36: Habitate im STopP-Gebiet, hergeleitet aus der Klassifikation von Satellitendaten, Winter und Frühjahrssituation	58
Abbildung 37: Habitate im STopP-Gebiet, hergeleitet aus der Klassifikation von Satellitendaten, Sommersituation	59
Abbildung 38: Mittlere Schwebstoffverteilung (oben links), der Chlorophyll Konzentration (oben rechts) und der Sichttiefe (unten links) von März bis Oktober für das Jahr 2008, Datenquelle: MERIS 300m	59

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Abbildung 39: Probestationen für Makrozoobenthos im Gezeitenbereich. Die unterschiedlichen Farben geben die Datenherkunft wieder.	60
Abbildung 40: Abundanzen von Schwertmuscheln der Größenklassen 2-6 cm (lila) und größer 6 cm (rot) im Gezeitenbereich. Die Größenklasse kleiner 6 cm war nicht vertreten.....	61
Abbildung 41: Abundanzen von Herzmuscheln in der Gezeitenzone.....	62
Abbildung 42: Abundanzen von Baltischen Plattmuscheln in der Gezeitenzone.	63
Abbildung 43: Verteilung von Miesmuschelbänken in der Gezeitenzone, ermittelt durch Fernerkundung.	64
Abbildung 44: Verteilung von Seegraswiesen in der Gezeitenzone, ermittelt durch Fernerkundung.	64
Abbildung 45: Raumnutzung in der Gezeitenzone von 14 mit GPS-Datenloggern ausgerüsteten Austernfischern von der Hallig Oland (Brutzeit). Unterschiedliche Farben von Punkten spiegeln die Positionen einzelner Austernfischer wider.	66
Abbildung 46: Raumnutzung (Nahrungssuchflüge) von 37 mit GPS-Datenloggern ausgerüsteten Silbermöwen der Hallig Oland (rot), Amrums (lila) und der Hallig Langeness (grün).	67
Abbildung 47: Raumnutzung der Gezeitenzone von 37 mit GPS-Datenloggern ausgerüsteten Silbermöwen der Hallig Oland (rot), Amrums (lila) und der Hallig Langeness (grün). Jeder Punkt gibt eine aufgezeichnete GPS-Position wieder.....	68
Abbildung 48: Raumnutzung der Küstenzone von 4 mit GPS-Datenloggern ausgerüsteten Säbelschnäblern der Hamburger Hallig (Brutzeit). Unterschiedliche Farben von Punkten spiegeln die Positionen einzelner Säbelschnäbler wider Luftbilder: LKN.....	69
Abbildung 51: Intensität der Schubspannung als Maß der Intensität des Sedimenttransportes. Datenquelle: Kösters & Winter (2014).	71
Abbildung 52: Zeitanteil der kritischen Schubspannung als Maß der Dauer des Sedimenttransportes. Datenquelle: Küsters & Winter (2014).	72
Abbildung 53: Bathymetrie im Untersuchungsgebiet bezogen auf Normalhöhennull (NHN). Datenquelle: BSH.	72
Abbildung 54: Überflutungszeit von Wattflächen ausgedrückt als Stunden mit Wasserbedeckung während eines 14 Tage langen Tidenzyklus. Datenquelle: MOSSCO.	73
Abbildung 56: Modellvalidierung durch Unterteilung des Gesamtdatensatzes in einen nördlichen Modelldatensatz und einen südlichen Testdatensatz.	77
Abbildung 57: GAMM Smoothing-Funktionen des Einflusses der drei signifikanten Prediktoren Bodenschubspannung (oben links), Zeitanteil kritischer Schubspannung (oben rechts) und Überflutungsdauer (unten links) auf die Abundanz von Schwertmuscheln. Schwarze Linie: Modelllinie - vorhergesagte Anzahl von Schwertmuscheln bei der jeweiligen Ausprägung des jeweiligen Prediktors; rote Linie: vorhergesagter Mittelwert der Schwertmuschelabundanz; graue Fläche: 95 % Konfidenzintervall, kleine Linien auf der x-Achse: Beobachtungen der Schwertmuschelanzahl bei der jeweiligen Ausprägung des	

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Prediktors. Liegt die Modelllinie und das Konfidenzintervall oberhalb der roten Linie, bedeutet dies, dass die Anzahl von Schwertmuscheln höher ist als der vorhergesagte Mittelwert, liegt die Kurve darunter, bedeutet dies, weniger Schwertmuscheln..... 78

Abbildung 58: Vorhergesagte Schwertmuschelhabitate, basierend auf der vorhergesagten Anzahl von Schwertmuscheln (Daten sind logarithmisch dargestellt)..... 79

Abbildung 59: Lage potentieller Schwertmuschelfelder mit mehr als 3 Individuen / m² im Gezeitenbereich..... 80

Abbildung 65: Beziehung der Systeme zwischen Organisationsgrad und Belastbarkeit, nach Fath (2015)..... 82

Abbildung 66: Entwicklung der mittleren Biomasse (AFTG in g/m²) der Begleitfauna auf der Bank Uthörn Außenwatt im Lister Tief zwischen 1999 und 2010. Nicht berücksichtigt sind Austern, Miesmuscheln und Sandklaffmuscheln. Die Jahre, für die eine ENA erstellt wurde, sind mit einem orangenen Rahmen gekennzeichnet..... 87

Abbildung 67: Entwicklung der mittleren Biomasse (AFTG in g/m²) von Miesmuscheln und Austern auf der Bank Uthörn Außenwatt im Lister Tief zwischen 1999 und 2010. Die Jahre, für die eine ENA erstellt wurde, sind mit einem orangenen Rahmen gekennzeichnet..... 87

Abbildung 60: Lindeman Spine der Muschelbank Uthörn Außenwatt für die Jahre 1999, 2007 und 2010. Der Lindeman Spine gibt die Energieflüsse im Nahrungsnetz an, wobei die einzelnen Boxen verschiedene trophische Level repräsentieren..... 90

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

1 KURZDARSTELLUNG DES PROJEKTES

1.1 AUFGABENSTELLUNG

Das Vorhaben hat das übergeordnete Ziel, Indikatoren für die Fauna-Flora-Habitatrichtlinie (FFH-RL), die Vogelschutz-Richtlinie (VRL) sowie die Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL) zu entwickeln. Insbesondere werden die MSRL-Deskriptoren Meeresboden-Integrität (D6), Nahrungsnetze (D4) und Biodiversität (D1) betrachtet. Hierzu wurden in einem Gebiet, das hinsichtlich der geowissenschaftlichen Rahmenbedingungen und des benthischen und avifaunistischen Artinventars repräsentativ ist, im Eu- und Sublitoral der östlichen Nordsee Einflüsse von Hydro-, Morpho- und Sedimentdynamik in Bezug auf Artenzusammensetzung, -verteilung und Biomasse in sechs Arbeitspakete (WP) untersucht (Abbildung 1).

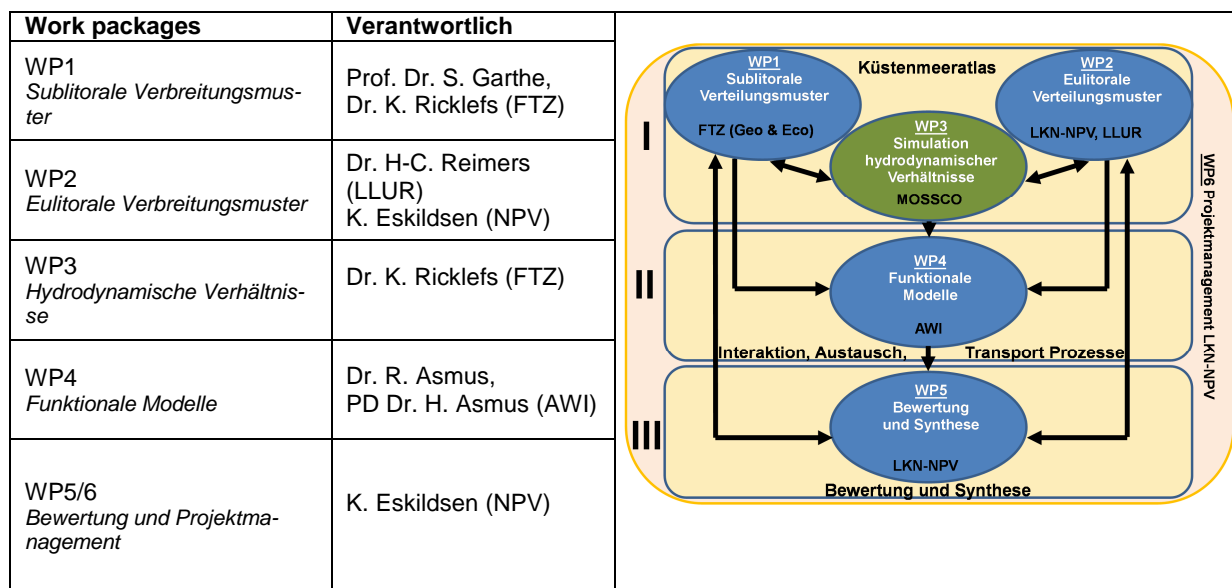


Abbildung 1: Übersicht über die STOPP-Verbundstruktur.

Die Küstenzone der deutschen Nordsee war in den vergangenen Jahrzehnten bereits Gegenstand intensiver geowissenschaftlicher und ökologischer Forschung. Der Großteil dieser Vorhaben folgte jedoch keinem integrativen Ansatz, der sowohl abiotische als auch biotische Faktoren angemessen berücksichtigt. Gerade eine integrative Bewertung der marinen Umwelt wird jedoch durch die im Meeresbereich wesentlichen europäischen Richtlinien (MSRL, WRRL, FFH-RL, VRL) formuliert. Für eine Analyse auf Habitat- bzw. Ökosystemebene war es von besonderer Wichtigkeit zu verstehen, wie die Meeresbodencharakteristika die Grundlage für die Entwicklung marine Physiotope und Habitate liefern und damit die Entwicklung von Artenvielfalt und speziellen Nahrungsnetzstrukturen ermöglichen.

Das innovative Ziel dieses integrativen Ansatzes war die Verbindung von Sedimentcharakteristika und hydrodynamischen Kräften, nicht nur mit der Verteilung von Arten herzustellen, die eu- und sublitorale Sedimente besiedeln, sondern zu untersuchen, wie das gesamte Nahrungsnetz bis zur Ebene der für das Wattenmeer besonders charakteristischen Topprädatoren (hier: Vögel) mit verschiedenen Habitaten, die von Sedimenteigenschaften und -dynamik abhängen, verbunden ist. Die Schwerpunkte des Vorhabens lassen sich in folgenden vier Punkten zusammenfassen:

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

1. Die Vervollständigung des Küstenatlas' und Erweiterung der Datengrundlage zu Sedimentcharakteristika (Eigenschaften, zeitlich/räumliche Verteilung, Mobilität), benthischen Organismen und Vögeln im Eu- und Sublitoral des nördlichen, schleswig-holsteinischen Wattenmeeres und dem seewärtig angrenzenden Gebiet .
2. Die Untersuchung von Makrobenthos und Vögeln und ihre Beziehung zueinander vom Eu- zum Sublitoral und vom Wattenmeer in die offene Nordsee.
3. Die Bewertung, in welchem Ausmaß Sedimentcharakteristika und die wirkenden hydrodynamischen Kräfte in der Lage sind, Artenverteilung und Nahrungsnetzstrukturen innerhalb verschiedener Habitats zu modifizieren und/oder in wie weit das Habitatpotential darüber zu bestimmen ist. So wird u. a. der Frage nachgegangen, warum bestimmte Habitats nicht in der erwarteten Weise von Arten besiedelt sind. Dies beinhaltet die Bewertung von anthropogenen Einflüssen auf Habitats.
4. Der Einsatz funktionaler Modellierungsansätze wie statistische Habitatmodellierung und ökologische Netzwerkanalyse mit dem Ziel, Grundlagen für die Entwicklung von Bewertungsinstrumentarien nicht nur für das Untersuchungsgebiet zu erarbeiten, sondern diese Ergebnisse möglichst auch auf vergleichbare Gebiete innerhalb der Küstenzone zu übertragen.

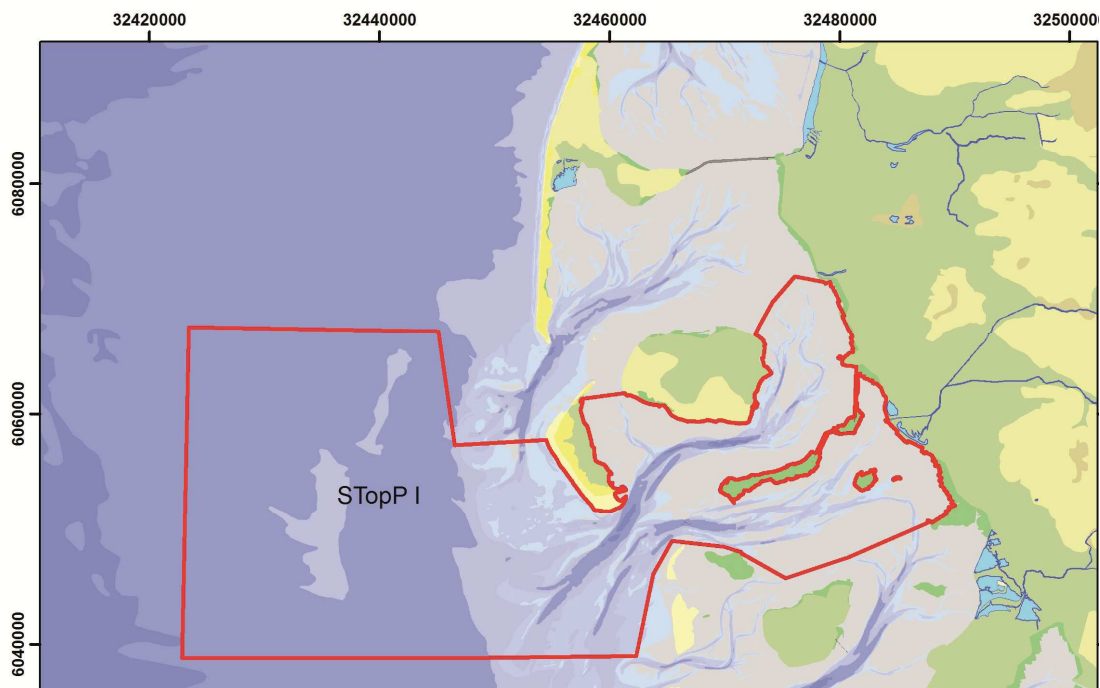


Abbildung 2: Das Untersuchungsgebiet des STopP-Verbands mit der Unterteilung in STopP-See und STopP-Watt.

Die STopP-Idee basiert auf Interdisziplinarität und vereinigt geologische und ökologische Forschungsansätze mit dem Hauptziel, Bewertungsinstrumente für die Umsetzung von EU-Direktiven zu entwickeln. Darüber hinaus sollten wichtige Lücken über die Verteilung von Physiotopen und Habitats im Eu- und Sublitoral eines küstennahen Gebietes („Küstenmeeratlas“) geschlossen werden. Die Verteilung dieser Strukturen in dem ausgewählten Untersuchungsgebiet war zum Teil unbekannt. Darüber

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

hinaus stellen die Erfordernisse nach geeigneten Bewertungsinstrumenten einen aktuellen politischen Bedarf dar.

1.2 PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS

Jahr	2013			2014				2015				2016
Quartal	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1
WP1: Verteilungsmuster im Sublitoral												
Zusammenstellung archivierter Daten			◆				◆				◆	
Feldarbeit und Laborarbeit			◆				◆				◆	
Verbreitungskarten				◆				◆			◆	
WP2: Verteilungsmuster im Eulitoral												
Zusammenstellung archivierter Daten			◆				◆				◆	
Feldarbeit und Laborarbeit			◆				◆				◆	
Verbreitungskarten				◆				◆			◆	
WP3: Hydrodynamisches Modell												
Modellergebnisse								◆				
WP4: Funktionale Modelle												
Ergebnisse funktionaler Modelle								◆				
WP5: Bewertung und Synthese												
WP5 begleitend												
Entwicklung von Bewertungswerkzeugen								◆			◆	
WP6: Projektleitung												
Projekttreffen und Workshops	◆			◆				◆				◆
Steuergruppe				◆				◆				
Berichte und Website		📄		📄				📄				📄

Abbildung 3: Planung des Vorhabenablaufs mit Meilensteinen (rote Romben).

Die Arbeiten im STopP-Verbund konnten im Wesentlichen gemäß der Ablaufplanung, wie sie im Antrag zum Vorhaben aufgestellt wurden (Abbildung 3), durchgeführt werden. Erforderliche Änderungen, zeitliche Verschiebungen oder zusätzliche Arbeiten sind detailliert in Kapitel 2 aufgenommen und erläutert.

1.3 STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK BEI BEGINN DES PROJEKTES

1.3.1 STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Bereits seit vielen Jahren wird der Einsatz hydroakustischer Messmethoden in der marinen Forschung praktiziert, dabei wird vor allem auf die sedimentologische Fragestellungen als auch zunehmend auf die Ausweisung komplexer Zusammenhänge, wie sie in der Habitatkartierung durch die Anbindung biologischer Strukturen notwendig sind, eingegangen (Brown et al., 2011). In Folge dieser Forschungsarbeiten wurden verschiedene Anwendungen für eine Sediment- bzw. Habitatkartierung als effektiv und geeignet angesehen, dazu zählen hydroakustische Techniken, Bildbearbeitungsverfahren, statistische Ansätze, sowie einer Erfassung der realen Verhältnisse auf Basis von Sedimentproben, Unterwasservideoaufnahmen und Tauchgänge.

Für die Kartierung von Sedimentverteilungsmustern und für die Detektion von potentiellen benthischen Lebensräumen ist das Wissen über den geologischen Untergrund von Bedeutung. Einen weitgefasteren Überblick über die geologische Entwicklung der deutschen Nordseeküste geben Schwarzer et al. (2008). Eine ebenfalls großflächig angelegte Betrachtung der morphologischen Verhältnisse der deutschen Nordsee findet sich bei Zeiler et al. (2008). Die wichtigsten Ergebnisse des im Rahmen

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

des BMBF Forschungsprojektes AufMod entwickelten "funktionalen Bodenmodells" sind in Milbradt et al. (2015) zusammengefasst. Das funktionale Bodenmodell bildet für den Betrachtungsraum der südlichen Nordsee auf einem 250 x 250 m Raster raum-zeitlich interpolierte Parameter für Bathymetrie, Morphologie und Verteilung von Oberflächensedimenten ab. Die Basis für das Modell bilden Datensätze, die Messwerte vereinen, die von verschiedenen Organisationen über Jahrzehnte hinweg gesammelt wurden.

Prägend für die geologische Entwicklung, die zur derzeitigen Ausgestaltung des nordfriesischen Küstenraumes geführt hat, waren die beiden letzten Eiszeiten Saale und Weichsel sowie die auf die Glaziale folgenden Warmzeiten. So hinterließen die Gletscher der Saale Eiszeit im gesamten Küstenraum Tillite (Geschiebemergel), die z.B. die Inselkerne von Sylt, Amrum und Föhr bilden, heute teilweise in Gezeitenrinnen angeschnitten werden oder aber auch im Bereich der Amrum Bank und westlich von Sylt oberflächennah vorkommen (Dechend 1950, Dittmer 1952, Köster 1974, 1979, Figge 1981, Hoffmann 1988, Ahrendt 2006, 2007). In der auf das Saale-Glazial folgenden Eem-Warmzeit wurden im nordfriesischen Raum zudem partiell sandige oft aber tonige Sedimente abgelagert (Hoffmann 1988, Temmler 1995). Bei den Ablagerungen der Weichsel Eiszeit handelt es sich im nordfriesischen Raum fast ausschließlich um Schmelzwassersande unterschiedlicher Korngröße.

Das nacheiszeitliche Sedimentationsgeschehens des Holozäns ist geprägt durch festländisch gebildete Torfe, brackisch-marine Ton-, Silt- und Feinsandablagerungen sowie meist unter marinen Bedingungen abgelagerte Sande (überwiegend Fein und Mittelsand). Durch Schwankungen innerhalb des nacheiszeitlichen Meeresspiegelanstiegs (Behre 2013) kann diese Sequenz speziell im Wattbereich bei genügend Sedimentangebot wiederholt auftreten (Dittmer 1952, Hoffmann 1988, Ahrendt 2006). Für das Wattenmeer Nordfrieslands bzw. das Arbeitsgebiet "STopP Watt" bedeutet diese geologische Ausgangssituation, dass im Sublitoral überwiegend mit mobilen sandigen Lockersedimenten zu rechnen ist, darüber hinaus aber auch Ablagerungen vorkommen können, die sich entweder durch den Konsolidierungsgrad ihrer mineralisch feinkörnigen, kohäsiven oder organischen Komponenten oder aber durch ihr Inventar an Kiesen und Steinen als Härtlingsstrukturen am Meeresboden abzeichnen.

Dem überwiegend durch Sedimentation geprägten Ablagerungsgeschehen des Wattenmeers steht die eher durch Erosion geprägte Entwicklung des küstenferneren Schelfbereichs vor der Küste Nordfrieslands entgegen. Hier kommen weitflächig durch Sedimentmangel bzw. Erosion geprägte Ablagerungen vor (Köster 1974, 1979) bzw. die Schichtmächtigkeit "nordseezeitlicher" Sedimente fällt gering aus (Zeiler et al. 2000). Der seewärtige Teil des STopP-Gebietes im Bereich der Amrumbank wurde von Köster (1974) sowie Tabat (1978) geologisch und sedimentologisch bearbeitet. Basierend auf Sedimentbeprobungen, dreidimensionalen Kartierungen und Kernentnahmen erfolgte eine sedimentologische Einordnung sowie eine Rekonstruktionen zum geologischen Aufbau des Bereiches vor Amrum und Sylt. Köster (1974) spricht im Bereich der Amrumbank von einem alten Inselkern, der sich in den Kuppen der heutigen Amrumbank als Grobsandbereiche mit Wassertiefen von bis 8 m unter Seekartennull abbildet. Diese sind durch relativ steile Hänge im Osten und Süden sowie flachen Hängen im Norden und Westen gekennzeichnet (Köster 1978 Schwarzer & Diesing 2006). Schwarzer & Diesing (2006) liefern eine erste, umfassend und flächendeckende Seitensicht-Sonarkartierung des westlichen Teiles der Amrum Bank. Sie erkennen ausgeprägte, NW – SE streichende geomorphologische Strukturen, die sich mit dem sedimentologischen Verteilungsmuster decken, wobei gröberes Sediment immer in den tieferen Bereichen vorkommt.

Das Wissen über die Zusammensetzung und Verbreitung von im Gebiet vorkommenden Oberflächensedimenten basiert im Wesentlichen auf der BSH Karte 2900 zur Sedimentverteilung in der Deutschen Bucht (Figge 1981) und auf kleinräumigen Einzelstudien (Werner 2004), bzw. auf Forschungsprogrammen wie „Sandbewegung im Deutschen Küstenraum“ (DFG 1979), "Steine und Erden

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

im Nordsee-Schelfbereich“ (Uffenrode 1982) oder auch dem BMBF-Programm „Sedimentinventar“ (Zeiler et al. 2000). Flächendeckende Informationen über die Verteilung der Oberflächensedimente sind neben der BSH-Karte 2900 lokal ausschließlich aus einem groben Raster von Beprobungen mit dem Backengreifer bekannt (Köster 1979). Neben Informationen der Sedimentverteilungskarte von Figge (1981), welche auf einem sowohl zeitlich als auch räumlich nicht konsistenten Datensatz basiert, kann man für das Gebiet der Norder- und Süderaue auch auf die Arbeit von Dechend (1950) zurückgreifen. In Arbeiten die im Rahmen des BMBF AufMod entstanden sind, sind fast alle der eben ausgeführten Datensätze raum-zeitlich interpoliert in ein sog. funktionale Bodenmodell (Milbradt et al. 2015) eingeflossen, das u.a. einen Überblick über die räumliche Verteilung bestimmter sedimentologischer Parameter gibt. Ebenfalls in AufMod wurde eine Studie durchgeführt, die der Frage nachgeht, welche Umgestaltungen die Sedimentverteilungsmuster in bestimmten Gezeitenrinnen des schleswig-holsteinischen während der letzten Dekaden erfahren haben (Ricklefs et al. 2015).

Informationen zu den im STopP-Gebiet möglichen vorkommenden Lebensräumen finden sich u.a. für die Miesmuscheln in Ahrendt (2003), Büttger et al. (2014), Nehls et al. (2009 und 2011) und Reise & Schubert (1987). In den Arbeiten wird deutlich, dass Miesmuschelbänke einen hohen ökologischen Stellenwert im Bereich des Wattenmeeres haben: sie sind Zentren der Biodiversität, wichtige Habitatbildner und stellen eine wichtige Nahrungsquelle dar (Nehls et al. 2011). Die Verbreitung von Miesmuschelbänken ist allerdings von vielen verschiedenen Faktoren abhängig. So wird bereits der Brutfall u.a. von der Oberflächenstruktur, der Hydrologie und der Sedimentologie beeinflusst (Ahrendt 2003). Dazu kommt, dass sie bestimmte Ansprüche an das Siedlungssubstrat stellen, es kommen hier vor allem Hartgründe wie Steine, Kies, Schill, andere Muscheln, Klei und Torf in Betracht. Eine weitere wichtige Rolle für die Stabilität von Miesmuschelbänken spielt neben der Strömungsgeschwindigkeit auch die Welleneinwirkung. Miesmuscheln kommen vornehmlich in Gebieten mit niedriger Welleneinwirkung bzw. Strömungsgeschwindigkeit vor, diese darf aber gleichzeitig nicht zu niedrig und auch nicht zu hoch sein (Ahrendt 2003). Im STopP-Gebiet gibt es einige bekannte und darüber hinaus einigermaßen stabile, eulitorale Miesmuschelbänke, vor allem im Bereich des Amrumtiefs, bei Gröde und südlich von Langeneß. Allerdings zeigen die Untersuchungen von Nehls (2011), dass es im Zeitraum 2005-2009 keine großen sublitoralen Muschelvorkommen im schleswig-holsteinischen Wattenmeer gibt. Reise & Schubert (1987) berichten, dass sowohl in den 1920er als auch in den 1980er Jahren Benthosgemeinschaften mit Hilfe eines Greifers und einer Dredge im Gebiet der Norderaue untersucht wurden. Der Vergleich der Zeitreihen zeigt eine starke Veränderung der Gemeinschaften in Form vom Verlust des riffbildenden Polychaeten *Sabellaria spinulosa* als auch den starken Zuwachs von Muschelbänken.

Allgemeine Informationen über das Vorkommen und Verhalten von *Ensis directus* sind in der Arbeit von Gollasch et al. (2015) zu finden. Hier wird aufgeführt, dass ihre erfolgreiche Einwanderungsgeschichte zum einen darauf zurückzuführen ist, dass sie eine hohe Reproduktionskapazität, eine kurze Generationsdauer und ein schnelles Wachstum aufweisen. Hinzu kommt, dass sie vor allem von anderen Organsimen ungenutzte Habitate besiedeln, die aus hoch dynamischen, unstabilen Sand aufgebaut sind, und somit eine Nische erschließen. Untersuchungen haben gezeigt, dass *Ensis directus* bevorzugt in Küstennähe, in einer Wassertiefe von 5-8m und in Feinsand mit einem geringen Siltanteil vorkommen. Sie wurden in der Nordsee aber auch in Tiefen von 26m und im Intertidal gefunden, darüber hinaus auch in tonigen und groben Sedimenten.

In den Arbeiten von Rabaut et al. (2007) und Van Hoey et al. (2008) wird die Bedeutung sowie ökologische Auswirkung des auf der Amrum Bank in dichten Rasen vorkommenden Bäumchenröhrenwurms *Lanice conchilega* innerhalb benthischer Ökosysteme auf weichem Boden thematisiert. Nachweislich besitzt der röhrenbauende Vielborster positive Auswirkungen auf umgebende benthische Organismen. Besonders der Artenreichtum, die Diversität, die Gemeinschaftsstruktur sowie

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Anzahl benthischer Organismen zeigen eine positive Korrelation mit der Besiedlungsdichte von *Lanice conchilega* bis zu einer kritischen Anzahl von >500-1000 Ind/m². Die entscheidenden Mechanismen zur Verbesserung der Habitatqualität durch *Lanice conchilega* benennen Van Hoey et al. (2008) als (1) Veränderungen der Hydrodynamik, (2) Zunahme der Habitatstabilität und Sauerstoffversorgung und (3) dem Ausbilden einer Habitatheterogenität in einer ansonsten einheitlichen Umwelt. Die sedimentüberstehenden Röhrenteile bieten zudem Schutz vor Prädatoren an der Sedimentoberfläche. Innerhalb des seewärtigen STOP-Gebietes wurden große Flächen mit *Lanice conchilega* Besiedlung ausgewiesen, in denen vermehrt juvenile Stadien von Seesternen und Schwimmkrabben an der Sedimentoberfläche zwischen den Röhrenbauten vorgefunden wurden.

Verbreitungsmuster von Seevögeln im sublitoral werden schon seit vielen Jahren nach standardisierten schiffs- und flugzeugbasierten Methoden in der deutschen Nordsee erfasst (Tasker et al. 1984). Diese langjährigen Datenreihen bildeten bereits eine fundierte Grundlage für die Analyse räumlich-zeitlicher Muster im Auftreten von Seevögeln (Markones et al. 2008) und in der Korrelation zwischen hydrografischen Faktoren und Seevogelverbreitung (Garthe et al. 2009). Für das Vorhaben konnte auf die Langzeitdatenreihe der sublitoralen Verbreitungsmuster von Vögeln zurückgegriffen und diese unter dem Gesichtspunkt der Nutzung sublitoraler Habitattypen durch ausgewählte Seevogelarten ausgewertet werden. Bei benthivoren Vogelarten lagen bislang kaum Untersuchungen zu genutzten sublitoralen Habitaten im deutschen Nordseegebiet vor (Nehls 1991).

Die Bestände von Wattenmeervögeln werden seit Anfang der 1990er Jahre im Rahmen eines trilateral koordinierten Monitoringprogramms erfasst (Koffijberg et al. 2015, Blew et al. 2015). Zusätzlich wird durch die Nationalparkverwaltung ein Monitoring der Vögel innerhalb der 12-Seemeilenzone der schleswig-holsteinischen Küste durchgeführt. Weiter wurden in den Verbundvorhaben MINOS und MINOSplus eine Analyse der Verteilungsmuster von Vögeln im Offshoregebiet der deutschen Nordsee vorgenommen. Diese Datengrundlage wurde für die funktionalen Habitatmodelle verwendet.

Die Erfassung eulitoraler Verbreitungsmuster von Vögeln und die Korrelationen zwischen Vögeln und den von ihnen genutzten Habitaten wurden in den vergangenen Jahren oft durch Sichtbeobachtungen durchgeführt. Dies beinhaltet allerdings den logistischen Nachteil, dass nur räumlich sehr begrenzte Gebiete erfasst werden können. Um Individuen basierte Aussagen über die Habitatwahl eines großen Untersuchungsraumes vornehmen zu können, war daher die individuelle Besenderung von Vögeln notwendig. In den vergangenen Jahren wurden hierzu Radiosender eingesetzt, welche die Verfolgung der Individuen über eine Distanz von mehreren Kilometern ermöglichten, inzwischen ist es jedoch möglich Vögel mit GPS-Datenloggern auszurüsten. Diese ermöglichen eine räumlich unbegrenzte Datenaufzeichnung und wurden bereits früher an großen Seevögeln und inzwischen auch erfolgreich an leichteren Limikolen des Wattenmeeres eingesetzt (Schwemmer & Garthe 2011; Schwemmer et al. 2016a).

Untersuchungen zu Einflüssen von Sediment- und Hydrodynamik auf Vögel des Eulitoral sind bisher nur wenig durchgeführt worden. Der Sedimenttyp kann den energetischen Aufwand für Nahrungssuche von Vögeln entscheidend beeinflussen (Johnstone & Norris 2000). Es war bereits vor Beginn des Vorhabens bekannt, dass einige Vogelarten des Eulitoral Rastplätze in der Nähe von Nahrungsgebieten mit bestimmter Sedimentcharakteristik bevorzugen. Studien zur Nutzung sublitoraler Habitats, wie Miesmuschel- oder Herzmuschelbänke, durch Eiderenten gab es bislang nur wenige und diese liegen schon lange zurück (Nehls 1991). Die meisten vorangegangenen Studien mussten größere räumliche Ungenauigkeiten in der Korrelation von Sedimentcharakteristik und Vogelverbreitung in Kauf nehmen. Der in dieser Studie angewendete moderne Einsatz von GPS-Datenloggern erlaubt hingegen eine ortstreue Ermittlung der Habitatnutzung von Vögeln und damit die exakte Zuordnung

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

zu Umweltparametern. Generelle additive Modelle (GAMs) haben sich hierbei als geeignetes Werkzeug erwiesen, um die Verteilung von Vögeln auf großer Skala zu modellieren (Schwemmer et al. 2009), insbesondere in ihrer Beziehung zu physikalischen Charakteristika der als Nahrungsgründe dienenden Gezeitengebiete (Granadeiro et al. 2004).

Makrophytensysteme haben einen deutlichen Einfluss auf die Diversität und den Charakter des Nahrungsnetzes im Eulitoral (Levin et al. 2006). Im nordfriesischen Wattenmeer finden sich wattenmeerweit die größten und dichtesten Seegrasbestände. Seegraswiesen haben vermutlich eher eine geringe Bedeutung für endobenthivore Vögel. Diese Zusammenhänge waren jedoch bislang nur unzureichend untersucht.

Trotz deutlicher Hinweise der genannten Studien auf die Abhängigkeit der Nahrungsnetze von physikalischen Umweltbedingungen, insbesondere von Sedimenttyp und hydrographischem System, existierten kaum direkte Untersuchungen zu diesem Komplex. Die Analyse des Nahrungsnetzes der Sylt-Rømø Bucht mittels der Ökologischen Netzwerkanalyse bildete die wissenschaftliche Grundlage für die Untersuchungen im Rahmen dieses Vorhabens.

1.3.2 ANGABE BEKANNTER KONSTRUKTIONEN, VERFAHREN UND SCHUTZRECHTE, DIE FÜR DIE DURCHFÜHRUNG DES VORHABENS BENUTZT WURDEN

Es wurden keine Verfahren genutzt, bei denen Schutzrechte zu berücksichtigen waren.

1.3.3 ANGABE DER VERWENDETEN FACHLITERATUR SOWIE DER BENUTZTEN INFORMATIONSDIENSTE UND DOKUMENTATIONSDIENSTE

An Informationsdiensten wurden sowohl Scopus als auch Web of Science genutzt.

Ahrendt K (2003): Sedimentveränderung im Wattenmeer. Wiederansiedlung von Miesmuschelbänken. Projekt der Insel- und Halligkonferenz e.V. im Rahmen von: „Regionen Aktiv-Land gestaltet Zukunft“

Ahrendt K (2006): Ein Beitrag zur Holozänen Entwicklung Nordfrieslands. Die Küste 71, 1-32

Armonies W, Reise K (1999) On the population development of the introduced razor clam *Ensis americanus* near the island of Sylt (North Sea). Helgol Meeresunters 52: 291-300

Baird D, Asmus H, Asmus R. (2004): Energy flow of a boreal intertidal ecosystem, the Sylt Rømø Bight, Marine ecology progress series, 279 , pp. 45 61 .

Baird D, Asmus H, Asmus R (2007): Trophic dynamics of eight intertidal communities of the Sylt Rømø Bight ecosystem, northern Wadden Sea , Marine Ecology Progress Series, 351 , pp. 25 41.

Baird D, Asmus H, Asmus R (2011): Carbon, nitrogen and phosphorus dynamics in nine subsystems of the Sylt Rømø Bight ecosystem, German Wadden Sea , Estuarine, Coastal and Shelf Science 91(1), pp. 51 68.

Barrett RT, Camphuysen CJ, Anker-Nilssen T, Chardine JW, Furness RW, Garthe S, Hüppop O, Leopold MF, Montevecchi WA, Veit RR (2007) Diet studies of seabirds: a review and recommendations. ICES J

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Mar Sci 64: 1675-1691

Bearhop S, Thompson DR, Waldron S, Russell IC, Alexander G, Furness R (1999) Stable isotopes indicate the extent of freshwater feeding by cormorants *Phalacrocorax carbo* shot at inland fisheries in England. *J Appl Ecol* 36: 75–84

Behre K-E (2013): Die Meeresspiegelschwankungen der vergangenen Jahrtausende und deren Bedeutung für das Siedlungsgeschehen an der deutschen Nordseeküste. – SKN, 36, 13 -30

Blew J, Günther K Hälterlein B, Kleefstra R Laursen K, Scheiffarth G (2015) Trends of migratory and wintering waterbirds in the Wadden Sea 1987/1988-2011/2012. *Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmsaven, Wadden Sea Ecosystem no. 34*

Blondel P (2009). *The Handbook of Sidescan Sonar*, 316, pp. Praxis Publishing, Chichester, UK.

Burchard H, Bolding K (2002) GET - a General Estuarine Transport Model. Scientific Documentation. Technical Report EUR 20253 EN. European Commission

Büttger H, Nehls G, Stoddard P (2014) The history of intertidal blue mussel beds in the North Frisian Wadden Sea in the 20th century- Can we define reference conditions for conservation targets by analysing aerial photographs? *Journal of Sea Research* 87, 91-102

Büttger H, Witte S, Nehls G (2014) Miesmuschelmonitoring 2012 im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. Ein Projekt im Rahmen des Trilateral Monitoring and Assessment Program (TMAP). Im Auftrag des Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein.

Brown C, Smith S, Lawton P, Anderson J (2011) Benthic habitat mapping: A review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92, 502-520

Cacchione DA, Drake DE, Grant WD, Tate WB (1984). Rippled scour depressions on the inner continental shelf off central California. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54, 1280–1291.

Camphuysen CJ, Fox TAD, Leopold MMF, Petersen IK (2004) Towards standardised seabirds at sea census techniques in connection with environmental impact assessments for offshore wind farms in the U.K. *Cowrie Report BAM 02-2002*

Clemens D (2016) The geological structure of Amrum Bank (North Sea) based on parametric sediment echosounder data. – MSc-Thesis Univ Kiel, Inst. of. Geosciences, 55 pp.

Dannheim J, Rumohr H (2012) The fate of an immigrant: *Ensis directus* in the eastern German Bight. *Helg Mar Res* 66: 307–317

Dechend W (1950) Sedimentpetrologische Untersuchungen zur Frage der Sandumlagerungen im Watt Nordfrieslands. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, Band 3, Heft 5/6

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Degraer S, Moerkerke G, Rabaut M, Van Hoey G, Du Four I, Vincx M, Henriët JP, Van Lancker V (2008) Very-high resolution side-scan sonar mapping of biogenic reefs of the tube-worm *Lanice conchilega*. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3323-3328. DFG (mehrere Teilbeiträge) (1979): Sandbewegung im Deutschen Küstenraum: Rückschau, Ergebnisse u. Ausblick 416 S.

DFG (mehrere Teilbeiträge) (1979): Sandbewegung im Deutschen Küstenraum: Rückschau, Ergebnisse u. Ausblick 416 S.

Diesing M, Kubicki A, Winter C, Schwarzer K (2006) Decadal stability of sorted bedforms, German Bight, southeastern North Sea. – *Cont. Shelf Res.*, 26, 902 – 916.

Dittmer E (1952) Die Nacheiszeitliche Entwicklung der schleswig-holsteinischen Westküste. *Meyniana* 1, 138-168

El-Hacen ME-L, Piersma T, Jouta J, Overdijk O, Lok T (2014) Seasonal variation in the diet of spoonbill chicks in the Wadden Sea: a stable isotopes approach. *J Ornithol* 155: 611-619

Fath BD (2015) Quantifying economic and ecological sustainability. *Ocean & Coastal Management* 108:13-19.

Figge K (1981) Begleitheft zur Karte der Sedimentkartierung in der Deutschen Bucht 1:250 000 Nr. 2900. Hamburg, BSH

Folk RL, Ward WC (1957) Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. In: *J. Sed. Petrology*, 27, 3-26.

Fox J, Weisberg S (2011) *An R companion to applied regression*. Stage Publications.

Garthe S, Freyer T, Hüppop O, Wölke D (1999) Breeding lesser black-backed gulls *Larus graellsii* and herring gulls *Larus argentatus*: coexistence or competition? *Ardea* 87: 227-236

Garthe S, Sonntag S, Schwemmer P, Dierschke V (2007) Estimation of seabird numbers in the German North Sea throughout the annual cycle and their biogeographic importance. *Vogelwelt* 128: 163-178

Garthe S, Markones N, Hüppop O, Adler S (2009): Effects of hydrographic and meteorological factors on seasonal seabird abundance in the southern North Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 391: 243-255

Gollasch, S., Kerckhof, F., Craeymeersch, J., Gouletquer, P., Jensen, K., Jelmert, A., Minchin, D. (2015). Alien Species Alert: *Ensis directus*. Current status of invasions by the marine bivalve *Ensis directus*. ICES Cooperative Research Report No. 323, 32pp

Granadeiro JP, Andrade J, Palmeirim JM (2004) Modelling the distribution of shorebirds in estuarine areas using generalized additive models. *J Sea Res* 52: 227-240

Gräwe U, Holtermann P, Klingbeil K, Burchard H (2015) Advantages of vertically adaptive coordinates in numerical models of stratified shelf seas. *Ocean Model* 92: 56–68

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Hoffmann D (1988) Das Küstenholozän im Einzugsbereich der Norderhever, 51 – 115. In: Müller-Wille M, Higelke B, Hoffmann D, Menke B, Brande A, Bokelmann K, Saggau HE, Kühn HJ: Norderhever-Projekt 1. - Offa Bücher, 66

Höfmann H, Hoerschelmann H (1969) Nahrungsuntersuchungen bei Limikolen durch Mageninhaltsanalysen. Corax 3: 7-22

Hofmeister R, Burchard H, Beckers JM (2010) Non-uniform adaptive vertical grids for 3D numerical ocean models. Ocean Model 33: 70–86

Hötker H (1999) What determines the time-activity budgets of Avocets (*Recurvirostra avosetta*)? J Ornithol 140: 57-71.

Inger R, Bearhop S (2008) Applications of stable isotope analyses to avian ecology. Ibis 150: 447–461

Johnstone I, Norris K (2000) Not all oystercatchers *Haematopus ostralegus* select the most profitable common cockles *Cerastoderma edule*: a difference between feeding methods. Ardea 88: 137-153

Klingbeil K, Burchard H (2013) Implementation of a direct nonhydrostatic pressure gradient discretisation into a layered ocean model. Ocean Model 65: 64–77

Koffijberg K, Laursen K, Hälterlein B, Reichert G, Frikke J, Soldat L (2015) Trends of breeding birds in the Wadden Sea 1991-2013. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Wadden Sea Ecosystem no. 35

Köster R (1974) Geologie des Seegrundes vor den Nordfriesischen Inseln Sylt und Amrum. Meyniana 24, 27–41.

Köster, R. (1979): Dreidimensionale Kartierung des Seegrundes vor den nordfriesischen Inseln. DFG Forschungsbericht Sandbewegung im Küstenraum, Rückschau, Ergebnisse und Ausblick, 146 – 168.

Kösters F, Winter C (2014) Exploring German Bight coastal morphodynamics based on modelled bed shear stress. Geo-Mar Lett 34: 21-36

Kubetzki U, Garthe S (2003) Distribution, diet and habitat selection by four sympatrical gull species in the southeastern North Sea. Mar. Biol. 143: 199-207

Lurton, X., 2002. An Introduction to Underwater Acoustics. 347 pp (Springer).

Markones N, Garthe S, Dierschke V, Adler S (2008) Small scale temporal variability of seabird distribution patterns in the south-eastern North Sea. In: Wollny-Goerke K, Eskildsen K (eds) Marine mammals and seabirds in front of offshore wind energy. MINOS – Marine warm-blooded animals in North and Baltic Seas. Teubner, Wiesbaden. pp. 115-140

Meire PM (1996) Distribution of oystercatchers *Haematopus ostralegus* over a tidal flat in relation to their main prey species, cockles *Cerastoderma edule* and mussels *Mytilus edulis*: did it change after a

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

substantial habitat loss? *Ardea* 84A: 525–538

Milbradt P, Valerius J, Zeiler M (2015) Das Funktionale Bodenmodell: Aufbereitung einer konsistenten Datenbasis für die Morphologie und Sedimentologie. *Die Küste* 83, 19–38.

Moreira F (1993) Macrohabitat selection by waders in the Tagus estuary (Portugal). *Portugaliae Zoologica* 2: 1-15

Murray AB & Thielier ER (2004). A new hypothesis for the formation of large-scale inner-shelf sediment sorting and ‘rippled scour depressions’. *Cont. Shelf Res.*, 24, p. 295–315.

Nehls G (1991) Bestand, Jahresdynamik und Nahrungsökologie der Eiderente, *Somateria molissima*, L. 1785, im schleswig-holsteinischen Wattenmeer. *Corax* 14: 146-209

Nehls G, Witte S, Büttger H, Dankers N, Jansen J, Millat G, Herlyn M, Markert A, Sand Kristensen P, Ruth M, Buschbaum C, Wehrmann A (2009): Beds of blue mussels and Pacific oysters. Thematic Report No. 11. In: Marencic H, Vlas J de (Eds.) Quality Status Report 2009. Wadden Sea Ecosystem No. 25. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany

Nehls G, Büttger H, Ruth M (2011) Miesmuschelmonitoring und Miesmuschelmanagement im Nationalpark „Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer“. Berichtszeitraum 1997-2009. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein.

Petersen B, Exo K-M (2002) Predation of waders and gulls on *Lanice conchilega* tidal flats in the Wadden Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 178: 229-240

Rabaut M, Guilini K, Van Hoey G, Vincx M, Degraer S (2007) A bio-engineered soft-bottom environment: The impact of *Lanice conchilega* on the benthic species-specific densities and community structure. *Estuarine, Coastal and Shelf Sci.*, 75, 525-536.

Räder M, Lübker T, Prange S, Binder K, Schacht C, Zühr D, Kohlus J (2014): Infrastrukturknoten für Dienste – die räumlich verteilte Komponente der MDI-DE. In Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.) *Die Küste*, 82, Marine Daten-Infrastruktur Deutschland. MDI-DE. S. 33-43.
 Development Core Team (2014) R: A Language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria, Available at <http://www.R-project.org>. (ISBN 3-900051-07-0)

Reimers H-C, Binder K, Lübker T, Hübner P (2014): Die MSRL im EU-Berichtswesen, der WasserBLick und die GDI-DE. In Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.) *Die Küste*, 82, Marine Daten-Infrastruktur Deutschland. MDI-DE. S. 97-102.

Reise K, Schubert A (1987): Macrobenthic turnover in the subtidal Wadden Sea: the Norderaue revisited after 60 years. *Helgoländer Meeresunters* 41: 69-82

Ricklefs K, Arp D, Stage M (2015): Zur zeitlichen Variabilität der Sedimentverteilung in den Gezeiten-

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

rinnen Piep und Hever. Die Küste, 83, 77 -102

Ricklefs K, Arp D, Stage M (2015) Zur zeitlichen Variabilität der Sedimentverteilung in den Gezeitenrinnen Piep und Hever. Die Küste, 83, 77 -102

Saint Béat B, Baird D, Asmus H, Asmus R, Bacher C, Pacella SR, Johnson GA, David V, Vézina AF, Niquil N (2015) Trophic networks: How do theories link ecosystem structure and functioning to stability properties? A review , Ecological Indicators, 52 , pp. 458 471.

Saint Béat B, Vézina AF, Asmus R, Asmus H, Niquil N (2013) The mean function provides robustness to linear inverse modelling flow estimation in food webs: A comparison of functions derived from statistics and ecological theories , Ecological Modelling, 258 , pp. 53 64.

Schwarzer K, Diesing M (2006) Erforschung der FFH-Lebensraumtypen Sandbank und Riff in der AWZ der deutschen Nord- und Ostsee. Abschlussbericht, Ergänzungen Amrum Bank, 16 S. (unveröff.)

Schwarzer K, Ricklefs K, Bartholomä A, Zeiler M (2008) Geological Development of the North Sea and the Baltic Sea. Die Küste, 74, 1-17

Schwarzer K, Ricklefs K, Bartholomä A, Zeiler M (2008) Geological Development of the North Sea and the Baltic Sea. Die Küste, 74, 1-17

Schwemmer P, Adler S, Guse N, Markones N, Garthe S (2009) Influence of water flow velocity and water depth on distribution and foraging patterns of a surface-feeding seabird in the Wadden Sea. Fish Ocean 18: 161-172

Schwemmer P, Güpner F, Guse N, Garthe S (2012) Nahrungswahl von Vogelarten der deutschen Nordseeküste. Vogelwarte 50: 141-154

Schwemmer P, Garthe S (2011) Spatial and temporal patterns of habitat use by Eurasian Oystercatchers (*Haematopus ostralegus*) population in the eastern Wadden Sea revealed using GPS data loggers. Mar Biol 158: 541-550

Schwemmer P, Güpner F, Adler S, Klingbeil K, Garthe S (2016a) Modelling small-scale foraging habitat use in breeding Eurasian oystercatchers (*Haematopus ostralegus*) in relation to prey distribution and environmental predictors. Ecol Model, 320: 322-333

Schwemmer P, Enners L, Garthe S (2016b) Migration routes of Eurasian Curlews (*Numenius arquata*) resting in the eastern Wadden Sea based on GPS telemetry. J Ornithol 157: 901-905

Schwemmer P, Voigt CC, Corman A-M, Adler S, Garthe S (2016c) Body mass change and diet switch tracked by stable isotopes indicate time spent at a stopover site during autumn migration in dunlins *Calidris alpina alpina*. J Avian Biol 47: 001-001,2016, doi: 10.1111/jav.00873

Sutherland WJ (1982) Spatial variation in the predation of cockles by oyster-catchers at Traeth Melynog, Anglesey. I. The cockle population. J. Anim. Ecol.51, 481–489

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Swennen C, Leopold MF, Stock M (1985) Notes on growth and behavior of the American razor clam *Ensis directus* in the Wadden Sea and the predation on it by birds. *Heolgol Meeresunters* 39: 255-261

Tabat W (1978) Sedimentologische Untersuchung des Seegrundes westlich von Amrum, Nordsee. *Meyniana* 30, S.77-78

Tasker ML, Jones PH, Dixon T, Blake BF (1984) Counting seabirds at sea from ships: a review of methods employed and a suggestion for a standardized approach. *Auk* 101:567-577

Temmler H (1995) Neue Ergebnisse zum Aufbau des Eem-Interglazials in Nordfriesland. *Meyniana* 47, 83-100

Tulp I, Craeymeersch J, Leopold M, van Damme C, Fey F, Verdaat H (2010) The role of the invasive bivalve *Ensis directus* as food source for fish and birds in the Dutch coastal zone. *Estuar Coast Shelf Sci* 90: 116-128

Uffenrode H (1982) Zur Gliederung des klastischen Holozäns im mittleren und nordwestlichen Teil der Deutschen Bucht (Nordsee) unter besonderer Berücksichtigung der Foraminiferen. – *Eiszeitalter u. Gegenwart* 32: 177–202

Van Hoey G, Guilini K, Rabaut M, Vincx M, Degraer S (2008) Ecological implications of the presence of the tube-building polychaete *Lanice conchilega* on soft-bottom benthic ecosystems. *Marine Biology*, 154, 1009-1019.

Werner F (2004) Coarse sand patterns in the southeastern German Bight and their hydrodynamic relationships. *Meyniana* 56: 117–148

Wood SN (2006) *Generalized Additive Models: An introduction with R*. Chapman and Hall, London.

Zeiler M, Schulz-Ohlberg J, Figge K (2000) Mobile sand deposits and shoreface sediment dynamics in the inner German Bight (North Sea). *Mar Geol* 170: 363-380

Zeiler M, Schwarzer K, Ricklefs K (2008): Seabed morphology in the North and Baltic Sea region. *Die Küste*, 74, 31 - 4

Zwarts L, Cayford JT, Hulscher JB, Kersten M, Meire PM, Triplet P (1996) Prey size selection and intake rate. In: Goss- Custard JD (Hrsg) *The Oystercatcher – From individuals to populations*: 30-55. Oxford University Press, Oxford

1.4 ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN

Eine enge Zusammenarbeit besteht mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), die sich u.a. in einem regen Austausch von Daten manifestiert. So fließen z.B. alle in STopP erhobenen Sonar- und Sedimentdaten in das Datenbanksystem "Schelf Geo-Explorer - Sedimente der Nordsee" ein, wodurch eine nachhaltige Datenhaltung, -verfügbarkeit und Bereitstellung gewährleistet wird.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Die modellierten Werte für die Bodenschubspannung und den Zeitanteil der kritischen Schubspannung für die Habitatmodellierung wurden über eine Kooperation mit der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW, Hamburg) zur Verfügung gestellt. Die hochaufgelösten Bathymetriedaten entstammten dem Projekt AufMod und wurden über eine Kooperation mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie verfügbar gemacht. Verschiedene Nicht-Regierungsorganisationen, in erster Linie die Schutzstation Wattenmeer e.V., sammelten an den Strand angespülte Vögel, deren Mageninhalte im Rahmen des Vorhabens analysiert wurden. Der Verein Jordsand e.V. unterstützte die Besanderungen von Silbermöwen im Naturschutzgebiet Amrum Odde. Die Ergebnisse zur Besanderung von Vögeln wurden zeitnah den beteiligten Naturschutzverbänden zur Verfügung gestellt, um die Ergebnisse bei Öffentlichkeitsveranstaltungen vorzustellen. Eine Vielzahl der Feldarbeiten, insbesondere die Erfassung von Vögeln im Sublitoral wurde in Kooperation des Landesbetriebes für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz durchgeführt. Dadurch war eine Nutzung von Schiffen möglich.

Die beiden beteiligten Behörden waren zusätzlich in den Vorhaben WIMO (Wissenschaftliche Monitoringkonzepte für die Deutsche Bucht), Projektbereich Habitaterkundung (vgl. 2.1.2) und SAMOWatt (Satellitendaten für das Monitoring im Wattenmeer) beteiligt (vgl. 2.1.3). Dies führte zu einem regen Austausch zwischen den Wissenschaftlern dieser Vorhaben mit dem STopP-Vorhaben in Fragen der akustischen sowie der Satellitenfernerkundung zur Identifizierung von Strukturen im Eu- und Sublitoral sowie einer anschließenden Klassifizierung von Biotoptypen.

Eine Kooperation besteht des Weiteren mit den Partnern des deutsch-niederländischen Wattenmeerprojektes INFOWEB, finanziert durch BMBF und NWO. In der Kooperation mit dem Partnerprojekt INFOWEB werden Nahrungsnetzmodelle für drei Wattenmeergebiete in Deutschland und den Niederlanden unter dem Aspekt eingewanderter neuer Arten erarbeitet. In Zusammenarbeit mit französischen Partnern der Universität La Rochelle werden holistische Vergleichsmodell der Nahrungsnetze in Marennes Oleron und Sylt erstellt. Darüber hinaus wird gemeinsam an der ökologischen Theorie zu Netzwerkanalyse gearbeitet.

Darüber hinaus bestand und besteht enger Kontakt und Austausch zwischen den KÜNO-Partnern insgesamt, so dass ein Netzwerk von Nordsee- und Ostsee Wissenschaftlern entstanden ist. Hierbei ist in erster Linie die Zusammenarbeit mit dem Vorhaben MOSSCO (2.1.4) zu nennen. Mit den KÜNO-Vorhaben NOAH und BACOSA wurde über die regelmäßigen KÜNO-Lenkungsausschusssitzungen hinaus zu einzelnen Fragestellungen ein intensiver Austausch betrieben.

Schließlich konnte das STopP-Vorhaben von der im Vorhaben MDI-DE entwickelten Metadateninfrastruktur profitieren und nutzt den gemeinsamen Infrastruktorknoten von NPV und LLUR für die Metadatenbearbeitung und -bereitstellung.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

2 AUSFÜHRLICHE DARSTELLUNG DER PROJEKTERGEBNISSE

2.1 VERWENDUNG DER ZUWENDUNG UND DES ERZIELTEN ERGEBNISSES

Arbeitspaket 1 „Sublitorale Verteilungsmuster“ und Arbeitspaket 2 „Eulitorale Verteilungsmuster“

Ziel	Erreichte Ergebnisse
Zusammenführung und Einschätzung der vorhandenen Langzeit- und Monitoringdaten	<ul style="list-style-type: none"> • Sichtung und Bearbeitung biotischer Datensätze: <ul style="list-style-type: none"> - SAS-Daten zur Verteilung von Vögeln im Sublitoral aus der Datenbank des FTZ und der NPV - Daten von mit GPS-Loggern besenderten Vögeln ab dem Jahr 2008 aus der Datenbank des FTZ - Monitoringdaten der Rastvögelzählungen aus der Langzeitreihe der NPV - Daten zur Verbreitung und Bestand von Eiderenten aus der Langzeitreihe der NPV - Monitoringdaten der Makrozoobenthos Erfassung aus der Langzeitreihe von NPV und LLUR - Monitoringdaten der Makrophytenerfassung aus der Langzeitreihe von NPV und LLUR - Daten zur Makrozoobenthosverteilung im Sublitoral aus einer Datenreihe des AWI/Armonies - Einarbeitung von Fernerkundungsdaten insbesondere von eulitoralen Seegras- und Miesmuschelflächen (SAMOWatt) • Sichtung und Bearbeitung abiotischer Datensätze: <ul style="list-style-type: none"> - Einbindung vorangegangener bzw. parallel laufender Forschungsvorhaben (SAMOWatt, AufMod) - Einbindung der Sublitoralkarierungen (Sediment- und Habiterfassung) aus dem Monitoring der NPV
Benthosprobennahme im Eu- und Sublitoral	<ul style="list-style-type: none"> • Identifizierung eu- und sublitoraler Habitatstrukturen • Abgrenzung von Hot-Spots charakteristischer benthischer Habitate • Erstellung von Verbreitungskarten im GIS zur Komplettierung des Küstenmeeratlas • Bereitstellung von Basisdaten für die Habitatmodelle • Überführung der Daten in die zentrale Projektdatenbank

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Groß- und kleinskalige Aufnahme von Verbreitungsmustern von Küstenvögeln	<ul style="list-style-type: none"> • Aufnahme großskaliger Vogelverbreitungsmuster im Sublitoral durch Seevogelzählungen (SAS-Zählungen) • Aufnahme kleinskaliger und individueller Vogelverbreitungsmuster im Eulitoral durch Besenderung mittels GPS-Datenloggern • Aufnahme von Vogelverteilungsmustern zu verschiedenen Tidezeiten (Flugsurveys) • Identifizierung von Hot-Spots der Vogelverteilung • Bereitstellung von Basisdaten für die Habitatmodelle • Überführung der Daten in die zentrale Projektdatenbank
Fernerkundung zur Identifizierung von Habitaten	<ul style="list-style-type: none"> • Wissensaustausch mit dem bis August. 2015 laufenden Projekt SAMOWatt • Erstellung von Sedimentkarten für das STopP-Gebiet (Satellitenbildklassifikationen) • Erstellung von Karten für Muschelbänke und Seegraswiesen für das STopP-Gebiet (Satellitenbildklassifikation)
Kartierung der Sedimente und Habitate	<ul style="list-style-type: none"> • Weitgehende Kartierung der vorgesehenen Flächen im Untersuchungsgebiet. Zusätzliche Kartierung des Watteinzugsgebietes Rummelloch. • Die Entwicklung von besonders seltenen und bedeutenden sublitoralen Habitaten (Bänke epibenthischer Muscheln) wurde über mehrere Jahre hinweg untersucht. • Erstellung von Datenprodukten (SS Mosaik, Sedimentverteilungskarten, Probendatensätze) für andere AP

Arbeitspaket 3 „Hydrodynamische Modelle“

Ziel	Erreichte Ergebnisse
Erarbeitung bzw. Recherche hydrodynamischer Modelldaten	<ul style="list-style-type: none"> • Verständigung über einen Datensatz zur Überflutung von Wattflächen, bereit gestellt vom Verbundpartner MOSSCO • Einarbeitung externer Modelldaten zur Schubspannung der BAW • Nutzung des Datensatzes zu Wechselwirkung zwischen Hydrodynamik und Sediment Modelldaten Daten der BAW • Einarbeitung externer Daten zur Bathymetrie aus dem Projekt AufMod bereitgestellt durch das BSH • Vermittlung bathymetrischer Eingangsdaten und Daten zu Küstenlinienverläufen

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Arbeitspaket 4 „Funktionale Modelle“

Ziel	Erreichte Ergebnisse
Beschreibung bzw. weitergehende Analyse trophischer Beziehungen zwischen Schlüsselvogelarten und deren makrozoobenthischer Nahrung	<ul style="list-style-type: none"> Literaturrecherche von bereits bekannten trophischen Zusammenhängen Analyse im Vorhaben erhobener Daten zur Nahrungswahl von Trauer- und Eiderenten, Silbermöwen, Löfflern und Säbelschnäblern
Verwendung von Eingangsdaten aus AP 1-3 zur Modellierung statistischer Zusammenhänge zwischen Benthos- bzw. Vogelverbreitung und abiotischen und biotischen Umweltparametern	<ul style="list-style-type: none"> Quantifizierung des Einflusses von Sediment und Hydrodynamik auf das Auftreten von Makrozoobenthos und Vögeln Erstellung eines Habitatmodells für die eingewanderte Art Amerikanische Schwertmuschel sowie für Herzmuscheln sowie für die Vogelarten Austernfischer und Trauerente Erstellung von Vorhersagekarten der genannten Benthos- und Vogelarten in nicht beprobten Gebieten des Untersuchungsgebietes (Erstellung von Habitatpotentialkarten) Abgrenzung der Lage bzw. von Flächengrößen von Schwertmuschel- und Herzmuschelfeldern im Eulitoral für die ENA Eine Modellierung von Szenarien wird erst in der zweiten Vorhabenphase erreicht Eine weitergehende Modellierung weiterer Vogelarten wird erst in der zweiten Vorhabenphase erreicht
Analyse des Einflusses der Sediment- und Habitattypen auf die trophodynamischen Verhältnisse des Wattenareals	<ul style="list-style-type: none"> Erstellung von Nahrungsnetzmodellen von sechs unterschiedlichen Habitaten im Wattenmeer Analyse von Gemeinsamkeiten und Unterschieden in der Funktion der unterschiedlichen Habitate Jedes Habitat spielt eine bestimmte Rolle im Gesamtsystem des Wattenmeers
Entwurf eines holistischen Bildes des Untersuchungsgebietes mit Bewertung der trophodynamischen Funktion und Sensitivität gegenüber Störungen	<ul style="list-style-type: none"> Analyse der trophodynamischen Beziehungen des gesamten Projektgebietes Ermittelte Indizes implizieren einen derzeit ausgeglichenen Zustand des Nahrungsnetzes Anthropogene Einflüsse könnten das System dauerhaft schädigen
Modellwerte für die Synthese bereitstellen	<ul style="list-style-type: none"> Ergebnisse der Ökologischen Netzwerk Analyse stellen ersten Schritt zu Bewertungsinstrumenten zur Ermittlung des guten ökologischen Zustandes dar

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Arbeitspaket 5 „Bewertung und Synthese“ und Arbeitspaket 6 „Projektmanagement“

Ziel	Erreichte Ergebnisse
Entwicklung von Bewertungsinstrumenten für die Statusfeststellung biologischer Merkmale und biologischer Belastungen	<ul style="list-style-type: none"> • Bereitstellung von Habitatpotentialkarten • Abgrenzung von Schwellenwerten von abiotischen und biotischen Umweltparametern, ab denen ein positiver Einfluss auf betrachtete Arten des Makrozoobenthos oder der Avifauna zu erwarten ist • Prüfung der Indikatoren der ENA hinsichtlich ihrer Eignungen für eine Bewertung in Bezug zu den EU-Richtlinien gesetzt • Definition von Fragen und weiteren Untersuchungen zur Integration der ENA in die Bewertung
Vertretung des Verbunds nach außen	<ul style="list-style-type: none"> • Unterstützung des KüNO-Verbunds in Fragen des gemeinsamen Internetauftritts und der Öffentlichkeitsarbeit • Unterstützung des Dachprojekts (u. a. Broschüreneerstellung, Workshopplanung)
Datenbank und Datenmanagement	<ul style="list-style-type: none"> • Aufsetzen der Vorhabendatenbank • Entwicklung und Implementierung von Datenmodellen für alle AP • Sicherstellung der Datenlieferungen aus den AP • Unterstützung des KüNO-Verbunds in Fragen des gemeinsamen Datenportals • Metadatenerstellung und –schulung der Partner • Datenbereitstellung für alle AP und den KüNO-Verbund

Zur Beurteilung des ökologischen Zustands eines Ökosystems wie dem Wattenmeer ist es notwendig, die Informationen über das System zu bündeln und in einem holistischen Ansatz in ein Gesamtbild einfließen zu lassen. Mittels der Ökologischen Netzwerkanalyse und der Habitatmodelle werden die Interaktionen in den (Sub)-Systemen dargestellt und über spezifische Indikatoren charakterisiert. Diese Indikatoren helfen, den ökologischen Zustand des Systems gemäß den relevanten EU-Richtlinien (VRL, FFH, MSRL) zu bewerten. Die in diesem Projekt erarbeiteten Indikatoren für das Untersuchungsgebiet charakterisieren das Gebiet als in einem guten ökologischen Zustand.

2.1.1 PROJEKTMANAGEMENT (WP6)

2.1.1.1 PROJEKTKOORDINATION

Das Projektmanagement für das Vorhaben war in der Nationalparkverwaltung in Tönning angesiedelt. Neben der Koordination des Gesamtverbunds waren die Bereitstellung logistischer Grundlagen, Vertragsverhandlungen und Repräsentation des Verbunds nach außen typische Aufgaben. Sie stellte die Kommunikation zwischen den Projektpartnern sowie den Daten- und Ergebnisaustausch sicher, der für weitere Bearbeitungen in den verschiedenen Arbeitspaketen erforderlich war. Dazu wurden in enger Abstimmung mit den übrigen Partnern in regelmäßigen Abständen Projekttreffen, Statusseminare und Workshops abgehalten (vgl. Tabelle 1).

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Zur vorhabeninternen Kommunikation und zum Informationsaustausch wurde ein Wiki (APEX-Web-Sheet) aufgebaut und mit den Partnern zu Inhalt und Struktur abgestimmt. In diesen Rahmen wurden Wiki-User für alle Vorhabenbeteiligten eingerichtet. Auf diesem Wege wurden u. a. Informationen zu Feldkampagnen inklusive Dokumentation, Projekttreffen inklusive Protokolle sowie relevanten Veranstaltungen (z. B. Konferenzen) bekannt gemacht.

Das Vorhaben stellt seine Metadaten, Daten und Dienste über den schleswig-holsteinischen MDI-DE-Infrastrukturknoten bereit. Dazu wurde für die Projektpartner am FTZ eine Einführung in deutsche und europäische Geodateninfrastrukturen sowie eine Schulung zur Metadateneingabe in den NOKIS-Editor durchgeführt und im Laufe des Projekts weiter unterstützt (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Veranstaltungen, an denen Projektbeteiligte im Berichtszeitraum teilgenommen haben.
 V=Vortrag, P=Poster

Art der Veranstaltung	Zeitraum	Ort	Teilnehmer
BLANO-AG ErBe	03.07.2013	Hamburg	Eskildsen, K. (V)
IUCN Field Mission Programme Wadden Sea	24.08.2013	Wilhelmshaven	Garthe, S. (V)
37th Annual Meeting of the Waterbird Society	26.09.2013	Wilhelmshaven	Garthe, S. (V) Schwemmer, P. (V)
International Wader Study Group Conference 2013	28.-30.09.2013	Wilhelmshaven	Schwemmer, P. (V)
146. Jahresversammlung der Deutschen Ornithologen-Gesellschaft	02.-07.10.2013	Regensburg	Schwemmer, P. (V) Garthe, S. Enners, L.
KüNO-Datenmanagement	29.10.2013	Bremerhaven	Kohlus, J.
Marine Research Group der Nordseekommission (NSC)	31.10.2013	Büsum	Schwemmer, P. (V)
AWI-Seminar	Februar 2014	Sylt	Asmus, H. (V)
Workshop zur „Umsetzung MSRL (WRRL, FFH) - Benthische Lebensräume in der Nordsee“	03.02.2014	Warnemünde	Schwarzer, K. (V)
BLANO Fach-AG Benthos	13.02.2014	Hamburg	Schwarzer, K. (V)
Jahresversammlung der "Ornithologischen Arbeitsgemeinschaft für Schleswig-Holstein & Hamburg"	02.03.2014	Husum	Garthe, S. (V)
Beringertagung 2014 des Instituts für Vogelforschung "Vogelwarte Helgoland"	15.03.2014	Büsum	Garthe, S. (V)
D-LTER Jahrestreffen	17.-19.03.2014	List/Sylt	Kai Eskildsen (V)
32. Jahrestagung des Arbeitskreises "Geographie der Meere und Küsten"	03.04.-06.04.2014	Wilhelmshaven	Ricklefs, K. (V) Wittbrodt, K. (V) Stage, M.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Treffen mit Interessensgruppen auf der Hallig Langeneß	14.04.2014	Langeneß	Schwemmer, P. (V)
1. Jahrestagung Küstenforschung Nordsee-Ostsee	18.06.-19.06.2014	Warnemünde	Garthe, S. (V) Schwemmer, P. (V) Ricklefs, K. Stage, M.
KüNO Summerschool	September 2014	Lauenburg	Asmus, H. (V) Horn, S. (V) Eskildsen, K. (V)
Annual Meeting - Bilateral Wadden Sea Research	September 2014	List/Sylt	Asmus, H. (V)
147. Jahresversammlung der Deutschen Ornithologen-Gesellschaft	01.10-06.10.2014	Bielefeld	Enners, L. (V) Volmer, H. (P)
Workshop zur „Umsetzung MSRL (WRRL, FFH) - Benthische Lebensräume in der Nordsee“	07.10.2014	Hamburg	Stage, M. (V) Reimers, C. Eskildsen, K. (V) Schwarzer, K.
10. Deutsches See- und Küstenvogelkolloquium	14.11-16.11.2014	Norderney	Enners, L. (V) Volmer, H. (V)
13th Symposium Waddenacademie, Wadden Sea Research	10.12. – 11.12.2014	Leeuwarden	Asmus, H. (V) Eskildsen, K.
Workshop zur Einbindung von Seegrass in die ENA	02.-03.02.2015	List/Sylt	Asmus, R. Büttger, H. Stelzer, K. Horn, S. Asmus, H. Kohlus, J.
Berichte aus der laufenden Forschung der AG Ökologie mariner Tiere am FTZ Büsum	10.02.2015	Büsum	Garthe, S. (V) Schwemmer, P. (V) Enners, L. (V)
KüNO Workshop Daten und Metadaten	11.-12.02.2015	Rostock	Alexandra Ruales, Jörn Kohlus Kohlus, L. (V)
STopP-Metadaten-Treffen	17.02.2015	Büsum	Ruales, A. Stage, M. Enners, L.
Biologging Workshop	05.03.2015	Glasgow	Garthe, S. (V)
BOU Annual Conference	01.04.2015	Leicester	Garthe, S. (V) Schwemmer, P. Enners, L.
KDM Symposium "Küste 2025"	15.-17.04.2015	Hamburg	Garthe, S. (P) Ruales, A. (P)
Eiderstedter Kultursaison	31.08.2015	Tönning	Enners, L. (V)

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Expertenkreis Marine Biotope	26.05.2015	Hamburg	Eskildsen, K. Binder, K. Reimers, H.-C.
Austauschtreffen Biotope/Habitat	29.05.2015	Hamburg	Binder, K.
KüNO Forschungsdatenmanagement	25.07.2015	Hamburg	Kohlus, Alexandra Ruales
KüNO Workshop Forschungsdatenmanagement	26.06.2015	Warnemünde	Binder, K. Jörn
ECSA 55 Unbounded boundaries and shifting baselines: Estuaries and coastal seas in a rapidly changing world	06.-09.09.2015	London	Horn, S. (V) Enners, L. Garthe, S. Schwemmer, P.
50th European Marine Biology Symposium	21.-25.09.2015	Helgoland	Horn, S. (V)
148. Jahresversammlung der Deutschen Ornithologen-Gesellschaft	30.09-05.10.2015	Konstanz	Schwemmer, P. (V) Enners, L. (V) Schwemmer, P. (P) Chagas, A. L. (P) Garthe, S.
STopP-Workshop zur Ausgestaltung von Bewertungstools	05.11.2015	Tönning	Büttger, H. Ruales, A. Stelzer, K. Eskildsen, K.
KüNO Jahrestagung 2015	16.-17.11.2015	Warnemünde	Eskildsen, K. (V) Garthe, S. (V) Ruales, A. (P) Schwemmer, P. (P) Horn, S. (P), Ricklefs, K. Reimers, H. C. Binder, K. Schwarzer, K. Enners, L. Stage, M. (P) Wittbrodt, K. (P)
Internationaler Biotop-Workshop	30.11.-02.12.2015	Insel Vilm	Reimers, H.-C. (V)
NABU Jahreshauptversammlung Husum	09.12.2015	Husum	Enners, L. (V)
Arbeitskreis Vogelschutzwarte Hamburg	18.01.2016	Hamburg	Enners, L. (V)
BLANO Expertenkreis Biotope	03.02.2016	Hamburg	Eskildsen, K. Reimers, H.-C.
LLUR-Küstengewässer-Symposium 2016	08.03.2016	Flintbek	Schwemmer, P. (V) Wittbrodt, K. (V) Stage, M. (V)

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Projektgruppe MDI-DE	16.03.2016	Hamburg	Binder, K. Eskildsen, K. Ruales, A. (V) Garthe, S. Schwemmer, P. (V) Enners, L. (V) Asmus, R. Asmus, H. Horn, S. (V)
STopP-Statusseminare	19.08.2013	Tönning	Ricklefs, K.
	29.-30.01.2014	List/Sylt	Stage, M. (V)
	19.-20.11.2014	List/Sylt	Schwarzer, K.
	10.-11.2.2016	Büsum	Wittbrodt, K. (V) Büttger H. (V) Stelzer, K. (V) Reimers, H.-C. (V) Binder, K. (V) Kohlus, J.

2.1.1.2 DATENMANAGEMENT

Während des Berichtszeitraums wurde im Rahmen des WP 5 die Entwicklung der Datenbank durchgeführt. Im Jahr 2013 wurde ein STopP-Datenbankschema in Oracle auf einem externen Server erstellt. Es ist vorgesehen, dass das STopP-Schema in der NPV-Datenbank integriert wird.

Im Laufe des Projekts wurde das Datenmodell der Projektdatenbank entworfen und erstellt. Bis März 2016 besteht dieses aus mehreren Sub-Datenmodellen (vgl. Abbildung 4-8). Da die Daten von verschiedenen Institutionen geliefert werden, wurde die Datenstandardisierung zwischen den verschiedenen STopP-Arbeitsgruppen koordiniert. Dafür war es notwendig für jedes Submodell ein spezifisches Template zu erzeugen, in die jede Institution ihre Daten einpflegen kann. Das Excel-Template wurde basierend auf den identifizierten Anforderungen von der NPV erstellt.

Der Import der Daten in der Datenbank erfolgt über SQL-Developer. Pro Themengebiet wurden zunächst Input-Tabellen erzeugt, welche die Charakteristika der Excel-Template beinhalten. Von diesen Tabellen wurden die Daten, in die für jedes Submodell spezifische Sachtabellen wie Probenahme, Probe und Analyse übertragen. Für die Beschleunigung und Erleichterung dieses Prozess wurden Skripte erstellt, die nach Lieferung neuer Daten, erneut verwendet werden können.

Aus rechtlichen Gründen haben die Projektpartner als externe User keinen direkten Zugriff auf den Datenbankserver der NPV, wo die Daten gehalten und verwaltet werden. Daher wurde das System Oracle Application Express (APEX) als Web-Anwendung erstellt, die beim STopP-Auftragnehmer Brockmann-Consult (BC) läuft. BC ist in der Lage die Aktualisierungen der Datenbank kontinuierlich auf APEX verfügbar zu machen. Für jeden Projektpartner wurde ein Nutzerkonto erstellt um Zugriff auf die Daten sicherzustellen. APEX ist ein produktives Werkzeug um Anwendungen, die auf Datenbankdaten zugreifen, zu erstellen, Daten zu recherchieren und Ergebnisse selbst zu gestalten. Bereits in die Oracle-Datenbank importierte Daten wurden den Projektpartnern über APEX zur Verfügung gestellt. Bis März 2016 hatte die Apex-Webanwendung ein Hauptmenü mit 11 Registerkarten.

Die NPV führt seit 1987 ein Monitoring von Brandgänsen und Eiderenten im schleswig-holsteinischen Wattenmeer durch. Die erzeugten Shapefile-Daten werden in ArcGIS bearbeitet. Eiderentendaten

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

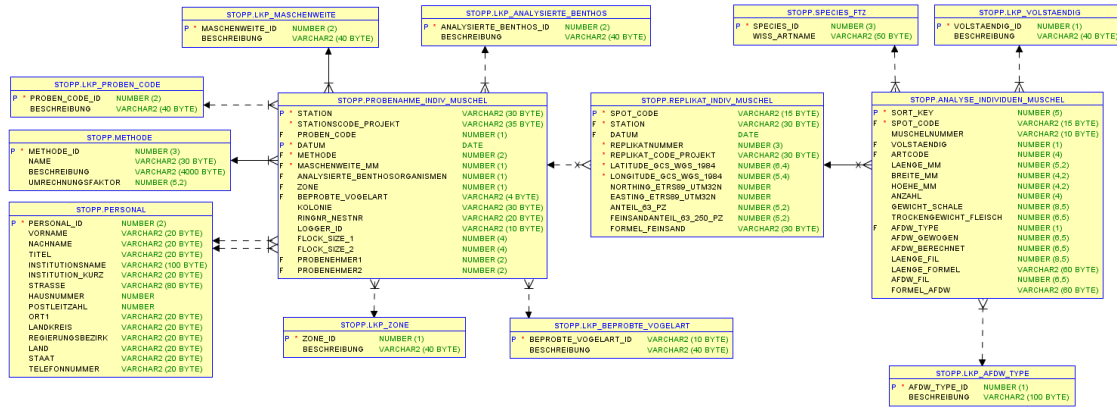


Abbildung 6: Datenmodell für Muscheln.

STOPP.PEGELDATEN	
STATIONSNUMMER	NUMBER
DATUM	DATE
WERT_CM	NUMBER
STATUS_WERT	VARCHAR2 (40 BYTE)
WERT_VARCH	VARCHAR2 (20 BYTE)

Abbildung 7: Datenmodell für Pegeldaten.

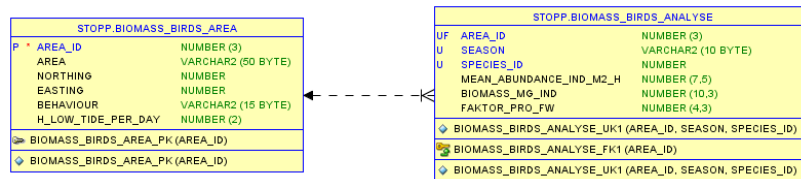


Abbildung 8: Datenmodell für Biomasse (Vögel).

Die Arbeiten zur Datenhaltung wurden in einem Dokumentationsdokument festgehalten, das diesem Schlussbericht als Anhang beigefügt ist.

2.1.2 VERTEILUNGSMUSTER IM SUBLITORAL (AP1)

Eines der Hauptziele des Vorhabens war es, Verteilungsmuster von Sedimenten, Makrobenthos und Vögeln als Top-Prädatoren zu erfassen. Die entstehenden Karten sollten dazu beitragen, den Küstenmeeratlas zu komplettieren. Zu diesem Zweck sind archivierte Daten aus Langzeitreihen der beteiligten Institutionen mit neu im Vorhaben erhobenen Daten verschnitten worden.

Sublitorale Verteilungsmuster Sediment und Benthos

Ziel der Arbeiten im Teilvorhaben "sublitorale Sedimente und Habitate in den Teilgebieten STopp Wattenmeer und STopp See" war die Erfassung bzw. Kartierung sublitoraler Sedimentverteilungsmuster in den Gezeitenrinnen der Wattenmeeresgebiete Norderaue, Süderaue und Rummelloch. Weiterhin wurden das westlich an das Wattenmeer anschließende Seegebiet der offenen Nordsee bis über die Amrum-Bank hinaus (s. Abbildung 1) bearbeitet. Damit wird das gesamte Spektrum prägender hydrologischer Einwirkung von einem tidedominierten Bereich bis hin zu wellendominierten Bereichen überdeckt. In den untersuchten Gebieten wurden neben den Sedimenten und des oberflächennahen Untergrundes auch Habittypen erfasst, soweit dieses durch hydroakustische Messungen und Probenahmen möglich war. Von speziellem Interesse waren dabei Lebensräume solcher

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

benthischer Organismen, die als Nahrungsquelle für tauchende Vögel, wie Eiderenten (*Somateria mollissima*) oder Trauerenten (*Melanitta nigra*), dienen. Zusätzlich wurden für STopP I-See Altdatensätze, die innerhalb des Arbeitsgebietes liegen, in die Auswertungen einbezogen. So wurde ein Seitensichtsonar-Datensatz aus dem Projekt AUFMOD aus dem nord-westlichen Bereich des seewärtigen Arbeitsgebietes sowie das Rückstreumosaik aus Multibeamvermessungen und Daten von Sedimentbeprobungen von Schwarzer & Diesing (2006) aus dem Bereich der Amrumbank verwendet.

Die erarbeiteten Sediment- und Benthosinformationen dienen einerseits der Vervollständigung des "Küstenmeeratlases" und andererseits als Basisinformationen für in StopP I durchgeführte Habitatmodellierungen und Nahrungsnetzanalysen. Weiterhin dienen sie als Grundlage für die Bewertung des Deskriptors "Meeresbodenintegrität".

Zur Erfassung von Sedimentverteilungsmustern, sowie zur Detektion biogener Strukturen am Meeresboden wurden hydroakustische Messmethoden/geräte wie Seitensichtsonare mit unterschiedlichen Abstrahlfrequenzen, Fächerecholot, Einstrahlecholote sowie ein parametrisches Sedimentecholot eingesetzt. Auf eine detaillierte Beschreibung der Messtechniken wird hier verzichtet, da dies hinreichend in der Literatur beschrieben ist (Lurton, 2002, Blondel, 2009). Seitensichtsonare haben den Vorteil, dass durch die flächenhafte Abbildung des Meeresbodens größere Areale in relativ kurzer Zeit flächendeckend und hoch auflösend kartiert werden können. Dies ermöglicht es u.a., einen zuverlässigen Aufschluss über die tatsächliche Ausdehnung geogener und biogener Strukturen zu erhalten. Weiterhin lassen sich aus den Rückstreuintensitäten der akustischen Signale Informationen hinsichtlich der Textur der Sedimente und der Oberflächenausbildung des Seegrundes ableiten. Ergänzt werden die hydroakustischen Messungen durch die Entnahme von Meeresbodenproben. Die Ergebnisse der sich daran anschließenden Analysen des Sediment- und Fauneninventars ermöglichen eine Verifizierung und Parametrisierung der flächig vorliegenden hydroakustischen Befunde. Zur Untersuchung bestimmter Habitattypen (speziell Muschelbänke) wurden zudem eine Dredge sowie Unterwasservideoeinrichtungen eingesetzt.

Die Fläche des vom FTZ und IfG im Rahmen des STopP I-Projekts bearbeiteten Untersuchungsgebiets beträgt insgesamt 1.167 km² (Abbildung 9). Die Länge aller hier abgefahrenen hydroakustischen Transekte summiert sich auf 8.410 km. Eine genaue Auflistung der Schiffseinsätze, Transektlängen und des Geräteeinsatzes in den einzelnen Gebieten zeigt Tabelle 2. Zur Verifizierung, der aus den akustischen Daten abgeleiteten Befunde, wurden insgesamt 881 Backengreiferproben, 29 Großkastengreiferproben und 18 bis zu 3 m lange Sedimentkerne entnommen. Die Großkastengreifer mit einer Eindringtiefe von bis zu 50 cm ermöglichen eine ungestörte Entnahme eine 0,25 m² großen Bereichs der Sedimentoberfläche und bei tieferem Eindringen auch ein Erkennen des vertikalen Sedimentaufbaus. Die Entnahme von Sedimentkernen erfolgte in der letzten Phase von STopP I, da sich durch die vorausgehenden Untersuchungen angedeutet hatte, dass der sedimentologisch/geologische Aufbau des meeresbodennahen Untergrundes die Sedimentverteilung an der Oberfläche entscheidend prägt.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Tabelle 2: Informationen zu den Messfahrten. Die Kampagnen fanden in der Regel unter Beteiligung mehrerer Partnerinstitutionen statt, um einerseits der inter- und transdisziplinären Gesamtfragestellung Rechnung zu tragen und andererseits Ressourcen effizient einzusetzen.

Gebiet	Zeitraum	Schiff	Eingesetzte Geräte	Transektlänge	Sedimentproben
Föhrer Ley	15.08. – 15.11.2012 (8 Tage)	FB SÜDFALL FB SESTON	SSS, MB, Van-Veen-Greifer, Dredge, Unterwasservideo	355 km	70
Norderaue	23.10. – 06.11.2012 (5 Tage)	FB SÜDFALL FB SESTON	SSS, MB, Van-Veen-Greifer, Dredge	280 km	48
Schmaltief	29.05. – 20.06.2013 (9 Tage)	FB SÜDFALL	SSS, MB, Van-Veen-Greifer, QTC	244 km	25
Rütergat	02.07.2013 – 30.09.2014 (9 Tage)	FB SÜDFALL	SSS, MB, Van-Veen-Greifer, QTC	320 km	21
Süderau	01.10.2013 – 30.09.2014 (11 Tage)	FB SÜDFALL FB SESTON	SSS, Van-Veen-Greifer, Dredge, Unterwasservideo	607 km	66
Westlich Amrum	25.6. – 30.9.2015 (11 Tage)	FB SÜDFALL	SSS, Van-Veen-Greifer	432 km	20
Rummelloch	29.06. – 02.07.2015 (4 Tage)	FB SESTON	SSS, Van-Veen-Greifer	142 km	50
Amrumbank	27.07.-04.08.2013 (9 Tage)	FK LITTORINA	SES, SSS, MB, Van-Veen-Greifer, CTD, Unterwasservideo	557 km	44
Amrumbank	30.06.-12.07.2014 (13 Tage)	FS ALKOR	SES, SSS, Van-Veen-Greifer, Großkastengreifer, CTD, Unterwasservideo	1350 km	66
Amrumbank	29.07.-07.08.2014 (10 Tage)	FK LITTORINA	SES, SSS, MB, Van-Veen-Greifer, CTD, Unterwasservideo	329 km	10
Amrumbank	17.09.+19.09.2014 (2 Tage)	FS POSEIDON	Van-Veen-Greifer		20
Amrumbank	10.10.-23.10.2015 (14 Tage)	FS ALKOR	SES, SSS, Van-Veen-Greifer, Großkastengreifer, CTD, Vibrocorer, Unterwasservideo	1699 km	84

Für die Erstellung einer Sedimentverteilungskarte des STopP-Gebiets wurden die Ergebnisse aus der Auswertung der hydroakustischen Daten und der Analyse der Sedimentproben verwendet. Die daraus erstellte Sedimentverteilungskarte (Abbildung 10) wurde nach der Klassifikation von Folk & Ward (1957) erstellt. Dabei erfolgt die Zuordnung in Korngrößenklassen ausschließlich auf Basis der Sandfraktion (63 – 2000µm).

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

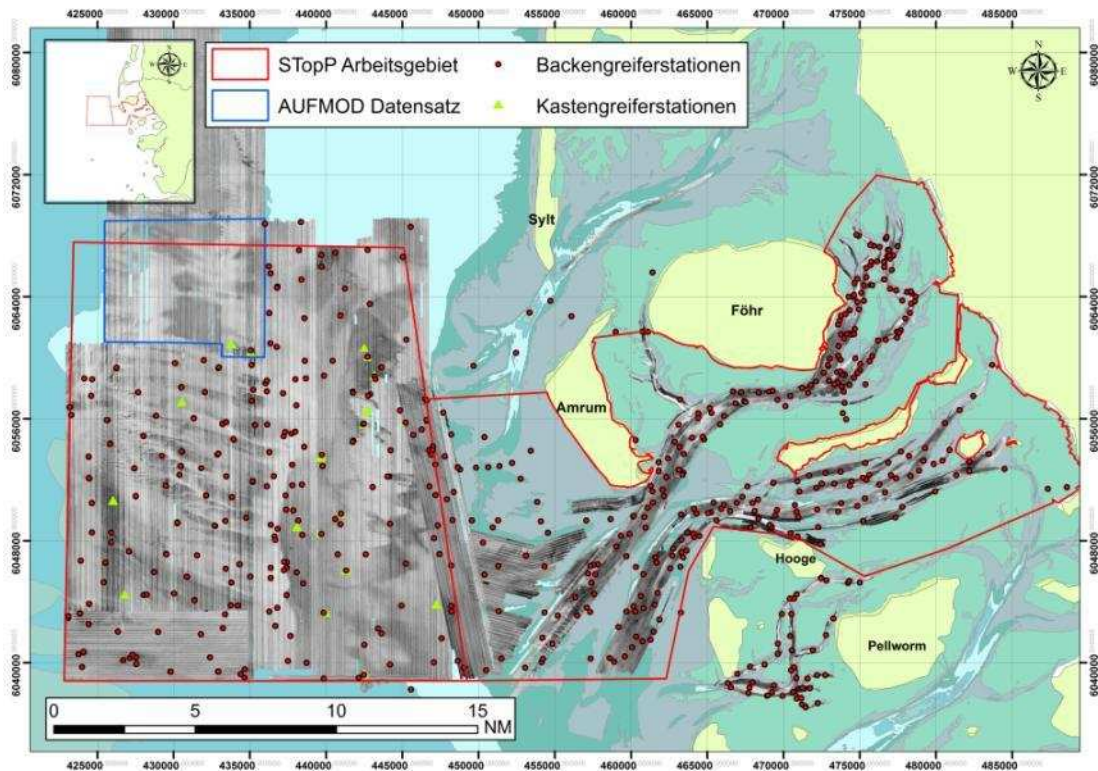


Abbildung 9: Seitensicht-Sonar Mosaik des gesamten Untersuchungsgebietes

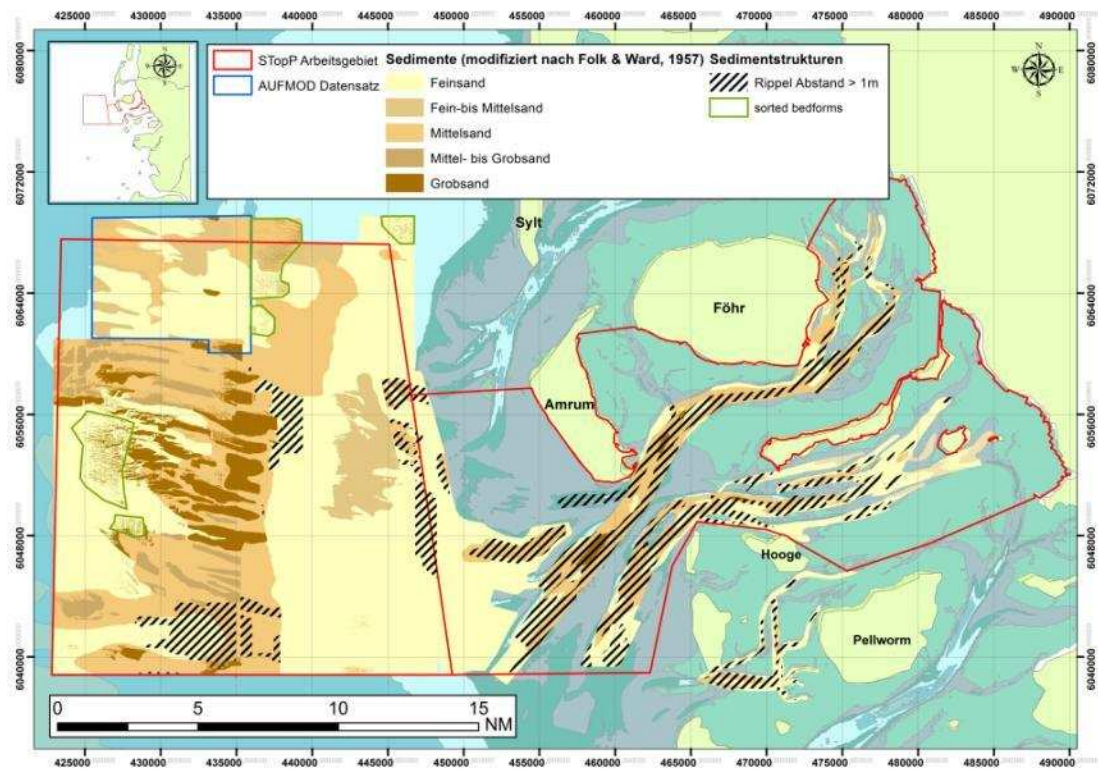


Abbildung 10: Die Sedimentverteilung nach Folk & Ward (1957), das Vorkommen von Rippeln mit einem Kammabstand > 1 m und „Sorted Bedforms“ im gesamten Arbeitsgebiet

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Die Sedimentverteilungsmuster im Arbeitsgebiet STopP-Watt zeigen deutlich, dass an der Meeresbodenoberfläche im Bereich der Föhler Ley, der Norderaue, des Rütergats und des Schmaliefs Mittelsande dominieren. Die im Untersuchungsgebiet vorkommenden Feinsande treten im inneren Bereich eher in flachen und geschützten Gebieten, wie an Rinnenrändern und kleineren Prielen auf. Hier (westlich von Amrum, in der Süderaue und im Rummelloch) wurden Mittelsande nur in den tieferen Bereichen der Rinnen vorgefunden. Im Gebiet vorkommende Grobsande wurden hauptsächlich in den zentralen, tieferen Bereichen der Rinnen kartiert.

Das Arbeitsgebiet STopP-See ist deutlich zweigeteilt. Während im östlichen Teil im unmittelbaren Anschluss an STopP-Watt Feinsande dominieren, ist der Bereich der Amrum-Bank selbst durch Mittelsande bis hin zu Grobsanden dominiert. Das Sedimentverteilungsmuster ist hier überwiegend in WNW – ESE- streichende Streifen angeordnet, die nach WNW hin zu größeren Wassertiefen „ausfransen“. Im westlichsten, tieferen Bereich dominieren dann wieder Feinsande.

Neben den Informationen zur Rückstreustärke (daraus lassen sich Eigenschaften des Sediments ableiten) erhält man durch die Auswertung der Seitensichtsonar-Mosaik auch Hinweise auf die Ausbildung der Meeresbodenoberfläche. Die Ergebnisse zeigen sehr deutlich, dass die Sedimentoberfläche in den Gezeitenrinnen fast überall durch Dezimeter bis hin zu mehrere Meter hohe Sohltransportkörper (Rippel, Unterwasserdünen, Abbildung 10) geprägt ist, was als Indikator für eine intensive Sedimentdynamik am Gewässergrund angesehen werden kann. Die Untersuchungen haben aber auch ergeben, dass es in den Sonaraufzeichnungen Bereiche ohne deutlich erkennbare Sohltransportkörper gibt. Im Bereich STopP-See treten rezente Sohltransportkörper nicht in dieser Häufigkeit und auch nicht in dieser Ausprägung auf, da hier gegenüber dem Tideeinfluss der Welleneinfluss überwiegt. Lediglich im südlichen Teil des Arbeitsgebietes südlich der höchsten Erhebung als auch nordwestlich dieses Hochgebietes gibt es ausgeprägte Sohltransportkörper. Ihre Höhe erreicht aber lediglich bis zu 35 cm bei einem Kammabstand bis zu 6 m.

Ausgeprägte Sedimentdynamik, erkennbar an der Verbreitung von Sohltransportkörpern, spielt eine wichtige Rolle im Hinblick auf die Artzusammensetzung und –verteilung von benthischen Lebensformen. So ist z.B. für eine längerfristige Ansiedlung von sessilen epibenthischen Lebensformen wie Miesmuscheln oder Austern eine gewisse morphologische Stabilität des Siedlungssubstrates erforderlich. Eine Solche ist in Gebieten mit ausgeprägter Sediment- und Morphodynamik aber kaum gegeben. Daher ist für die Detektion von sublitoralen Habitaten, speziell epibenthischer Lebensformen, das Wissen über das Vorkommen von sogenannten Hartsubstraten von großem Interesse, da diese als potentieller Lebensraum für epibenthische Lebensgemeinschaften angesehen werden können. Im sublitoralen Bereich des STopP-Gebiets treten Hartsubstrate in Form von Stein- und Kiesvorkommen, Schillbänken, anstehendem Torf oder aber als Vorkommen von stark kohäsiven, konsolidierten Feinsedimenten, hier unabhängig von ihrer Altersstellung und Genese als Klei bezeichnet, auf (Abbildung 11).

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer



Abbildung 11: Das Vorkommen von Hartsubstraten im inneren Bereich des STOPP-Gebiets.

Im Gebiet STOPP-See werden Hartsubstrate nicht beobachtet. Hier tritt eine andere geomorphologische Form auf, sogenannte „Sorted Bedforms“ (Caccione et al. 1978, Diesing et al. 2006) auch treffender als „Rippled Scour Depressions“ (Murray & Thielert, 2004) bezeichnet. Hierbei handelt es sich um bis zu 1 m eingetiefte längliche geomorphologische Strukturen, deren Breite von wenigen 10er Metern bis zu mehrere 100 m erreichen kann. Ebenso variabel ist die Längserstreckung von wenigen hundert Metern bis hin zu Kilometern. Diese geomorphologischen Depressionen sind geprägt von im Vergleich zur Umgebung wesentlich größeren Sedimenten, im vorliegenden Fall Grobsand bis hin zu Feinkies. Ihr Streichen ist dominiert von der Richtung WNW – ESE. Durch die Rauheit des Sedimentes

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

verursachte Turbulenzen innerhalb dieser Vertiefungen verhindern in diesen Strukturen die Ablagerung von Fein- und Mittelsand. Benthisch lebende Organismen wurden in diesen Strukturen seltener bzw. mit geringerer Anzahl/Vielfalt beobachtet. Neben Würmern wie dem Opalwurm (*Nephtys hombergii*) konnten vor allem in locker gepackten Bereichen mit Grobsand und kiesigem Material Lanzettfischchen (*Branchiostoma lanceolatum*) in den Sedimentproben vorgefunden werden.

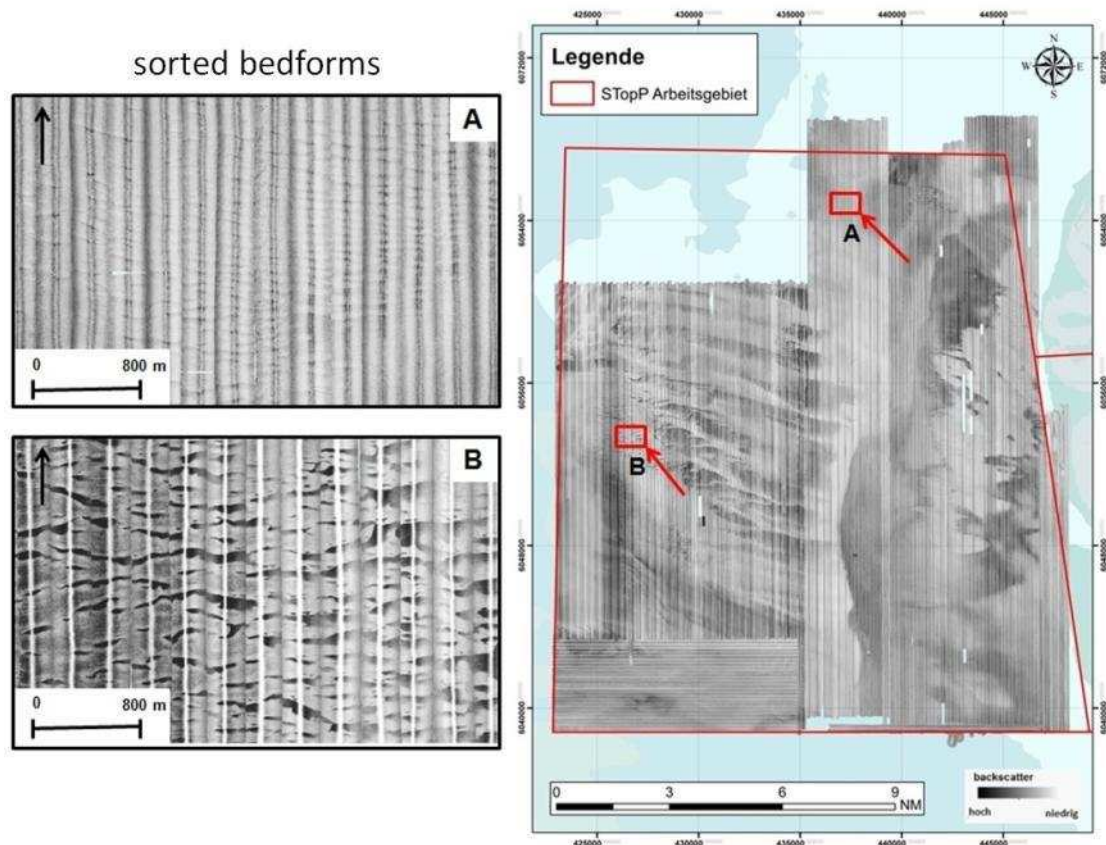


Abbildung 12: Das Vorkommen von Sorted Bedforms unterschiedlicher Ausprägung im Arbeitsgebiet.

Ältere Sedimente streichen im Gebiet SToPP-See zwar nicht unmittelbar an der Oberfläche aus, stehen aber in einigen Bereichen bereits nur 20 cm unter mobilen Sanden und Kiesen an. Die Abbildung 13 zeigt die Lage eines Sedimentkernes aus -14,5 m (LAT). Der Kern wurde im Bereich einer leichten morphologischen Erhebung entnommen. Das Kernprofil zeigt bereits in 29 cm Kerntiefe einen deutlichen Sedimentwechsel. Unter einer sandig/kiesigen Auflage folgt eine Wechsellagerung von Schluff und Feinsandlagen. Eine Muschelschale aus 80 cm Tiefe wurde auf ein AMS 14-C Alter von 5880 ± 35 cal BP datiert. Es handelt sich bei diesen Ablagerungen um alte, konsolidierte Wattsedimente (Clemens 2016). Die morphologische Erhebung in dem seismischen Profil lässt sich durch den größeren Erosionswiderstand der in den Wattablagerungen kohäsiven Lagen erklären. Somit steuert der Untergrund maßgeblich die heutige Meeresbodentopographie in diesem Bereich.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

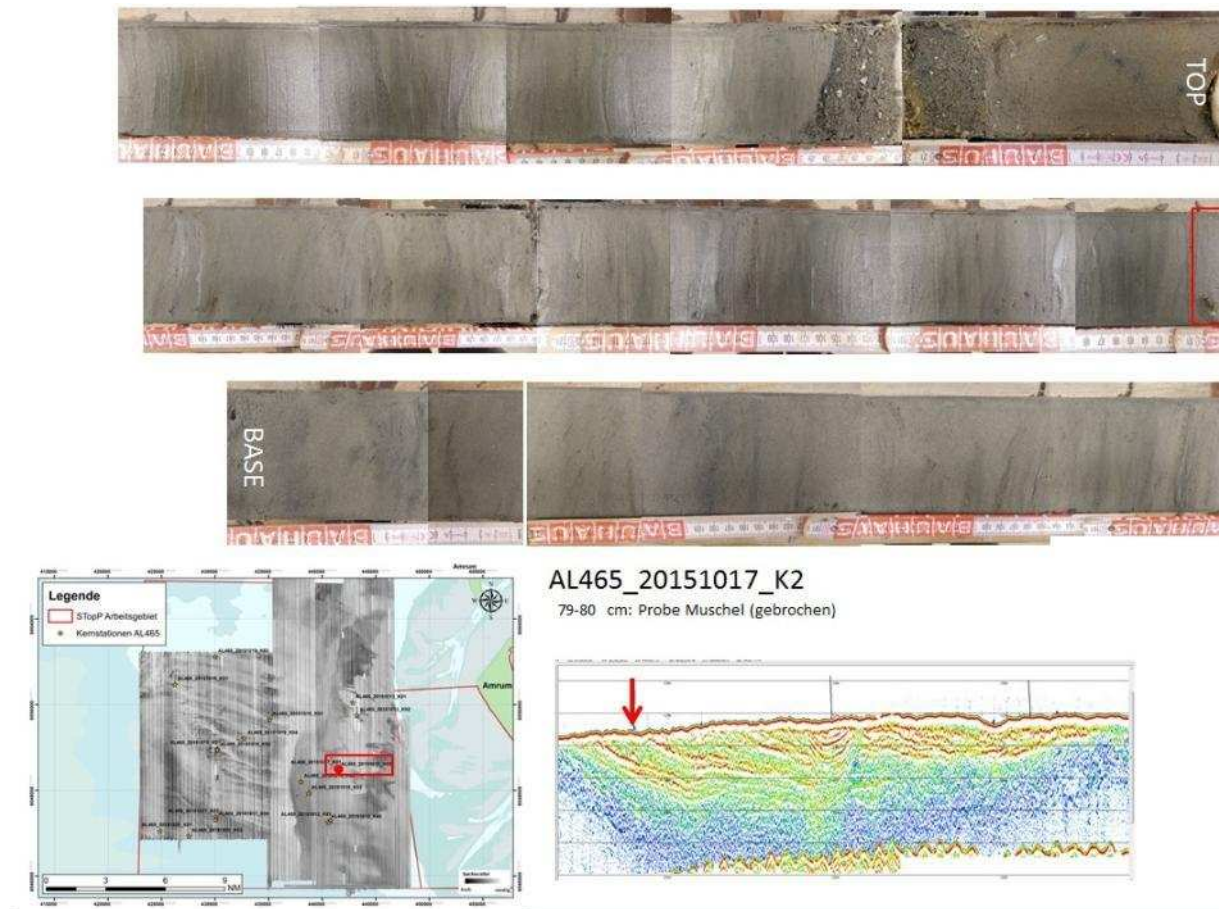


Abbildung 13: Geographische Lage und sedimentologische Ausbildung eines Sedimentkerns aus dem Gebiet STOPP-See.

In dem Gebiet STOPP I-Watt streichen ältere Sedimente direkt an der Oberfläche aus (Abbildung 14). Kleiablagerungen treten in den tieferen Bereichen der Süderaue und Norderaue freigespült in der Rinnenmitte auf oder kommen durch Erosion freigelegt an den Rinnenrändern der Süderaue und des Rummellochs vor. Größere Schillablagerungen konnten im inneren Bereich der Süderaue und der Norderaue nachgewiesen werden.

Auf einigen der detektierten Hartsubstrate, die sich nicht selten als "Härtlingsstrukturen" auch topografisch am Meeresgrund abzeichnen, konnten benthische Lebensgemeinschaften nachgewiesen werden (Abbildung 14 und Abbildung 17). So kommen in den Ausläufern der Föhrer Ley auf zwei permanent unter Wasser liegenden Torfvorkommen eindeutig mehrjährig besiedelte Muschelbänke vor, die von Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) und von der ebenfalls in hoher Abundanz vorkommenden pazifischen Auster (*Crassostrea gigas*) aufgebaut werden. Die eine der beiden Muschelbänke wurde in einer kleinen Querrinne östlich von Föhr kartiert. Sie wies 2012 eine Flächengröße von etwa 5,5 ha auf und konnte auf den Seitensichtsonaraufnahmen deutlich in Form einer unruhigen Oberfläche und kleinräumigen, scharfen Reflektoren (Muschelklumpen) ausgemacht werden. Das Verhältnis von Miesmuscheln zu Austern, bei in den mit einer Dredge entnommenen Benthosproben, lag bei etwa 70:30. Darüber hinaus konnten auch noch viel Schill verschiedenster Arten und große Torfbrocken ausgemacht werden. Die Größe der Torfbrocken weist auf am Ort oder in der unmittelbaren Nähe anstehenden Torf hin.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer



Abbildung 14: Benthosverteilung (*Lanice conchilega* und Miesmuschelbänke) mit dem Vorkommen von Hartsubstraten. Als einzelne Punkte sind Greiferpositionen markiert, in denen *Ensis*, *Lanice conchilega* oder beides zusammen anzutreffen waren.

Ein seit 2012 jährlich durchgeführtes Monitoring zeigt, dass eine Flächenabnahme der Bank, bei einer gleichzeitigen Verlagerung in südlicher Richtung, stattgefunden hat (Abbildung 15b). Im Jahr 2015 konnten keine signifikanten Seitensichtsignaturen, die auf ein Vorhandensein von Miesmuscheln oder Austern hindeuten, ausgemacht werden. Als Grund für das Verschwinden der Muschelbank kann die natürliche Verlagerung des Priels nach Süden und ein damit von Norden stattfindendes Übersanden der Bank angesehen werden.

Etwa 1,5 km nördlich des eben beschriebenen Vorkommens wurde eine zweite Muschelbank detektiert (Abbildung 14 und Abbildung 17). Das Siedlungssubstrat ist ebenfalls anstehender Torf. Die von den Muscheln besiedelte Fläche ist mit knapp 12 ha deutlich größer und, wie das ebenfalls seit 2012 jährlich durchgeführte Monitoring zeigt, bezogen auf ihre Lage und Flächenausdehnung wesentlich stabiler (Abbildung 15c). Im Bereich des Verbreitungsgebietes der Muscheln wurden zur Verifizierung der Sonarbefunde ebenfalls Probenahmen mit einer kleinen Dredge durchgeführt. Da die Dredge in den ersten Jahren bereits nach relativ kurzer Schleppestrecke vollständig gefüllt war, kann davon ausgegangen werden, dass die Individuendichte in diesem Gebiet vergleichsweise hoch war. Dieser Befund wird durch Unterwasservideoaufnahmen gestützt. Bei den vorgefundenen Miesmuscheln handelte es sich meist um adulte Exemplare. Teilweise sehr große pazifische Austern scheinen weiterhin darauf hinzuweisen, dass diese Bank über mehrere Jahre hinweg besiedelt ist. Zudem weisen die Dredgeproben ein sehr vielfältiges Fauneninventar mit verschiedenen Schnecken, Krebstieren und Fischen auf, was ebenfalls auf eine stabile Situation hindeuten könnte. Allerdings scheint die Anzahl der vorkommenden Miesmuscheln immer weiter abzunehmen, während die Abundanz der pazifischen Auster sich als eher kontant darstellt. Dies gilt besonders für das Jahr 2015. Die Gründe

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

für diesen Rückgang der Miesmuscheln sind bislang unklar.

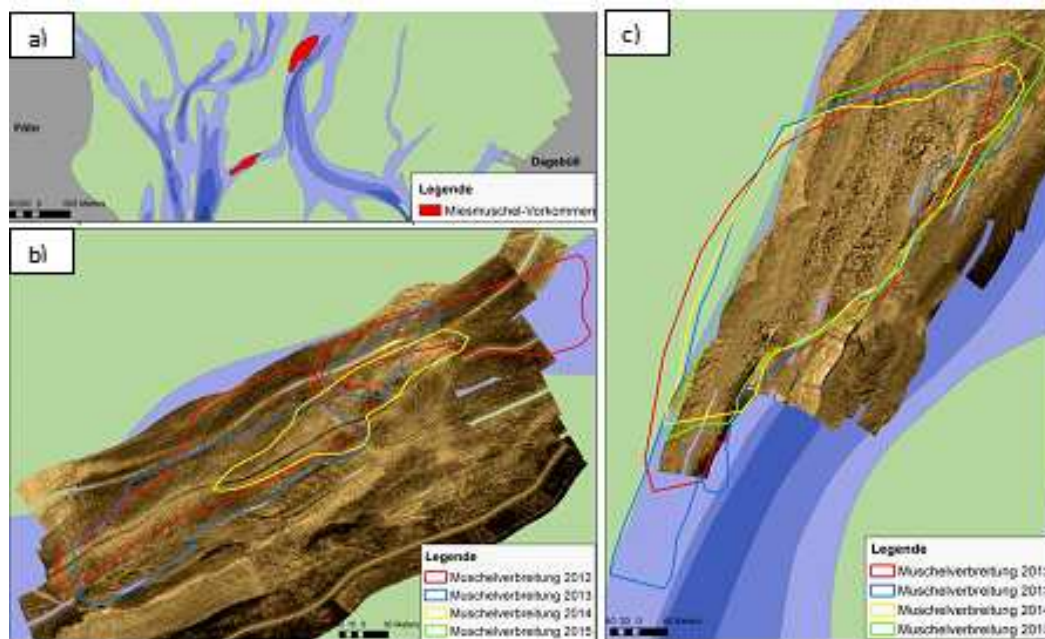


Abbildung 15: Stabilität von Miesmuschel-Bänken. a) Lage der beiden Bänke (Siedlungssubstrat: Torf); b) Ausbreitung der Miesmuscheln in der Querrinne in den Jahren 2012, 2013, 2014 auf einem Seitensichtsonar-Mosaik von 2015; c) besiedelte Miesmuschel-Fläche nordöstlich Föhr in den Jahren 2012 - 2015

Im inneren Bereich der Süderau, südlich der Hallig Gröde, konnte eine dritte, ständig unter Wasser liegende Miesmuschelbank, mit einer Fläche von 65 ha, ausgemacht werden (Abbildung 14 und Abbildung 17). Bei diesem sublitoralen Vorkommen handelt es sich zwar um einen seit Jahrzehnten bekannten Miesmuschelstandort (Nehls, et al., 2011), die Variabilität der besiedelten Fläche, die Art der Besiedlung sowie die Besiedlungsdichte sind aber nahezu unbekannt. So erbrachten eigene, erstmals 2010 hier durchgeführte Sonaruntersuchungen und Probenahmen keine Hinweise auf dichtere Vorkommen speziell von Miesmuscheln. Es konnten nur ausgedehnte Schillflächen aber keine für aufragende Miesmuschelklumpen typische Sonarsignaturen detektiert werden. Durchgeführte Beprobungen mit dem Backengreifer ergaben zudem keine Hinweise auf größere Ansammlungen von lebenden Miesmuscheln oder Austern. Eine im Rahmen von STopp im Jahre 2014 durchgeführte Untersuchung ließ jedoch die für Miesmuschelklumpen typischen Sonarsignaturen in großer Zahl erkennen. Diese beiden sehr widersprüchlichen Befunde machen einmal mehr deutlich, dass im Rahmen eines auf drei Jahre Laufzeit beschränkten Forschungsvorhabens, einige Naturvorgänge nicht hinreichend exakt erfasst werden können. Unbeantwortet muss auch die Frage bleiben, warum im Bereich des Muschelvorkommens bei Gröde tauchende Eiderenten, die als typische Prädatoren von Miesmuscheln gelten, beobachtet wurden, während diese Vögel im Verlauf des mehrjährigen Monitorings niemals auf den beiden sublitoralen Muschelbänken zwischen Föhr und dem Festland vorkamen.

Ein weiteres detektiertes Habitat stellt der des Bäumchenröhrenwurms *Lanice conchilega* dar. Nach Einarbeitung sind zumindest dichte Bestände relativ einfach und sicher mit Hilfe von Seitensichtsonar-Aufzeichnungen und Greiferproben durch einen geübten Bearbeiter erkennbar. Allerdings bewegt sich die Bandbreite der Sonarmuster zwischen auffällig "wolkig-schwammartigen" Sonarsignaturen bis hin zu eher unscheinbaren Kleinstrukturen (Abbildung 16), da einerseits die Dichte der Besiedlung sehr stark schwankt und andererseits geometrische Effekte bei diesen eher "weichen" Rückstreuelementen eine wichtige Rolle zu spielen scheinen. Saisonale Effekte, die den Lebenszyklus

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

dieses Organismus bestimmen sowie der Zeitpunkt der Vermessung spielen ebenfalls eine Rolle. Unmittelbar nach Sturmereignissen sind *Lanice*-Populationen nicht zu beobachten.

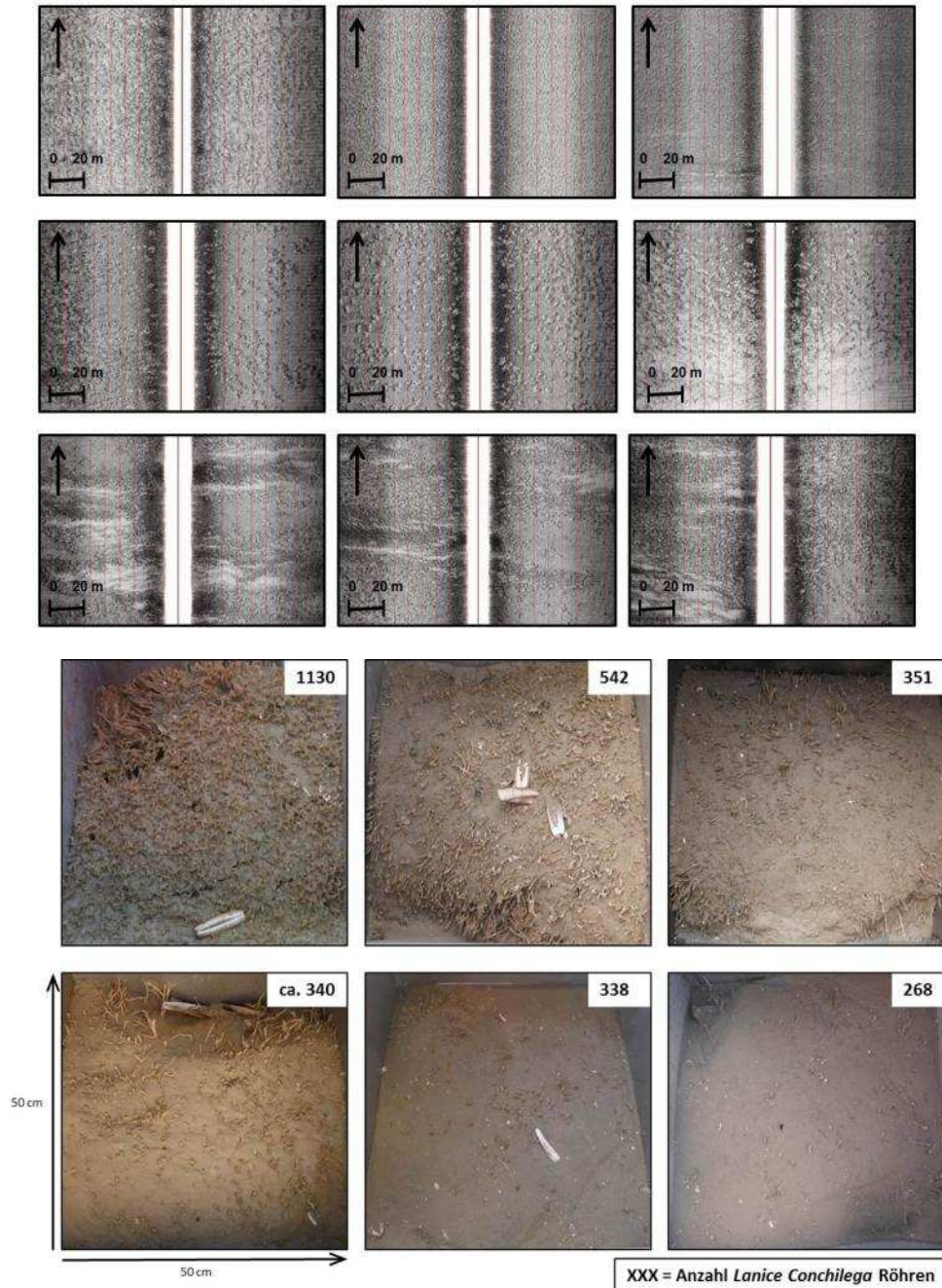


Abbildung 16: In der oberen Abbildung sind 9 unterschiedliche *Lanice*-Signaturen in Seitensicht-Sonaraufnahmen aus dem STopP-Gebiet dargestellt. Die untere Abbildung zeigt dazu das Vorkommen von *Lanice*-Röhren in Kastengreiferproben.

Tritt *Lanice conchilega* im Gebiet STopP See großflächig auf (Abbildung 17), konnte dieser Polychät im gesamten inneren Arbeitsgebiet (eigentliche Gezeitenrinnen) nur auf vergleichsweise kleinen Flächen nachgewiesen werden. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.. Er siedelt bevorzugt auf Feinsand, kommt aber auch auf Mittelsand vor und zeigt sich sogar tolerant in Bezug auf grobsandige und kiesige Sedimentbeimengungen (Abbildung 18). Die Topografie der Siedlungsräume

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

von *Lanice* kann sehr unterschiedlich sein. Oft sind die Flächen eher eben und wenig strukturiert ausgebildet. Daneben werden aber auch Flächen mit ausgeprägterem Relief besiedelt, wobei der Bäumchenröhrenwurm dann bevorzugt in Depressionen vorkommt. Dieses steht im Gegensatz zu STOP I-See, wo in den Vertiefungen der „Sorted Bedforms“ *Lanice conchilega* nicht vorkommt. Bereiche mit aktiven Sohltransportkörpern werden dagegen wegen der vermutlich zu intensiven Sedimentdynamik gemieden. In Bezug auf das Wirkgefüge zwischen Sediment, benthischen Organismen und Topprädatoren wie tauchenden Enten, sind *Lanice*-Vorkommen insofern von Bedeutung, als dass damit vergesellschaftet oft größere Mengen an juvenilen *Ensis directus* und andere teils mobilen juvenilen Lebewesen wie Schwimmkrabben vorkommen.

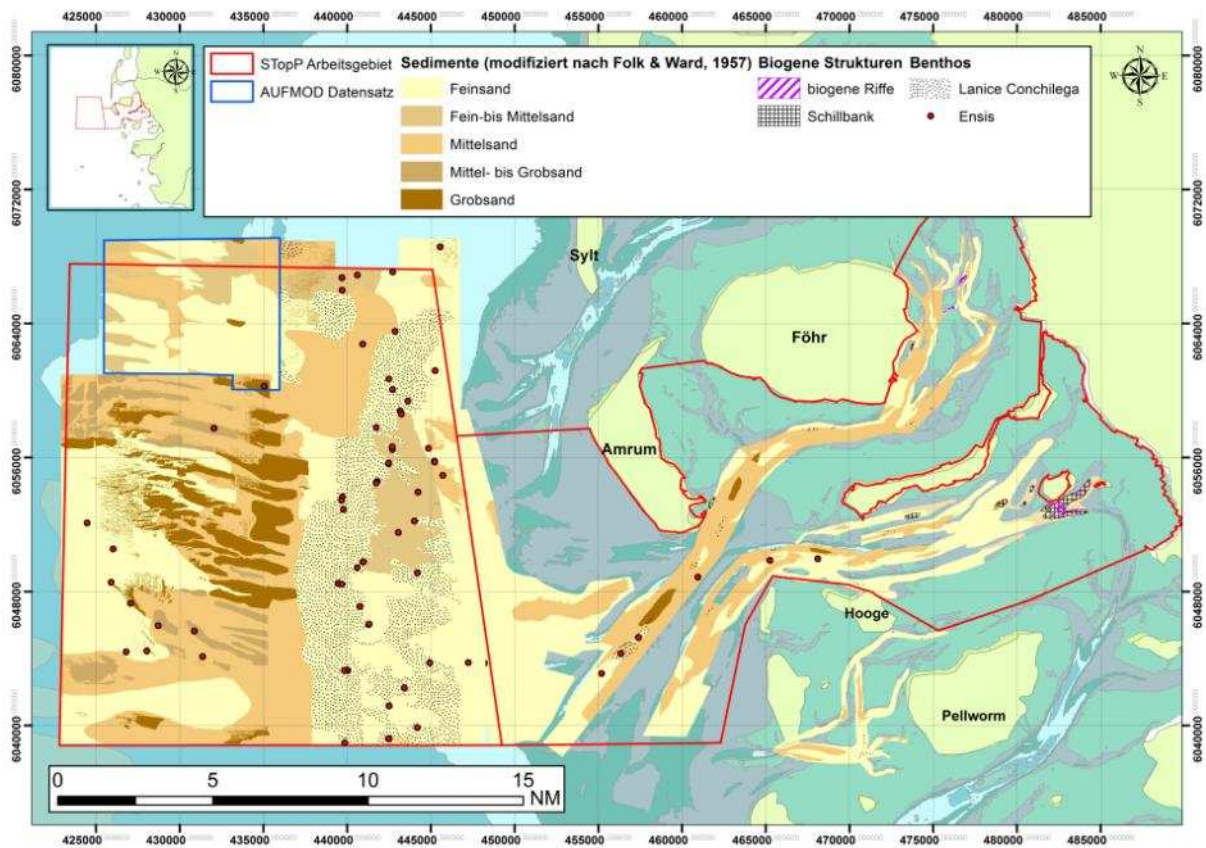


Abbildung 17: Das Vorkommen von *Lanice conchilega* im Gebiet STOPP-See. Dieser Polychät tritt vornehmlich auf den Feinsandflächen auf.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

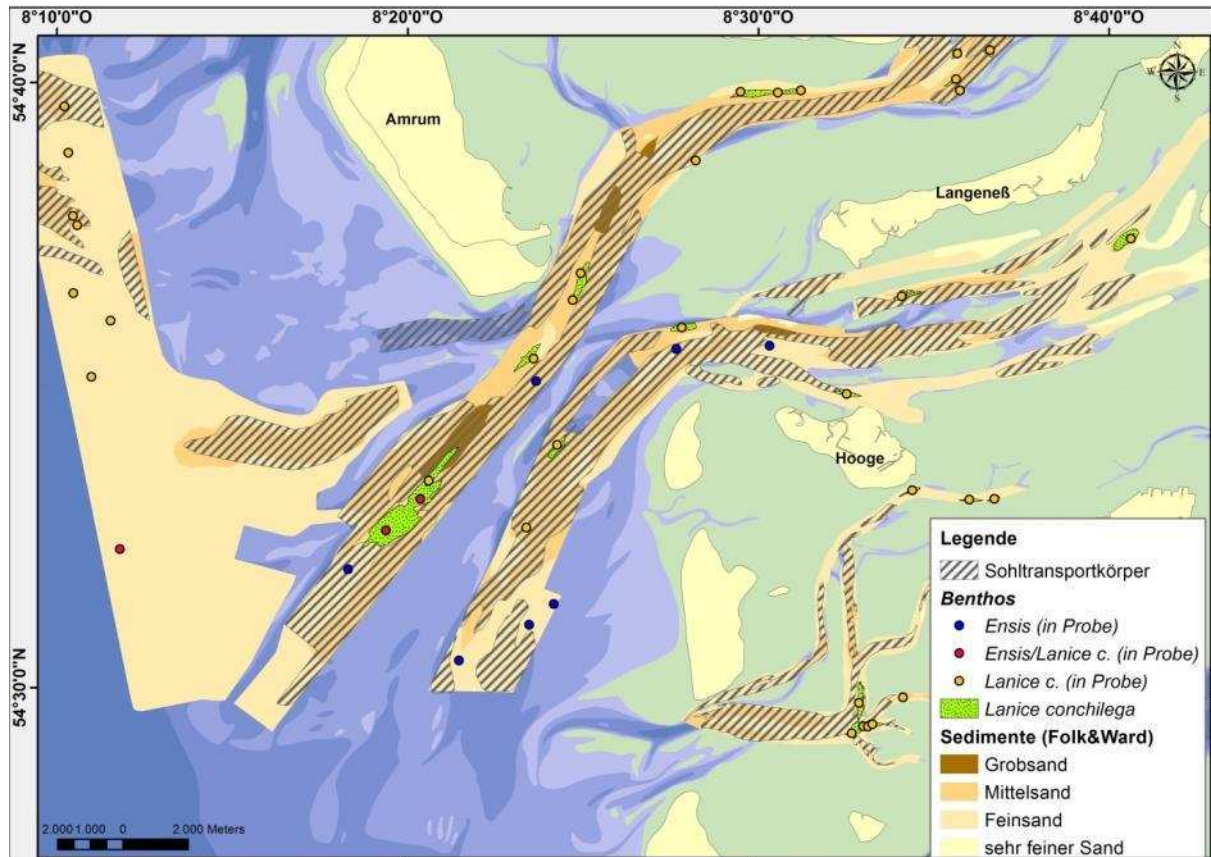


Abbildung 18: Verbreitung von *Lanice conchilega* und *Ensis*-Vorkommen auf Informationen zur Sedimentverteilung und dem Vorkommen von Sohltransportkörpern.

Der bereits erwähnte *Ensis* spielt im Zusammenhang mit den zentralen Fragen des StopP-Vorhabens eine große Rolle. So wurde im Laufe des Projekts durch Vergleiche der Verbreitung von Prädatoren mit der von Nahrungsorganismen ersichtlich, dass die amerikanische Schwertmuschel eine immer größere Bedeutung für Nahrungsnetze innerhalb des Wattenmeeres und des vorgelagerten Schelfs hat. Sie ist innerhalb der letzten Jahre zu einem wichtigen Teil im Nahrungsnetz für Seevögel geworden und ein entscheidender Faktor bei der Auswahl ihrer potentiellen Nahrungsgebiete. Dementsprechend intensiv wurden die Sonaraufzeichnungen hinsichtlich etwaiger Signaturen untersucht, die sich auf *Ensis* Vorkommen zurückführen lassen. Dies stellt sich aber als schwierig dar, da diese Muscheln vollständig vergraben im Sediment leben und folglich an der Meeresbodenoberfläche keine eindeutigen Eigenarten, die mit einem Seitensichtsonar erfasst werden können, aufweisen. Nur Bereiche, an denen neben lebenden *Ensis* auch viel *Ensis*-Schill vorkommt, können auf den Sonogrammen ansatzweise erkannt werden. Eine Einschränkung besteht dahingehend, dass lebende *Ensis* nicht in den Grobsand/Kiesfeldern der „Sorted Bedforms“ gefunden wird. Daher bleibt der Nachweis von *Ensis* auf die eher zufälligen Funde in Sedimentproben der Sandflächen angewiesen. Auffällig hierbei ist, dass im Gebiet STopP I-Watt in den Backengreiferproben ausschließlich juvenile und wenige mittelgroße (meist vom Greifer durchtrennte) lebende *Ensis* vorkommen. Ein Grund für das Fehlen von ausgewachsenen *Ensis* in Sedimentproben könnte die Fähigkeit sein, dass sich diese Muscheln sehr schnell tief ins Sediment eingraben können und somit nicht mehr vom Greifer erreicht werden. Den juvenilen, kleinen *Ensis* scheint dies nicht so schnell zu gelingen, den mittelgroßen nur bedingt. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass *Ensis* bevorzugt eher locker gelagerte, grobkörnigere Feinsande mit einer höheren Durchströmung des Porenraumes besiedelt. Der Anteil der Kornfraktion <63 µm liegt im Mittel bei etwa 8%. So beschriebene Sande sind nicht untypisch für Bereiche mit

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

aktiven Sohltransportkörpern und tatsächlich scheinen diese mobilen Bereiche, die von anderen Sedimentbewohnern eher gemieden werden, keine Probleme für *Ensis* darzustellen.

Im Gebiet STopP See wurden lebende *Ensis* unterschiedlicher Länge und damit unterschiedlichem Lebensstadium einem Großteil der insgesamt 29 Großkastengreifer vorgefunden. Ihr Vorkommen erstreckt sich von Gebieten mit Feinsand über Mittelsand bis zu Grobsand in Gebieten ohne Rippelstrukturen. In Bereichen mit Rippeln finden sie sich nur in Feinsand- sowie Mittelsand-Bereichen. Am häufigsten kommen *Ensis* in Feinsandarealen vor, hier mehrfach in Kombination mit *Lanice conchilega* vergesellschaftet. In Kombination mit den geringen Wassertiefen von 8-22 m im Bereich des seewärtigen Arbeitsgebietes besitzt die Amrumbank ein hohes Potential als Nahrungsgrund für Seevögel. Diese wurden auch während der Messfahrten häufiger beobachtet.

Tabelle 3: Darstellung der Sedimentcharakteristika in denen *Ensis* und *Lanice conchilega* gefunden wurden.

	<i>Ensis</i> (Bereich)	<i>Ensis</i> (ϕ)	<i>Lanice</i> (Bereich)	<i>Lanice</i> (ϕ)
Durchschnittliche Korngröße der Sandfraktion	157 – 378 μm	225 μm	145 – 392 μm	241 μm
Anteil < 63μm [%]	0,8 – 38,2	7,8	1,0 – 56,7	8,2
Anteil Sand [%]	61,8 – 99,2	84,4	43,3 - 98,9	85,7
Anteil Feinsand [%] (von Sandfraktion)	19,6 – 99,21	67,9	8,28 – 97,44	56,4
Anteil Kies [%]	0 – 3,3	0,6	0 – 19,7	2,9
Klassifikation (nach Folk & Ward)	Fein- bis Mittelsand	Feinsand	Fein- bis Mittelsand	Fein- und Mittelsand
Klassifikation (nach Folk)	Muddy sand, Sand, Slightly gravelly sand	Sand	Sandy mud, Muddy sand, Sand, Slightly gravelly sand, Gravelly sand, Gravelly muddy sand	Sand

Ein weiteres Hauptziel des Vorhabens war es, die Interaktionen zwischen Sedimentdynamik, Makrozoobenthos und Vögel als Top-Prädatoren im Küstenbereich der deutschen Nordsee herauszuarbeiten. Die beiden wichtigsten benthivoren Vogelarten des Sublitorals sind Eider- und Trauerente. Um entsprechende Grundlagendaten für die Habitatmodellierung (s. Kapitel 2.1.5.1) zu generieren, wurden daher die Verteilungsmuster dieser beiden Meeresenten über den gesamten Projektverlauf hinweg kartiert und mit archivierten Daten verschnitten. Darüber hinaus wurden Daten zur Verteilung der für diese beiden Entenarten wichtigsten Nahrungsorganismen erhoben. Analysen von Kot und Mageninhalten gaben Hinweise auf die am stärksten genutzte Nahrung (s. Kapitel 2.1.5).

Verteilungsmuster von (für Vögel relevantem) Makrozoobenthos im Sublitoral

Zur Beschreibung der Verteilung von Makrozoobenthos im Untersuchungsgebiet wurden sowohl neue Daten im Projektverlauf erhoben als auch archivierte Daten des LLUR (zwei Dauerstationen) sowie Daten von Dauerstationen des Alfred-Wegener Institutes (Werner Armonies) im Untersuchungsgebiet genutzt. Im Sublitoral standen zur Beschreibung des Makrozoobenthos insgesamt 815 Replikate von 351 verschiedenen Stationen zur Verfügung. Davon entfielen 90 Replikate auf den archivierten Datensatz des Alfred-Wegener Institutes und 8 Replikate auf den archivierten Datensatz des LLUR. Alle übrigen 717 Replikate wurden von den Projektpartnern im Laufe des Vorhabens erhoben (Abbildung 19).

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

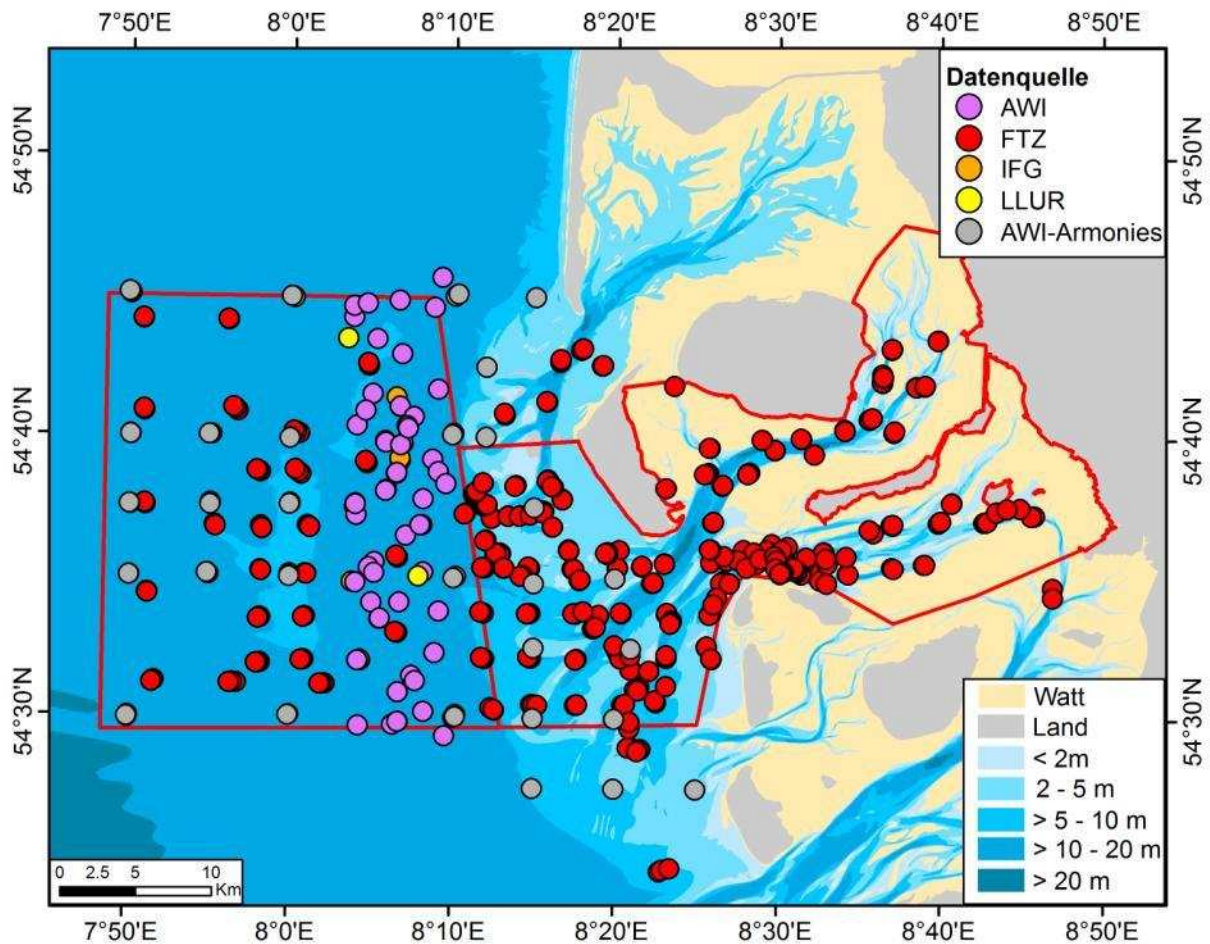


Abbildung 19: Probestationen für Makrozoobenthos im Sublittoral. Die unterschiedlichen Farben geben die Datenherkunft wieder.

Die Probenahmen wurden mittels eines Van-Veen-Backengreifers durchgeführt, der eine Fläche von einem Zehntel m² Meeresboden beprobte. Die Proben wurden an Bord des Schiffes über einem 2 mm großen Sieb gespült, nachdem in den meisten Fällen eine Sedimentprobe zur Analyse der Korngrößenverteilung entnommen wurde. Polychaeten wurden in 75%igem Ethanol bis zur Analyse aufbewahrt. Muscheln wurden bei -25° C bis zur Analyse eingefroren. Alle Makrozoobenthosorganismen wurden im Labor auf Artniveau bestimmt und anschließend mit einer Schieblehre vermessen. Darüber hinaus wurde das Aschefreie Trockengewicht (AFDW) eines jeden Individuums bestimmt, um einen Anhaltspunkt für die Biomasse zu gewinnen (z.B. Sutherland 1982, Schwemmer et al. 2016a). Hierzu wurden zunächst die Muscheln von der Schale befreit. Alle Proben wurden bei 50° C für 24 h getrocknet und anschließend das Trockengewicht ermittelt. Die getrockneten Proben wurden im Muffelofen bei 560° C vollständig verbrannt. Die verbleibende Asche wurde erneut gewogen und das AFDW über die Differenz der Trockenmasse und der Aschemasse ermittelt. Da v.a. ältere Schwertmuscheln sehr tief im Boden eingegraben sein können (z.B. Swennen et al. 1985), kam es des Öfteren dazu, dass der Kastengreifer nur den oberen Teil der Schwertmuschel erfassen konnte. Um dennoch auf das AFDW der gesamten Muschel schließen zu können, wurde eine Regressionsreihe erstellt, indem die Breite am oberen Ende und die AFDW von n=121 komplett erhaltenen Schwertmuscheln bestimmt wurde. Mittels der Gleichung $AFDW=0.0005e^{0.6595 \cdot \text{Breite}}$ konnte die Biomasse der einzelnen Muscheln bestimmt werden.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Nach diesem Verfahren standen Daten zur Abundanz des Makrozoobenthos und zur Biomasse zur Verfügung. Dies sind zwei wichtige Vorhersagefaktoren (Prediktoren) zur Bestimmung von Vogelverteilungsmustern, die später für die Habitatmodellierung weiter genutzt wurde (s. Kapitel 2.1.5.1). Für Vögel als Top-Prädatoren sind beide Parameter (Abundanz und Biomasse) von Nahrung von Bedeutung, da eine hohe Abundanz kurze Suchzeit bedeutet und eine hohe Biomasse vor allem eine hohe Masseaufnahmerate pro Zeiteinheit.

Insbesondere Trauerenten nutzen in einem hohen Maße die Amerikanische Schwertmuschel (*Ensis directus*, im Folgenden auch als *Ensis* bezeichnet; vgl. 2.1.5.1). Daher wurde im Sublitoral ein Schwerpunkt auf die Kartierung der Verteilungsmuster von Schwertmuscheln gelegt. Auch Eiderenten nutzen diese Beute im Sublitoral, am häufigsten nutzten Eiderenten im Untersuchungsgebiet jedoch Herzmuscheln und Miesmuscheln (s. 2.1.5.1). Daher sind die Verteilungsmuster dieser drei für benthivore Meerestenten besonders relevanten Muschelarten genauer dargestellt.

Schwertmuscheln traten im Sublitoral nahezu im gesamten Untersuchungsgebiet auf (Abbildung 20). Es fanden sich jedoch auch Bereiche, in denen keine *Ensis* festgestellt werden konnten. Dies waren in erster Linie die Tiefwasserbereiche in den großen Prielsystemen Norder- und Süderau sowie im Bereich des westlichen Hörnumtiefs. Ein besonders ausgedehnter Hotspot befand sich im 10 m Tiefenbereich westlich Amrum, während auf dem Flachgrund Amrumbank nur vergleichsweise wenige Schwertmuscheln festgestellt wurden. Die flächige Verbreitung von Schwertmuscheln reichte bis zur westlichen Grenze des Untersuchungsgebietes. Diese weite Ausdehnung steht damit im Einklang von Beobachtungen aus anderen Gebieten der Nordsee (Dannheim & Rumohr 2012). Außerdem zeigte sich, dass in einzelnen Replikaten an derselben Station keine Schwertmuscheln im Backengreifer vorhanden waren. Dies spricht also für eine Variabilität im Vorkommen dieser Art auf relativ kleinem Raum. Allerdings wurden in manchen Bereichen, wie z.B. im Küstengebiet westlich Amrum Schwertmuscheln sehr stetig in allen Replikaten einer Station gefunden.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

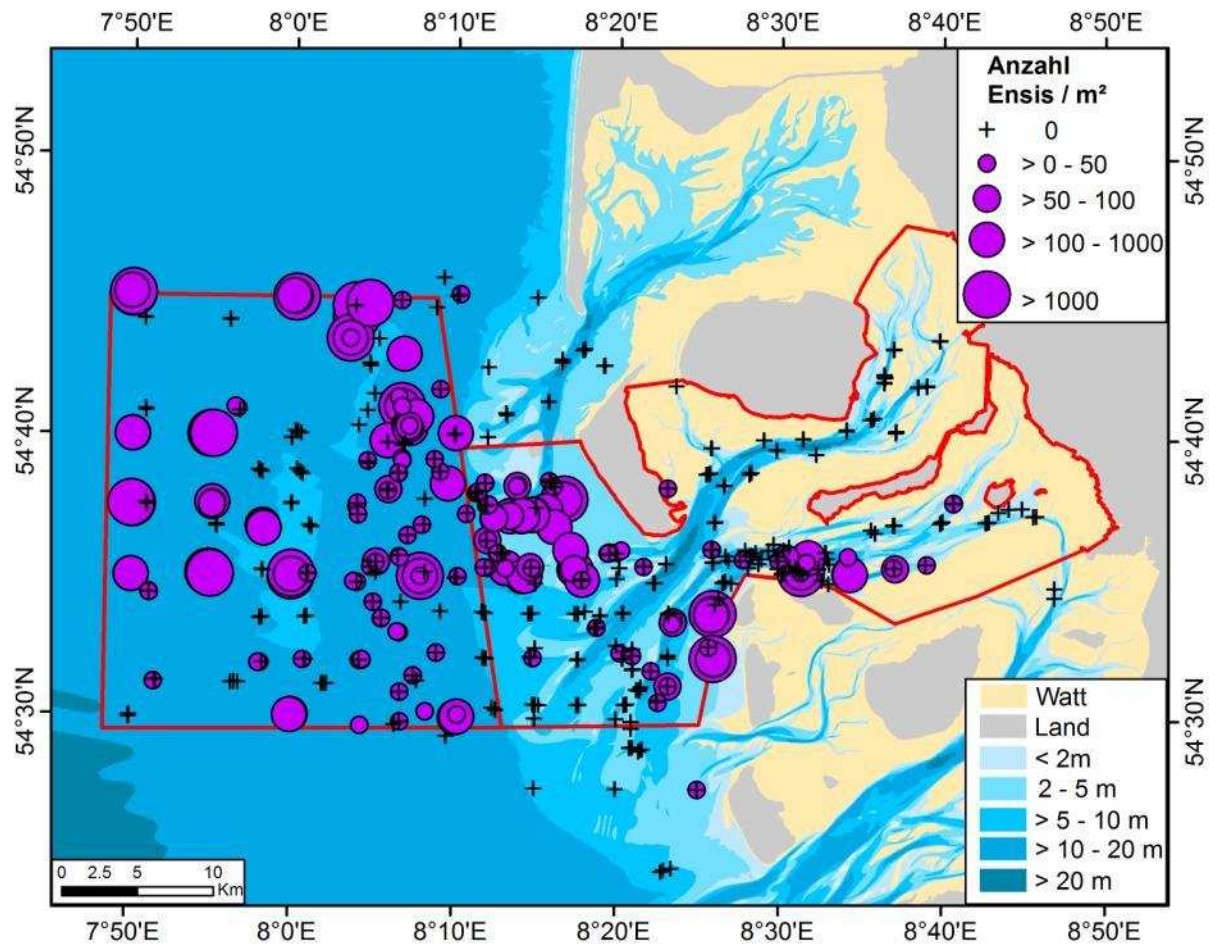


Abbildung 20: Abundanz von Schwertmuscheln im Sublitoral.

Es zeigte sich, dass die 90 Datensätze des Alfred-Wegener Institutes, die während des Jahres 2010 erhoben wurden, ein anderes Muster zeigten, als die während der Laufzeit des Vorhabens erhobenen Daten zur Schwertmuschelabundanz: die aktuelleren Daten zeigten keinen nennenswerten Vorkommen im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes (Abbildung 21). Dies könnte für eine kurz- oder längerfristige Verlagerung der Verteilungsmuster der Muschelart in küstennähere Bereiche sprechen.

Im Gegensatz zu Schwertmuscheln waren so gut wie gar keine lebenden Herzmuscheln im Sublitoral anzutreffen. Es wurde lediglich in sechs Replikaten im östlichen Untersuchungsgebiet, im Übergangsbereich zum Eulitoral Herzmuscheln in den Greiferproben gefunden (Abbildung 22). Es ist anzunehmen, dass Eiderenten, die als Hauptkonsumenten von Herzmuscheln gelten dürften (s. Kapitel 2.1.5) die Muscheln im extrem flachen Wasser bzw. im überfluteten Eulitoral aufnehmen, wo selbst bei Hochwasser eine Beprobung durch den Backengreifer nicht möglich war. Um die Raumnutzung von Eiderenten besser erfassen zu können, konnten zusätzlich spezielle Erfassungsflüge zu Hochwasser durchgeführt werden (s.u.).

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

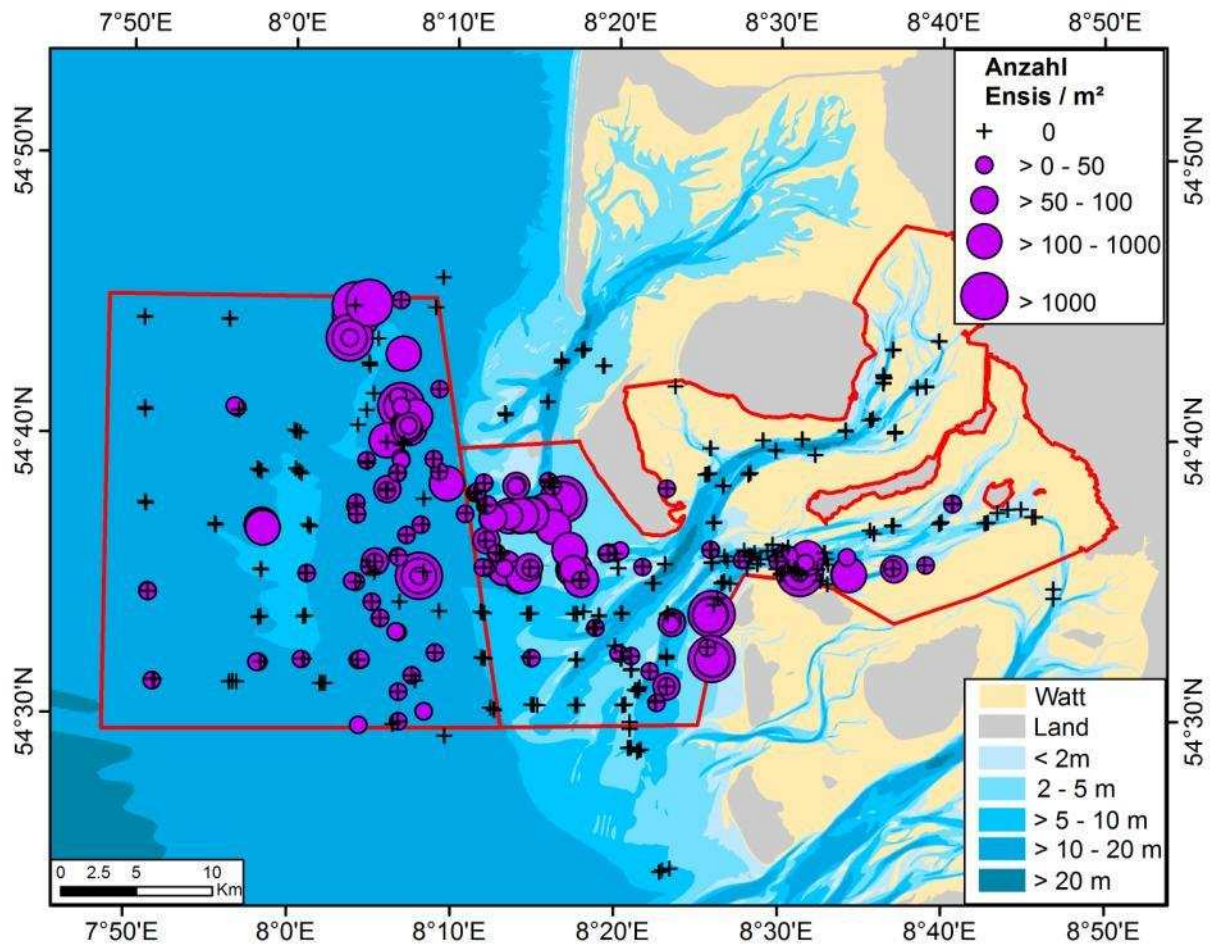


Abbildung 21: Abundanz von Schwertmuscheln im Sublitoral – nur Daten, die innerhalb der Laufzeit des Vorhabens erhoben wurden.

Verteilungsmuster von Vögeln im Sublitoral

Zur Erstellung von Verbreitungskarten von Trauer- und Eiderente wurden zum einen archivierte Daten genutzt, die im Rahmen von standardisierten Seabirds-at-Sea (SAS) Untersuchungen des FTZ erhoben wurden. Die Zählmethode ist detailliert in Tasker et al. (1984) sowie Camphuysen et al. (2004) beschrieben. Hierbei handelt es sich um Zählraten die von Schiffen oder von Flugzeugen aus generiert wurden. Außerdem wurden SAS-Zählungen im Rahmen des Vorhabens durchgeführt. Die im Rahmen des Vorhabens erhobenen Daten wurden mit den bereits archivierten Daten zusammengeführt. Die Verbreitungskarten wurden dann durch eine gemeinsame Abfrage aus den Datenbanken FTZ Ship und FTZ Plane erstellt. Abgefragt wurden Daten seit dem Jahr 2010. Die Verbreitungskarten wurden für ein Raster von 1 x 1 km erstellt, indem die Anzahl der in jeder Rasterzelle erfassten Vögel durch den Kartieraufwand (kartierte Strecke in km) innerhalb jeder Zelle geteilt wurde. Die Verbreitung ist für jede der vier artspezifischen Jahreszeiten der beiden Enten vorgenommen worden (Garthe et al. 2007).

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

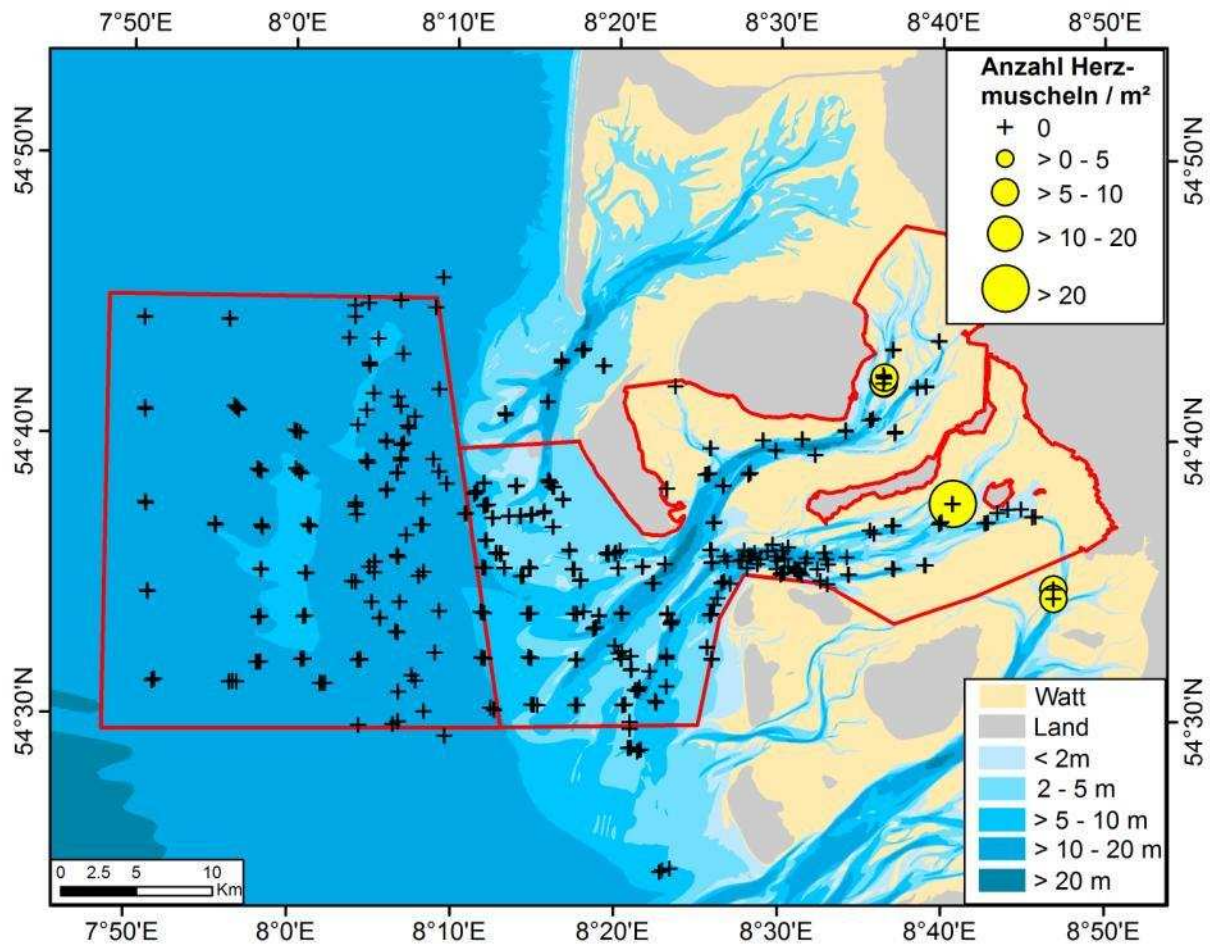


Abbildung 22: Abundanzen von Herzmuscheln im Sublitoral.

Trauerenten kamen vergleichsweise flächendeckend, jedoch in geringen Abundanzen während des Frühjahrs im Untersuchungsgebiet vor (Abbildung 23). Kleinere Schwerpunkte waren im Norden westlich der 10 m Tiefenlinie zu erkennen. Im Sommer stiegen die Abundanzwerte sehr stark an. Es kam zu einer Bildung von deutlichen Schwerpunkten im küstennahen Gebiet vor Amrum sowie vor den Außensänden Süderoog- und Norderoogsand (Abbildung 24). Alle wichtigen Aggregationen befanden sich in Bereichen von maximal 10 m Wassertiefe, während in tieferen Gebieten nur vereinzelte Individuen aufgezeichnet wurden. Obwohl der Kartieraufwand im Herbst vergleichsweise gering war, ist zu erkennen, dass die Anzahlen im Untersuchungsgebiet im Gegensatz zum Sommer deutlich abnahmen (Abbildung 25). Es war keine klare Schwerpunktbildung zu erkennen. Die vereinzelten Nachweise kamen in Bereichen westlich der 10 m Tiefenlinie oder in den großen Prielströmen vor. Im Winter erreichten Trauerenten wieder vergleichbare Anzahlen wie im Sommer (Abbildung 26). Im Gegensatz zum Sommer war die Schwerpunktbildung jedoch nicht so deutlich, und es wurden auch häufiger Individuen in den westlichen Teilen des Untersuchungsgebietes gefunden. Auch auf dem Flachgrund Amrumbank kamen während des Winters hohe Anzahlen von Trauerenten vor, was in keinem der anderen Zeiträume der Fall war. Es trat erneut ein gewisser Schwerpunkt vor den Außensänden auf, die im Sommer sehr deutliche Aggregation westlich Amrum war im Winter jedoch nicht so deutlich ausgeprägt.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

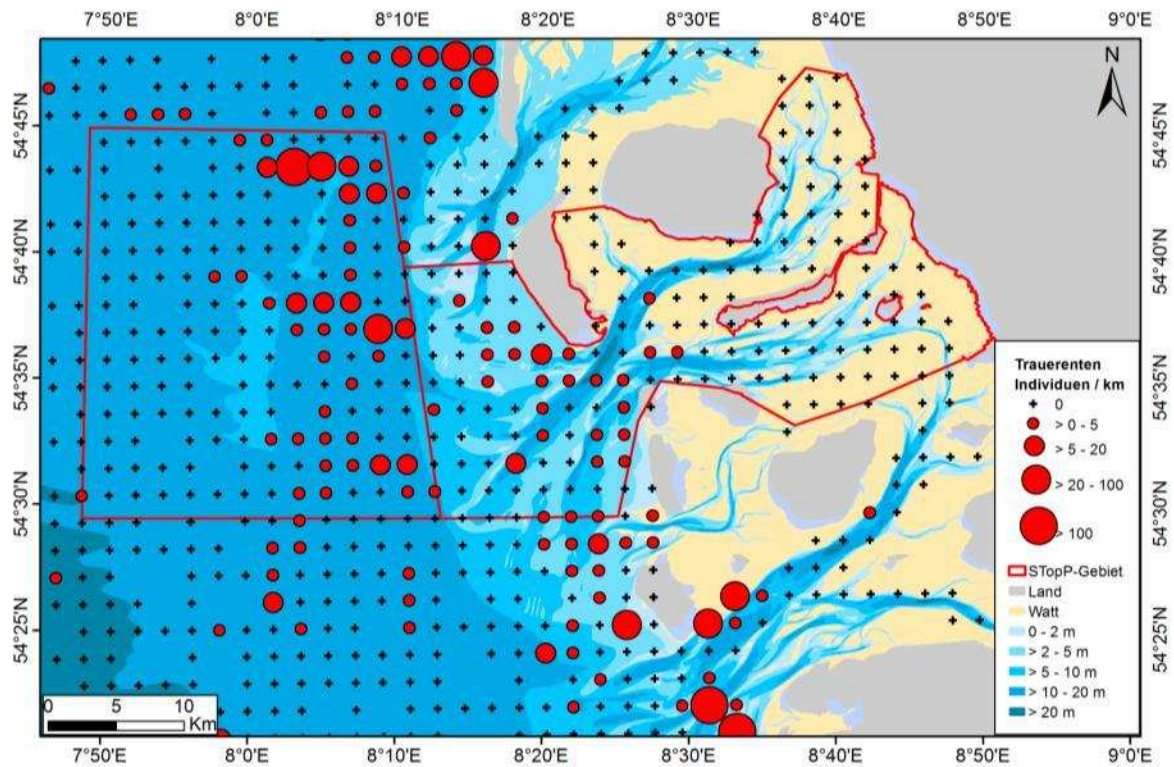


Abbildung 23: Verteilung von Trauerenten während des Frühjahrs.

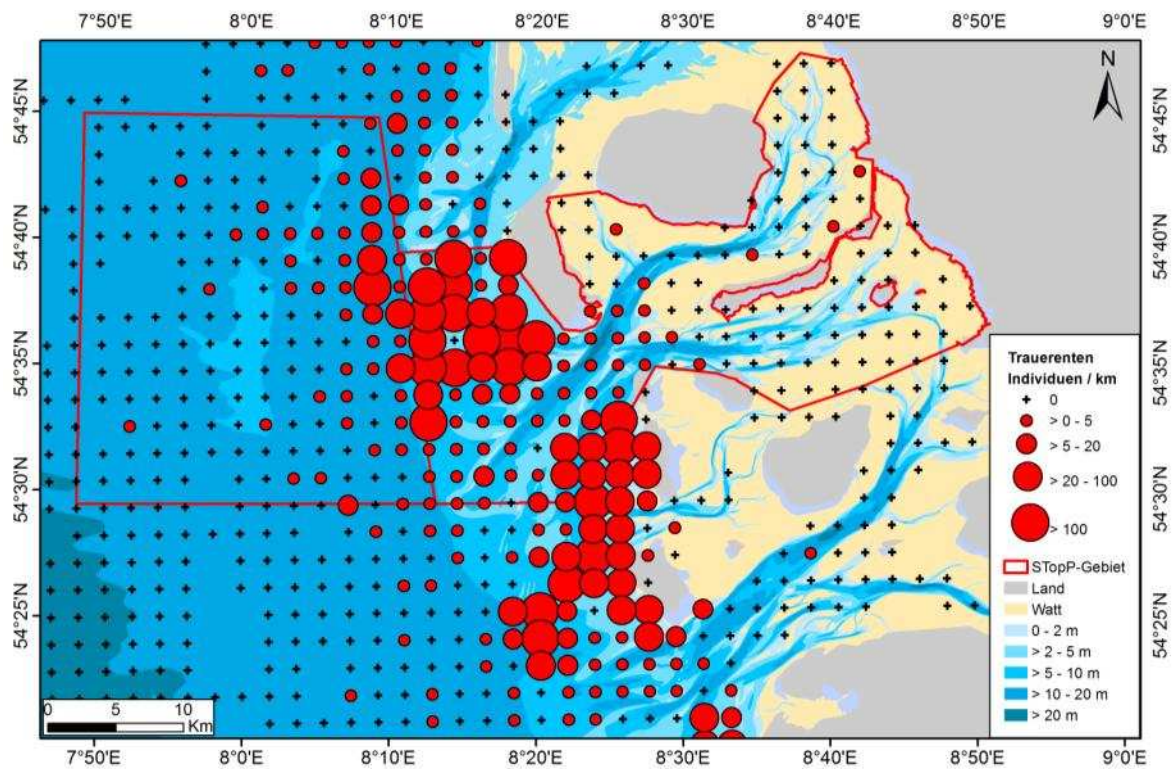


Abbildung 24: Verteilung von Trauerenten während des Sommers.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

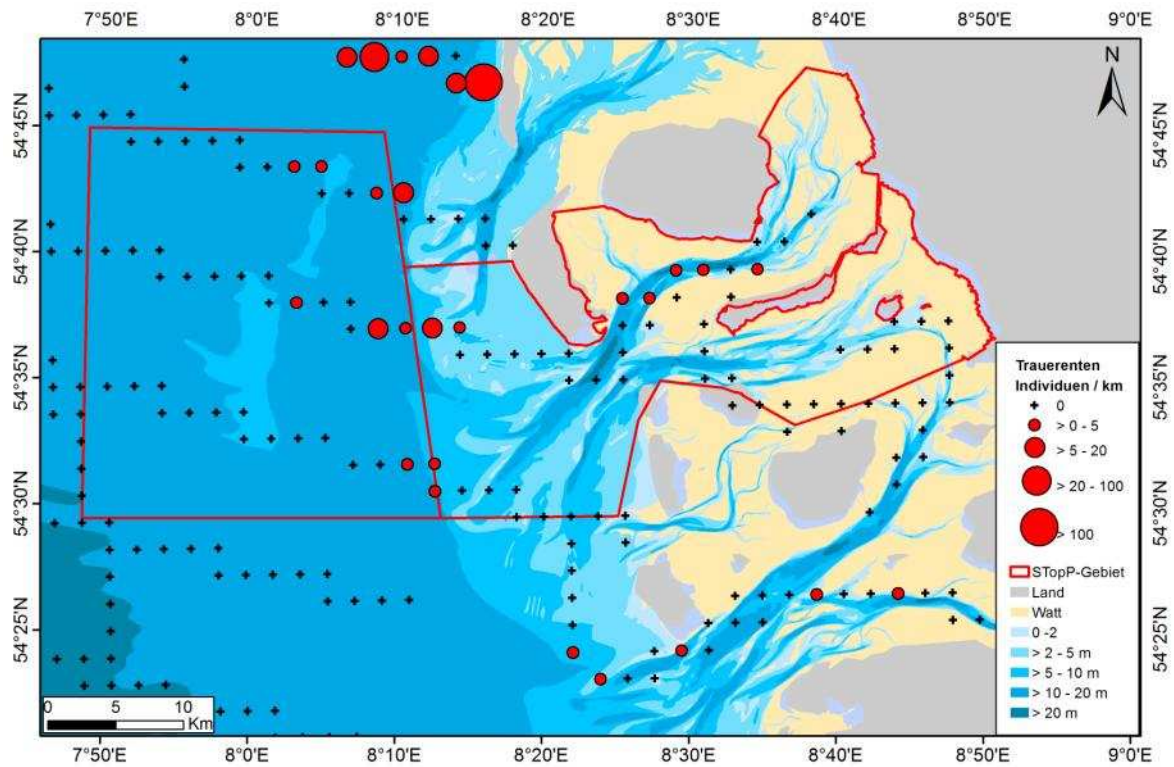


Abbildung 25: Verteilung von Trauerenten während des Herbstes.

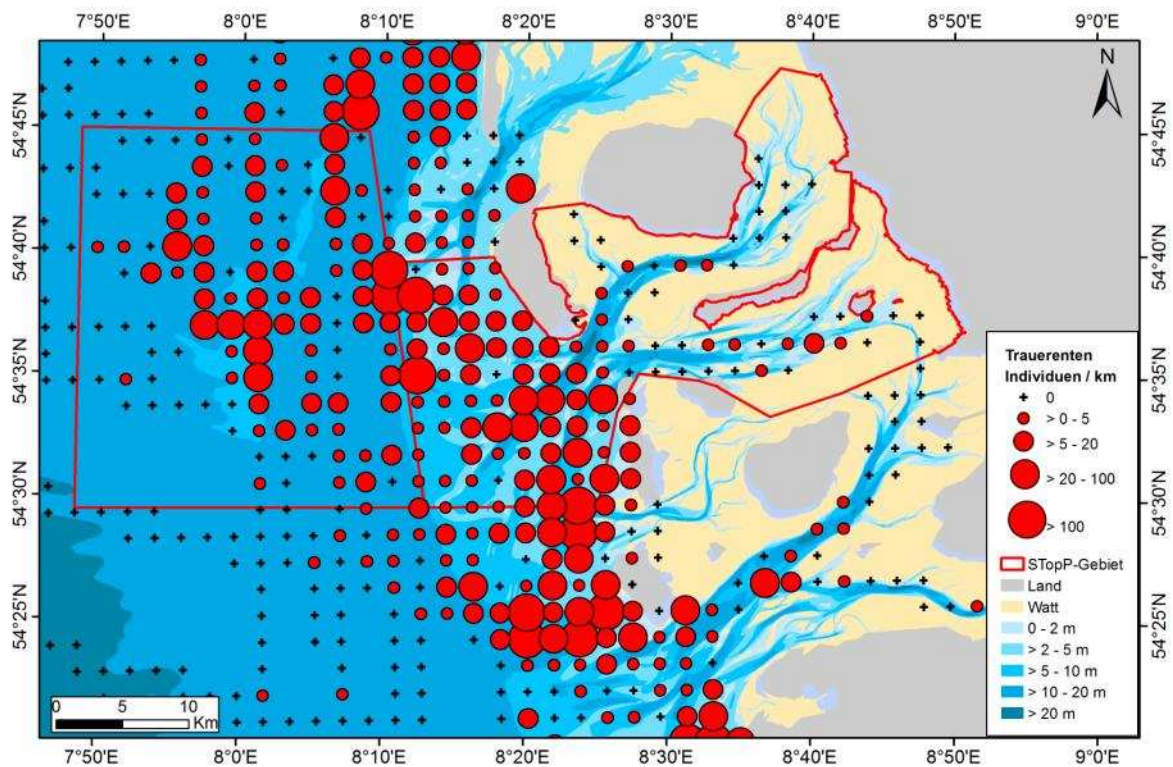


Abbildung 26: Verteilung von Trauerenten während des Winters.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Eiderenten traten im Frühjahr noch in vergleichsweise geringen Zahlen auf (Abbildung 27). Neben einzelnen Nachweisen im westlichen Untersuchungsgebiet gab es deutliche Schwerpunkte im Übergangsbereich zum Eulitoral, vor allem östlich Amrum und nördlich Langeness. Zudem waren entlang der Außensände kleinere Schwerpunkte anzutreffen. Im Sommer wurden ähnlich hohe Abundanzwerte erreicht wie im Frühjahr (Abbildung 28). Es traten allerdings so gut wie keine Nachweise im küstenfernen Bereich mehr auf. Einzelne Schwerpunkte befanden sich erneut im Übergangsbereich zum Eulitoral. Insgesamt waren die Anzahlen jedoch vergleichsweise gering. Im Herbst stiegen die Gesamtzahlen von Eiderenten im Untersuchungsgebiet stark an (Abbildung 29). Eiderenten waren in hohen Zahlen im gesamten Rückseitenwatt anzutreffen. Vor allem entlang der großen Prielströme befanden sich wichtige Konzentrationen. Die höchsten Zahlen wurden im Bereich der Norderaue und der Föhler Schulter erreicht. Im Vergleich zum Herbst kam es im Winter zu einer Verlagerung der Schwerpunkte nach Westen (Abbildung 30). Eiderenten waren am Ausgang der großen Prielsysteme sowie im küstennahen Gebiet vor Amrum und den Außensänden in hohen Zahlen anzutreffen. Eiderenten erreichten im Herbst ihre westliche Verbreitungsgrenze etwa an der 10 m Tiefenlinie. Die Anzahlen im östlichen Wattbereich lagen deutlich unter denen des Herbstes.

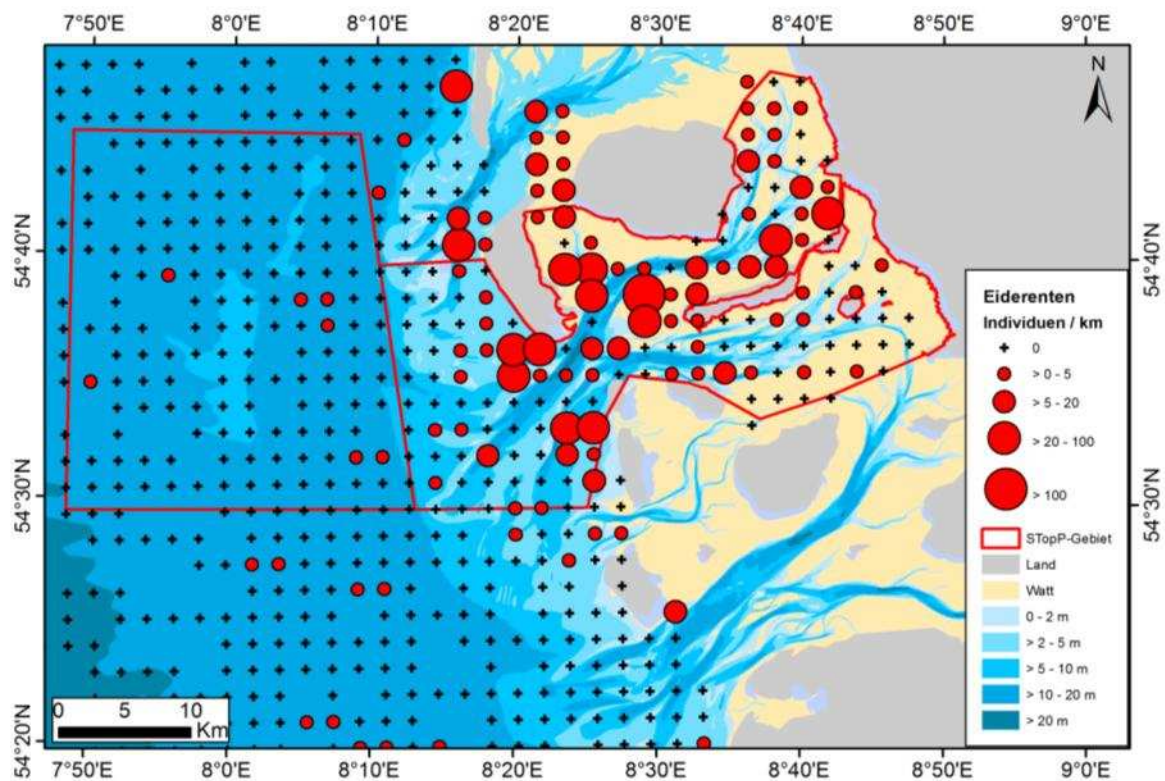


Abbildung 27: Verteilung von Eiderenten während des Frühjahres.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

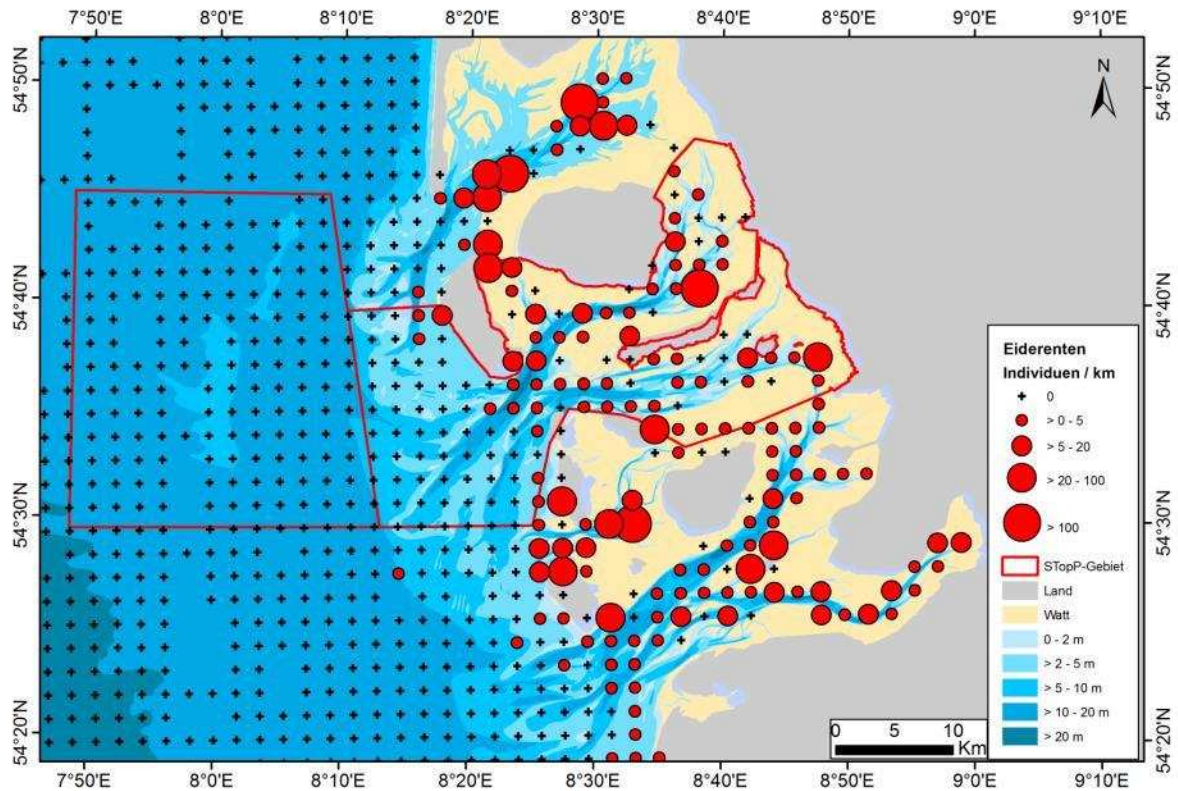


Abbildung 28: Verteilung von Eiderenten während des Sommers.

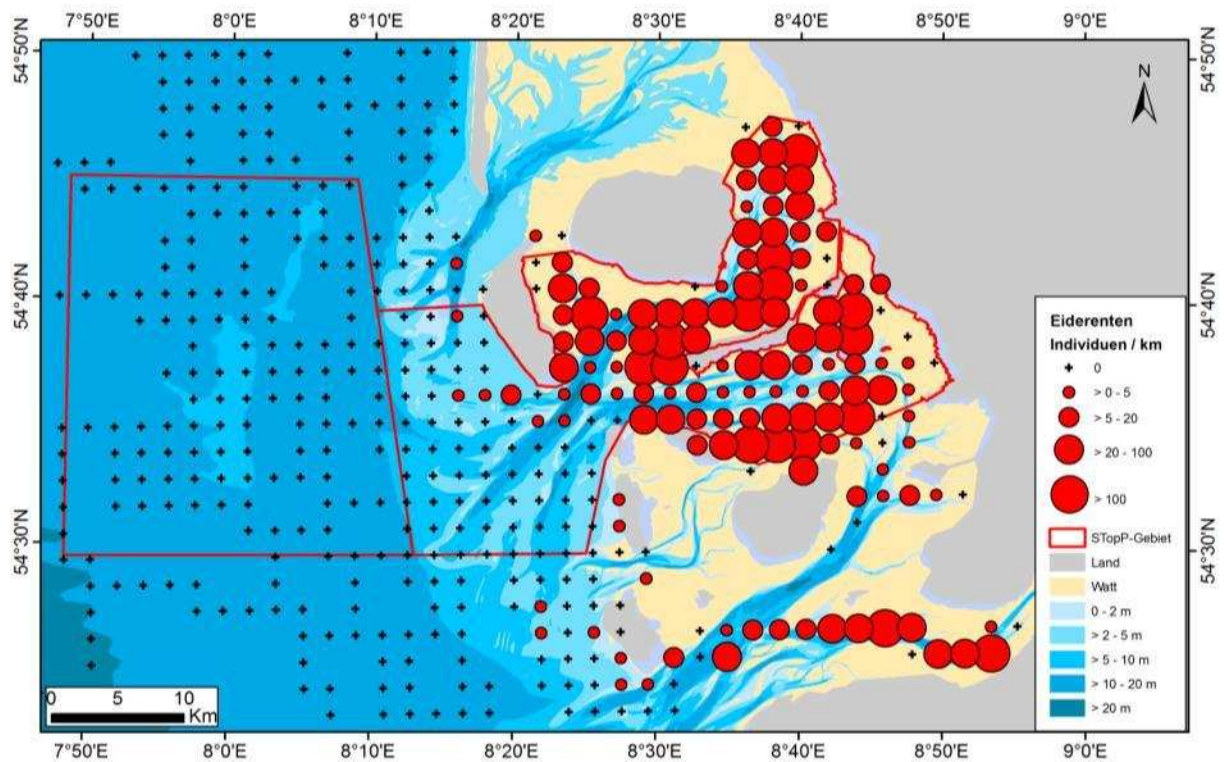


Abbildung 29: Verteilung von Eiderenten während des Herbstes.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

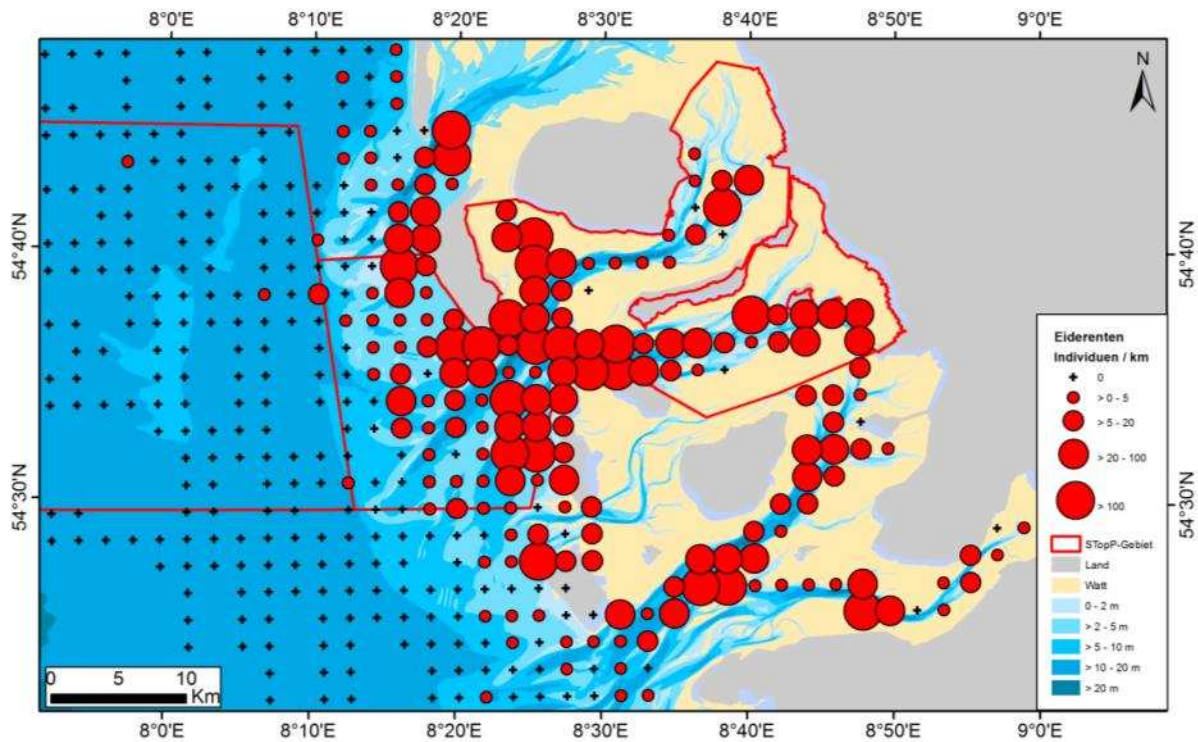


Abbildung 30: Verteilung von Eiderenten während des Winters.

Die Verbreitungskarten von Trauer- und Eiderenten zeigen über alle Jahreszeiten hinweg deutliche artspezifische Unterschiede: während Trauerenten im Wesentlichen den dem Watt vorgelagerten Sublitoralbereich nutzen, kommen Eiderenten vor allem im Rückseitenwatt im Übergang zum Gezeitenbereich vor. Eiderenten sind damit durch die SAS-Methodik nicht flächendeckend zu erfassen. Eiderenten tauchen vor allem während Hochwasser nach ihrer Beute, wohingegen sie während Niedrigwasser auf den freigefallenen Wattflächen rasten. Daher wurden zur genauen Abgrenzung von Eiderenten-Hot-Spots und um wichtige Rastplätze zu identifizieren, an denen Kotproben gesammelt werden konnten, zusätzlich archivierte Daten zur Verteilung von Eiderenten während Niedrigwasser genutzt. Diese Daten stammen aus einem Langzeitmonitoring der NPV und werden vom Flugzeug aus erfasst. Im Gegensatz zu den SAS-Karten handelt es sich bei den Zählflügen zu Niedrigwasser um nicht aufwandskorrigierte Daten, sondern um Punktsichtungen von Rasttrupps. Die Phänologie dieser Rasttrupps im Folgenden kurz dargestellt. Im Januar finden sich bedeutende Rasttrupps nördlich der Hallig Hooge, ansonsten wurden nur geringe Zahlen im Untersuchungsgebiet nachgewiesen. Im Juli sind rastende Eiderenten in vielen Bereichen des Rückseitenwatts anzutreffen. Der Bereich nördlich von Hooge hat auch zu dieser Jahreszeit eine große Bedeutung. Es gibt aber auch bedeutende Ansammlungen entlang der großen Prielsysteme sowie südöstlich von Amrum. Im Oktober nahmen die Gesamtzahlen im Vergleich zum Sommer etwas ab. Erneut liegen wichtige Rastplätze entlang der großen Prielsysteme. Der Vergleich zwischen den Verbreitungskarten, die aus den SAS-Zählungen resultieren und den Niedrigwasserverbreitungen legt die Vermutung nahe, dass Eiderenten besonders im Sommer im Übergangsbereich zum Eulitoral anzutreffen sind (Abbildung 31), wo sie besser durch die Flugzeugzählungen als durch die SAS-Methodik erfasst werden können. In den übrigen Zeiträumen kommen die Enten offensichtlich häufiger in tieferen Bereichen vor.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

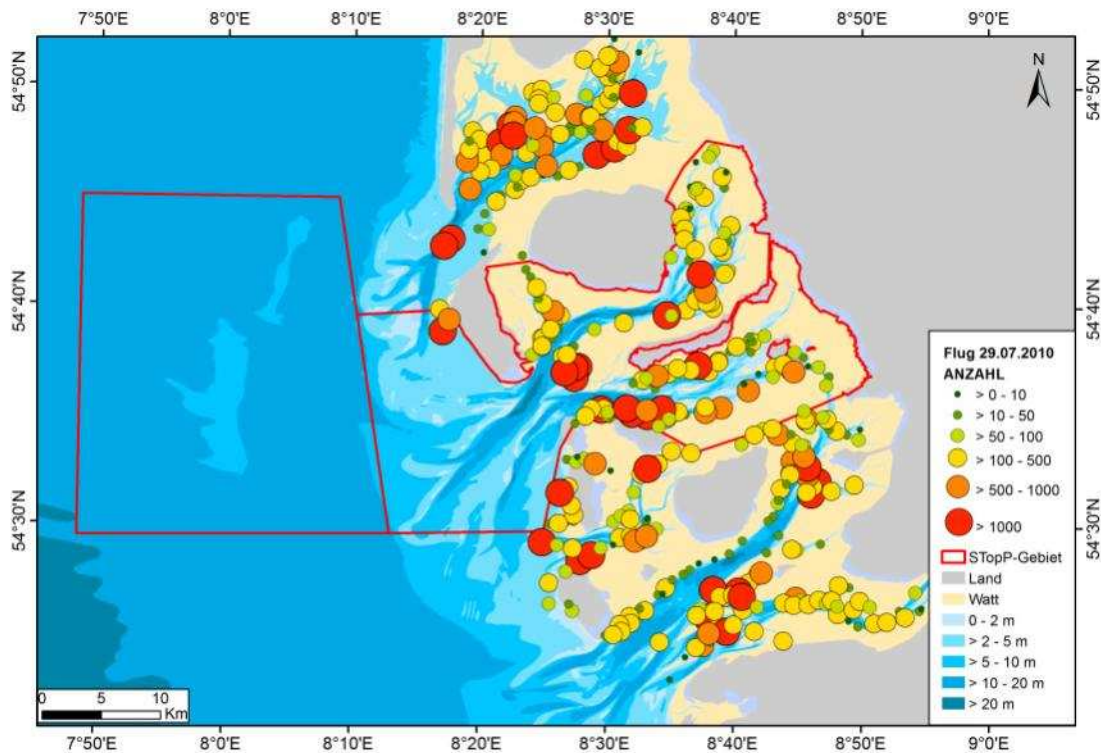


Abbildung 31: Verbreitung von rastenden Eiderenten auf freigefallenen Wattflächen im Juli 2010. Datenquelle N Kempf, Nationalparkverwaltung.

Um eine bessere Erfassung von Eiderenten im Übergangsbereich zwischen Sub- und Eulitoral zu ermöglichen, konnten zusätzlich drei Zählflüge im Rückseitenwatt um den Hochwasserzeitpunkt herum durchgeführt werden. Dies erlaubte eine weitere Abgrenzung wichtiger Aufenthaltsorte von Eiderenten während der Nahrungsaufnahme (Abbildung 32). Obwohl die Flüge zu unterschiedlichen Jahreszeiten bzw. in verschiedenen Jahren durchgeführt wurden, waren die Verteilungsmuster der Enten während aller drei Flüge vergleichsweise konstant, zeigten jedoch v.a. während des April deutlich geringere Anzahlen als während des Spätsommers/Herbstes. Dies deckte sich mit den Bestandserfassungen zu Niedrigwasser (s.o.). Erfassungsflüge um den Hochwasserzeitpunkt für Eiderenten wurden bislang nicht durchgeführt. Es zeigte sich im Rahmen des Vorhabens, dass diese Methodik eine hervorragende Möglichkeit bietet, um die Verteilung von Eiderenten während der Nahrungssuche zu erfassen. Dadurch konnten wichtige Gebiete im Gezeitenbereich aufgedeckt werden, die von Eiderenten während der Hochwasserphase zur Nahrungssuche genutzt werden. Besondere Schwerpunkte lagen während aller drei Flugsurveys auf den Sandbänken der Föhler Ley, in einem Bereich nördlich und östlich von Hallig Hooge und um die Hallig Langeness.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

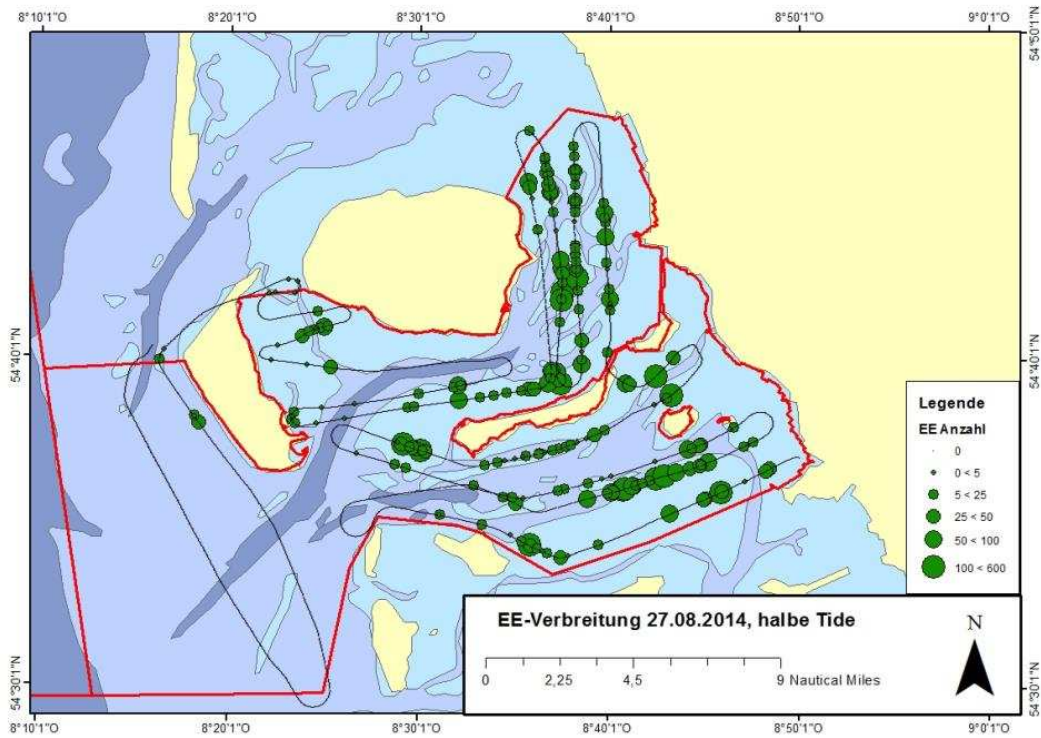


Abbildung 32: Verteilungsmuster von Eiderenten während eines SAS-basierten Flugsurveys im Rückseitenwatt zu einem Zeitpunkt zwischen Hoch- und Niedrigwasser (August 2014).

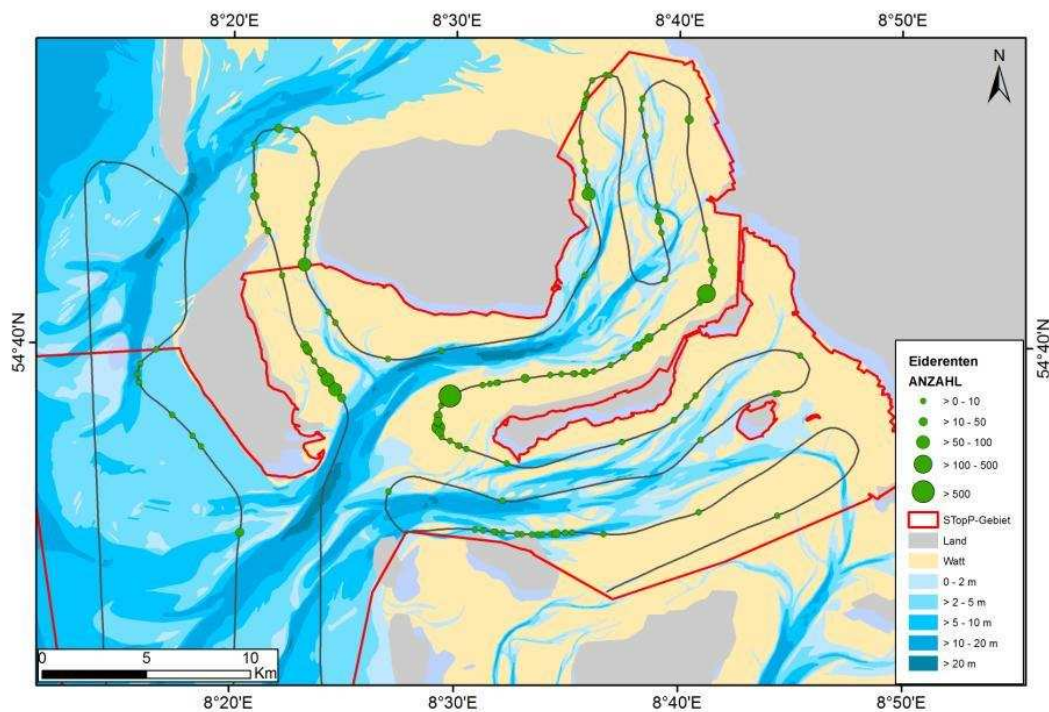


Abbildung 33: Verteilungsmuster von Eiderenten während eines SAS-basierten Flugsurveys im Rückseitenwatt zu einem Zeitpunkt zwischen Hoch- und Niedrigwasser (April 2015).

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

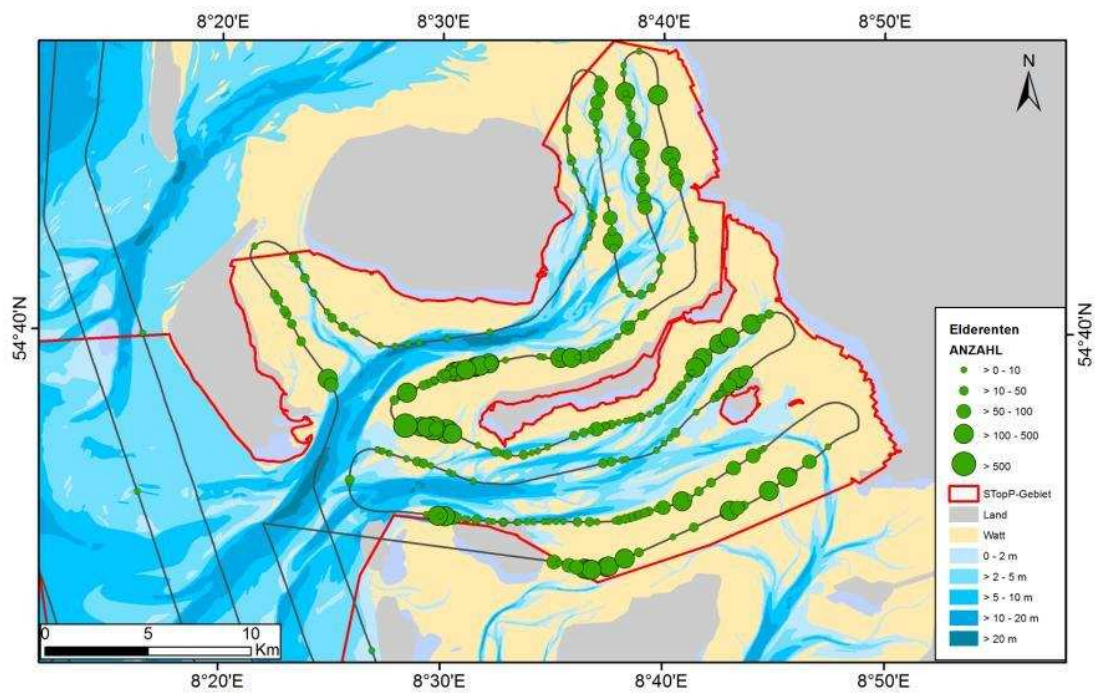


Abbildung 34: Verteilungsmuster von Eiderenten während eines SAS-basierten Flugsurveys im Rückseitenwatt zu einem Zeitpunkt zwischen Hoch- und Niedrigwasser (September 2015).

2.1.3 VERTEILUNGSMUSTER IM GEZEITENBEREICH (AP2)

Verteilungsmuster des Sedimentes im Gezeitenbereich

In der Gezeitenzone wurde die Verteilung des Sedimentes mit Korngrößen $< 63 \mu\text{m}$ untersucht. Es zeigte sich, dass weite Bereiche in der Gezeitenzone des Untersuchungsgebietes sehr sandig waren und kaum feine Sedimente aufwiesen (Abbildung 35). Allerdings gab es insbesondere in der Nähe der Festlandsküste sowie in der Nähe von Halligen und Inseln Bereiche, die einen Anteil von über 50 % dieser Korngröße aufwiesen. In einigen Gebieten ist auch zu sehen, dass auf einem sehr kleinen Raum Punkte mit weniger als 5 % und mehr als 50 % Gewichtsanteil dieser Korngrößenfraktion abwechselten. Dies spiegelt die kleinräumigen Unterschiede im Sedimentregime des Gezeitenbereiches wider.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

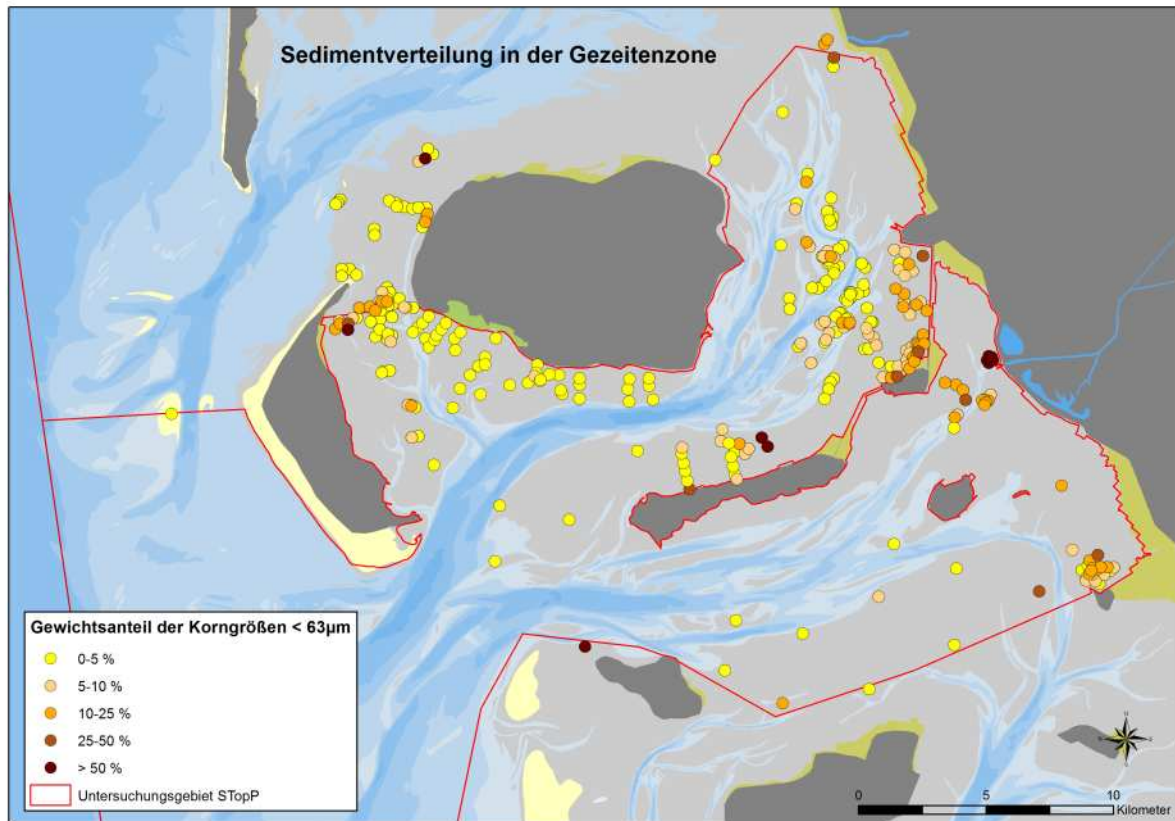


Abbildung 35: Verteilungsmuster von Sedimenten der Korngröße <math>< 63 \mu\text{m}</math> im Gezeitenbereich.

Im Gezeitenbereich ernährt sich eine viel größere Anzahl von Vogelarten benthivor als im Sublitoral. Daher wurden für unterschiedliche Habitattypen des Gezeitenbereiches einzelne charakteristische Vogelarten ausgewählt und ihre Raumnutzung genauer betrachtet. Darüber hinaus, wurden Sediment- und Benthosproben in der Gezeitenzone über den gesamten Verlauf des Vorhabens hinweg gesammelt und mit archivierten Daten verschnitten. Schließlich wurde die Nahrungswahl der bearbeiteten Vogelarten anhand von Analysen stabiler Isotope oder anhand von Analysen von Nahrungsresten genauer untersucht.

Informationen aus der Fernerkundung für die Modellierungen

Die Verteilungen verschiedener Sedimenttypen, Seegraswiesen und Muschelbänke wurde aus Satellitendaten extrahiert. Dies erfolgte mit dem Klassifikationsverfahren, das im Rahmen der Vorhaben DeMarine I und SAMOWatt entwickelt wurde. Datengrundlage sind Landsat-8 Daten, die zunächst atmosphärenkorrigiert werden, anschließend werden verschiedene Indikatoren aus den Reflektanzen berechnet, die dann in einen Entscheidungsbaum einfließen, der jedem Pixel eine Klasse (Sedimenttyp, Vegetation, Muschel, Wasser) zuweist.

Die klassifizierten Satellitendaten wurden weiter verarbeitet, indem Störpixel, Fehlklassifikationen und sehr kleinräumige Klassen herausgenommen und Shapefiles generiert wurden. Diese konnten dann zur weiteren Verarbeitung von den Projektpartnern in ihre Arbeitsumgebung eingebaut werden. Abbildung 36 und Abbildung 37 zeigen die Habitat Karten, die aus der Klassifikation von Landsat-Bildern erstellt wurden. Sie stellen einmal die Situation außerhalb der Vegetationsperiode dar und einmal die Verteilung im Sommer, während der Hauptausbreitungszeit des Seegrases.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Zusätzlich zu den Fernerkundungsprodukten für das Eulitoral wurden auch Wasserqualitätsprodukte bereitgestellt (Abbildung 38). Hier sind Chlorophyll- und Schwebstoffkonzentration sowie die Sichttiefe als Parameter in monatlichen und saisonalen Mittelwerten zur Verfügung gestellt worden. Diese liegen somit der Habitatmodellierung als Eingangsgrößen vor. Die Wasserqualitätsprodukte wurden von dem Ocean Colour Sensor MERIS erzeugt, der in 300m Auflösung alle 1-3 Tage das Gebiet aufnimmt. Von allen erfolgten Aufnahmen während einer bestimmten Zeitspanne werden die Werte gemittelt, um die monatlichen oder saisonalen Mittelwertkarten zu erzeugen. Wichtig ist bei diesem Schritt eine gute Filterung der Pixel, so dass keine beeinträchtigten Störpixel in die Mittelwertbildung einfließen (Wolken, Wolkenränder, trockenengefallene Wattflächen).

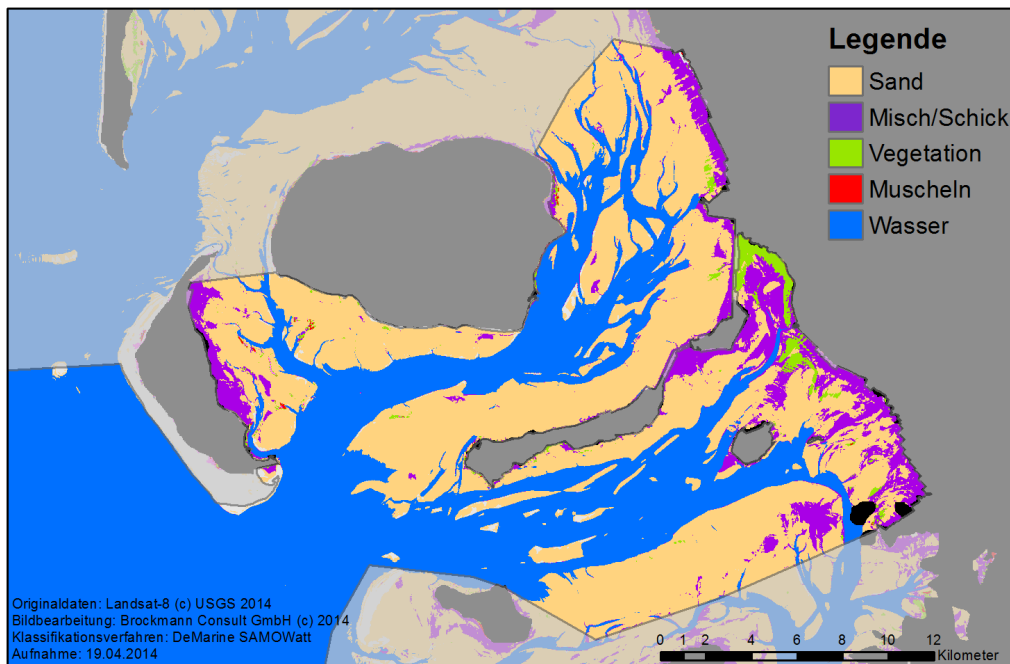


Abbildung 36: Habitats im STopP-Gebiet, hergeleitet aus der Klassifikation von Satellitendaten, Winter und Frühjahrssituation

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

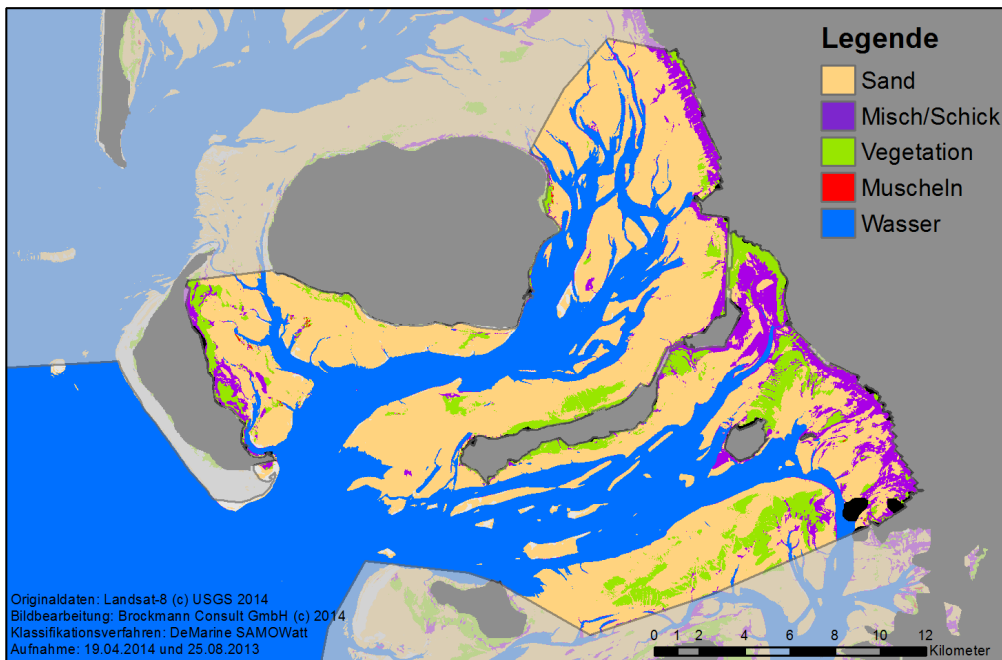


Abbildung 37: Habitate im STopP-Gebiet, hergeleitet aus der Klassifikation von Satellitendaten, Sommersituation

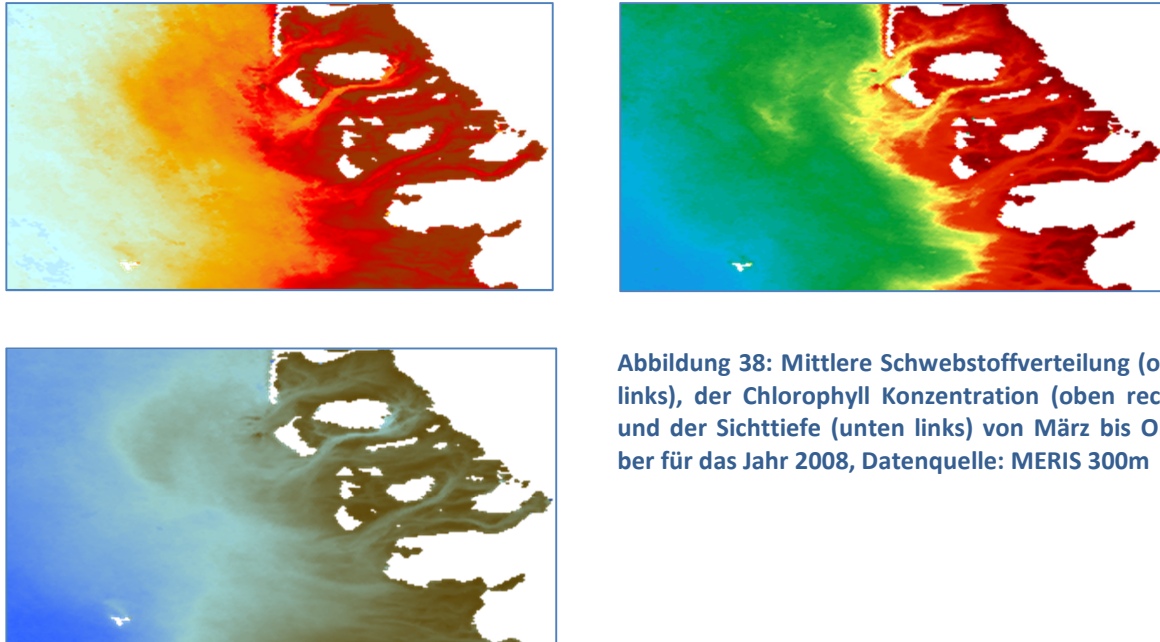


Abbildung 38: Mittlere Schwebstoffverteilung (oben links), der Chlorophyll Konzentration (oben rechts) und der Sichttiefe (unten links) von März bis Oktober für das Jahr 2008, Datenquelle: MERIS 300m

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Verteilungsmuster von (für die ausgesuchten Vögel relevantem) Makrozoobenthos im Gezeitenbereich

Zur Beschreibung der Verteilung von Makrozoobenthos im Untersuchungsgebiet wurden sowohl neue Daten im Projektverlauf erhoben als auch archivierte Daten des LLUR (eine Dauerstationen) sowie bereits erhobene Daten des FTZ genutzt. Im Eulitoral standen zur Beschreibung des Makrozoobenthos insgesamt 1.246 Replikate von 709 verschiedenen Stationen zur Verfügung. Davon entfielen 7 Replikate auf den archivierten Datensatz des LLUR und 393 Replikate auf den archivierten Datensatz des FTZ. Alle übrigen 846 Replikate wurden von den Projektpartnern im Laufe des Vorhabens erhoben (Abbildung 39).

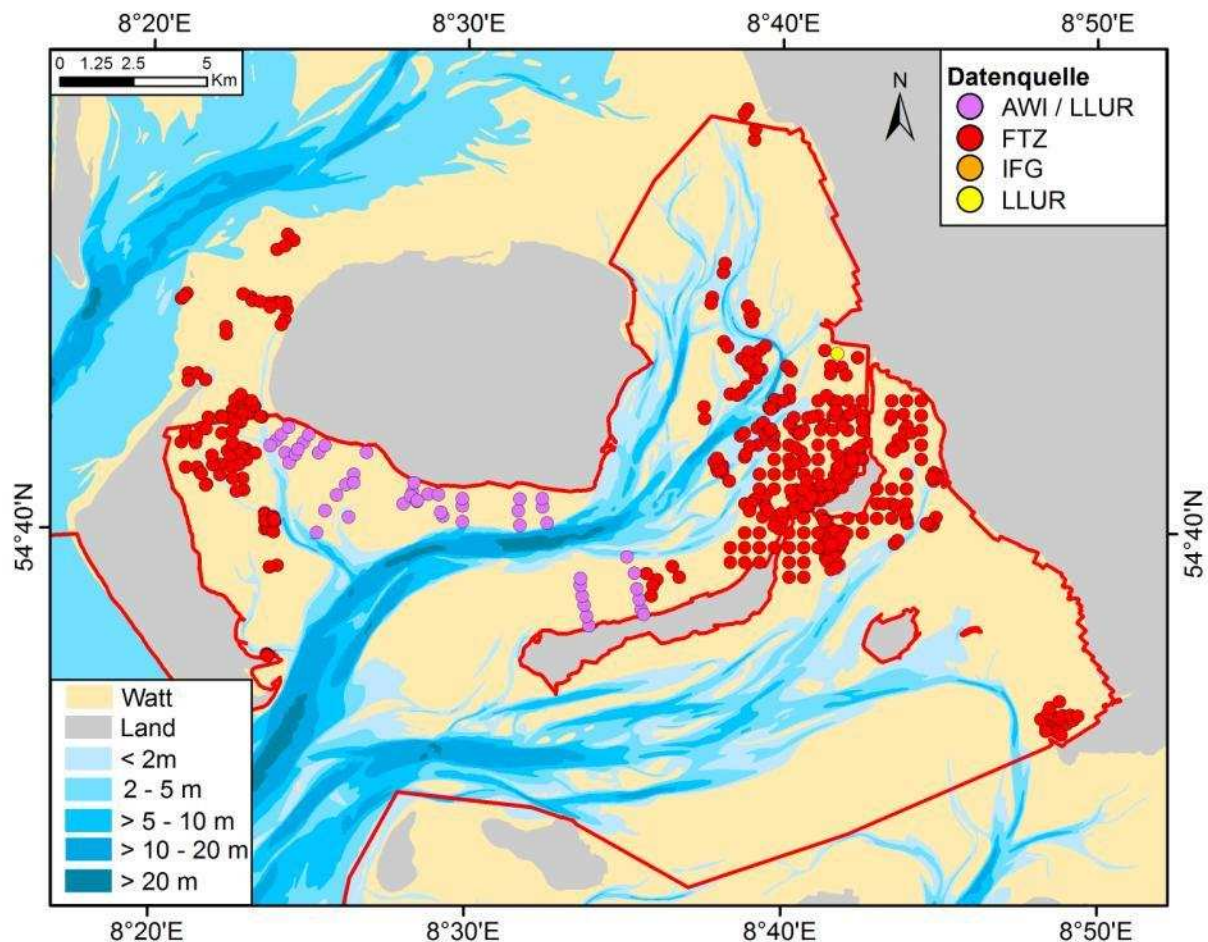


Abbildung 39: Probestationen für Makrozoobenthos im Gezeitenbereich. Die unterschiedlichen Farben geben die Datenherkunft wieder.

Die Probenahmen im Eulitoral wurden mittels einer Stechröhre von 11,7 cm Durchmesser durchgeführt, die 20 cm tief in das Sediment gestochen wurden. Die Proben wurden über einem 1 mm feinen Sieb gespült Würmer wurden bis zur Analyse in 75%igem Ethanol aufbewahrt. Alle Organismen wurden im Labor auf Artniveau bestimmt und mit einer Schieblehre vermessen. Darüber hinaus wurde das Aschefreie Trockengewicht (AFDW) eines jeden Individuums bestimmt, um einen Anhaltspunkt für die Biomasse zu gewinnen (z.B. Sutherland 1982; Schwemmer et al. 2016a). Alle Prozeduren zur Ermittlung des AFDW entsprachen denen der in Kapitel 2.1.2 bereits beschriebenen.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Die Abundanz- und Biomassewerte wurden (wie bei den im Sublitoral gewonnenen Proben) als Prädiktoren zur Bestimmung von Vogelverteilungsmustern im Rahmen der Habitatmodellierung genutzt (s. 2.1.5).

Im Gezeitenbereich kamen wesentlich weniger Schwertmuscheln vor, als im Sublitoral (vgl. Kapitel 2.1.2). Fast alle gefundenen Schwertmuscheln befanden sich im tief gelegenen Eulitoral mit sehr kurzen Freifallzeiten (Abbildung 40). Dies entspricht Beobachtungen, die bereits im Sylt-Rømø-Tidenbecken gemacht wurden (Armonies & Reise 1999).

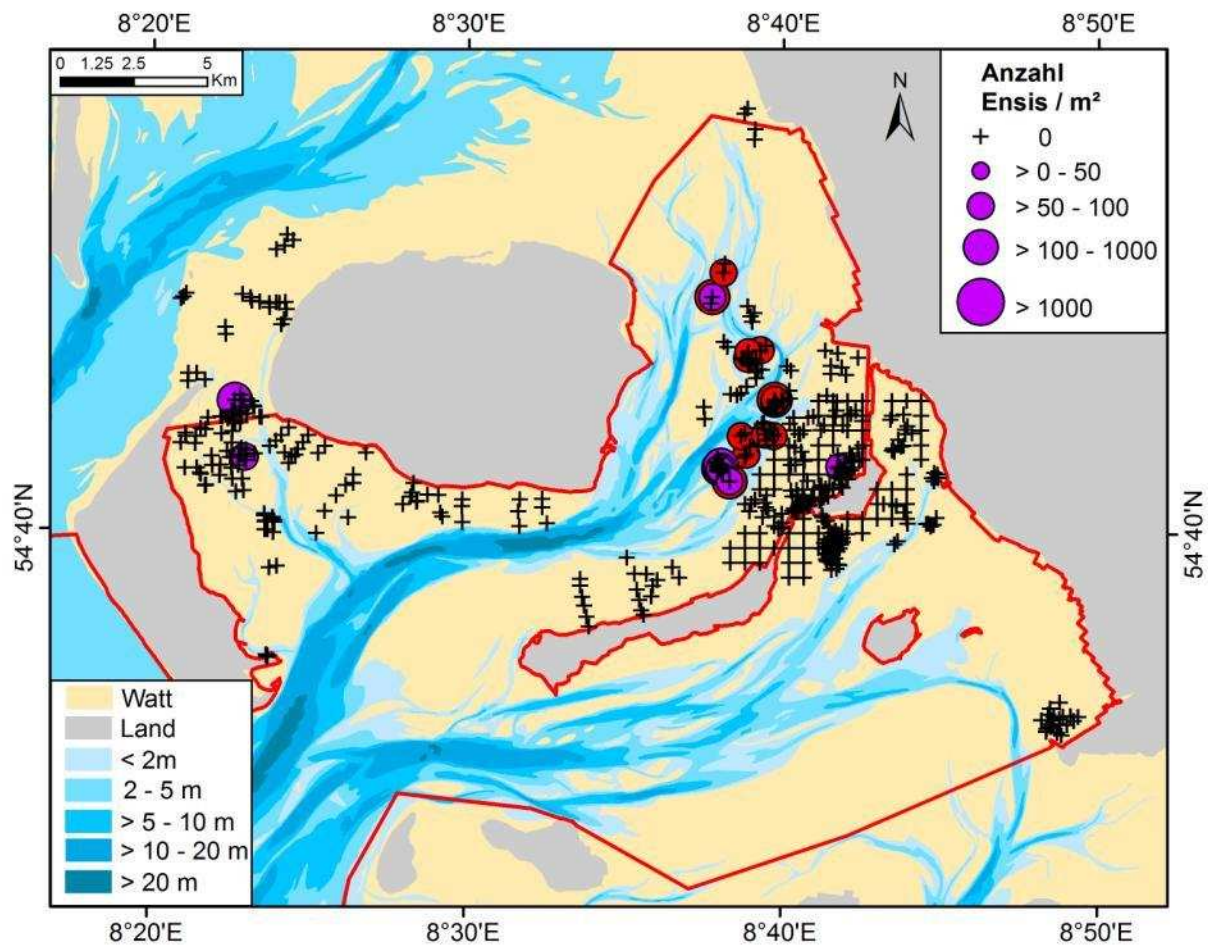


Abbildung 40: Abundanzen von Schwertmuscheln der Größenklassen 2-6 cm (lila) und größer 6 cm (rot) im Gezeitenbereich. Die Größenklasse kleiner 6 cm war nicht vertreten.

Ein wichtiger Schwerpunkt für Schwertmuscheln im Gezeitenbereich lag in dem sich verästelnden Prielsystem der Föhrer Ley bzw. auf Sandbänken im Prielsystem nördlich der Hallig Oland. Nur vereinzelt wurden Schwertmuscheln in ähnlich strukturierten Bereichen an der Nordostspitze Amrums gefunden. Hauptsächlich handelte es sich bei den im Gezeitenbereich anzutreffenden Schwertmuscheln um größere Individuen, in der Mehrzahl mit mehr als 6 cm Schalenlänge. Individuen mit Schalenlängen kleiner 2 cm waren nicht im Gezeitenbereich vertreten.

Bei den Beprobungen zu Niedrigwasser war klar zu erkennen, dass Schwertmuscheln insbesondere auf den freigefallenen Sandbänken entlang der Föhrer Ley große Felder ausbildeten und oftmals große Bereiche der gesamten Sandbank bevölkerten. Regelmäßig konnten Silbermöwen und Austernfi-

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

scher beobachtet werden, wie sie Schwertmuscheln aus ihren Wohnröhren heraus zogen. Oftmals ragten Schwertmuscheln bei Niedrigwasser ein Stück aus ihren Röhren hinaus, was die Vögel dazu befähigte, diese Beute zu erlangen. Schwertmuscheln ziehen sich ansonsten schon bei geringen Erschütterungen tief in ihre Röhre zurück und sind dann auch für Vögel mit langen Schnäbeln nicht mehr zu erbeuten. Einige Schwertmuschelbänke bestanden aus anscheinend kranken oder zumindest nicht mehr mobilen älteren Schwertmuscheln. Diese ragten relativ weit aus ihrer Röhre hinaus und konnten zu Niedrigwasser von Vögeln mit starken Schnäbeln erbeutet werden. Interessanterweise konnten die weitaus leichteren Lachmöwen nie beim Erbeuten von Schwertmuscheln beobachtet werden. Im Vergleich zu den Silbermöwen ist möglicherweise die Kraft im Schnabel nicht ausreichend, um Schwertmuscheln vollständig aus dem Sediment zu ziehen.

Im Gegensatz zum Sublitoral waren Herzmuscheln in der Gezeitenzone sehr stark vertreten und bildeten in bestimmten Bereichen dichte Felder mit bis zu 5.500 Individuen pro m² (Abbildung 41). Bedeutende Felder lagen z.B. an der Nordostspitze Amrums sowie südöstlich der Hallig Oland. Generell waren Herzmuscheln in viel höher gelegenen Wattflächen vertreten als Schwertmuscheln. Es wird auch deutlich, dass Herzmuscheln auf den mobilen grobsandigen Sandbänken in den großen Prielsystemen, wie z.B. in der Föhrer Ley, wo Schwertmuscheln sehr abundant waren, überhaupt nicht vorkamen. Anders als bei Schwertmuscheln gab es bei Herzmuscheln keine Unterschiede im räumlichen Auftreten von unterschiedlichen Größenklassen.

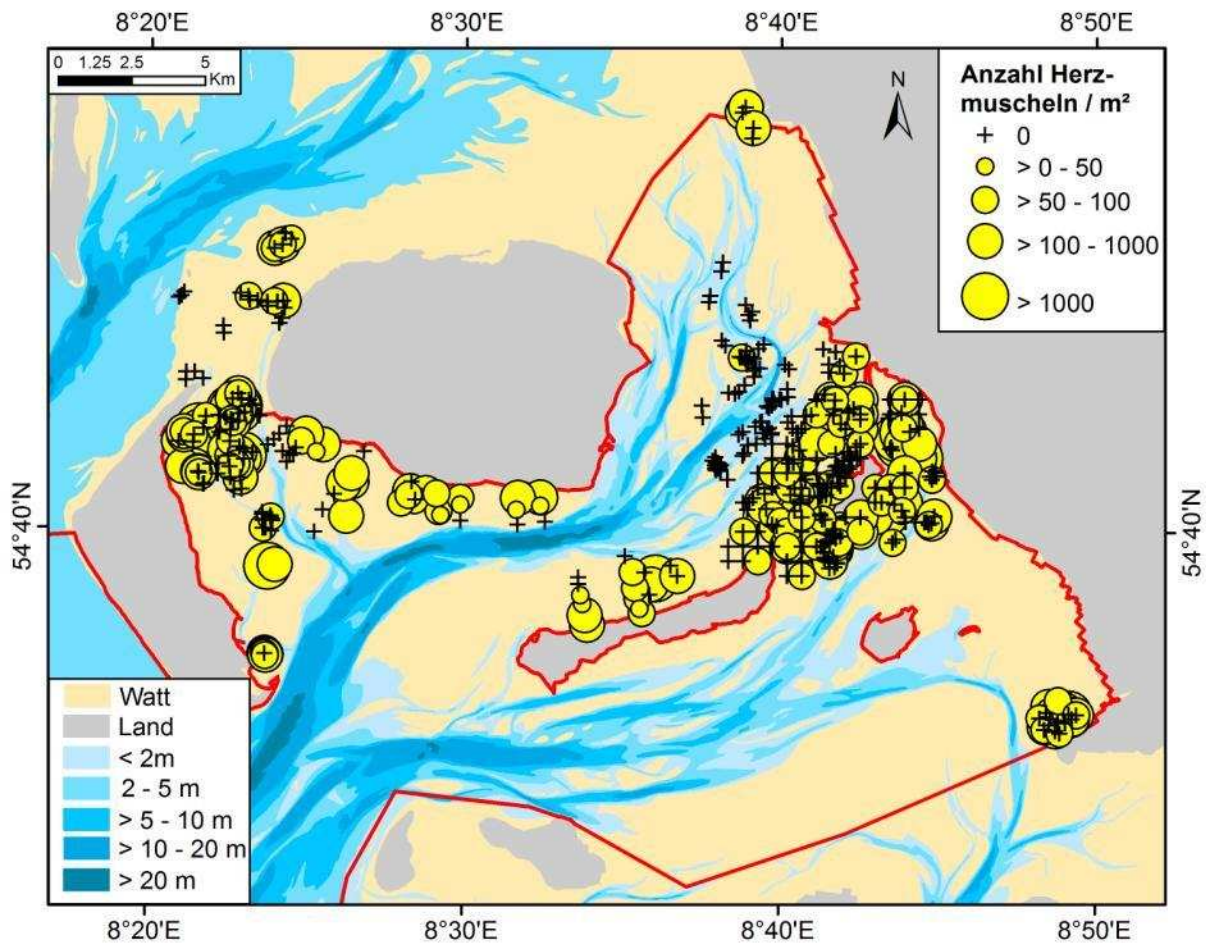


Abbildung 41: Abundanzen von Herzmuscheln in der Gezeitenzone.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Ähnlich wie Herzmuscheln waren auch Baltische Plattmuscheln in der gesamten Gezeitenzone verbreitet (Abbildung 42). Allerdings waren die Gesamtabundanzen deutlich geringer und erreichten maximale Dichten von etwas mehr als 800 Individuen pro m². Im Bereich südlich von Föhr sowie nördlich von Langeness wurde nicht auf Baltische Plattmuscheln hin beprobt. Generell zeigten sich starke Überlappungen in der Verbreitung von Herzmuscheln und Baltischen Plattmuscheln. Im Gegensatz zur Herzmuschel kamen Baltische Plattmuscheln auch im tiefer gelegenen Eulitoral (z.B. im sich verästelnden Prielbereich der Föhrer Ley) vor. Sie erreichten dort geringere Abundanzen (Abbildung 42).

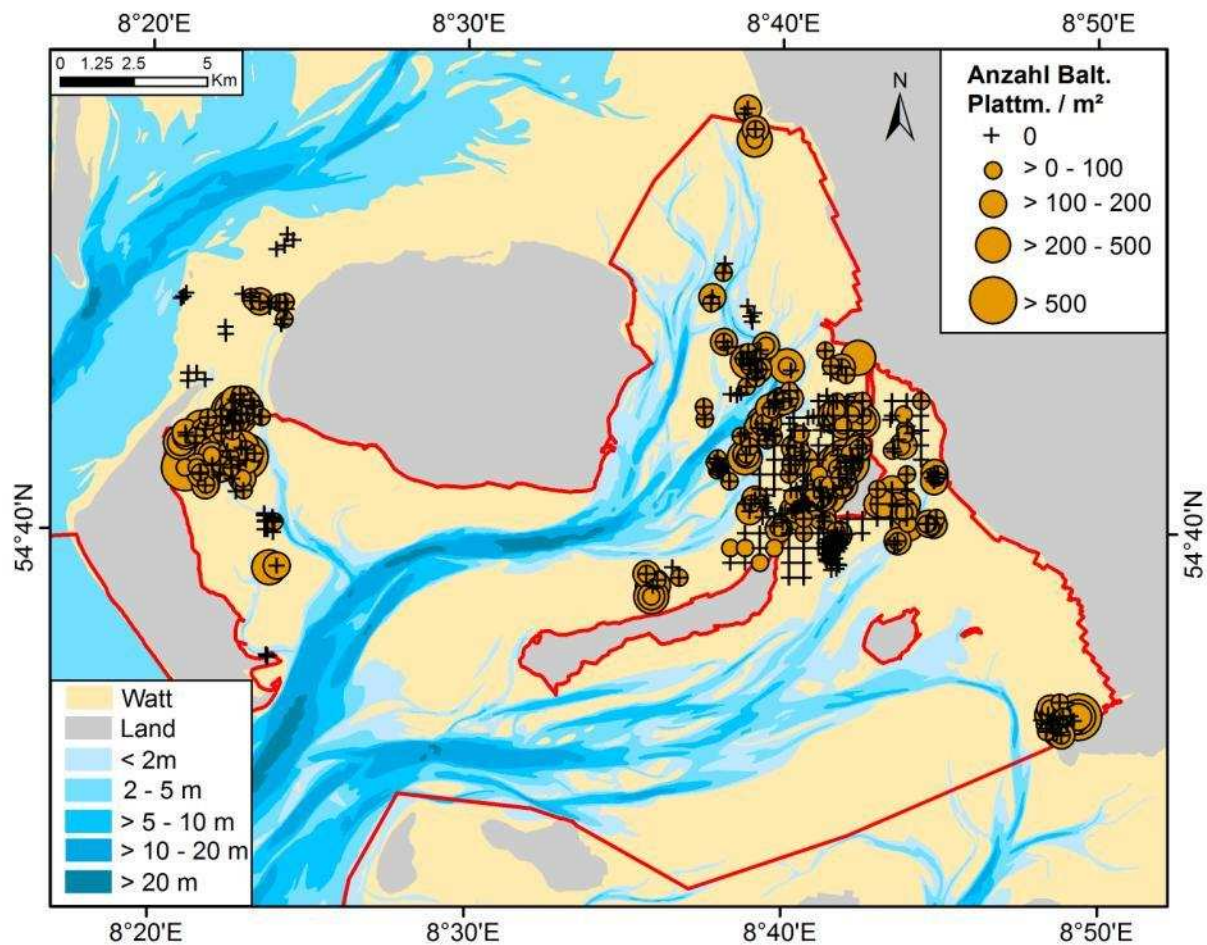


Abbildung 42: Abundanzen von Baltischen Plattmuscheln in der Gezeitenzone.

Die Verteilung eulitoralischer Miesmuschelbänke und Seegraswiesen wurde durch Fernerkundung vom Satellit aus erfasst. Miesmuschelbänke im Gezeitenbereich traten vor allem im Bereich zwischen Föhr und Amrum auf (Abbildung 43). Darüber hinaus lag eine ausgedehnte Bank im Norden der Föhrer Ley. Kleinere Vorkommen wurden östlich der Hallig Gröde sowie östlich von Föhr festgestellt.

Seegraswiesen kamen in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes vor. Insbesondere in einem Streifen nahe der Festlandsküste waren Seegraswiesen häufig vertreten. Ansonsten lagen Seegraswiesen in erster Linie in vor starkem Wellengang und Strömung geschützten Bereichen, wie z.B. östlich Amrum oder nordöstlich der Hallig Gröde. Außerdem waren große Bestände nördlich und südlich der Hallig Langeness anzutreffen.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

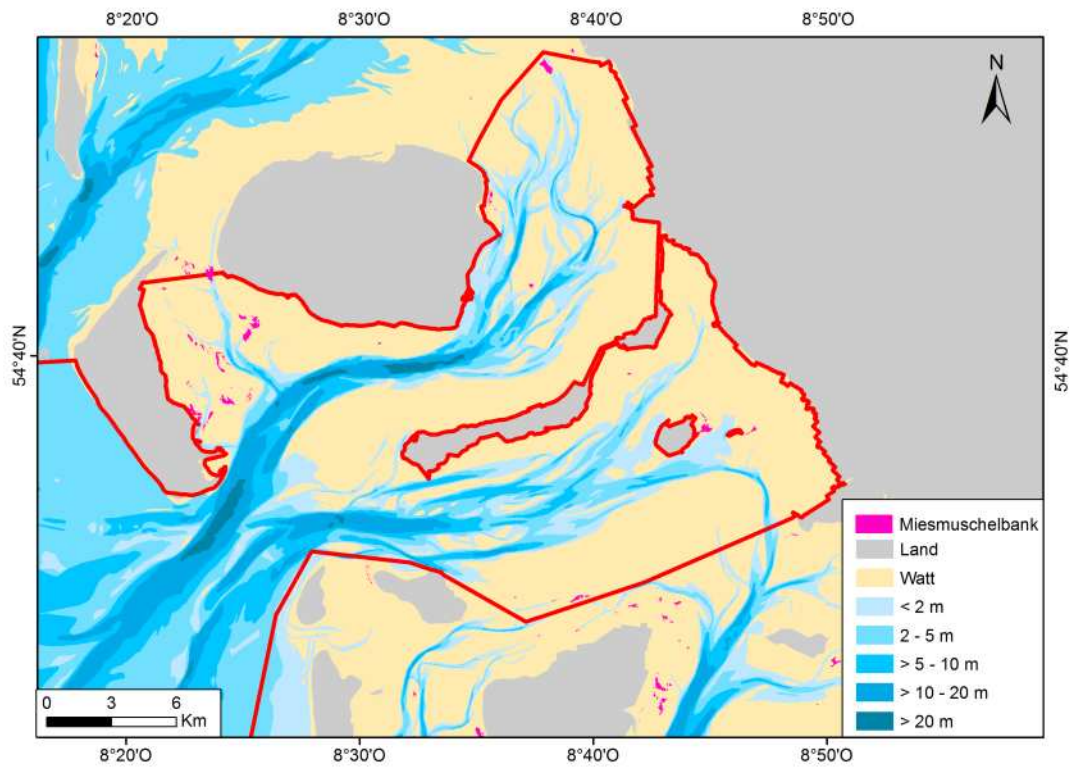


Abbildung 43: Verteilung von Miesmuschelbänken in der Gezeitenzone, ermittelt durch Fernerkundung.

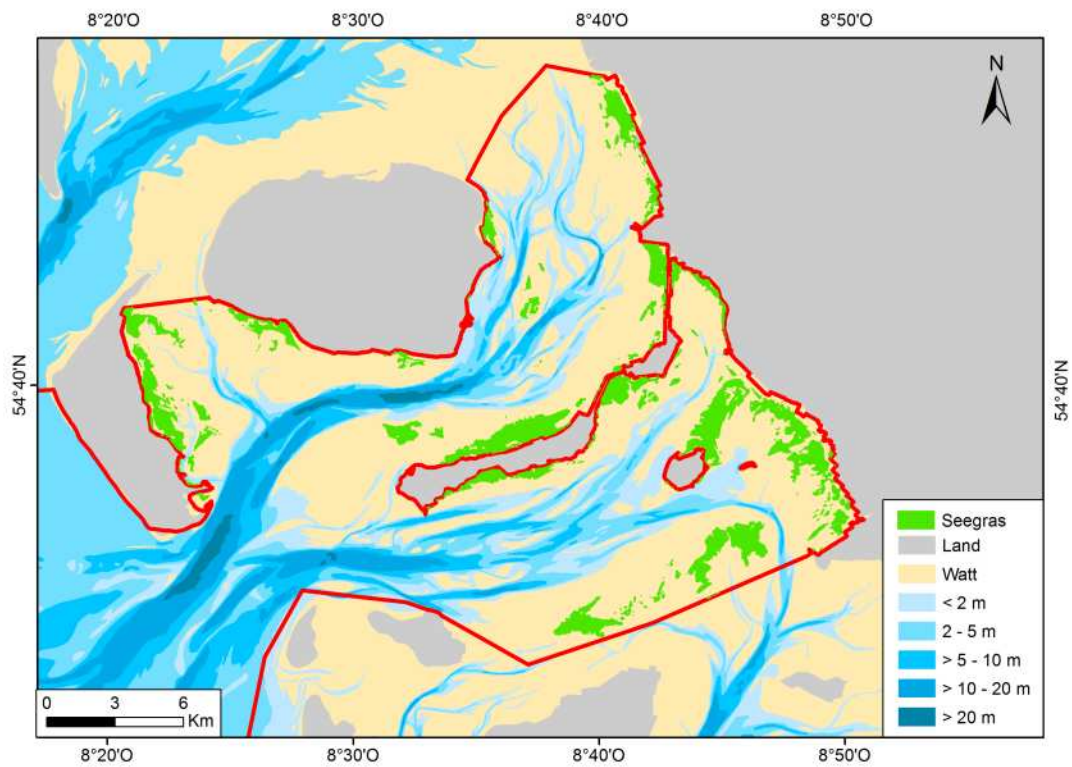


Abbildung 44: Verteilung von Seegraswiesen in der Gezeitenzone, ermittelt durch Fernerkundung.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Verteilungsmuster von Vögeln im Gezeitenbereich

Im Sublitoral ist es möglich, mit Hilfe von schiffs- oder flugzeugbasierten Kartierungen Vögel weitestgehend flächendeckend zu erfassen. Diese Methode ist im Gezeitenbereich nicht zielführend. Daher werden im Rahmen eines langjährigen Monitoring die Bestände von Vögeln, welche überwiegend die Gezeitenzone nutzen, an Rast- und Brutplätzen erfasst (Koffijberg et al. 2015; Blew et al. 2015). Diese Langzeitdaten wurden unter anderem als Grundlage für die ökologische Netzwerkanalyse (Kapitel 2.1.5) genutzt. Diese Monitoringprogramme liefern jedoch keine Informationen über die Nutzung von bestimmten Bereichen des Eulitorals durch benthivore Vögel. Um wichtige Hot-Spots der Vogelverteilung im Gezeitenbereich zu erkennen und aufzuschlüsseln, welche Interaktionen zum Makrozoobenthos und zu weiteren abiotischen Umweltparametern bestehen, wurden daher telemetrische Methoden angewendet, die es erlauben, die Verteilung von Vögeln punktgenau in der Fläche zu erfassen.

Da eine Vielzahl von Vogelarten den Gezeitenbereich nutzt, war es notwendig, bestimmte Vogelarten für die Besenderung auszuwählen. Zusätzlich sollten Vögel ausgewählt werden, die aufgrund ihrer Ökologie verschiedene charakteristische Lebensräume in der Gezeitenzone nutzen. Daher wurden im Rahmen des Vorhabens die folgenden Vogelarten mit telemetrischen Einheiten ausgestattet:

- Austernfischer (*Haematopus ostralegus*): charakteristische Art für Miesmuschelbänke und Herzmuschelfelder
- Silbermöwe (*Larus argentatus*): charakteristische Art für Miesmuschelbänke und Herzmuschelfelder
- Säbelschnäbler (*Recuvirostra avosetta*): charakteristische Art für Schlickwattbereiche
- Großer Brachvogel (*Numenius arquata*): charakteristische Art für *Arenicola*- und *Lanice*-Sandwattbereiche
- Löffler (*Platalea leucorodia*): charakteristische Art für den Übergang zum Sublitoral und Garnelenkonsument

Zum Einsatz kamen GPS-Datenlogger der Firma eobs (München) und der Firma Ecotone (Danzig) sowie der Firma earth&ocean Technologies (Kiel), die entweder auf die Schwanzfedern der Vögel geklebt oder mit einem Rucksacksystem (Harness) am Körper der Vögel angebracht wurden. Vögel, die mit geklebten Loggern ausgestattet wurden (Säbelschnäbler und Austernfischer sowie ein Großteil der Silbermöwen), mussten während der Brutzeit auf dem Nest gefangen werden. Da die Logger zum Download der Daten an einen Computer angeschlossen werden mussten, war es notwendig die Vögel auf dem Nest ein zweites Mal zu fangen und den Logger zu bergen. Vögel, die mit einem Harnesssystem ausgerüstet wurden (Große Brachvögel, Löffler und ein Teil der Silbermöwen) war es nicht nötig, die Vögel wieder zu fangen, da der Transfer der aufgezeichneten Daten über das Mobilfunknetz (GSM-Netzwerk) oder über eine Funkverbindung mit einer Basisstation erfolgte. Dies ermöglichte eine langfristige Besenderung der ausgerüsteten Tiere, die z.T. über die gesamte Laufzeit des Vorhabens erfolgen konnte, denn die Akkus der GPS Datenlogger, die für Harness verwendet wurden, konnten über eine Solarzelle stetig neu aufgeladen werden. Vögel, die mit einem Harness ausgerüstet wurden, wurden entweder mit einer Kastenfalle auf dem Nest gefangen (Löffler und Silbermöwe) oder am Hochwasserrastplatz mit Hilfe eines Japannetzes (Großer Brachvogel).

Die GPS-Datenlogger waren so programmiert, dass sie in festen Zeitabständen eine GPS-Position und die dazugehörige Uhrzeit sowie die Bewegungsgeschwindigkeit aufzeichneten. Dieses Zeitintervall variierte zwischen den einzelnen Loggertypen und Vogelarten. In der Regel wurden jedoch GPS-Fixe alle 2-5 Minuten (Austernfischer, Silbermöwe, Säbelschnäbler, Löffler) oder alle 15-30 Minuten (Großer Brachvogel) aufgezeichnet.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Für Austernfischer wurden bereits archivierte Daten von besenderten Vögeln für das Vorhaben verwendet, die in den Jahren 2008 und 2010 erhoben wurden. Auch ein Teil der Silbermöwendaten stand bereits aus Vorarbeiten des FTZ zur Verfügung. Im Rahmen des Vorhabens wurden alle weiteren Besenderungen von Vögeln der Gezeitenzone durchgeführt.

Insgesamt wurden 14 Austernfischer während der Brutzeit auf der Hallig Oland besendert. Austernfischer nutzten die Wattbereiche rund um die Hallig Oland in unterschiedlicher Weise. Ein wichtiger Bereich lag südwestlich der Hallig entlang eines tiefliegenden Priels, wo sich Reste einer kleinen Miesmuschelbank befanden. Dorthin flogen fast alle besenderten Individuen (Abbildung 45). Die hoch gelegenen Wattflächen westlich der Hallig hatten besonders während Zeiten höherer Wasserstände eine wichtige Bedeutung. Besonders intensiv genutzt wurde eine etwa 4 km weit entfernte Schwertmuschelbank, die auf einer Sandbank nordwestlich der Hallig im sich verästelnden Prielsystem der Föhrer Ley lag. Darüber hinaus wurde der Priel zwischen dem Oland-Damm und dem Festland im Nordosten des Untersuchungsgebietes von einzelnen Individuen intensiv genutzt. Hier fanden sich sehr hohe Dichten von Herzmuscheln.

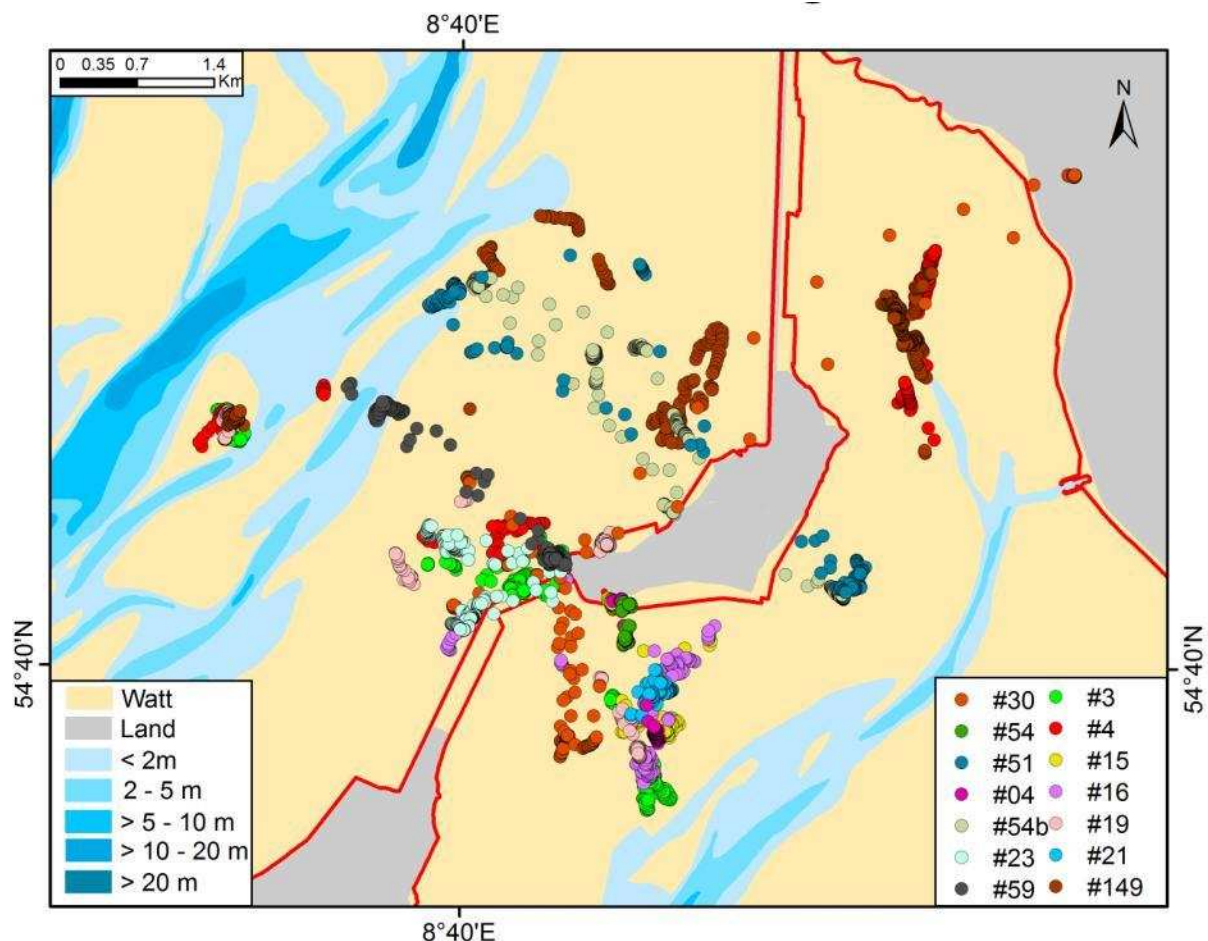


Abbildung 45: Raumnutzung in der Gezeitenzone von 14 mit GPS-Datenloggern ausgerüsteten Austernfischern von der Hallig Oland (Brutzeit). Unterschiedliche Farben von Punkten spiegeln die Positionen einzelner Austernfischer wider.

Insgesamt standen 37 Datensätze von Silbermöwen, die mit GPS-Datenlogger ausgerüstet wurden, für das Vorhaben zur Verfügung. Silbermöwen wurden in der nördlichsten Kolonie auf Amrum (Odde,

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

n= 19) sowie auf Hallig Oland (n=15) und Hallig Langeness (n=3) besendert. Im Vergleich zu Austernfischern legten Silbermöwen viel weitere Strecken während ihrer Nahrungssuchflüge zurück und nutzten auch zu einem hohen Anteil das Binnenland Schleswig-Holsteins bzw. terrestrische Gebiete auf Föhr (Abbildung 46). Einzelne Individuen flogen weit in das Binnenland des südlichen Dänemarks und erreichten z.T. auch Gebiete an der Ostseeküste. Silbermöwen aller Kolonien nutzen jedoch überwiegend die Gezeitenzone, wobei dieser Anteil bei Individuen von Amrum (mit der höchsten Distanz zum Binnenland) mit im Mittel über 80 % am höchsten ausfiel, während Individuen von der Kolonie Oland (geringste Distanz zum Binnenland) im Mittel nur gut 55 % der Zeit in der Gezeitenzone verbrachten und die übrige Zeit im Binnenland nach Nahrung suchten.

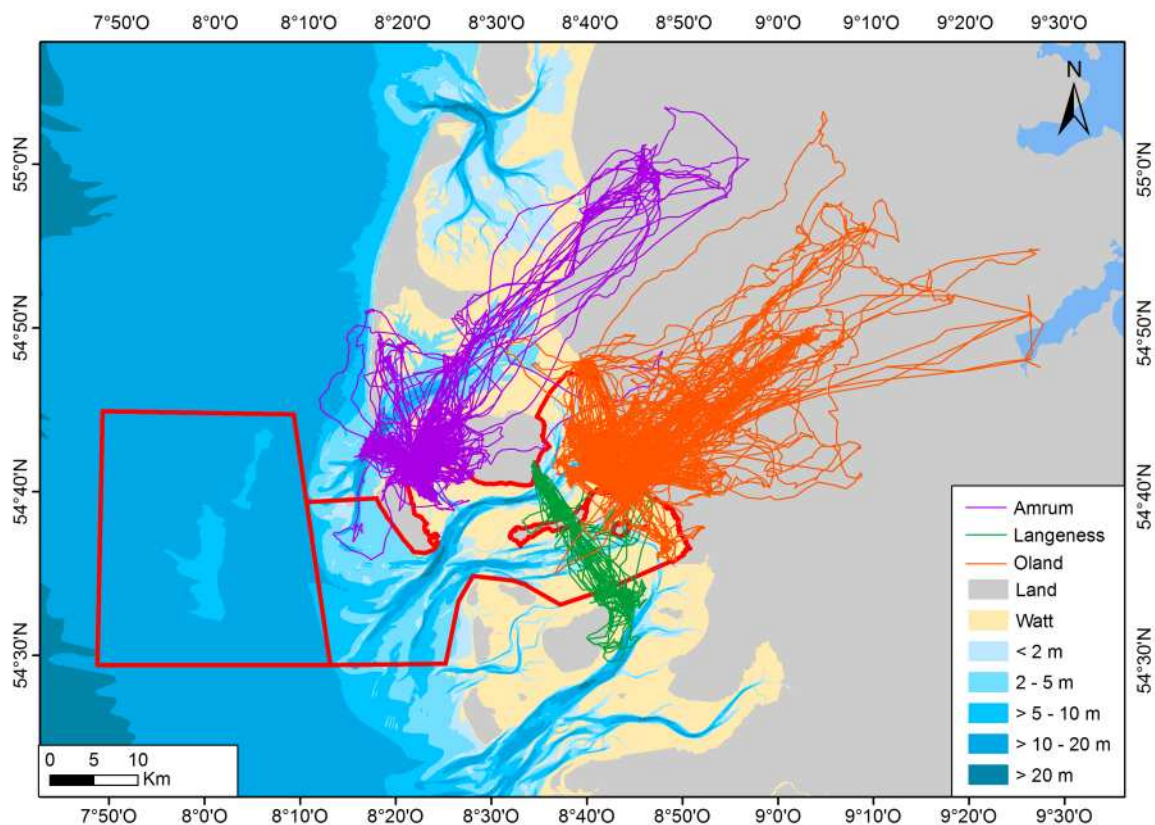


Abbildung 46: Raumnutzung (Nahrungssuchflüge) von 37 mit GPS-Datenloggern ausgerüsteten Silbermöwen der Hallig Oland (rot), Amrums (lila) und der Hallig Langeness (grün).

Betrachtet man die Raumnutzung des Gezeitenbereiches etwas genauer, so fallen unterschiedliche Schwerpunkte auf: Silbermöwen der Kolonie Odde, auf Amrum, nutzen überwiegend die Wattflächen im nordöstlichen Rückseitenwatt der Insel, wo sich eine ausgedehnte Herzmuschelbank befand (Abbildung 47). Im Gegensatz dazu flogen die Individuen von Langeness hauptsächlich auf nah gelegene Wattflächen nördlich von Langeness und nutzten darüber hinaus Gezeitenbereiche entlang eines Prielsystems nördlich von Pellworm. Individuen von der Hallig Oland flogen zum einen überwiegend in den Bereich südöstlich der Hallig, nutzen aber auch intensiv Sandbänke im Prielsystem der Föhrer Ley. Dort befanden sich weit ausgedehnte Felder mit Schwertmuscheln. Silbermöwen konnten während der Kartierungen für Makrozoobenthos dort häufig beim Fressen dieser Beute beobachtet werden.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

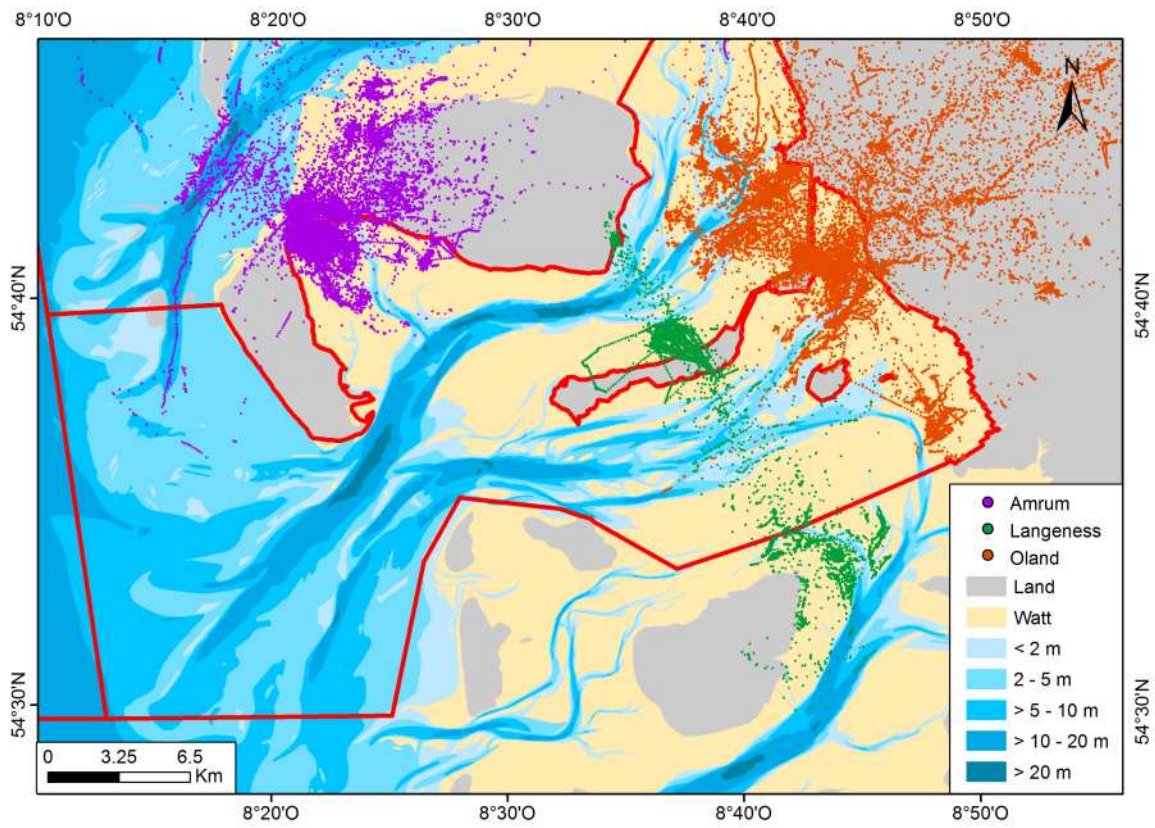


Abbildung 47: Raumnutzung der Gezeitenzone von 37 mit GPS-Datenloggern ausgerüsteten Silbermöwen der Hallig Oland (rot), Amrums (lila) und der Hallig Langeness (grün). Jeder Punkt gibt eine aufgezeichnete GPS-Position wieder.

Insgesamt wurden 4 Säbelschnäbler auf der Hamburger Hallig gefangen und mit wenigen Gramm schweren GPS-Datenloggern an der Schwanzbefiederung ausgerüstet. Die besenderten Individuen flogen häufig in das Naturschutzgebiet Beltringharder Koog zum Fressen (Abbildung 48). Sie nutzten jedoch auch sehr schlickreiche Flächen nördlich der Hamburger Hallig. Insbesondere wurde ein größerer Priel in der nördlichen Salzwiese der Hallig zum Fressen genutzt. Da Säbelschnäbler nur wenige hundert Gramm schwer sind, konnten nur GPS-Datenlogger mit sehr leichten Akkus eingesetzt werden. Daher betrug die Laufzeit der Geräte meist nur wenige Tage. Von allen besenderten Vogelarten zeigten Säbelschnäbler die räumlich und zeitlich kürzesten Nahrungssuchflüge und entfernten sich nur wenig von ihrem Brutplatz.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

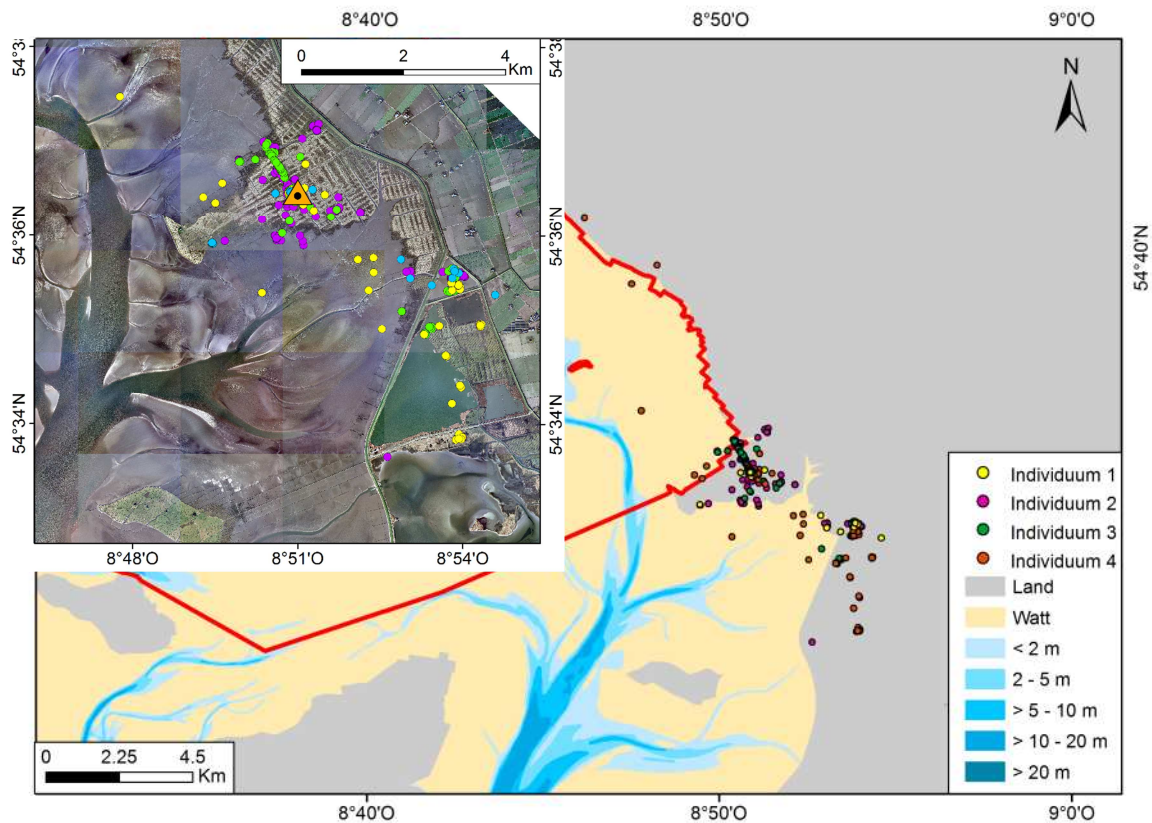


Abbildung 48: Raumnutzung der Küstenzone von 4 mit GPS-Datenloggern ausgerüsteten Säbelschnäblern der Hamburger Hallig (Brutzeit). Unterschiedliche Farben von Punkten spiegeln die Positionen einzelner Säbelschnäbler wider Luftbilder: LKN.

Im Rahmen des Vorhabens sind 5 Große Brachvögel auf der Hamburger Hallig auf ihrem Hochwasserrastplatz mit Hilfe von Japannetzen gefangen worden. Sie wurden mit GPS-Datenloggern mit Harnesssystem ausgerüstet. Alle besenderten Tiere waren über den gesamten Zeitraum der Besenderung sehr ortstreu und nutzten bis zum Abflug in ihre Brutgebiete weiterhin die nördliche Salzwiese der Hamburger Hallig als Rastplatz. Nur Individuum #1 flog wenige Tage nach der Besenderung einige Kilometer weiter nach Norden und nutzte einen Rastplatz im Nordosten der Hallig Oland. Alle besenderten Großen Brachvögel verließen das Wattenmeer im April bzw. Mai, um in die Brutgebiete zu gelangen. Diese befanden sich in Moorgebieten des östlichen Russlands. Die weiteste Distanz, die ein Brachvogel dem Rastplatz im Untersuchungsgebiet und seinem Brutgebiet am Weißen Meer zurücklegte betrug gut 2.000 km (Luftlinie). Einer der besenderten Brachvögel war ein Jungvogel. Dieser zog erst Ende Mai aus dem Wattenmeer ab und überquerte die Ostsee, wo er für mehrere Tage in Lettland blieb und dann über Polen und Ostdeutschland wieder zurück zu ziehen. Auch die übrigen besenderten Brachvögel zogen nach dem Ende der Brutzeit in das Untersuchungsgebiet zurück und überwinterten an dem Hochwasserrastplatz, an dem sie gefangen wurden. Genauere Details zum Zug und zur Ortstreu der Brachvögel wurden bereits in Schwemmer et al. (2016b) beschrieben.

Neben Säbelschnäblern legten auch Große Brachvögel keine weiten Distanzen zurück, um in ihre Nahrungsgebiete zu gelangen. Die Entfernung zwischen den wichtigsten Nahrungsgebieten und den Hochwasserrastplätzen betrug meist nur wenige hundert Meter oder maximal wenige Kilometer. Dabei zeigten Große Brachvögel eine enorme Ortstreu und nutzten sehr häufig die gleichen Gebiete auf den Wattflächen zum Fressen. Einzelne Individuen flogen vor allem bei hohen Wasserständen, welche die Rastplätze in den Salzwiesen überfluteten, in die Naturschutzköge des küstennahen Bin-

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

nenlandes. Hauptsächlich nutzten die Brachvögel der Hamburger Hallig den Gezeitenbereich, der sich an die nördliche Salzwiese anschließt. Hierbei handelte es sich um einen sehr schlickigen Bereich, in dem hohe Dichten von Wattwürmern auftraten. Der Große Brachvogel, der wenige Tage nach der Besenderung zum Rastplatz nach Oland übergewechselt war, hielt sich im Wesentlichen auf den Wattbereichen zwischen der Hallig und dem Festland auf. Auch hier wurden überwiegend sehr schlickreiche Wattflächen genutzt, die hohe Wattwurmdichten aufwiesen.

Im Laufe des Vorhabens wurden 5 Löffler (zwei adulte und 3 Jungvögel) mit GPS-Datenloggern mit einem Harnesssystem ausgestattet. Vier der fünf Individuen wurden während der Brutzeit auf der Hallig Oland, ein weiterer Jungvogel zur Brutzeit auf Föhr gefangen. Die Raumnutzung der besenderten Löffler im Gezeitenbereich konzentrierte sich stark auf einen Streifen zum Binnenland. Die Tiere nutzten überwiegend Wattflächen, hielten sich aber auch zu einem großen Teil zum Rasten oder Fressen nahe den Wasserflächen der Naturschutzköge auf. Die Raumnutzung der Löffler war viel großräumiger als die von Säbelschnäblern oder Großen Brachvögeln.

2.1.4 SIMULATION HYDRODYNAMISCHER VERHÄLTNISSE (AP3)

Das Schwesterprojekt MOSSCO lieferte im Jahr 2014 hydrodynamische Modelldaten. Diese sollten genutzt werden, um das Auftreten verschiedener Habitattypen im Eu- und Sublitoral des Untersuchungsgebietes zu erklären. Die MOSSCO-Daten sind ein wesentlicher Grundbaustein für die Habitatmodellierung. Neben in STopP erhobenen Daten zur Sedimentverteilung und Meeresbodentopographie sollten Schubspannung, Bathymetrie und Überflutungszeit als weitere erklärende Faktoren genutzt werden, um sie zunächst mit den Makrozoobenthosdaten und später mit Daten zur Vogelverteilung im Sub- und Eulitoral zu verschneiden. Die Vielzahl besendeter Vögel, welche zu eu- und sublitoralen Feldern der Amerikanischen Schwertmuschel flogen, sowie Analysen von Nahrungsresten belegten klar die hohe Bedeutung dieser Art für das Nahrungsnetz. Aufgrund dieser hohen Relevanz wurden zunächst Modellbetrachtungen zum Habitattyp Schwertmuschelfeld durchgeführt. Nach mehreren Modelldurchläufen wurde ersichtlich, dass der von MOSSCO bereit gestellte Datensatz nicht weit genug Richtung Westen reichte, um die Variabilität im Auftreten der Benthosgemeinschaft ausreichend abzubilden.

Daher wurden die simulierten Daten aus MOSSCO durch Daten der BAW ergänzt, die erst seit 2014 zugänglich waren (Kösters & Winter 2014). Die Daten der BAW liegen im Bereich des Wattenmeeres in 1 x 1 km Auflösung, im küstenferneren Untersuchungsgebiet in 3 x 3 km Auflösung vor. Bei den hydrodynamischen Daten der BAW, die als erklärende Variablen für die Habitatmodellierung zur Verfügung standen, handelt es sich um die maximale Schubspannung, die ein Maß der Intensität des Sedimenttransportes darstellt (Abbildung 49). Außerdem stand als weiterer Prediktor der Parameter Zeitanteil der kritischen Schubspannung zur Verfügung, welche als Maß der Dauer des Sedimenttransportes fungiert (Abbildung 50).

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

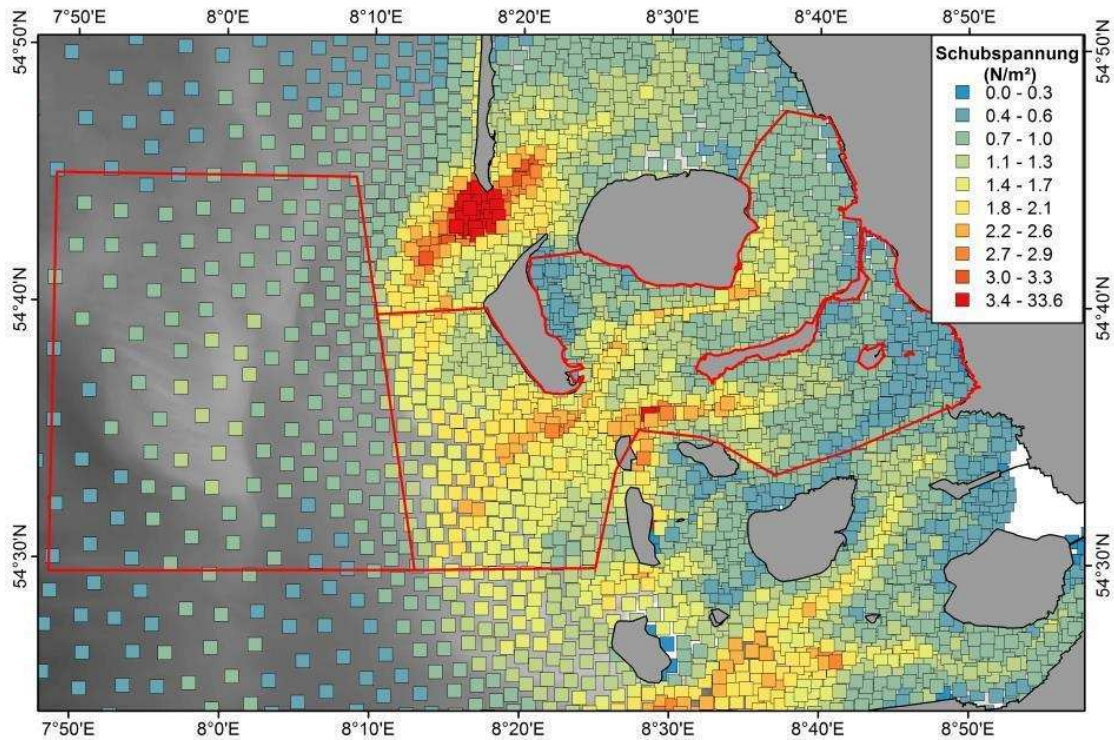


Abbildung 49: Intensität der Schubspannung als Maß der Intensität des Sedimenttransportes. Datenquelle: Kösters & Winter (2014).

Zusätzlich wurde für die Bathymetrie ein aktueller Datensatz des BSH eingearbeitet, der in einer Auflösung von 50 x 50 m zur Verfügung stand (Abbildung 51).

Schließlich stand durch die Arbeiten im Schwesterprojekt MOSSCO als weiterer hydrodynamischer Prediktor die Überflutungszeit von Wattflächen in einer Auflösung von 50 x 50 m zur Verfügung (Abbildung 52). Die Überflutungszeiten des Gezeitenbereiches wurden durch numerische Simulationen mit Hilfe des frei verfügbaren Modells (GETM, Burchard & Bolding 2002, Hofmeister et al. 2010, Klingbeil & Burchard 2013) berechnet. Dieses Modell beinhaltet eine Simulation des Potentials von Trocken- und Überflutungsphasen. Die dem Modell zugrunde liegenden bathymetrischen Daten wurden von der BAW zur Verfügung gestellt. In die Simulationen gingen meteorologische Daten des Deutschen Wetterdienstes ein. Die Abgrenzungen wurden von räumlich ungenaueren Simulationen aus dem Bereich des Wattenmeer vorgenommen (Gräwe et al. 2015). Das Modell wurde für die Zeit vom 15. Januar bis zum 31. Januar 2008 operationalisiert. Alle sublitoralen Bereiche erreichten in dieser Zeit eine maximale Überflutungsdauer von 408 h. Bereiche in der Gezeitenzone erreichten entsprechend niedrigere Überflutungsdauern, je nach ihrer Höhe (Minimum der Überflutungsdauer: 64 h).

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

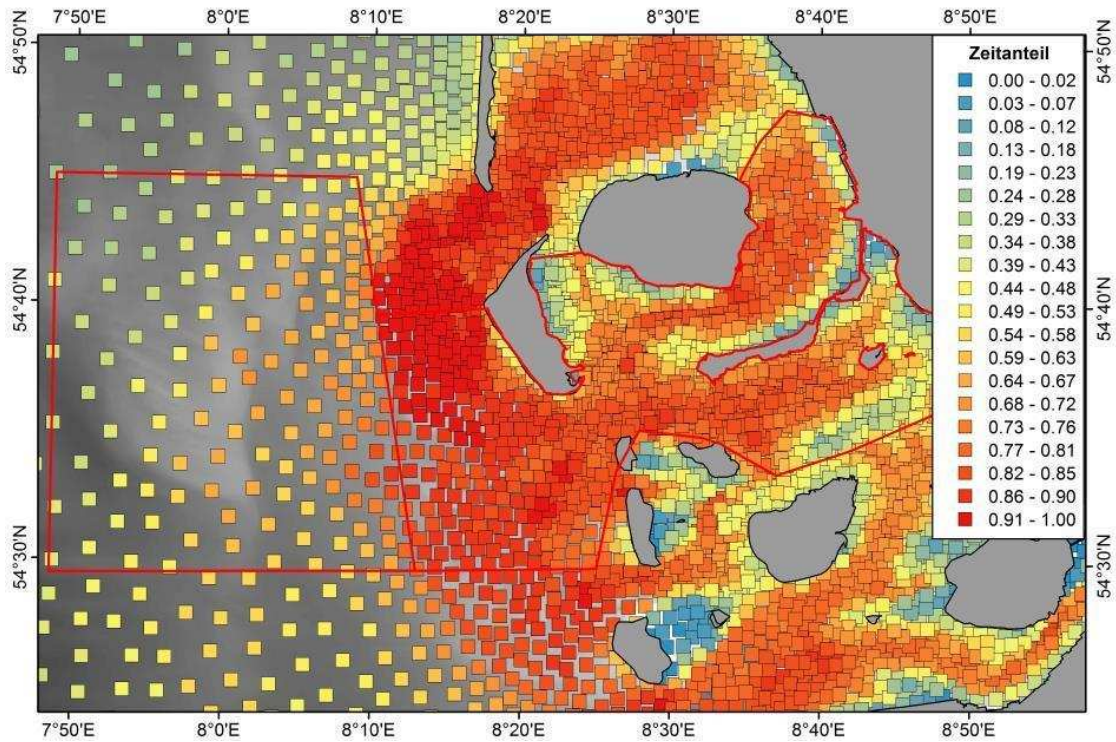


Abbildung 50: Zeitanteil der kritischen Schubspannung als Maß der Dauer des Sedimenttransportes. Datenquelle: Küsters & Winter (2014).

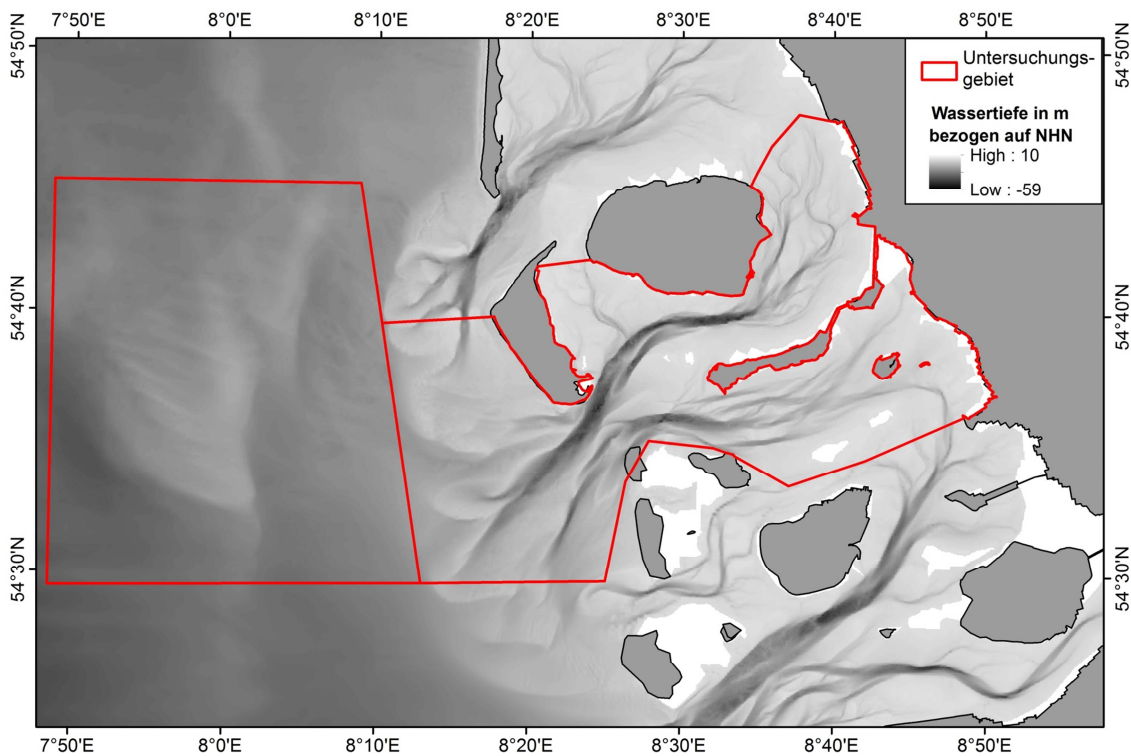


Abbildung 51: Bathymetrie im Untersuchungsgebiet bezogen auf Normalhöhennull (NHN). Datenquelle: BSH.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

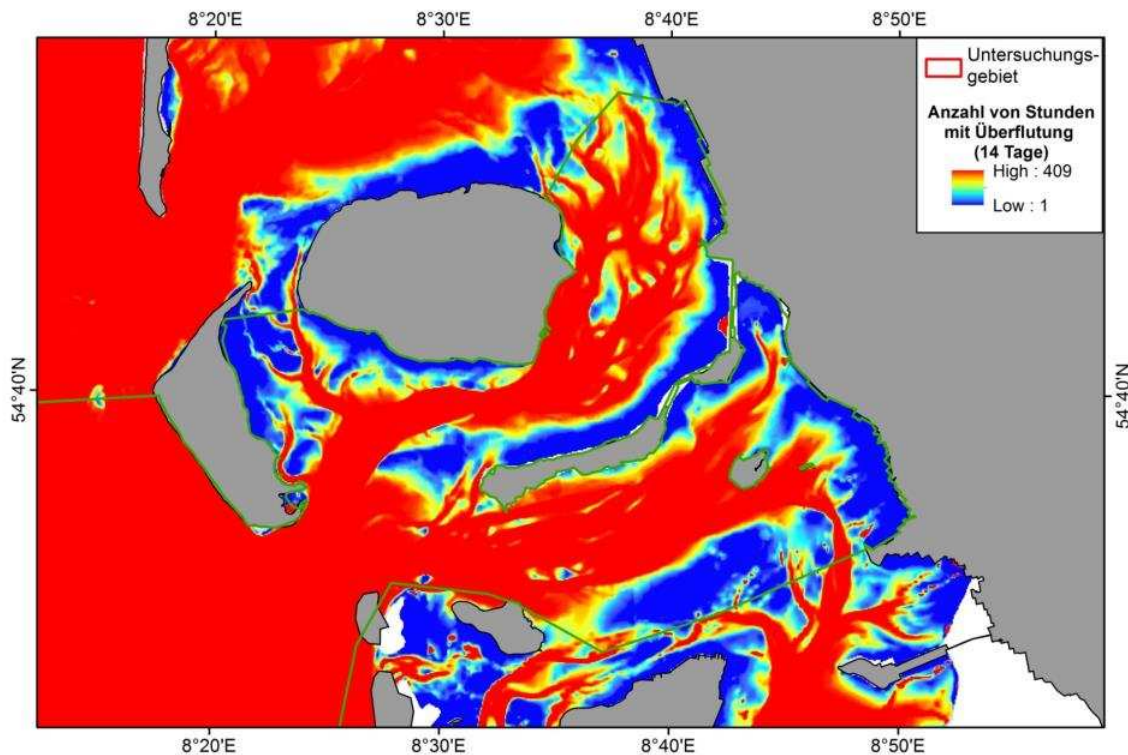


Abbildung 52: Überflutungszeit von Wattflächen ausgedrückt als Stunden mit Wasserbedeckung während eines 14 Tage langen Tidenzyklus. Datenquelle: MOSSCO.

2.1.5 FUNKTIONALE MODELLE (AP4)

Im Rahmen des Vorhabens wurden nicht nur Verbreitungskarten von Sediment, Makrobenthos und Vögeln im Sublitoral und in der Gezeitenzone entwickelt (Küstenmeeratlas). Die Daten zu den Verbreitungsmustern lieferten auch die Grundlage für die Entwicklung funktionaler Zusammenhänge innerhalb der Kaskade Sediment – Benthos – Vogel. Für die Beschreibung dieser funktionalen Zusammenhänge wurden statistische Modelle aufgestellt. Zum einen wurde damit die Frage beantwortet, welche Parameter das Auftreten von wichtigen Habitatstrukturen innerhalb der Gezeitenzone und des Sublitorals steuern bzw. welche Zusammenhänge zu den Vögeln als Top-Prädatoren bestehen, die diese Strukturen nutzen. Zum anderen dienen diese Daten als Ausgangsparameter zur Quantifizierung und Bewertung des Nahrungsnetzes in verschiedenen Bereichen der Gezeitenzone. Dazu wurde das Verfahren der Ökologischen Netzwerkanalyse (ENA) angewendet.

2.1.5.1 HABITATMODELLIERUNG

Ziel der Habitatmodellierung war es aufzuschlüsseln, welche hydrodynamischen und geologischen Parameter das Auftreten von bestimmten Habitattypen (also Charakter bildenden Makrobenthosarten) im Eu- und Sublitoral des Untersuchungsgebietes erklären können.

Des Weiteren konnte mit Hilfe derselben abiotischen Parameter das Auftreten von Vögeln in den jeweiligen Habitaten erklärt werden. Neben den abiotischen Parametern können zur Modellierung von Vogel-Hotspots als weitere Prediktoren die Abundanz und/oder Biomasse von wichtigen Beuteorganismen von Vögeln genutzt werden.

Bei ausreichender Modellgüte sind die Modelle außerdem in der Lage, Vorhersagen über das Auftre-

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

ten von Habitaten und Vögeln in nicht beprobten Bereichen zu treffen.

Habitatmodelle für das Makrozoobenthos

Die Untersuchungen zu den trophischen Beziehungen zwischen den betrachteten Vögeln und dem Makrozoobenthos zeigten insgesamt eine übergeordnete Bedeutung von Herzmuscheln. Diese Nahrung war sowohl für Eiderenten (und in geringerem Maße für Trauerenten im Übergang zur Gezeitenzone wichtig. Weiterhin nutzten vor allem Silbermöwen und Austernfischer diese Nahrungsquelle im Gezeitenbereich. Neben Herzmuscheln waren Schwertmuscheln besonders für Trauerenten und in geringerem Maße auch für Silbermöwen und Austernfischer eine bedeutende Nahrungsquelle.

Um die Zusammenhänge zwischen Sediment – Makrozoobenthos – Vögeln genauer aufzudecken, wurde also zunächst für diese beiden Makrozoobenthosarten jeweils ein Habitatmodell aufgesetzt. Diese beiden Arten wurden auch deshalb ausgewählt, weil sie durch Methoden der Fernerkundung aufgrund ihrer endobenthischen Lebensweise nicht detektierbar sind. Ziel der Modelle war es, genau zu beschreiben, welche Umweltfaktoren das Auftreten dieser Arten im gesamten Untersuchungsgebiet steuern. Hierfür wurden die in Kapitel 2.1.4 beschriebenen hydrodynamischen Parameter (maximale Schubspannung, Zeitanteil maximaler Schubspannung, Bathymetrie, Überflutungszeit von Wattflächen) als Vorhersageparameter (Prediktor) verwendet. Darüber hinaus wurden die sedimentologischen Daten, welche im Sublitoral (vgl. 2.1.2) und im Gezeitenbereich (vgl. 2.1.3) kartiert wurden als Prediktor genutzt. Für die Modelldurchläufe wurde hierfür die Verteilung des Feinsandanteils (0,63 – 0,2 mm Korngröße) im gesamten Untersuchungsgebiet zu Grunde gelegt.

Statistisches Vorgehen

Die Abundanz und Biomasse von Schwertmuscheln wurde im Sublitoral mit einem Van-Veen-Backengreifer beprobt, der eine Fläche von 1.000 cm² hatte. Im Eulitoral kam eine Stechröhre mit einer Gesamtfläche von 107,5 cm² zum Einsatz. In benthologischen Studien ist es üblich, Abundanzen und Biomassen auf einen ganzen Quadratmeter hoch zu rechnen. Abweichend hierzu wurden die Werte für die Habitatmodellierung auf 1/10 m² bezogen. Dies hatte den folgenden Hintergrund: Würden Abundanzwerte von Proben, die mit dem Stechröhr genommen wurden auf einen Quadratmeter hoch gerechnet, so würde eine einzige Muschel im Proberöhr einer Dichte von 93 Individuen pro m² entsprechen. Wäre keine Muschel in der Stechröhre, entspräche die Abundanz 0 Individuen pro m². In Gebieten mit geringen Dichten gibt es eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass per Zufall (aufgrund der geklumpten Verteilung) in einer der Proben keine *Ensis* enthalten war, während in einem ähnlichen Gebiet in der Nähe in der Probe eine einzige *Ensis* festgestellt werden konnte. Dies würde beim Hochrechnen auf einen Quadratmeter zu Werten zwischen 0 und 93 Individuen pro m² führen. Dies würde einen starken räumlichen Gradienten in der Schwertmuschelverteilung widerspiegeln, der real nicht existent war. Um dieses methodische Problem zu vermeiden, wurden daher alle Werte auf 1/10 m² hochgerechnet.

Für die Modelle wurden Gemischte Generalisierte Additive Modelle (GAMM) im frei verfügbaren Statistikprogramm R (Version 3.2.2; R Development Core Team 2014) unter Verwendung des Paketes mgcv eingesetzt, die Längen- und Breitengrade als Autokorrelationskoeffizient verwendeten (Wood 2006). Damit wurde für die räumliche Autokorrelation, also für die größere Ähnlichkeit, die Proben in dichter Nachbarschaft aufweisen, korrigiert. Als Abhängige wurden in den Modellen jeweils die Parameter Schwertmuschelabundanz und –biomasse sowie Herzmuschelabundanz- und biomasse verwendet. Dafür wurden Mittelwerte aus den Replikaten einer jeweiligen Probestation berechnet.

Folgende Prediktoren, deren räumliche Ausprägung in Kapitel 2.1.4 genauer beschrieben ist, fanden

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Verwendung:

1. Bodenschubspannung, ausgedrückt als tau 95: das ist das 95. Perzentil der örtlichen Bodenschubspannung in N/m², welche auf 1 m² Meeresboden wirkt.
2. Zeitanteil der auftretenden Bodenschubspannung, ausgedrückt als BSSI: das ist der prozentuale Anteil der Zeit, in dem die Bodenschubspannung den kritischen Wert für erosive Prozesse erreicht – sie erreicht Werte zwischen 0 (zu keiner Zeit tritt kritische Bodenschubspannung auf) und 1 (kritische Bodenschubspannung tritt die gesamte Zeit über auf).
3. Wassertiefe in m, bezogen auf Normalhöhennull, ausgedrückt als bathymetry.
4. Überflutungszeit von Wattflächen, ausgedrückt als time covered.
5. Anteil des Feinsandgehaltes, ausgedrückt als proportion fine sand: um diesen Anteil zu bestimmen, wurde eine Sedimentprobe von ca. 200 g an den Benthosprobestationen entnommen. Die Proben wurden im Labor mit Wasserstoffperoxid gespült, um organische Reste zu entfernen. Danach wurden die Proben getrocknet, das Trockengewicht wurde bestimmt und die Proben wurden über eine Siebkaskade gegeben. Der Anteil mit der Korngröße zwischen ≥63 µm und 0,2 mm wurde erneut gewogen und der Anteil dieser Sedimentfraktion an der Gesamtprobe bestimmt. Der Feinsandanteil beschreibt die sedimentologischen Verhältnisse über den gesamten Gradienten des Untersuchungsgebietes am besten.

Die Modellierung erfolgte für ein Raster von 125 x 125 m, welches über das gesamte Untersuchungsgebiet gelegt wurde. Für jede Rasterzelle wurde der Wert eines jeden Prediktors bestimmt. Da die Ausgangsdaten für Wassertiefe und Überflutungszeit auf einem 50 x 50 m Raster zur Verfügung standen, wurde für jede Modellrasterzelle der Mittelwert dieser beiden Parameter berechnet. Beide Schubspannungsparameter lagen in einem Raster von 1 x 1 km im Küstenbereich bzw. in einem Raster von 3 x 3 km im küstenfernen Bereich vor. Um Schubspannungswerte für jede Modellrasterzelle zu generieren, wurden mit Hilfe eines GAM unter Verwendung der Längen- und Breitengrade die Schubspannungswerte interpoliert. Anschließend wurde für jede Modellrasterzelle unter Zuhilfenahme der Prediction-Funktion des GAM (Wood 2006) ein Wert für beide Schubspannungsparameter vorhergesagt. Die Modellfunktion zur Interpolation der Schubspannungswerte hatte die Form:

$$\text{logit}(E[\tau_{95,i}]) = f_1(\text{Longitude}_i, \text{Latitude}_i) + f_2(\text{Longitude}_i) + f_3(\text{Latitude}_i) \quad (1)$$

Dabei ist τ_{95} die Bodenschubspannung, Longitude und Latitude sind die geographischen Koordinaten des Rasters der Bodenschubspannung, i ist die Probennummer und f_1 bis f_5 sind die smoothing functions des GAM. Das GAM wurde mit einer Normalverteilung für die Abhängige angepasst. Für den Parameter Zeitanteil der auftretenden Bodenschubspannung wurde das gleiche Verfahren benutzt, nur mit dem Unterschied, dass eine Quasibinomialverteilung angepasst wurde, da die Zeitanteile Werte zwischen 0 und 1 annehmen konnten.

Der Prediktor Feinsandanteil lag mit vergleichsweise unregelmäßigen Punkten über das Untersuchungsgebiet verteilt (s. 2.1.2 und 2.1.3). Wie für die Schubspannung wurde auch für den Feinsandanteil eine Vorhersage auf das Modellraster durchgeführt. Dabei wurden allerdings nicht nur die Längen- und Breitengrade verwendet, sondern die Sedimentverteilung mit den beiden Schubspannungsparametern, der Wassertiefe und der Überflutungszeit in Abhängigkeit gebracht. Es wurde eine Quasibinomialverteilung verwendet. Das zu Grunde liegende Modell hatte die Form:

$$\text{logit}(E[\text{proportion fine sand}]) = f_1(\text{Longitude}_i, \text{Latitude}_i) + f_2(\text{Bathymetry}_i) + f_3(\text{time covered}_i) + f_4(\tau_{95,i}) + f_5(\text{BSSI}_i) \quad (1)$$

Dabei ist $\text{proportion fine sand}$ der Feinsandanteil, Longitude und Latitude sind Längen und Breitengrade der Probepunkte time covered ist die Zeit, welche Wattflächen überflutet waren, Bathymetry

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

ist die Wassertiefe, τ_{95} ist die Schubspannung in N / m^2 , $BSSI$ ist der Zeitanteil des Auftretens kritischer Schubspannung.

Vor Beginn der Modellierung wurden alle Prediktoren mit Hilfe des Paketes `car` (Fox & Weisberg 2011) auf ihre Kollinearität hin untersucht, indem ein Wert für vif berechnet wurde. Falls der vif -Wert größer als 5 betrug und somit eine Kollinearität zwischen zwei Prediktoren angezeigt war, wurde ein Interaktionsterm für die betreffenden Prediktoren eingefügt oder einer der Prediktoren aus dem Modell entfernt (Fox & Weisberg 2011). Es wurden `thin plate regression splines` als `smoothing functions` des GAM verwendet (für mehr Details zu GAMs s. Wood 2006). Die folgende Modellfunktion wurde für das finale Modell angewendet:

$$\text{logit}(E[\text{Ensis mean}_i]) = f_1(\tau_{95}_i) + f_2(BSSI_i) + f_3(\text{time covered}_i) + f_4(\text{proportion fine sand}_i) + f_5(\text{Bathymetry}_i, \text{corGaus}(\text{Latitude+Longitude})) \quad (3)$$

Dabei ist *Ensis mean* die mittlere Abundanz bzw. mittlere Biomasse von Schwertmuscheln und *corGaus* der Autokorrelationskoeffizient aus Längen- und Breitengraden der Probepunkte. Die übrigen Bezeichnungen entsprechen denen in Gleichung (2). Um eine annähernde Normalverteilung zu erreichen wurde die Abhängige einer Logarithmus-Transformation unterzogen.

Die Modellauswahl erfolgte auf Basis der geringsten mittleren Fehlerwerte der Residuen und auf dem höchsten Pearson Korrelationskoeffizienten. Nähere Details zur Modellselektion sind in Schwemmer et al. (2016a) beschrieben. Das Modell wurde validiert, indem das Untersuchungsgebiet in einen nördlichen und südlichen Teil separiert wurde. Der nördliche Teil enthielt dabei die Modell-daten und der südliche die Daten eines Testdatensatzes (Abbildung 53). Zur Validierung wurde das Modell nur mit den Daten aus dem nördlichen Gebiet aufgestellt und dann mit den Daten des südlichen Gebietes überprüft. Dafür wurden 250 Permutationen mit 10 % der Daten aus den jeweiligen Gebieten zu Grunde gelegt. Das beste Modell (basierend auf dem Wert von k , der Basis des `smoothing Terms` in der GAM-Funktion) mit dem geringsten Wert des mittleren quadrierten Vorhersagefehlers und der höchsten Korrelation mit dem Testdatensatz wurde schließlich als finales Modell gewählt (vgl. Schwemmer et al. 2016a).

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

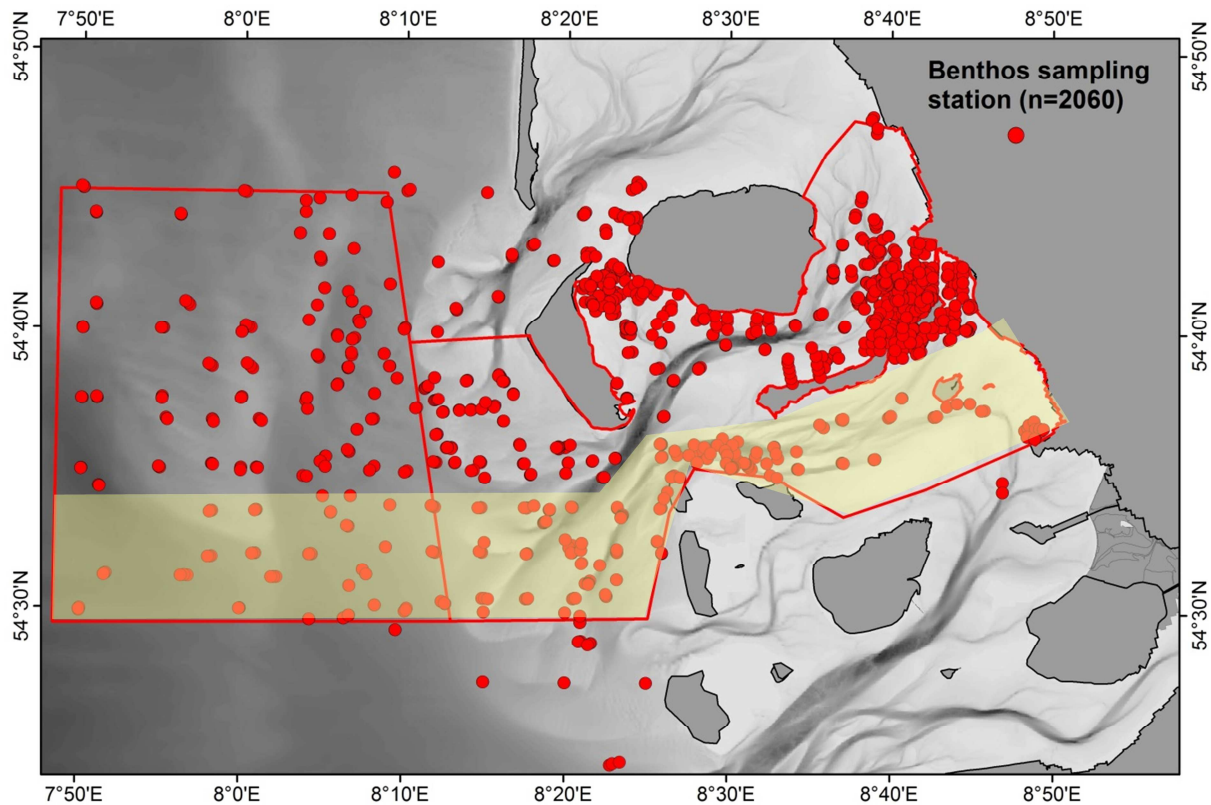


Abbildung 53: Modellvalidierung durch Unterteilung des Gesamtdatensatzes in einen nördlichen Modelldatensatz und einen südlichen Testdatensatz.

Nach Identifizierung des besten Gesamtmodells wurden die Abundanz bzw. Biomasse von Schwertmuscheln bzw. Herzmuscheln auf das Modellraster vorhergesagt. Dies führte zu einer Karte des Habitatpotentials.

Habitatmodell für Schwertmuscheln

Das Modell für die Schwertmuschelabundanz konnte nur für einen Bereich östlich der 10 m Tiefenlinie angepasst werden, da die Prediktoren im Offshore-Bereich zu uniform waren und das Modell nicht konvergierte.

Die Prediktoren Bodenschubspannung, Zeitanteil der kritischen Bodenschubspannung und Überflutungsdauer hatten einen signifikanten Einfluss auf die Abundanz von Schwertmuscheln. Die Abundanz von Schwertmuscheln nahm mit steigender Bodenschubspannung ab (Abbildung 54). Der Schwellenwert von weniger als im Mittel zu erwarteten Schwertmuscheln lag hier bei ca. 1.5 N/m² Bodenschubspannung. Im Gegensatz dazu stieg die Abundanz von Schwertmuscheln ab einem Anteil von etwa 70 % Zeit des Auftretens kritischer Schubspannung stark an (Abbildung 54). Der Einfluss von Überflutungsdauer auf die Schwertmuschelabundanz war nicht ganz so eindeutig (erkennbar an einem breiten Konfidenzintervall). Es wurde jedoch deutlich, dass die Schwertmuschelabundanz ab einem Zeitanteil von mehr als 90% Wasserbedeckung der Wattflächen deutlich über dem mittleren Vorhersagewert lag (Abbildung 54).

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

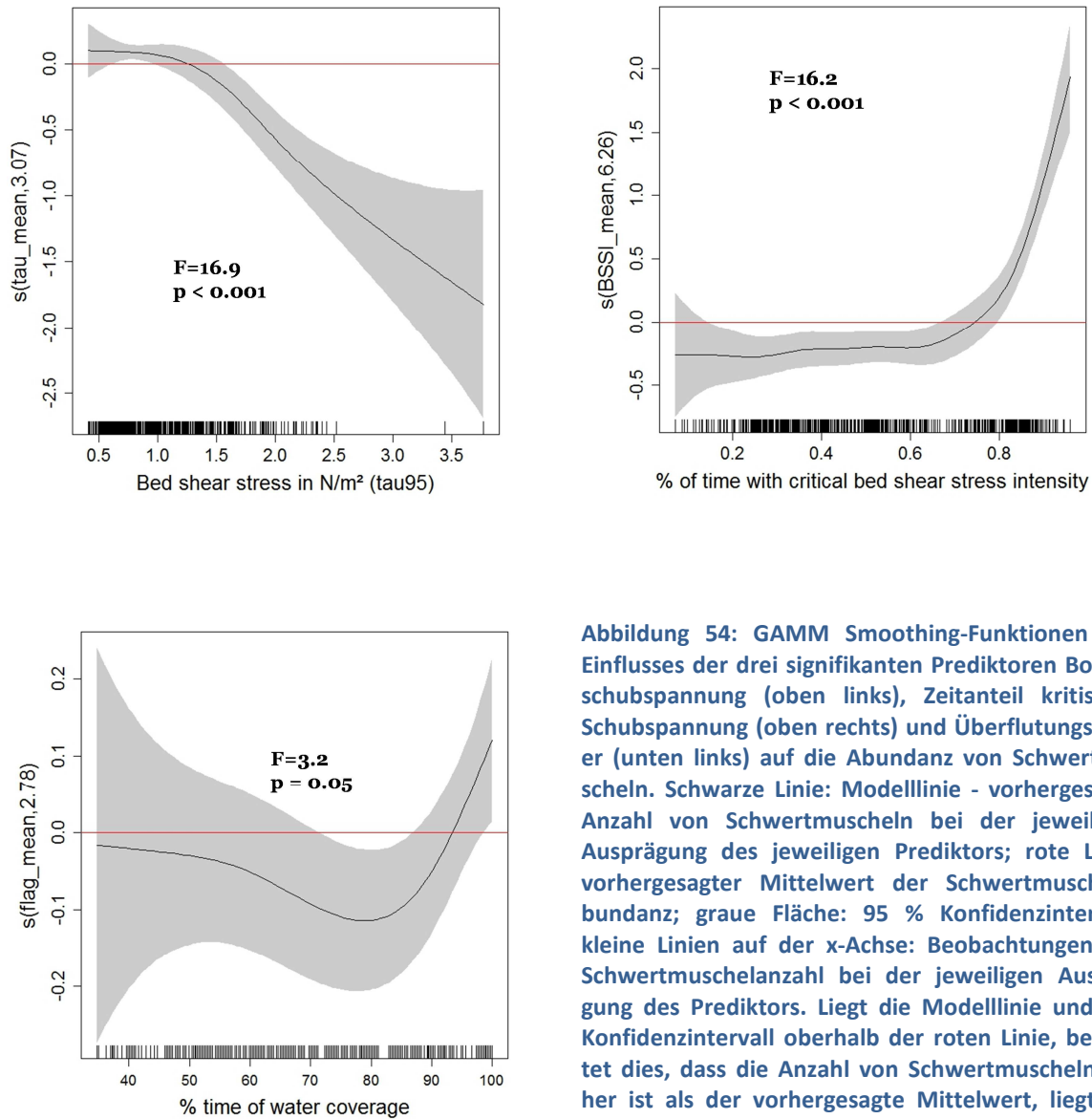


Abbildung 54: GAMM Smoothing-Funktionen des Einflusses der drei signifikanten Prediktoren Bodenschubspannung (oben links), Zeitanteil kritischer Schubspannung (oben rechts) und Überflutungsdauer (unten links) auf die Abundanz von Schwertmuscheln. Schwarze Linie: Modelllinie - vorhergesagte Anzahl von Schwertmuscheln bei der jeweiligen Ausprägung des jeweiligen Prediktors; rote Linie: vorhergesagter Mittelwert der Schwertmuschela-bundanz; graue Fläche: 95 % Konfidenzintervall, kleine Linien auf der x-Achse: Beobachtungen der Schwertmuschelanzahl bei der jeweiligen Ausprägung des Prediktors. Liegt die Modelllinie und das Konfidenzintervall oberhalb der roten Linie, bedeutet dies, dass die Anzahl von Schwertmuscheln höher ist als der vorhergesagte Mittelwert, liegt die Kurve darunter, bedeutet dies, weniger Schwertmuscheln.

Das angepasste Modell zeigte eine Korrelation mit dem Testdatensatz von 0.20 und eine mittleren quadrierten Residuenfehler von 0.6 sowie eine erklärte Varianz von $R^2 = 0,37$.

Das Habitatmodell sagte besondere Schwerpunkte von Schwertmuscheln im Sublitoral vor den Inseln und Außensänden im Untersuchungsgebiet vorher (Abbildung 55). Des Weiteren lagen kleinere Hots-Spots entlang der großen Prielsysteme von Norder- und Süderau. In großen Teilen des Gezeitenbereiches sollten laut Habitatmodell keine bzw. sehr geringe von Schwertmuscheln auftreten. Lediglich im Bereich der Föhler Ley wurden etwas erhöhte Dichten von Schwertmuscheln vorhergesagt.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

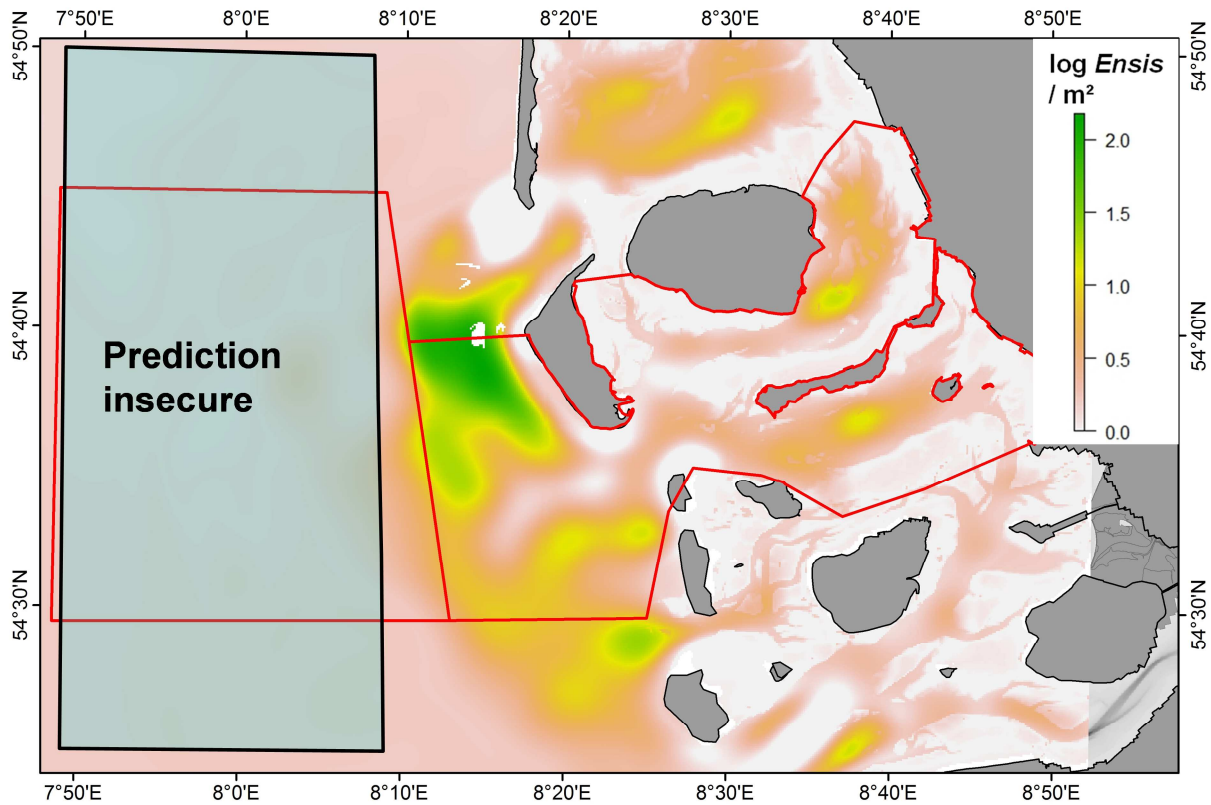


Abbildung 55: Vorhergesagte Schwertmuschelhabitate, basierend auf der vorhergesagten Anzahl von Schwertmuscheln (Daten sind logarithmisch dargestellt).

Für die ENA war es von besonderer Bedeutung, die Flächengrößen von unterschiedlichen Habitattypen im Eulitoral zu erfahren. Da sich Schwertmuscheln und Herzmuscheln aufgrund ihrer endobenthischen Lebensweise nicht durch die Fernerkundung erfassen lassen, wurden die Ergebnisse des Habitatmodells zu Grunde gelegt. Hierzu wurden Bereiche mit einer vorhergesagten Dichte von mehr als 3 Schwertmuscheln / m² betrachtet. Die Gesamtfläche im Gezeitenbereich mit dieser Dichte wurde auf 31,5 km² vorhergesagt (Abbildung 56). Die Flächen lagen v.a. entlang von Prielen im tief gelegenen Eulitoral. Insbesondere tief liegende Sandbänke innerhalb der großen Prielsysteme wurden als potentielle Habitate für *Ensis* vorhergesagt.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

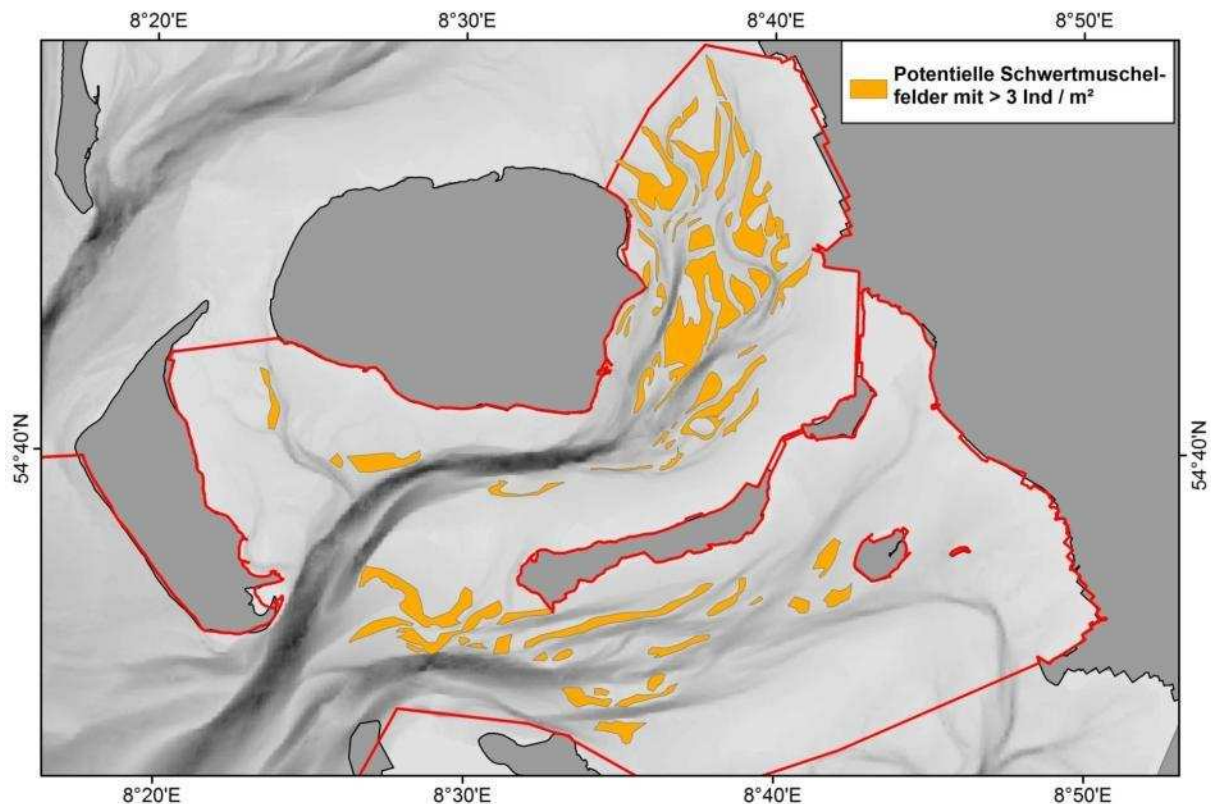


Abbildung 56: Lage potentieller Schwertmuschelfelder mit mehr als 3 Individuen / m² im Gezeitenbereich.

Habitatmodell für Herzmuscheln

Für das Herzmuschelmodell wurden nur Daten östlich bis zur 10 m Tiefenlinie ausgewählt, da westlich davon keine Herzmuscheln mehr vorkamen. Der Test auf Kollinearität zeigte für diesen Datensatz einen Wert über 5 für die Bodenschubspannung. Dieser Parameter wurde daher aus dem Modell entfernt. Die Modellselktion wurde wie oben für die Schwertmuscheln beschrieben vorgenommen. Im finalen Modell blieben die beiden Prediktoren Zeitanteil kritischer Schubspannung und Überflutungszeit übrig. Die Herzmuschelabundanz nahm mit ansteigendem Zeitanteil kritischer Bodenschubspannung stetig ab. Die Abundanz von Herzmuscheln lag weit unter dem vorhergesagten Mittel in Bereichen mit geringer Wasserbedeckung.

Das Habitatmodell sagte größere Anzahlen von Herzmuscheln in bestimmten Bereichen der Gezeitenzone voraus. Diese lagen vor allem im Rückseitenwatt der Inseln, größtenteils in einem Streifen im mittel hoch gelegenen Eulitoral. Hier wird der Einfluss der Überflutungszeit sehr deutlich, und es ist erkennbar, dass tief gelegene Eulitoralflächen und sehr hoch gelegene Bereiche für Herzmuscheln keine geeigneten Habitate darstellen. In den übrigen Bereichen können Herzmuscheln jedoch hohe Dichten erreichen.

Habitatmodelle für Vögel

Habitatmodell für Austernfischer

Für Austernfischer wurde ein Habitatmodell für das besonders intensiv untersuchte Gebiet um die Hallig Oland entwickelt. Als Abhängige diente die Dichte von Austernfischern in Rasterzellen der Größe von 500 x 500 m. Das Auftreten von Austernfischern in jeder einzelnen Rasterzelle basierte auf den Daten der GPS-Logger. Falls ein besonderer Austernfischer in der betreffenden Modellrasterzel-

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

le festgestellt werden konnte, wurde diese Zelle als ein Präsenzwert im Modell verwendet. Traten keine Austernfischer in der jeweiligen Rasterzelle auf, wurden diese als Absenzwert in das Modell integriert. So entstand eine Binomialverteilung. Die Präsenz von Austernfischern wurde mit den Prediktoren Anzahl von Herz- und Schwertmuscheln, Biomasse von Herz- und Schwertmuscheln, Distanz zur Brutkolonie, Überflutungszeit von Wattflächen und Anteil der Sandfraktion kleiner 63 µm in Verbindung gebracht. Die Prediktoren, welche ein räumlich gröberer Auflösung vorlagen als das Modellraster (Anzahl und Biomasse der Muscheln sowie Anteil der Sandfraktion kleiner 63 µm) wurde mittels eines GAM in die Fläche interpoliert. Dafür wurde das gleiche Vorgehen verwendet, wie es bei den Schubspannungswerten (Gleichung (1)) angewendet wurde. Auf diese Weise lag für jede Modellrasterzelle die Information über die dort vorherrschenden biotischen oder abiotischen Prediktoren vor.

Es gab deutliche Überschneidungen zwischen der Anzahl und Biomasse von Herzmuscheln bzw. Schwertmuscheln und dem Auftreten von Austernfischern im Gebiet rund um Oland. Die höchsten Abundanzen von Muscheln wurden in einem Gebiet östlich des Lorendamms zur Hallig angetroffen. Hier fand sich auch ein deutlicher Schwerpunkt von Austernfischern. Darüber hinaus nutzen Austernfischer besonders intensiv den Bereich mit den höchsten Biomassen. Dieser lag auf einer Sandbank im Bereich der Norderaue und wurde von einem Schwertmuschelfeld mit extrem hohen Biomassen gebildet.

Mit Hilfe eines GAM wurden die Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Austernfischern und den Umweltfaktoren genauer quantifiziert. Die Antreffwahrscheinlichkeit von Austernfischern stieg sowohl mit zunehmender Abundanz als auch Biomasse von Herz- und Schwertmuscheln stark an. Die Antreffwahrscheinlichkeiten sanken mit zunehmender Distanz vom Brutplatz und erreichten Werte unterhalb des gesamten Mittels bei mehr als 1.500 m Entfernung, stiegen jedoch bei etwa 4.000 m Entfernung wieder an. Dieser Anstieg dürfte durch die besonders relevante Schwertmuschelbank in etwa 4 km Entfernung vom Brutgebiet hervorgerufen worden sein. Die Antreffwahrscheinlichkeit für Austernfischer erreichte in Bereichen mit mittleren Überflutungsdauern ein Minimum, während sie in besonders hoch und tief gelegenen Bereichen über dem gesamten Mittel lag. Austernfischer nutzen offensichtlich in hohem Maße zu Niedrigwasser tief gelegene Wattflächen, bei voranschreitender Wasserbedeckung nutzen sie dann vermehrt Gebiete, die nahe an ihrem Brutterritorium auf hohen Wattflächen lagen. Schließlich waren Austernfischer vor allem in besonders sandigen Bereichen (mit einem geringen Schlickanteil) anzutreffen sowie gleichzeitig in besonders schlickigen Gebieten. Diese bimodale Nutzung von Gebieten unterschiedlicher Sandfraktionen war vor allem auf die hohe Bedeutung des Schwertmuschelfeldes auf der Sandbank im Prielsystem Norderaue zurückzuführen. Dort lag der Schlickanteil bei einem Minimum. In den übrigen von Austernfischern genutzten Gebieten lag der Schlickanteil um ein Vielfaches höher, während Austernfischer kaum in Bereichen mit mittleren Schlickanteilen anzutreffen waren.

Diese genannten Zusammenhänge wurden bereits in Schwemmer et al. (2016a) publiziert und sind dort auch grafisch dargestellt.

2.1.5.2 ÖKOLOGISCHE NAHRUNGSNETZANALYSE

Im Rahmen des Arbeitspaketes 4 wurden eulitorale Nahrungsnetze mit Hilfe der Ökologischen Netzwerk Analyse (ENA) untersucht. ENA stellt hierbei unterschiedliche Indizes zur Verfügung, um die Nahrungsnetze im Hinblick auf Struktur, Organisation, Resilienz und Nachhaltigkeit zu beschreiben. In einem ersten Schritt wurden in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Ornithologie des FTZ Büsum sechs unterschiedliche Lebensräume ausgewählt (z.B. Herzmuschelfeld, Schwertmuschelfeld, Schlickwatt, Miesmuschelbank, Sandwatt und Seegrasswiese) auf denen neben der Untersuchung der

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Sedimenteigenschaften und der Benthosgemeinschaften auch eine regelmäßige Zählung der nahrungssuchenden Vögel erfolgte. Die Daten dienten als Grundlage zur Erstellung von Nahrungsnetzmodellen für alle sechs Wattenmeer-Lebensräume, um Unterschiede und Gemeinsamkeiten in der Funktion festzustellen. Die Ausdehnung der sechs Lebensräume im Projektgebiet wurde mit Hilfe von Fernerkundungsdaten aus dem SAMOWatt-Projekt (i.e. Schlickwatt, Muschelbank, Sandwatt, Seegraswiese) und Ergebnissen der Habitatmodellierung (i.e. Herzmuschelfeld, Schwertmuschelfeld) ermittelt, um ein Gesamtmodell des Projektgebietes zu erstellen. Abschließend wurde der Einfluss der Vögel auf das Projektgebiet in einem Modellansatz untersucht.

Bei der Analyse der unterschiedlichen Lebensräume konnten sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede in der Funktionalität festgestellt werden.

Alle untersuchten Lebensräume befinden sich in einem ausgeglichenen Zustand zwischen Organisationsgrad, um Energieressourcen effektiv zu nutzen, und freier Energie, um auf Störungen zu reagieren (Abbildung 57). Dies weist auf eine nachhaltige Systemstruktur der Wattenmeer-Lebensräume hin und auf die Fähigkeit, Belastungen standzuhalten.

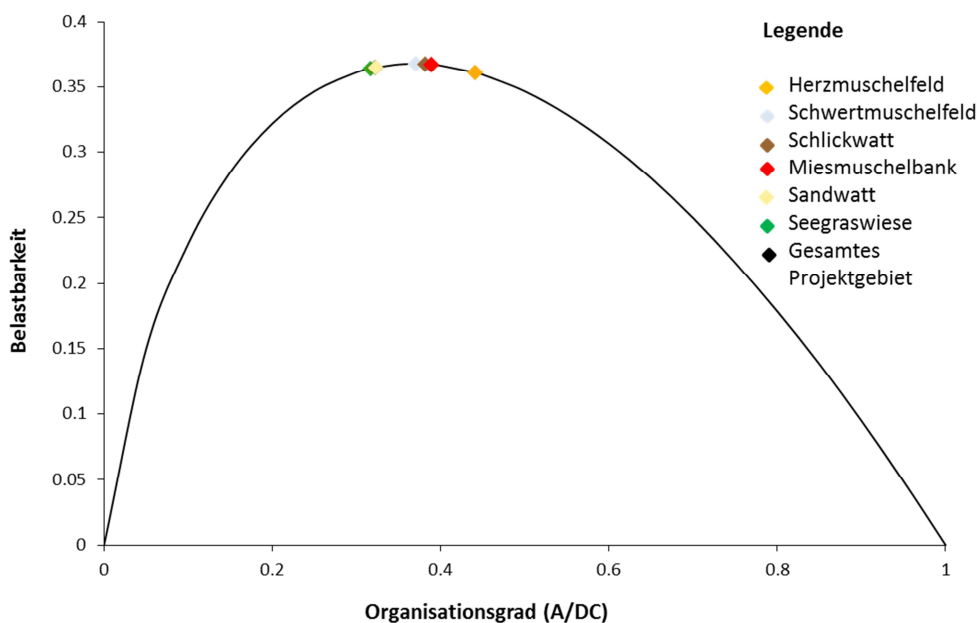


Abbildung 57: Beziehung der Systeme zwischen Organisationsgrad und Belastbarkeit, nach Fath (2015)

Die Systeme unterscheiden sich jedoch in ihrem detaillierten Aufbau. Herzmuschelfeld und Miesmuschelbank sind sehr komplexe Systeme mit einer hohen Biodiversität und viel gespeicherter Energie. Beide Systeme haben eine diverse und redundante Flusstruktur, sind jedoch zeitgleich abhängig von permanentem Phytoplankton-Import von der offenen Nordsee, um funktionstüchtig zu bleiben.

Schwertmuschelfelder sind im Wattenmeer noch relativ junge Lebensräume, welche von *E. directus* charakterisiert werden. *E. directus* ist in den späten siebziger Jahren in das Wattenmeer eingewandert und mittlerweile fester Bestandteil im Nahrungsnetz. Schwertmuschelfelder sind sehr einfach aufgebaute Systeme mit einem geringen Energietransport. Der Großteil der Energie wird vom Phytoplankton über *E. directus* direkt an benthivore Vögel effizient weitergegeben.

Das untersuchte Schlickwatt weist aufgrund der großen Menge an Mikrophytobenthos eine sehr

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

hohe Primärproduktion auf. Das Nahrungsnetz des Schlickwatts war jedoch geprägt von einfachen und kurzen Energiekreisläufen. Aufgrund der fehlenden Redundanz und dem geringen Maß an Recycling von Material ist anzunehmen, dass das Schlickwatt anfällig für Störungen jeglicher Art ist und damit einen sehr dynamischen und unstabilen Lebensraum darstellt.

Das Sandwatt und die Seegraswiese weisen viele Gemeinsamkeiten in ihrer Systemstruktur auf, obwohl es sich um sehr unterschiedliche Lebensräume handelt. Im Vergleich zu den anderen Systemen haben beide Lebensräume einen recht geringen Energiedurchfluss, doch eine sehr komplexe und redundante Flusstruktur. Das vergleichsweise hohe Maß an Recycling lässt weiterhin darauf schließen, dass beide Systeme unabhängig von externen Importen arbeiten können.

Die sechs analysierten Wattenmeer-Lebensräume unterscheiden sich somit deutlich in ihren charakteristischen Merkmalen und Aufgaben. Die Vielfalt unterschiedlicher Lebensräume im Wattenmeer scheint demnach von großer Bedeutung zu sein, da jeder Lebensraum im Gesamtökosystem eine andere Rolle einnimmt und in einer bestimmten Art und Weise zu dessen Funktion beiträgt.

Das Nahrungsnetz des gesamten STOP-Gebietes scheint derzeit – vermutlich auch auf Grund der vielfältigen Lebensräume – in einem guten und belastbaren Zustand zu sein mit einer komplexen und diversen Flusstruktur, welche durch hohe Redundanz und Konnektivität geprägt ist. Allerdings ist das System aufgrund der Dominanz an Filtrieren in der Benthosgemeinschaft sehr abhängig von regulären Phytoplankton-Importen. Weiterhin können dauerhafte anthropogene Einflüsse (e.g. Verschmutzung, Überfischung) das System nachhaltig schädigen.

Das Projektgebiet ist zudem von großer Bedeutung für eine Vielzahl an unterschiedlichen Vogelarten, welche das Wattenmeer während der Zug- und Brutzeit als Hauptnahrungsquelle nutzen. Während der Großteil der Arten die unterschiedlichen Lebensräume sehr opportunistisch nutzt und sich eher nach der Entfernung zum Brut- und Rastplatz und nach der Dichte der Beuteorganismen richtet, sind einige Vogelarten spezialisiert auf bestimmte Lebensräume. So wurden Säbelschnäbler nur im Schlickwatt beim Fressen beobachtet und Eiderenten sind sehr abhängig von Herzmuschelfeldern und Miesmuschelbänken. Auch hier wird somit die Bedeutung der Lebensraum-Heterogenität deutlich.

Vögel nehmen zudem großen Einfluss auf das Wattenmeer-Nahrungsnetz. Als Top-Prädatoren verursachen sie einen starken direkten Prädationsdruck auf ihre Beuteorganismen. Aber auch indirekte Effekte konnten nachgewiesen werden. So kommt es zu einem Kaskadeneffekt bei dem die Nahrungskonkurrenten der Beuteorganismen durch Vögel positiv beeinflusst werden. Weiterhin wirken die Vögel durch Konkurrenz negativ aufeinander ein. Veränderungen in der Vogelpopulation ziehen dementsprechend Folgen für das gesamte Nahrungsnetz nach sich.

Dies konnte auch in einem Modellversuch nachgewiesen werden, in dem der Einfluss der Vögel auf das Nahrungsnetz variiert wurde. Eine Abnahme in der Vogelpopulation hätte somit zur Folge, dass der Energietransport innerhalb des Nahrungsnetzes über kürzere Wege erfolgen würde, ebenso würde die Diversität und Redundanz der Flüsse abnehmen. Vögel tragen somit maßgeblich zur Stabilisierung des Wattenmeer-Nahrungsnetzes bei.

Die im Projekt ermittelten Ergebnisse der Ökologischen Netzwerk Analyse liefern umfangreiche Einblicke in die Funktion der unterschiedlichen Lebensräume und in die Bedeutung von Top-Prädatoren für das eulitorale Nahrungsnetz. Die Ergebnisse werden als Grundlage dienen, Bewertungsinstrumente für die Beschreibung des derzeitigen ökologischen Zustandes des Wattenmeer-Nahrungsnetzes zu entwickeln (vgl. 2.1.6).

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

2.1.6 BEWERTUNG UND SYNTHESE (AP5)

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Entwicklung von Werkzeugen für die Bewertung von Indikatoren nach den EU-Richtlinien Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL), der Flora-Fauna-Habitatrichtlinie (FFH-RL), der Vogelschutz-Richtlinie (VRL) und der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Vor allem die MSRL-Deskriptoren Meeresboden-Integrität (D6), Biodiversität (D1) und Nahrungsnetz (D4) spielen hier eine wichtige Rolle. Deskriptor 4 beschreibt die Funktionen innerhalb und zwischen den Lebensgemeinschaften und zielt auf eine natürliche Artenzusammensetzung und auf natürlich funktionierende Beziehungen der Organismen im Nahrungsnetz ab.

Ziel ist es, die Ökologische Netzwerkanalyse (ENA) hinsichtlich ihrer Eignung für die Bewertung und Zustandsbeschreibung des Deskriptors 4 der MSRL zu untersuchen sowie Grundlagen für die Entwicklung von Bewertungsinstrumentarien zu schaffen, die nicht nur für das Untersuchungsgebiet anwendbar, sondern auch auf vergleichbare Gebiete innerhalb der Küstenzone übertragbar sind.

Die Ökologische Netzwerkanalyse ermöglicht es in einem ganzheitlichen Ansatz, welcher alle Bestandteile eines Nahrungsnetzes berücksichtigt, Auswirkungen von Störungen (z.B. Fischerei, Eutrophierung, kalte Winter) sowie langfristige, klimatische Veränderungen (z.B. Temperaturanstieg, Meeresspiegelanstieg, Veränderungen der hydrodynamischen Bedingungen) über einen längeren Zeitraum zu erfassen, zu dokumentieren und zu visualisieren.

Somit bietet die ENA die Möglichkeit, Aussagen über die Funktion, Struktur und Stabilität von Nahrungsnetzen zu treffen. Es werden verschiedene Indizes mit der Ökologischen Netzwerkanalysen berechnet, die der Beschreibung und Bewertung bestimmter Vorgänge in einem Ökosystem und dessen Umweltzustandes dienen (Pockberger et al. 2014). Die ENA stellt dabei nicht nur direkte und indirekte Beziehungen zwischen den Organismen, sondern auch den trophischen Status jeder einzelnen Art im Nahrungsnetz dar. Damit wird die ENA den Anforderungen der MSRL gerecht.

Um die Verwendung der ENA und ihrer Indizes für die Bewertung im Sinne der MSRL zu verwenden, wurden in einem ersten Schritt Daten aus dem laufenden Miesmuschelmonitoring im Rahmen des TMAP genutzt. Demonstrationsläufe der ENA für Muschelbänke aus verschiedenen Jahren, die mit vorhandenen Monitoringdaten durchgeführt wurden, dienten als Test zur Orientierung der Aussagekraft der ENA für die Bewertung. Die ENA Modellierungen selber wurde durch den Projektpartner AWI durchgeführt; die Ergebnisse und Verwendung der erzeugten Indikatoren in mehreren Meetings diskutiert. Für eine Bewertung eignen sich sowohl system-spezifische Indikatoren (berücksichtigen die Größe des betrachteten Systems, Habitats, Tidenbecken) sowie normalisierte Indizes (sind unabhängig von der Größe des betrachteten Systems, Habitat, Tidenbecken). Eine erste praktische Anwendbarkeit für folgende ENA Indizes für die Bewertung wurden getestet:

- **Robustness:** Robustheit des Systems. Robustness wird definiert als $R = ASC/CAP \ln ASC/CAP$ und beschreibt eine Kurve zwischen 0 und 1 mit einem Optimum von $ASC/CAP = 0.368$ (Fath 2015). Je näher der Wert am Optimum liegt, umso stabiler und besser organisiert ist das System.
- **Total System Throughput (TSTp):** je höher der Wert, desto höher die Aktivität im System. Der Wert zeigt außerdem, wie sehr die Energie eines Systems in bestimmten Energieflüssen gebunden ist.
- **Ascendency (ASC):** Maß für die Größe, Aktivität und Organisation im System mit Development Capacity (CAP) als maximaler Werte von ASC
- **Flow Diversity (FD):** Maß für die Anzahl der Interaktionen und Gleichmäßigkeit der Energieflüsse
- **Normalized Indices** z. B. ASC/CAP. Diese Indizes eignen sich für den Vergleich zwischen verschiedenen Systemen

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Nach MSRL weisen für den Deskriptor 4 „alle bekannten Bestandteile der Nahrungsnetze der Meere [...] eine normale Häufigkeit und Vielfalt auf und sind auf einem Niveau, das den langfristigen Bestand der Art sowie die Beibehaltung ihrer vollen Reproduktionskapazität gewährleistet“. Diese Merkmale müssen sich in einem Bewertungssystem mithilfe der ENA widerspiegeln. Im Laufe der Diskussionen und Überlegungen für das Bewertungssystem sind verschiedene Fragen aufgetreten, deren Antworten dazu dienen sollen, die Anforderungen des MSRL Deskriptors 4 zu erfüllen. Hierbei ist herauszuarbeiten, wie die Vollständigkeit, Ungestörtheit oder normale Vielfalt eines Nahrungsnetzes zu bemessen und zu bewerten sind. Das Ziel ist es, , Bewertungsmaßstäbe zu definieren, Grenzwerte festzulegen und langfristig Entwicklungen zu erfassen. Diese Fragen sollen im Nachfolgeprojekt bearbeitet werden. Hier werden einige dieser Fragen kurz diskutiert:

Langfristig schädigende Einflussfaktoren

Was muss eigentlich dem System passieren, damit ein Nahrungsnetz nicht mehr funktioniert und welcher Index/welche Indices zeigen diesen Zustand an? Welche Einflüsse tragen zu einer derart starken Störung bei?

Welche Frequenz, Intensität oder kumulativen Effekte von Einflussfaktoren/Stressoren führen dazu, dass ein Nahrungsnetz seine Funktionalität verliert.

Das Bewertungssystem muss auch berücksichtigen, dass es natürliche Schwankungen gibt, die nicht gleich zu einem schlechten ökologischen Zustand führen, sondern es beispielsweise in den Folgejahren wieder zu einer Erholung des Systems kommen kann. Es muss also die zeitliche Komponente der Indikatoren berücksichtigt werden.

Variabilität und Sensitivität der Indikatoren auf Störungen

Um eine nachhaltige Störung des Nahrungsnetzes zu erfassen, müssen die Indizes identifiziert werden, die sensibel auf Störungen reagieren und es ermöglichen Schwellenwerte zu setzen, die neben der räumlichen , natürlichen Variabilität das Nichtfunktionieren des Systems reflektieren und in der Bewertung einen „nicht-guten Zustand“ anzeigen können.

Räumliche Ausdehnung der Nahrungsnetze

Die ENA wird für einzelne Habitate berechnet und es ist zu entscheiden, ob sich die Gesamtbewertung aus den Bewertungen der Einzelrechnungen zusammensetzen soll oder ob die ENA auf ein Gesamtsystem, z.B. ein Tidebecken, angewendet werden soll, um dann dort die Bewertungskriterien anzuwenden. Die Komplexität einer solchen großräumigen und habitatübergreifenden Modellierung erfordert einen sehr komplexen Inputdatensatz. Es stellt sich hier die Frage, in welchen räumlichen Dimensionen die ENA angewendet werden sollte und dies habitatübergreifend oder für einzelne Habitate erfolgen soll. Auch hier wird wieder die Frage zu beantworten sein, mit welchem Ansatz die Vorgaben der MSRL zu erfüllen sind und wie realistisch die Anwendbarkeit sein wird in Hinblick auf die Verfügbarkeit von Inputdaten, der Komplexität und schließlich der Aussagekraft und Bewertung.

Eingangsdaten und Monitoring

Die ENA erfordert einen komplexen Eingangsdatensatz (Arteninventar mit Angaben zur Biomasse in AFTG und Abundanz), aus dem die Biomassedaten (artspezifische Daten zu Konsumption, Produktion, Egestion und Respiration) und Nahrungsmatrizen (Wer frisst wen in welchen Mengen?) erstellt werden. Bei der Beurteilung, ob die ENA ein gutes Werkzeug für eine Bewertung darstellt, wurde daher auch der Frage nachgegangen, ob die Daten, die für die ENA Berechnung notwendig sind, realistisch in einem Monitoring erhoben werden können. Es stellt sich also die Frage, welche ENA-

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Eingabeparameter (Biomasse, Abundanz) müssen im Monitoring dauerhaft erhoben werden und welche räumliche und zeitliche Abdeckung der Erhebung ist erforderlich (Abbildung 58-67)?

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

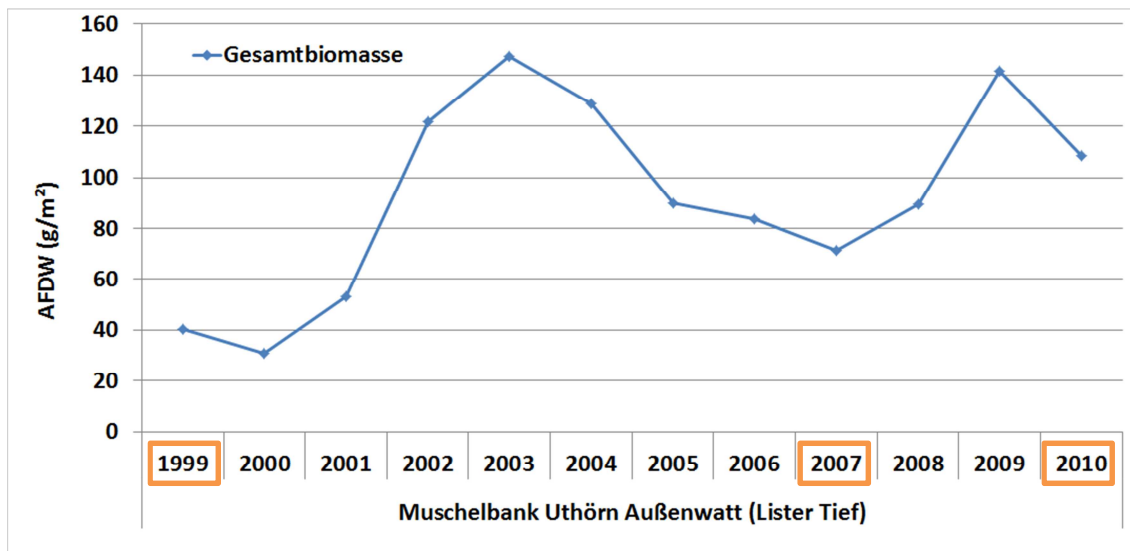


Abbildung 58: Entwicklung der mittleren Biomasse (AFDW in g/m²) der Begleitfauna auf der Bank Uthörn Außenwatt im Lister Tief zwischen 1999 und 2010. Nicht berücksichtigt sind Austern, Miesmuscheln und Sandklaffmuscheln. Die Jahre, für die eine ENA erstellt wurde, sind mit einem orangenen Rahmen gekennzeichnet.

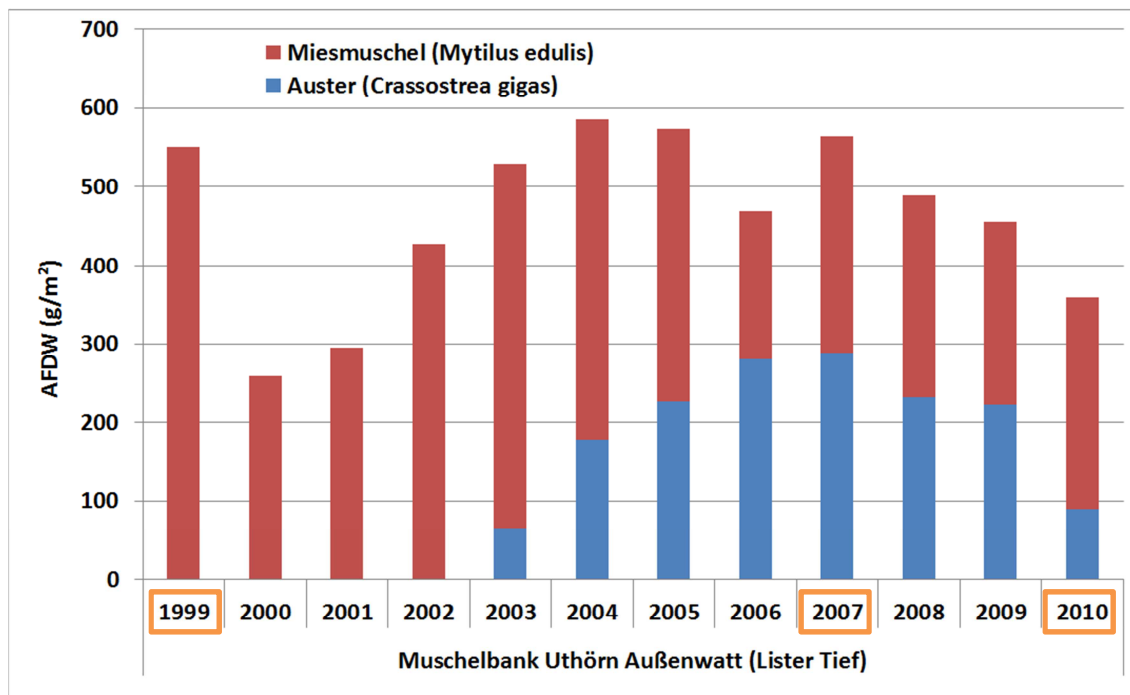


Abbildung 59: Entwicklung der mittleren Biomasse (AFDW in g/m²) von Miesmuscheln und Austern auf der Bank Uthörn Außenwatt im Lister Tief zwischen 1999 und 2010. Die Jahre, für die eine ENA erstellt wurde, sind mit einem orangenen Rahmen gekennzeichnet.

Artspezifische Daten zu Konsumption, Produktion, Egestion und Respiration sind weitgehend in der Literatur vorhanden und verwendbar. Datenlücken sind für invasive Arten vorhanden. Des Weiteren besteht die Notwendigkeit, die Nahrungsmatrix mittels stabiler Isotope bzw. Magenanalysen (z.B. Fische) zu validieren.

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Erste Testläufe zur Anwendbarkeit der ENA wurden mit bestehenden Monitoringdaten von Muschelbänken aus dem Eulitoral für drei verschiedene Jahre (Situationen 1999, 2007, 2010) durch das AWI mittels R package (Ena R; Lau, Borrett, Singh, 2015) durchgeführt Tabelle 4 und

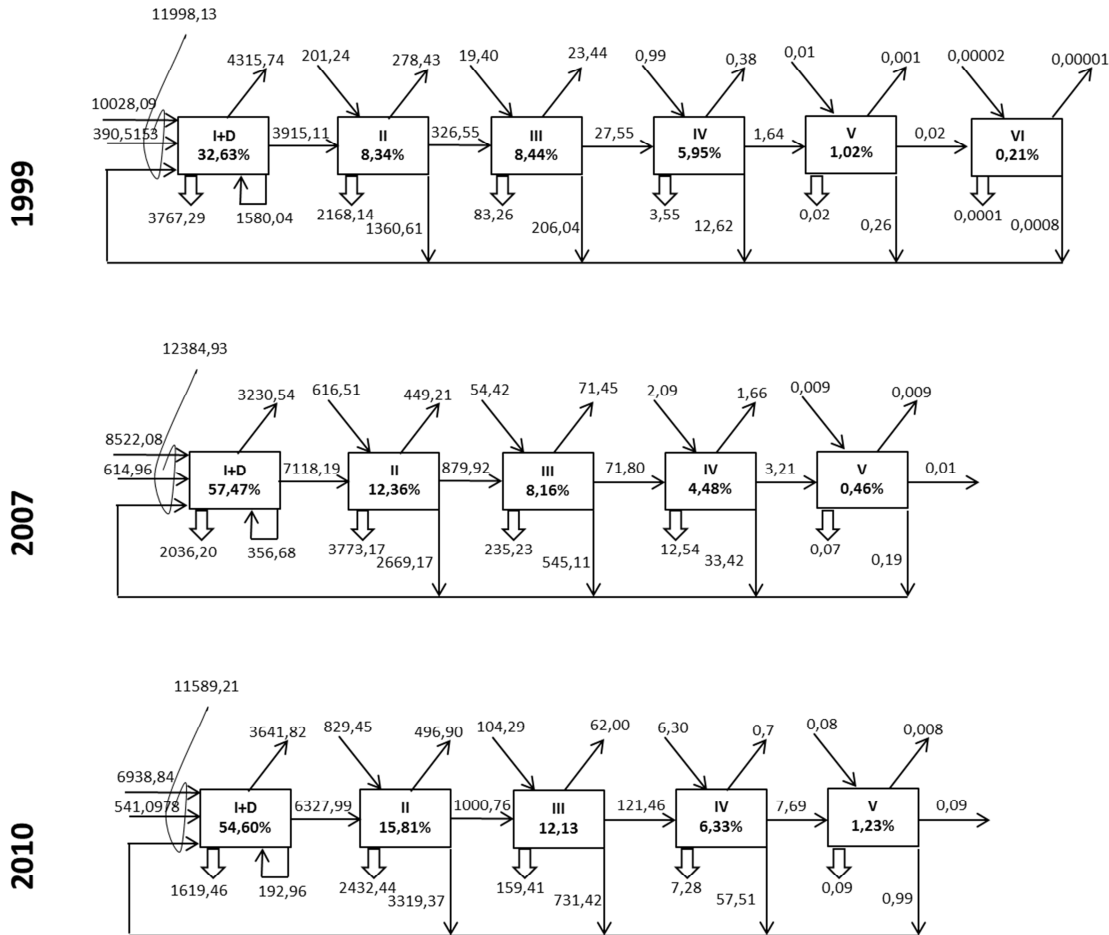


Abbildung 60. In der Abbildung 60 sind die Ergebnisse von drei Untersuchungsjahren zusammengefasst, die Tabelle gibt eine Auswahl der berechneten Indices wieder. Von den Indices zeigen einige deutliche Unterschiede zwischen den drei betrachteten Jahren, während die Werte anderer sich kaum oder gar nicht unterscheiden. Beispielsweise erreichte der „Total system Throughput (TSTp; umso höher die Werte, desto höher die Aktivität im System) und die Ascendency (ASC) im Jahr 2007 den höchsten Wert. Die betrachtete Muschelbank hat sich zwischen 1999 und 2010 durch die Besiedlung mit der Pazifischen Austern (*Crassostrea gigas*) verändert, welche von wärmeren Temperaturen im Wattenmeer profitieren. Während im Jahr 1999 noch keine Individuen dieser eingeschleppten Art in den Proben erfasst wurden, war die Pazifische Austern 2007 dominant auf der Bank. Nach dem Eiswinter 2009/2010 nahm der Anteil stark ab und die Biomasse wurde wieder von der Miesmuschel dominiert. Ebenso wurde für das Jahr 2007 auf dieser Bank ein höherer Anteil nicht-heimischer Arten an der Dichte und Biomasse als in 1999 und 2010 festgestellt (Büttger et al. 2014), die zu der höheren Aktivität im System geführt haben. Demgegenüber liegt die Robustness in allen Jahren im Bereich des Optimums bei 0,36 bzw. 0,37. Ebenso erreichte die Flow Diversity (FD) in allen Jahren den gleichen Wert.

Tabelle 4: Ergebnisse des Testlaufs der ENA. Verwendet wurden die Daten der Begleitfauna der Muschelbank Uthörn Außenwatt im Lister Tief aus den Jahren 1999, 2007 und 2010 (Daten aus dem Miesmuschelmonitoring).

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

	1999	2007	2010
TSTp	28710.94	31297.86	28600.39
ASC	47232.98	60861.34	54469.70
OH	76877.68	84399.28	82740.20
CAP	124110.70	145260.60	137209.90
ASC.CAP	0.38	0.42	0.40
OH.CAP	0.62	0.58	0.60
AMI	1.65	1.94	1.90
APL	1.70	2.19	2.40
FCI	0.02	0.04	0.06
Robustness	0.37	0.36	0.37
ELD	2.53	2.55	2.73
TD	3.13	3.85	3.74
IDs	0.42	0.60	8.18
FD	4.32	4.32	4.32

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

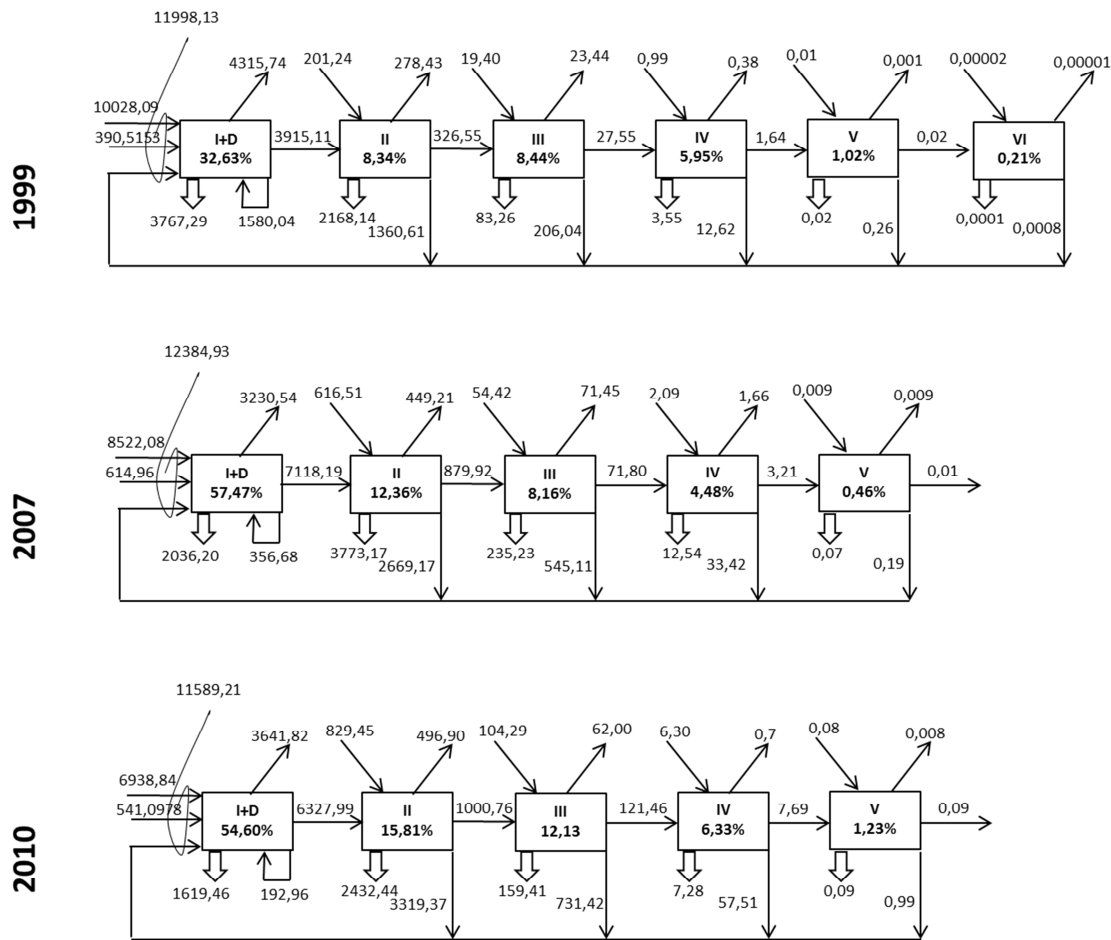


Abbildung 60: Lindeman Spine der Muschelbank Uthörn Außenwatt für die Jahre 1999, 2007 und 2010. Der Lindeman Spine gibt die Energieflüsse im Nahrungsnetz an, wobei die einzelnen Boxen verschiedene trophische Level repräsentieren.

In Abbildung 60 sind die Ergebnisse der Lindeman Spines für die Jahre 1999, 2007 und 2010 dargestellt. Der Lindeman Spine ist eine lineare Darstellung des Nahrungsnetzes in dem die Arten trophischen Levels zugeordnet werden. So fallen die Primärproduzenten (Mikrophytobenthos, Phytoplankton) und Detritus in das Trophische Level 1, während alle herbivoren und detritivoren Arten (bzw. Energieflüsse) in das Trophische Level 2 fallen. Durch die intensive Besiedlung der Pazifischen Auster und einer erhöhten Dichte und Biomasse sowohl nicht-heimischer (*Crepidula fornicata*, *Austrominius modestus*) als auch heimischer (*Littorina littorea*, *Peringia ulvae*) Arten steigt die Konsumtion an Primärproduzenten und Detritus und folglich die trophische Effizienz zwischen den trophischen Leveln 1 und 2 zwischen 1999 und 2007 an und bleibt 2010 auf einem im Vergleich zu 1999 hohen Niveau. Letzteres ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass nach dem Eiswinter 2009/2010 vor allem heimische Filtrierer-Arten wie *Semibalanus balanoides*, *Cerastoderma edule* und *Lanice conchilega* davon profitieren. Die mittlere trophische Effizienz der Muschelbank Uthörn steigt von 9,93% im Jahre 1999 auf 16,58% in 2007. Die höchste mittlere trophische Effizienz wurde 2010 mit 18,02% erreicht. Im Vergleich zu 1999 und 2007 stieg die trophische Effizienz im trophischen Level 3 an. Eine Begründung könnte hierfür sein, dass räuberische und omnivore Arten wie Nemertini und *Neanthes succinea* aufgrund eines erhöhten Nahrungsangebotes durch den Eiswinter 2009/2010 davon direkt profitieren.

Trotz der großen Veränderungen in der Zusammensetzung der Begleitfauna, spiegeln sich diese Ver-

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

änderungen weder in der Robustness noch in der Flow Diversity wieder. Ursache hierfür könnte darin begründet sein, dass sowohl die heimischen Arten *Mytilus edulis* und *Semibalanus balanoides* als auch die nicht heimischen Arten *Crassostrea gigas*, *Crepidula fornicata* und *Austrominius modestus* die gleiche ökologische Funktionalität im Nahrungsnetz besetzen. Das heißt, die Energie im System ist in bestimmten, parallelen Energieflüssen gebunden. Durch die eingewanderten Arten werden parallele Energieflüsse im Nahrungsnetz gefestigt und könnte auf ein stabiles und organisiertes System schließen. Es zeigt aber auch, dass durch das Zusammenspiel von Klimaänderung und heimischen bzw. nicht-heimischen Arten im Nahrungsnetz die Sensitivität und Anwendbarkeit dieser beiden Indikatoren limitiert ist.

Die ersten Testläufe der ENA-Berechnung auf Basis bestehender Monitoringdaten zeigten, dass die Daten gut geeignet sind, initiale Daten für die ENA zur Verfügung zu stellen, die eine Evaluierung der Indices im Sinne der MSRL-Bewertung des Deskriptors 4 erlauben.

Als Ergebnis sind die folgenden Fragen herausgearbeitet worden, die im Nachfolgeprojekt untersucht und beantwortet werden sollen:

- Welche Indizes sind anwendbar für die Bewertung von Nahrungsnetzen?
- Was muss passieren, damit die Indizes einen schlechten Zustand anzeigen?
- Wie sind die Indizes zu kombinieren, um einen skalierbaren Wert zu bekommen?
- Welchen Einfluss haben die Eingangsdaten auf die Ergebnisse?
- Gibt es räumliche und zeitliche Unterschiede zwischen verschiedenen Muschelbänken?
- Wie berücksichtigt man die Größe eines Habitats?
- Welche Bewertungsskala ist sinnvoll: das gesamte Tidebecken oder getrennt nach einzelnen Lebensräumen?
- Wie lassen sich Vögel als weitere Trophiestufe berücksichtigen?
- Welche ENA-Eingangsparameter (Biomasse, Abundanz) müssen im Monitoring dauerhaft erhoben werden und welche räumliche und zeitliche Abdeckung ist erforderlich?
- Welche der ENA-Eingangsparameter werden bereits in einem vorhandenen Monitoring erfasst und lassen sich für die ökologische Netzwerkanalyse verwenden?

Als Datengrundlage für diese Fragen wird weiterhin der Datensatz aus dem Miesmuschelmonitoring genutzt. Dieser Datensatz wird seit 1999 jährlich auf mehreren Muschelbänken und in zwei Tidebecken erhoben und ermöglicht die räumliche und zeitliche Varianz der ENA Indizes zu untersuchen.

Bei der Ökologischen Netzwerkanalyse gibt es wie dargestellt bereits ein Set an möglichen Indikatoren zur Beschreibung des Zustandes des marinen Nahrungsnetzes. Solche Kennwerte existieren für Habitatmodelle bislang noch nicht. Durch die Habitatmodelle ist in erster Linie eine Quantifizierung der Zusammenhänge zwischen Auftreten von Makrozoobenthosorganismen bzw. Vögeln und abiotischen bzw. abiotischen Umweltparametern vorgenommen worden. Über diese Quantifizierung war es möglich, Schwellenwerte abzugrenzen, ab denen die Wahrscheinlichkeit über dem durchschnittlichen Erwartungswert liegt, den betreffenden Organismus im Untersuchungsgebiet anzutreffen.

So konnte z.B. für Austernfischer gezeigt werden, dass die Antreffwahrscheinlichkeit dieser Vogelart nur auf Wattflächen mit mehr als 100 Herz- bzw. Schwertmuscheln pro m² über dem durchschnittlich zu erwartenden Wert liegt. Daraus lässt sich hinsichtlich der Bewertung ableiten, dass für einen optimalen Zustand des Austernfischers, möglichst Herz- und Schwertmuschelbänke vorliegen sollten, welche entsprechende Dichten von Muscheln aufweisen.

Ein anderes Beispiel ist die Modellierung von Schwertmuschelfeldern, für welche die Schubspannung einen entscheidenden Einfluss hatte und gezeigt werden konnte, dass dies Muschelart erst bei Zeit-

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

anteilen von über 80 % kritischer Schubspannung auftritt und somit mobile Sedimente benötigt.

Alle relevanten Schwellenwerte, die durch die finalen Modelle generiert wurden, sind im Kapitel 2.1.5.1 benannt. Es ist zu bedenken, dass die Modelle mit einer statistischen Unsicherheit belegt sind und somit auch die abgegrenzten Schwellenwerte diese Unsicherheit aufweisen. Daher ist es das Ziel, in der nächsten Phase des Vorhabens die Modelle zu validieren, indem sie auf ein neues Untersuchungsgebiet angewendet werden, um daraufhin die Eignung für die weiteren Bewertungsfragestellungen der relevanten MSRL-Deskriptoren (D1, D6) zu prüfen.

2.1.7 SONSTIGE ARBEITEN

Die Verbundleitung des STopP-Vorhabens war intensiv in die Arbeiten des KüNO-Verbunds (s. <http://www.deutsche-kuestenforschung.de/>) eingebunden. Im Rahmen des KüNO-Verbunds wurden zahlreiche Aktivitäten zur Intensivierung des Austausches zwischen den beteiligten Verbundvorhaben BACOSA, MOSSCO, NOAH, SECOS und STopP vom Lenkungsausschuss initiiert und in die Vorhaben getragen (vgl. 2.1). So wurde auf den regelmäßigen Treffen des Lenkungsausschusses der gemeinsame Internetauftritt abgestimmt, Vorgaben zu den Arbeiten am gemeinsamen Datenportal entwickelt, gemeinsame Presseerklärungen erstellt und die öffentlichen Jahrestreffen des Verbunds gestaltet (vgl. Tabelle 1). Zudem wurde das Dachprojekt in Fachfragen und bei der Erstellung der gemeinsamen Broschüre „KüNO – Gemeinsam forschen für Nord- und Ostsee“ unterstützt.

2.2 WICHTIGSTE POSITIONEN DES ZAHLENMÄSSIGEN NACHWEISES

Aufgrund der Konstruktion des STopP-Vorhabens haben die beteiligten Partner den zahlenmäßigen Nachweis mit den entsprechenden Positionen gemäß der Einzelbewilligungen einzeln zu erbringen. An dieser Stelle wird daher darauf verwiesen.

2.3 NOTWENDIGKEIT UND ANGEMESSENHEIT DER GELEISTETEN ARBEIT

Durch die Beteiligung von insgesamt sechs verschiedenen Arbeitsgruppen (FTZ-Eco, FTZ Geo, IfG, AWI, LLUR und NPV) am STopP-Vorhaben waren Personalmittel zur Koordinierung der Arbeiten und Sicherstellung des Projektverlaufs inklusive aller organisatorischen, administrativen und logistischen Aufgaben erforderlich.

Eines der Ziele des Vorhabens war die Optimierung des Zusammenspiels zwischen den verschiedenen naturwissenschaftlichen (Teil-)Disziplinen (Geologie, Benthologie, Ornithologie) einerseits und der Einbindung behördlicher Aktivitäten (Monitoring) und Anforderungen (nationale und internationale Gesetze und Richtlinien/Konventionen) andererseits. Hierfür waren eine genauere Erfassung und Beschreibung von Eu- und Sublitoral durch umfangreiche Geländearbeiten zwingend notwendig. Spezielle Fragestellungen konnten nur durch Auswertungen von Fernerkundungs- und Geländedaten, die soweit möglich zeitgleich und von den verschiedenen Disziplinen erhoben worden sind, beantwortet werden. Die erfassten Geländeinformationen waren auch wesentliche Grundlage für die umfangreichen Modellierungsarbeiten (Habitatmodelle und ökologische Nahrungsnetzanalyse), die letztendlich eine quantitative und qualitative Einschätzung der Biotoptypen des Untersuchungsgebiets ermöglichten und als Grundlage für einen Anwendungsbezug dienen. Hierzu bildeten die vier Promotionsstellen und die beiden behördlichen Projektangestellten ein hervorragendes interdisziplinäres Team, das die Bearbeitung dieser Arbeiten sicherstellte.

Abschließend wurden Datenzusammenstellungen und -analysen in der Vorhabendatenbank an der NPV durchgeführt werden. Dies umfasste zum einen die Auswahl, Zusammenstellung und Aufberei-

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

tung von Monitoringdaten und zum anderen auch Analysen, dessen Ergebnisse zur weiteren Verwendung an die Vorhabenspartner geschickt wurden.

2.4 VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE

Der STopp-Verbund war von Beginn an auf eine enge Verzahnung von Wissenschaft und Verwaltung ausgelegt. Aus diesem Grund sind neben den wissenschaftlichen Instituten auch Behörden Forschungsnehmer. Damit ist sichergestellt, dass wissenschaftlicher Output schnellstmöglich auch in die nationalen und internationalen Entwicklungen zur Umsetzung der relevanten EU-Naturschutzrichtlinien eingebunden wird.

Mitglieder des Verbunds sind folgerichtig in den nationalen und internationalen Gremien, in denen diese Grundlagen fachlich diskutiert und beschlossen werden, prominent vertreten (Tabelle 5). Im nationalen Rahmen sind hierzu die Arbeitsgruppen im Rahmen des Bund-Länder-Ausschusses Nord- und Ostsee (BLANO) und deren Workshops hervorzuheben. International sind insbesondere die Arbeitsgruppen und Workshops unter OSPAR relevant.

Tabelle 5: Mitwirkung der STopp-Partner in relevanten nationalen und internationalen Arbeitsgruppen zur Umsetzung von EU-Richtlinien.

Arbeitsgruppe	Beteiligte	Aufgabe
<i>national</i>		
BLANO - AG Erfassen, Bewerten und Maßnahmen mit zugehörigen Fach-AGn	IfG, LLUR, NPV	Entwicklung und Umsetzung von Monitoringparametern zur Beurteilung von Zustand, Belastungen und Maßnahmen im Rahmen von EU-Richtlinien und anderen gesetzlichen Vorgaben im marinen Bereich (hier: benthische Habitate, Arten, Lebensgemeinschaften und Nahrungsnetz)
<i>international</i>		
OSPAR - ICG-COBAM mit zugehörigen Expert Groups	AWI, FTZ Eco, NPV	Entwicklung von Monitoring und übergreifenden Bewertungsansätzen zur MSRL und Herstellung einer regionalen (nordseeweiten) Kohärenz des MSRL-Monitorings (hier: Vögel, Nahrungsnetz)

Im Einzelnen ist der Verbund an der Erstellung der "Anleitung zur Kartierung des Meeresbodens mittels hochauflösender Sonare in den deutschen Meeresgebieten" und der Überarbeitung des digitalen Monitoring-Handbuchs (<http://mhb.meeresschutz.info/de/>) beteiligt. Des Weiteren wurde das Vorhaben auf Veranstaltungen von Bundes- und Länderbehörden zur Diskussion (<http://deutsche-kuestenforschung.de/output-stakeholder.html>) gestellt. Die weiteren Informationen zum wissenschaftlichen Output des STopp-Vorhabens befinden sich unter <http://deutsche-kuestenforschung.de/produkte.html>.

Der langfristige Zugang auf die Projektdaten wurde durch eine zentrale Datenhaltung sichergestellt. Über die Anbindung an den schleswig-holsteinischen MDI-DE-Infrastrukturknoten MDI-SH (Marine Dateninfrastruktur) sind Metadaten, Daten und Dienste zukünftig standardkonform verfügbar. Die Erfahrungen mit der inzwischen in Dauerbetrieb gegangenen MDI-DE werden zudem in die Arbeitsgruppe zum KüNO-Forschungsdatenmanagement eingebracht. Alle Sonar- und Sedimentdaten und die daraus erstellten Datenprodukte werden zentral in den Shelf Geo Explorer des BSH übernommen.

Vertreter von Verbänden, kommunale Entscheidungsträger sowie NGOs wurden im Rahmen eigens aufgelegter Informationsveranstaltungen über aktuelle Entwicklungen des Vorhabens auf dem Laufenden gehalten.

Neben der integrativen Analyse von Nahrungsnetzen oder Stoff- und Energieflüssen ermöglicht ENA

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

den Anwendungsbezug zu Bewertungen, wie einer Quantifizierung von Ökosystemleistungen. Darüber hinaus kann analysiert werden, wie Arten einander und Prozesse im Ökosystem beeinflussen (IMPACT-Analyse). Ein besonderes Anwendungspotenzial liegt in der Erstellung von ganzheitlichen Szenarien für die Auswirkungen bestimmter äußerer Steuergrößen (z. B. Klimawandel). Es werden auf diese Weise Modellökosysteme erstellt, die, abgeleitet von dem empirischen Nahrungsnetz, eine Momentaufnahme des Ökosystems unter dem Einfluss einer bestimmten Steuergröße widerspiegeln.

2.5 STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Vergleichbare Arbeiten wurden über die in 1.4.4 beschriebenen bei anderen Stellen nicht durchgeführt.

2.6 VERÖFFENTLICHUNGEN

Im Rahmen des Projektes sind unter der Federführung bzw. unter Beteiligung der Vorhabenpartner folgende Veröffentlichungen entstanden:

Enners L, Schwemmer P, Garthe S (2014) Das Wattenmeer - vielseitiger Lebensraum für Seevögel. Vogelwarte 52: 290-291.

Enners L, Schwemmer P, Garthe S (2016) Wo gibt's hier was zu essen?! - Ernährungsstrategien von Silbermöwen, Lachmöwen und Säbelschnäblern an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Vorkundliche Berichte aus Niedersachsen (submitted).

Heinrich C, Feldens P, **Schwarzer K** (2015) Identification of spatial and temporal changes of *L. conchilega* beds using sidescan sonar data. Submitted to Continental Shelf Research.

Horn S, de la Vega (2016) Relationships between fresh weight, dry weight, ash free dry weight, carbon and nitrogen content for selected vertebrates. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 481:41-48

Horn S, de la Vega C, **Asmus R, Schwemmer P, Enners L, Garthe S, Binder K, Asmus H** (submitted) Diversity of intertidal food webs - functions and features. Plos One, submitted.

Horn S (2016) Intertidal habitats – Diversity of benthic composition and foraging birds. In prep.

Horn S, de la Vega C, **Asmus R, Schwemmer P, Enners L, Garthe S, Stelzer K, Binder K, Asmus H** (2016) Impact of birds on the intertidal food web – assessed with Ecological Network Analysis. In prep.

Räder M, Lübker T, Prange S, **Binder K**, Schacht C, Zühr D, **Kohlus J** (2014) Infrastrukturknoten für Dienste – die räumlich verteilte Komponente der MDI-DE. In Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.) Die Küste, 82, Marine Daten-Infrastruktur Deutschland. MDI-DE. S. 33-43.

Reimers H-C (2013): Gewinnung, Bereitstellung und Nutzung von Berichtsdaten für die MSRL. KFKI aktuell 02/2013, Hamburg, pp. 6 - 7.

Reimers H-C, Binder K, Lübker T, Hübner P (2014): Die MSRL im EU-Berichtswesen, der WasserBLICK und die GDI-DE. In Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.) Die Küste, 82, Marine Daten-Infrastruktur Deutschland. MDI-DE. S. 97-102.

Ricklefs K, Arp, D, **Stage, M** (2015): Zur zeitlichen Variabilität der Sedimentverteilungen in den

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Gezeitenrinnen Piep und Hever. Die Küste, 83: 77-102

Saint-Béat B, Vézina AF, **Asmus R, Asmus H**, Niquil N (2013) The mean function provides robustness to linear inverse modeling flow estimation in food webs: A comparison of functions derived from statistics and ecological theories. *Ecological Modelling* 258: 53-64.

Saint-Béat B, Baird D, **Asmus H, Asmus R**, Bacher C, Pacella SR, Johnson GA, David V, Vézina AF, Niquil N (2015) Trophic networks: How do theories link ecosystem structure and functioning to stability properties? A review. *Ecological Indicators* 52: 458-471.

Schwemmer P, Garthe S (2011) Spatial and temporal patterns of habitat use by Eurasian Oystercatchers (*Haematopus ostralegus*) population in the eastern Wadden Sea revealed using GPS data loggers. *Mar Biol* 158: 541-550

Schwemmer P, Hälterlein B, Geiter O, Günther K, Corman VM, **Garthe S** (2014): Weather-related winter mortality of Eurasian Oystercatchers (*Haematopus ostralegus*) in the northeastern Wadden Sea. *Waterbirds* 37: 319-330.

Schwemmer P, Covaci A, Das K, Lepoint G, Adler S, **Garthe S** (2015) Assessment of contaminant levels and trophic relations at a World Heritage Site by measurements in a characteristic shorebird species. *Environmental Research* 136: 163-172.

Schwemmer P, Güpner F, Adler S, Klingbeil K, **Garthe S** (2016) Modelling small-scale foraging habitat use in Eurasian Oystercatchers (*Haematopus ostralegus*) in relation to prey distribution and environmental. *Ecological Modelling* 320: 322-333.

Schwemmer P, Voigt CC, Corman A-M, Adler S, **Garthe S** (2016) Body mass change and diet switch tracked by stable isotopes indicate time spent at a stopover site during autumn migration in dunlins *Calidris alpina alpina*. *J Avian Biol* 47: 001–009.

Schwemmer P, Enners L, Garthe S (2016) Migration routes of Eurasian Curlews (*Numenius arquata*) resting in the eastern Wadden Sea based on GPS telemetry. *Journal of Ornithology* 157: 901-905.

Schwemmer P, Weiel S, **Garthe S** (2016) A fundamental study revisited: quantitative evidence for territory quality in oystercatchers (*Haematopus ostralegus*) using GPS data loggers. *Ecol Evol* (in press).

Volmer H, Schwemmer P, Garthe S (2014) Aktuelle Daten zur Nahrungswahl von Eider- (*Somateria mollissima*) und Trauerenten (*Melanitta nigra*) im schleswig-holsteinischen Wattenmeer. *Vogelwarte* 52: 282-283.

Volmer H, Schwemmer P, Garthe S (2016) Alle meine Entchen schwimmen auf der See - Aktuelles zur Nahrungswahl von Eider- und Trauerenten im schleswig-holsteinischen Wattenmeer. *Vogelkundliche Berichte aus Niedersachsen* (submitted).

Partner: AWI-Wattenmeerstation, FTZ-Westküste, IfG der CAU, LLUR, LKN-NPV

Autoren: P. Schwemmer, K. Eskildsen, L. Enners, S. Horn, K. Wittbrodt, M. Stage, K. Binder, H. Büttger, A. Ruales, K. Stelzer, H. Asmus, R. Asmus, S. Garthe, J. Kohlus, H.-C. Reimers, K. Ricklefs & K. Schwarzer

Berichte, Pressemitteilungen, Zeitungsartikel

Der Speiseplan der Seevögel - Büsumer Wissenschaftler untersuchen das Nahrungssystem im Wattenmeer. Dithmarscher Landeszeitung, 28.05.2013.

Kubetzki U (29.05.2013) Vom Watt bis zu den Seevögeln - Bundesministerium für Bildung und Forschung bewilligt neues Verbundprojekt. Presseinformation 146/2013 der Universität Kiel.

Ermittler – Nationalparknachrichten (8/2013) der Nationalparkverwaltung.

Büsumer Forscher stechen in See - Wissenschaftler erkunden die Nahrungskette von Meerestieren und Enten. Dithmarscher Landeszeitung, (10.09.2014).

Gemeinsam forschen für Nord- und Ostsee. – KüNO-Broschüre (06/2015).

Vom Wattenmeer nach Russland - Büsumer Forscher entschlüsseln die Flugrouten der Großen Brachvögel. Dithmarscher Landeszeitung, 25.04.2016.

Studentische Abschlussarbeiten, die im Rahmen von STopP erstellt wurden:

Enners L (2013) Ermittlung der Nahrungsgrundlage von Möwen im Gebiet der deutschen Nordseeküste. Examensarbeit, Universität Gießen, Universität Kiel.

Maier M (2013) Ermittlung der Nahrungsgrundlage von auf Amrum brütenden Silbermöwen. Bachelorarbeit, Universität Hamburg, Universität Kiel.

Volmer H (2014) Verbreitung und Nahrungsgrundlage von Eider- und Trauerenten im Bereich des schleswig-holsteinischen Wattenmeeres. Masterarbeit, Universität Kiel.

Schäfer-Nolte N (2014) Effekte von GPS-Datenloggern auf das Verhalten besenderter Silbermöwen (*Larus argentatus*) und Heringsmöwen (*Larus fuscus*) während der Brutzeit. Masterarbeit, Universität Cottbus, Universität Kiel.

Krause J R (2014) Untersuchung der Sedimente und Epifauna nord-westlich von Eiderstedt. Bachelorarbeit, Universität Tübingen, Universität Kiel.

Chagas A L (2015) Foraging behavior of Avocets (*Recurvirostra avosetta*) in the northern coast of the Wadden Sea (Schleswig-Holstein, Germany). Masterarbeit, Geomar Kiel, Universität Kiel.

Merkel C (2015) Ermittlung des Energiebudgets von *Ensis directus* im Eulitoral der Insel Sylt. Masterarbeit, Universität Marburg, AWI List.

Promotionen, die im Rahmen von STopP erstellt wurden:

Horn, S. 2016. Feed and fly - A model study about the relationship between coastal birds and intertidal food webs Universität Kiel, eingereicht.

2.7 VERTRAULICHKEIT

Dieser Bericht enthält keine Bestandteile, die zur Wahrung berechtigter Interessen des Zuwendungsempfängers oder Dritter oder aus anderen sachlichen Gesichtspunkten vertraulich zu behandeln sind.