

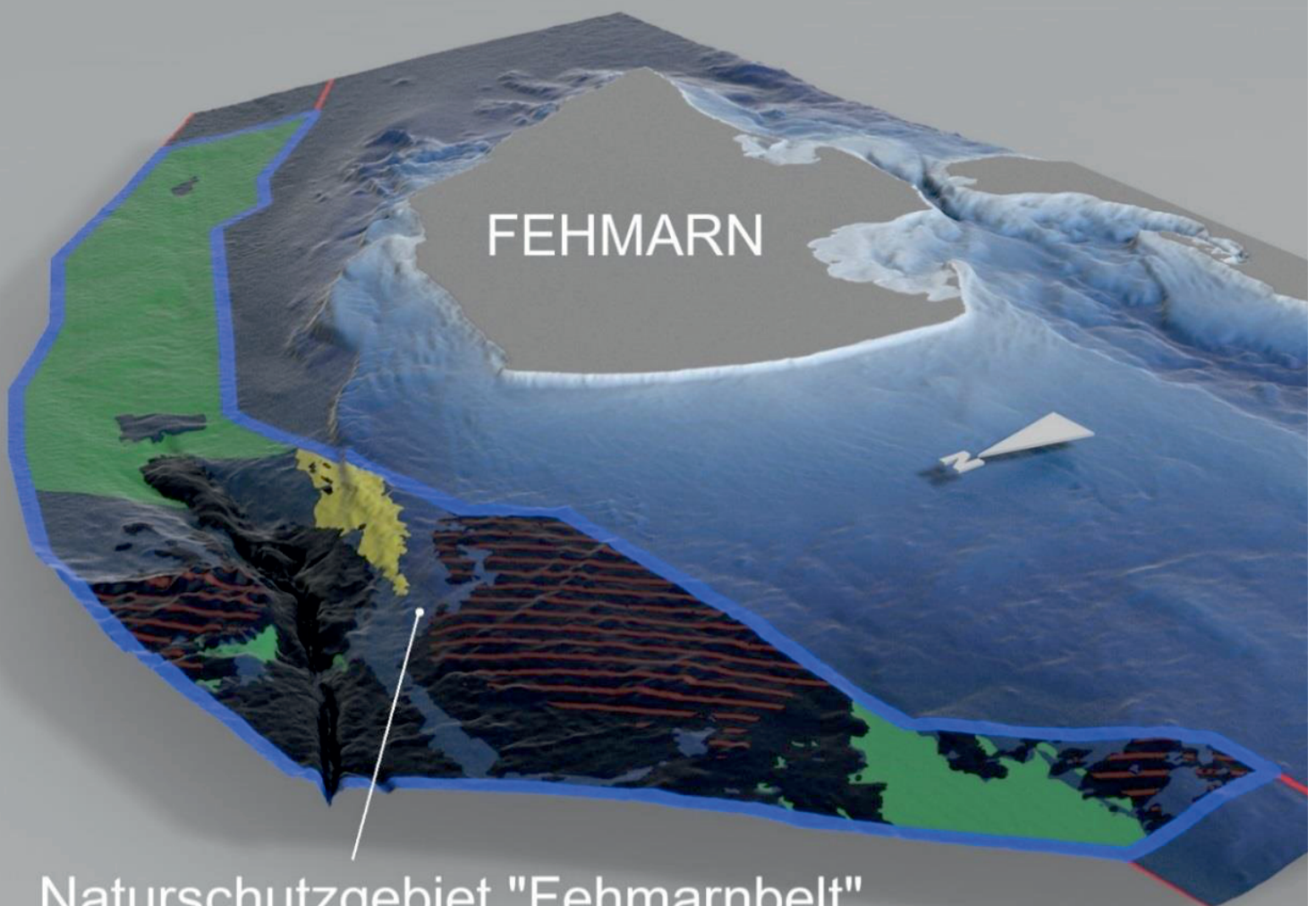
Die Biotope des Meeresbodens im Naturschutzgebiet Fehmarnbelt

Alexander Darr, Kathrin Heinicke, Florian Meier,
Svenja Papenmeier, Peter Richter, Klaus Schwarzer,
Jennifer Valerius und Dieter Boedeker

BfN-Schriften

636

2022



Naturschutzgebiet "Fehmarnbelt"

Die Biotope des Meeresbodens im Naturschutzgebiet Fehmarnbelt

**Version 1.0
Stand: 26.08.2022**

**Alexander Darr
Kathrin Heinicke
Florian Meier
Svenja Papenmeier
Peter Richter
Klaus Schwarzer
Jennifer Valerius
Dieter Boedeker**



**Bundesamt für
Naturschutz**

Titelbild: Relief des Naturschutzgebietes „Fehmarnbelt“ und dessen geschützter und gefährdeter Biotope, 56-fach überhöht dargestellt (Christian Terstegge / Mediendesign)

Adressen der Autorinnen und der Autoren:

Dr. Alexander Darr	Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde Seestraße 15, 18119 Rostock/Warnemünde Jetzige Anschrift: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie Standort Rostock Neptunallee 5, 18057 Rostock E-Mail: alexander.darr@bsh.de
Dieter Boedeker	Bundesamt für Naturschutz Standort Insel Vilm/Rügen
Kathrin Heinicke	Fachgebiet II 3.1 „Grundlagen, internationaler Meeresnaturschutz“ Fachgebiet II 3.2 „Meeresschutzgebiete der AWZ“ 18581 Lauterbach / Rügen E-Mail: dieter.boedeker@bfm.de kathrin.heinicke@bfm.de
Florian Meier Jennifer Valerius	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie Standort Hamburg Bernhard-Nocht-Str. 78, 20359 Hamburg E-Mail: florian.meier@bsh.de jennifer.valerius@bsh.de
Dr. Svenja Papenmeier	Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde Seestraße 15, 18119 Rostock/Warnemünde E-Mail: svenja.papenmeier@io-warnemuende.de
Dr. Klaus Schwarzer Dr. Peter Richter	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät Sektion Geowissenschaften Otto-Hahn-Platz 1, 24118 Kiel E-Mail: klaus.schwarzer@ifg.uni-kiel.de peter.richter@ifg.uni-kiel.de

Fachbetreuung im BfN:

Dieter Boedeker	Fachgebiet II 3.1 „Grundlagen, internationaler Meeresnaturschutz“
Kathrin Heinicke	Fachgebiet II 3.2 „Meeresschutzgebiete der AWZ“

Gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (FKZ 3519 53 2202, AZ Z2-53202/17/01).

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank „DNL-online“ (www.dnl-online.de).

BfN-Schriften sind nicht im Buchhandel erhältlich. Eine pdf-Version dieser Ausgabe kann unter www.bfn.de/publikationen heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn
URL: www.bfn.de

Der institutionelle Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des institutionellen Herausgebers übereinstimmen.



Diese Schriftenreihe wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz Namensnennung – keine Bearbeitung 4.0 International (CC BY - ND 4.0) zur Verfügung gestellt (<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.de>).

Druck: Druckerei des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)

Gedruckt auf 100% Altpapier

ISBN 978-3-89624-397-3

DOI 10.19217/skr636

Bonn 2022

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	11
Zusammenfassung	12
Summary	14
1 Einleitung	17
2 Geologischer Teil der Kartierung	22
2.1 Datenerfassung.....	22
2.1.1 Beschreibung der verwendeten Altdaten	23
2.1.2 Erhebung neuer Daten	24
2.1.3 Ergebnis der Datenerfassung	24
2.2 Sedimentverteilungskarte	26
2.2.1 Dateninterpretation	26
2.2.2 Ergebnisdarstellung	28
2.3 Blockverteilungskarte	34
2.3.1 Dateninterpretation	34
2.3.2 Ergebnisdarstellung	35
3 Biologischer Teil der Kartierung	37
3.1 Endobenthische Gemeinschaften der Weichböden	37
3.1.1 Datenerhebung und taxonomische Bearbeitung	37
3.1.2 Modellierungsansatz.....	38
3.1.3 Ergebnis der Modellierung.....	42
3.2 Epibenthische Gemeinschaften der Hartböden	44
3.2.1 Datenerhebung und Auswertung	44
3.2.2 Modellierungsansatz.....	45
3.2.3 Ergebnis der Analysen und der Modellierung	45
4 Natürliche Lebensraumtypen nach Anhang I Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie .	49
4.1 Sandbänke mit nur schwacher, ständiger Überspülung durch Meerwasser (EU-Code 1110).....	49
4.2 Riffe (EU-Code 1170)	52
5 Weitere geschützte Biotope nach § 30 BNatSchG	59
5.1 Hintergrund	59
5.2 Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe.....	59
5.3 Seegraswiesen und sonstige marine Makrophytenbestände.....	61
6 Biotoptypen auf Grundlage hierarchischer Klassifikationssysteme	63
6.1 Vergleich der Klassifikationssysteme	63

6.2	Ergebnisse	68
6.2.1	Deutsche Standard-Biotoptypenliste (DE 2017)	68
6.2.2	HELCOM Underwater Habitat and Biotope Classification System (HELCOM HUB)	73
6.2.3	Benthische Biotopklassen und andere Lebensraumtypen nach MSRL	77
7	Fazit und Ausblick	79
	Literaturverzeichnis	82
	Anhang	87

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Übersichtskarte über die drei Naturschutzgebiete in der deutschen AWZ der Ostsee.....	17
Abbildung 2: Lage im Bericht erwähnter topographischer Strukturen im NSG „Fehmarnbelt“	18
Abbildung 3: Hierarchische Struktur des Klassifikationssystems, auf der die deutsche Standard-Biotypenliste (DE 2017) basiert.....	21
Abbildung 4: Zusammenstellung aller Rückstreumosaik der verschiedenen Quellen ..	25
Abbildung 5: Darstellung der Bereiche, in denen Daten mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung der zur geologischen Kartierung herangezogenen Rückstreumosaik vorliegen).....	25
Abbildung 6: Ebenen der Sedimentverteilungskarten	27
Abbildung 7: Übersicht über die Datengrundlage für die Erstellung der Sedimentverteilungskarte (SVK) des NSG „Fehmarnbelt“	28
Abbildung 8: Vereinfachte Darstellung der prozentualen Flächenanteile der Klassen auf Ebene A	29
Abbildung 9: Sedimentverteilungskarte des NSG „Fehmarnbelt“ (Ebene A)	30
Abbildung 10: Sedimentverteilungskarte des NSG „Fehmarnbelt“ (Ebene B)	31
Abbildung 11: Sedimentverteilungskarte des NSG „Fehmarnbelt“ (Ebene C)).....	32
Abbildung 12: Sedimentverteilungskarte des NSG „Fehmarnbelt“ (Ebene C: Vergrößerung der in Abbildung 11 gezeigten Ausschnitte).....	33
Abbildung 13: Übersicht über die Datengrundlage für die Erstellung der Blockverteilungskarte des NSG „Fehmarnbelt“	35
Abbildung 14: Blockverteilungskarte NSG „Fehmarnbelt“	36
Abbildung 15: Lage der Stationen zur Erfassung des Endobenthos mit Angabe der jeweils an der Station angetroffenen Gemeinschaft.....	40
Abbildung 16: Karte der Verbreitung der endobenthischen Gemeinschaften als Ergebnis der prädiktiven Modellierung mit Angabe der Konfidenz	43
Abbildung 17: Lage der Foto-Transekte mit Angabe der für das jeweilige Foto zugeordneten Gemeinschaft	44
Abbildung 18: Karte der Verbreitung der epibenthischen Gemeinschaften als Ergebnis der prädiktiven Modellierung mit Angabe der Konfidenz.....	48
Abbildung 19: Grenzen des Riesenrippelfeldes nach Werner et al. (1974) und nach Kaufhold (1988)	50
Abbildung 20: Vorkommen des FFH-Lebensraumtyps „Sandbänke mit nur schwacher, ständiger Überspülung durch Meerwasser“ (EU Code 1110) im NSG „Fehmarnbelt“	51
Abbildung 21: Typische Strukturen des FFH-LRT „Sandbänke mit nur schwacher, ständiger Überspülung durch Meerwasser“ (EU-Code 1110) im NSG „Fehmarnbelt“	52
Abbildung 22: Für die Riffabgrenzung verwendeter Blocklayer des NSG „Fehmarnbelt“ ..	54

Abbildung 23: Für die Riffabgrenzung verwendeter Restsedimentlayer des NSG „Fehmarnbelt“	55
Abbildung 24: Abgrenzung des geogenen Rifftyps „Blockfeld der deutschen Ostsee“ für das NSG „Fehmarnbelt“ mit seinen Kern- und Randbereichen sowie Entwicklungsbereichen	56
Abbildung 25: Vorkommen des FFH-Lebensraumtyps „Riffe“ (EU-Code 1170) im NSG „Fehmarnbelt“	57
Abbildung 26: Typische Strukturen und Gemeinschaften des FFH-LRT „Riff“ im NSG „Fehmarnbelt“	58
Abbildung 27: Modellierter Verbreitung mit der Ophelia/Travisia-Gemeinschaft sowie Stationen mit Vorkommen dieser Gemeinschaft, dargestellt als potenzielle Vorkommen des § 30-Biotops „Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe“	61
Abbildung 28: Modelliertes Vorkommen von dichten Makroalgen-Beständen, dargestellt als potenzielle Verbreitung des § 30 Biotops „Seegraswiesen und sonstige marine Makrophytenbestände“	62
Abbildung 29: Karte der Standard-Biototypen Deutschlands (DE 2017) im NSG „Fehmarnbelt“	70
Abbildung 30: Weitere charakteristische Strukturen und Gemeinschaften im NSG „Fehmarnbelt“	72
Abbildung 31: Karte der Biototypen entsprechend des Klassifikationssystems HELCOM HUB im NSG „Fehmarnbelt“	76
Abbildung 32: Karte der MSRL-relevanten benthischen Biotopklassen (BHT) und der anderen Lebensraumtypen gemäß KOM-Beschluss 2017/848 (OHT)	78
Abbildung 33: Gefährdete und geschützte Biotope im NSG „Fehmarnbelt“ (Meeresbodenrelief 56-fach überhöht)	80
Abbildung 34: Variable Importance Infauna des Random Forest-Modells für die endobenthischen Gemeinschaften	87
Abbildung 35: Variable Importance Infauna des Random Forest-Modells für die epibenthischen Gemeinschaften	87

Tabellenverzeichnis

Seite

Tabelle 1: Spezialfälle zur Kombination verschiedener Sedimenttypen	26
Tabelle 2: Übersicht über die als Prädiktoren in der Modellierung der endobenthischen Gemeinschaften genutzten Umweltparameter	41
Tabelle 3: Fehlklassifikationsmatrix des Random Forest-Modells für die endobenthischen Gemeinschaften bzw. Biotopklassen	43
Tabelle 4: Auf Einzelfotos (n=118) dominierende Taxa und deren Zuweisung zu den fünf Gemeinschaften aus der Clusteranalyse	46
Tabelle 5: Fehlklassifikationsmatrix des Random Forest-Modells für die epibenthischen Gemeinschaften	48
Tabelle 6: Klassifikation der zur Erstellung des Restsedimentlayers herangezogenen Restsedimente der SVK des NSG „Fehmarnbelt“	54
Tabelle 7: Gegenüberstellung der hierarchischen Ebenen der drei berücksichtigten Klassifikationssystemen.....	65
Tabelle 8: Überblick zu den Substratdefinitionen in den drei berücksichtigten Klassifikationssystemen.....	66
Tabelle 9: Interpretation der Substrattypen nach der Folk-Klassifikation für die drei Klassifikationssysteme.....	67
Tabelle 10: Zuordnung der Gemeinschaften in den Klassifizierungssystemen.....	67
Tabelle 11: Flächenanteil der kartierten Biotoptypen nach DE 2017.	68
Tabelle 12: Flächenanteil der kartierten Biotoptypen nach HELCOM HUB	74
Tabelle 13: Flächenanteile der kartierten benthischen Lebensräume im Sinne der MSRL	79
Tabelle 14: Zuordnung der Substrate aus der SVK zu den Substratklassen der verschiedenen Klassifizierungssysteme	88
Tabelle 15: Charakterarten des FFH-LRT „Sandbänke“ im NSG „Fehmarnbelt“ (aktualisierte Liste November 2018)	89
Tabelle 16: Charakterarten des FFH-LRT „Riffe“ im NSG „Fehmarnbelt“ (aktualisierte Liste November 2018)	89
Tabelle 17: Typische Arten der <i>Arctica</i> -Lebensgemeinschaft in den verschiedenen Substraten im NSG „Fehmarnbelt“.	91
Tabelle 18: Typische Arten der marinen Muschel-Lebensgemeinschaft in den verschiedenen Substraten im NSG „Fehmarnbelt“.....	93
Tabelle 19: Typische Arten der <i>Ophelia/Travisia</i> -Lebensgemeinschaft in den verschiedenen Substraten im NSG „Fehmarnbelt“.....	95
Tabelle 20: Typische Arten der opportunistischen Polychaeten-Lebensgemeinschaft in den verschiedenen Substraten im NSG „Fehmarnbelt“.	96
Tabelle 21: Regelmäßig in den fünf epibenthischen Gemeinschaften der Hartböden vorkommende Makroalgen, sessile Epifauna-Arten sowie mobile Begleitarten und endobenthische Arten der Grobsubstrate (Auswahl).....	97

Abkürzungsverzeichnis

AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
AWZ-Projekt 4 „Benthos“	Vom Bundesamt für Naturschutz gefördertes Forschungsprojekt „Erfassung, Bewertung und Kartierung benthischer Arten und Biotope“ (hier: Teilprojekt 1 „Leben am Gradienten: Einfluss von Umwelt-parametern auf Diversität und Funktion benthischer Gemeinschaften und deren Lebensräume in der südlichen Ostsee“, FKZ 3519 53 2202)
AWZ-Projekt 6 „Sediment“	Vom Bundesamt für Naturschutz gefördertes Forschungsprojekt „Flächendeckende Sedimentkartierung in der ausschließlichen Wirtschaftszone von Nord- und Ostsee“ (AZ Z2-53202/17/01)
BaSIS	Baltic Sea Imaging System
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BHT	Broad Habitat Type (benthische Biotopklassen i.S.d. MSRL)
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BVK	Blockverteilungskarte
CAU	Christian-Albrecht-Universität zu Kiel
CBD	Convention on Biological Diversity
CTD	Automatische Messsonde für Leitfähigkeit (Salzgehalt), Dichte und Temperatur
DE 2017	Standard-Biotoptypenliste Deutschlands (Finck et al. 2017)
DOC	Dissolved Organic carbon (gelöster organischer Kohlenstoff)
EBSA	Ecologically or Biologically Significant Marine Area
EEA	European Environmental Agency
EU	Europäische Union
EU KOM	Europäische Kommission
EUNIS 2019	European Nature Information System (EEA 2019)
FFH-RL	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Richtlinie 92/43/EWG)
F+E Vorhaben	Forschungs- und Entwicklungsvorhaben
GIS	Geografisches Informationssystem
HELCOM	Die Helsinki Kommission ist das oberste Entscheidungsgremium zu Fragen der Umsetzung des Helsinki Übereinkommens zum Schutze der Meeresumwelt der Ostsee
HELCOM HUB	HELCOM Underwater Biotope and Habitat Classification System (HELCOM 2013)
IOW	Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde
KGS	artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe
kn	Knoten
KOM-Beschluss 2017/848	Beschluss der Europäischen Kommission vom 17. Mai 2017, in dem Kriterien und methodische Standards für die

	Beschreibung eines guten Umweltzustands von Meeresgewässern sowie Spezifikationen und standardisierte Verfahren für die Überwachung und Bewertung gemäß MSRL festgelegt sind
LLUR	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, Schleswig-Holstein
LRT	Lebensraumtyp gemäß Anhang I der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie
MPA	Marine Protected Areas
MSRL	Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/56/EG)
NSG	Naturschutzgebiet
OHT	Other Habitat Type (andere Lebensraumtypen gemäß KOM-Beschluss 2017/848 i.S.d. MSRL)
PAR	Photosynthetic Active Radiation
RL	Rote Liste
SSS	Seitensichtsonar
SVK	Sedimentverteilungskarte
VWFS	Vermessungs-, Wracksuch- und Forschungsschiff

Vorwort

Nur Bekanntes kann man auch effektiv schützen. Je besser wir unsere Meere verstehen, desto genauer können wir Maßnahmen etablieren, um gesunde und vielfältige marine Ökosysteme zu erhalten und wo nötig wiederherzustellen. Die Biotope von Nord- und Ostsee waren lange Zeit weiße Flecken auf den Meereskarten. Dies galt umso mehr für die ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ), wo eine Gesamtschau der Strukturen und des Lebens am und im Meeresboden nicht bekannt war. Mit Fortschreiten der Technik wurden jedoch mehr und mehr Einblicke in die uns so ferne Unterwasserwelt möglich. Heute können wir nun Vorkommen und Verteilung bedeutsamer Biotopstrukturen und ihrer dazugehörigen Lebensgemeinschaften umfangreicher und detaillierter kartieren.

Zur Identifizierung potentieller Schutzgebiete in der deutschen AWZ wurde bis dato im Wesentlichen verfügbares Wissen genutzt, um besondere Strukturen und Lebensräume mit hoher Bedeutung für die marine Lebewelt ausfindig zu machen. Seit der Meldung als Natura 2000-Gebiete an die EU-Kommission im Jahr 2004 und der finalen Ausweisung als Naturschutzgebiete im Jahr 2017 stehen diese besonderen Bereiche im Fokus der durch das Bundesamt für Naturschutz geförderten AWZ-Forschung.

Mit Hilfe von interdisziplinären Vorhaben ist es nun gelungen, den Meeresboden und seine Biotope in den Schutzgebieten der AWZ flächendeckend in einem Maßstab von 1 : 10 000 zu kartieren. Das ist so genau wie niemals zuvor. Das Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW), das Institut für Geowissenschaften der Christian-Albrecht-Universität zu Kiel (CAU), das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und die Firma BioConsult Schuchardt & Scholle GbR (BC) konnten im Auftrag des BfN dank neuester Technik, wie eines am IOW neu entwickelten Schleppkamarasystems, funktionale Zusammenhänge zwischen abiotischen und biotischen Parametern herstellen und visualisieren sowie neue Erfassungs- und Auswertestandards entwickeln. Zu den Ergebnissen gehören detaillierte Karten der Biotoptypen und ihrer Verteilung in den Schutzgebieten. Diese wiederum bilden für die seit 2022 auch für die Schutzgebiete der deutschen AWZ der Ostsee vorliegenden Managementpläne eine wichtige Grundlage zur Umsetzung von Schutz- und Wiederherstellungsmaßnahmen.

Der vorliegende Band zum Naturschutzgebiet „Fehmarnbelt“ stellt den Auftakt einer Reihe von BfN-Skripten dar, die sich mit der Biotopverteilung in allen sechs Meeresschutzgebieten der deutschen AWZ befassen.

Ganz ausdrücklich möchte ich den beteiligten Institutionen sowie den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern für diesen wichtigen Beitrag danken und freue mich auf die weiteren Ergebnisse dieser fruchtbaren Zusammenarbeit.

Dr. Britta Kniefelkamp

Leiterin der Abteilung II 3 „Meeresnaturschutz“ des BfN, Standort Insel Vilm

Zusammenfassung

Die Biotopkartierung des Naturschutzgebiets „Fehmarnbelt“ (NSG Fmb) in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) der Ostsee beruht auf der interdisziplinären Zusammenarbeit des Leibniz-Instituts für Ostseeforschung Warnemünde (IOW), des Instituts für Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), der Jade Hochschule (Jade HS) und der Firma BioConsult Schuchardt & Scholle GbR (BC). Die entsprechenden Vorhaben wurden vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) koordiniert und gefördert, wobei das BSH die Koordinierung der sedimentologischen und geologischen Arbeiten übernommen hatte.

Die Ermittlung von Vorkommen und Verbreitung der Biotoptypen des Meeresbodens beruht auf der Analyse der funktionalen Zusammenhänge der abiotischen und biotischen benthischen Parameter. Wichtige Grundlagen dafür bildeten die erstellten Sediment- und Blockverteilungskarten. Hierfür wurden vom Schiff aus flächendeckende hydroakustische Rückstreudaten mittels Seitensichtsonar (SSS) erhoben, daraus georeferenzierte Rastergrafiken (Mosaik) prozessiert und diese hinsichtlich der vorkommenden Sedimenttypen und Anzahl von Blöcken an der Meeresbodenoberfläche ausgewertet. Die Ermittlung und Klassifizierung der Gesamtverteilung der Sedimenttypen erfolgte anhand der Anleitung zur Kartierung des Meeresbodens des BSH (2016). Die Blockverteilung wurde anhand des im Leitfaden zur großflächigen Abgrenzung und Kartierung des Lebensraumtyps „Riffe“ in der deutschen Ostsee beschriebenen Verfahrens (Heinicke et al. 2021) ermittelt und klassifiziert. Dieser zwischen Fachleuten des Bundes und der Küstenbundesländer abgestimmte Leitfaden wurde am Beispiel des NSGs „Fehmarnbelt“ entwickelt. Die sedimentologischen Klassifizierungen des Meeresbodens bilden die Grundlage für die Abgrenzung geogener Riffe, die sowohl ökologisch als auch naturschutzfachlich besonders relevant sind und daher einen Schwerpunkt der Biotopkartierung darstellen.

Weiterhin wurde für die Erstellung flächendeckender Biotopkarten das Makrozoobenthos des Meeresbodens (Endobenthos/Infauna) mittels eines Netzes von Greiferproben (Van-Veen-Greifer) untersucht. Eine flächenhafte Extrapolation der an jedem Punkt gefundenen benthischen Gemeinschaften erfolgte mittels Modellierung durch ein „Random Forest“-Klassifikationsmodell. Als Prädiktoren wurden parallel erhobene abiotische Messwerte und durch Modelle für die Ostseeküste vorliegende hydrodynamische und hydrochemische Parameter sowie die oben beschriebenen Sedimentklassifikationen verwendet.

Zusätzlich wurde die Artenzusammensetzung des Epibenthos mittels eines in den vergangenen Jahren am IOW entwickelten Schleppkamarasystems ermittelt. Mit senkrecht nach unten ausgerichteter Kamera wurde entlang von Transekten alle 30 Sekunden manuell ein hochauflösendes Foto des Meeresbodens aufgenommen (Beisiegel 2019). Die Ableitung der Epibenthos-Gemeinschaften erfolgte aus dem Bedeckungsgrad der identifizierten Taxa mittels Clusteranalysen. Diese Methode ermöglicht die derzeit beste taxonomische Auflösung bildgebender Verfahren.

Die hier vorgelegte Klassifizierung der Weich- und Hartböden des NSGs „Fehmarnbelt“ wendet zum einen das hierarchische Klassifikationssystem „HELCOM Underwater biotope and habitat classification system“ (HELCOM HUB, HELCOM 2013) und zum anderen die Standard-Biotoptypenklassifikation Deutschlands (DE 2017) an. Die Zuordnung zu den einzelnen Biotoptypen erfolgte funktionsorientiert mit definierten Trennregeln durch Zusammenführung der Ergebnisse der Sediment- und Benthosanalysen.

Im Ergebnis dieser Analysen können nun erstmals folgende Biotopkarten dargestellt werden:

- Karten mit neu abgegrenzten natürlichen Lebensraumtypen gemäß Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL) im NSG „Fehmarnbelt“ (Abbildung 20 und Abbildung 25)
- Karte der Standard-Biotoptypen Deutschlands (DE 2017) im NSG „Fehmarnbelt“ (Abbildung 29)
- Karte der Biotoptypen entsprechend des Klassifikationssystems HELCOM HUB (HELCOM 2013) im NSG „Fehmarnbelt“ (Abbildung 31)
- Karte der Meeresstrategierahmenrichtlinien- (MSRL-) relevanten benthischen Biotopklassen (Broad habitat types, BHTs) und anderen Lebensraumtypen gemäß KOM-Beschluss 2017/848 (Other habitat types, OHTs) im NSG „Fehmarnbelt“ (Abbildung 32).

Die Hälfte der Fläche (50 %) des Naturschutzgebiets „Fehmarnbelt“ ist, vorwiegend im östlichen Teil, durch Feinsedimente (sandige Schlicke und schlickiger Sand) dominiert. Die übrigen 50 % sind, vorwiegend im westlichen und zentralen Bereich des NSGs, geprägt von Misch-, Grob- und Restsedimenten. Insgesamt wurden Restsedimente auf einer Fläche von 101 km² (36 %) als Haupt- oder Nebenkategorie klassifiziert. Die Blockverteilungskarte weist auf einer Fläche von 91 km² Gridzellen mit der höchsten Blockdichte aus (> 5 Blöcke/ha). Diese Vorkommen sind vorwiegend mit am Meeresboden vorhandenem Restsediment in Verbindung zu bringen. Vor allem im Westen des Gebiets ragen die Blöcke aber auch aus überlagernden Schichten von Fein-, Misch- und Grobsedimenten oder Sanden heraus.

Auf Basis der Greiferproben und Videotransekte wurden vier endobenthische und fünf epibenthische Gemeinschaften identifiziert, die in die Modellierung zur Erstellung der flächendeckenden Biotopkarten eingingen. Weitere Gemeinschaften kommen im NSG „Fehmarnbelt“ sehr kleinräumig oder in enger räumlicher Verzahnung mit diesen Gemeinschaften vor und konnten in der Ableitung der Biotopkarten nicht flächenscharf abgegrenzt werden.

Infolge der neuen Erkenntnisse aus der flächendeckenden Kartierung konnten weitere Flächen beider im NSG vorkommenden FFH-Lebensraumtypen identifiziert werden. Die als Riesenrippelfeld ausgeprägte „Sandbank mit schwacher, ständiger Überspülung durch Meerwasser“ (EU-Code 1110) dehnt sich auf einer Fläche von insgesamt 6,3 km² stärker in westliche Richtung aus als bislang bekannt und mit einer Flächengröße von 4,5 km² an die EU-Kommission gemeldet. Insbesondere im westlichen Bereich sowie in den unteren Hanglagen des zentralen Bereiches des Schutzgebietes wurden zudem neue Flächen des FFH-Lebensraumtyps „Riffe“ (EU-Code 1170) identifiziert. Auf Basis dieser Kartierungen wurde der Lebensraumtyp „Riffe“ auf 113,3 km² im NSG „Fehmarnbelt“ ermittelt. Dies ist eine fast doppelt so große Fläche gegenüber der, die auf Basis der 2004 durchgeführten Untersuchungen ermittelt und an die EU-Kommission gemeldet wurde (56,9 km²). Die beiden nach § 30 BNatSchG geschützten Biotoptypen „Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe“ sowie „Seegrasswiesen und sonstige marine Makrophytenbestände“ kommen im NSG vor allem innerhalb der Biotopkomplexe der FFH-Lebensraumtypen vor, konnten jedoch nicht auskartiert werden.

Insgesamt wurden durch die Verschneidung der benthischen Gemeinschaften mit den Sedimentinformationen 24 Habitat- und Biotoptypen nach DE 2017 und 38 Typen nach HELCOM HUB (HELCOM 2013) kartiert. Ein Teil dieser Biotoptypen kommt ausschließlich innerhalb des Biotopkomplexes „Riffe“ vor. Außerhalb der beiden FFH-Lebensraumtypen „Sandbänke“ und „Riffe“ erreicht der nach der deutschen Roten Liste von 2017 als gefährdet eingestufte Standard-Biototyp „Sublitoraler Schlickgrund der Ostsee mit

Islandmuscheln (Code 05.02.11.02.03.05)“ mit rund 116 km² und 70 % den größten Flächenanteil. Er korrespondiert mit dem laut HELCOM Roter Liste vom Aussterben bedrohten Biotoptyp „Aphotic muddy sediment dominated by the ocean quahog (Code AB.H3L3)“ des HELCOM HUB-Systems, der einen vergleichbaren Flächenanteil erreicht. Damit werden 84 % der Fläche des Meeresbodens im NSG „Fehmarnbelt“ von Biotopen eingenommen, die sowohl national als auch international als besonders schützenswert bzw. gefährdet gelten.

Die für das NSG „Fehmarnbelt“ erstmals flächendeckend hochaufgelöst vorliegenden Biotoptypen bilden die räumlichen Grundlagen für die Zustandsbewertungen der dort vorkommenden benthischen Arten und Lebensräume sowie die Umsetzung der Schutz- und Managementmaßnahmen in dem Gebiet.

Summary

The biotope mapping of the Fehmarn Belt Nature Conservation Area (Fehmarn Belt NCA) in the German Exclusive Economic Zone (EEZ) of the Baltic Sea was based on an interdisciplinary cooperation between the Leibniz Institute for Baltic Sea Research Warnemünde (IOW), the Institute of Geosciences at the Christian-Albrechts-University Kiel (CAU), the German Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH), Jade University (Jade HS) and the consulting agency BioConsult Schuchardt & Scholle GbR (BC). The corresponding projects were coordinated and supported by the German Federal Agency for Nature Conservation (BfN).

The occurrence and distribution of the seafloor's biotope types were determined by analysing the functional interrelationships between abiotic and biotic benthic parameters. Two important bases for doing so were the compiled sediment and boulder distribution maps. To create these maps, spatially comprehensive backscatter data was collected. By means of side-scan sonar, backscatter mosaics were created, and the mosaics were subsequently evaluated with regard to the occurring sediment types and quantity of boulders on the seafloor. The overall distribution of sediment types was determined based on the guideline for seafloor mapping by BSH (2016), while the boulder distribution was determined based on the guideline for the broad delineation and mapping of the biotope type "reefs" in the EEZ of the German Baltic Sea. This guideline was developed on the present example of the Fehmarn Belt NCA by Heinicke et al. (2021) in cooperation with experts from the coastal Federal States. Both sedimentological classifications of the seafloor form the basis for the delineation of geogenic reefs, which both are especially relevant in ecological and nature conservation terms and are thus a key aspect of biotope mapping.

In addition, the macrozoobenthos of the seafloor (endobenthos/infauna) was investigated by means of samples from a Van Veen grab sampler in order to compile spatially comprehensive biotope mappings. An extensive extrapolation of the benthic communities found at each point was performed using a "Random Forest" classification model. As predictors, abiotic values measured in parallel, hydrodynamic and hydrochemical parameters provided by models for the Baltic Sea coast, and the above-mentioned sediment classifications were used.

The species composition of the epibenthos was determined with a towed camera system developed over the past several years at IOW. With a vertical, downwards oriented camera, high-resolution photographs of the seafloor were manually taken every 30 seconds along predefined transects (Beisiegel 2019). Epibenthic communities were estimated on the basis of the coverage degree of the identified taxa, using cluster analyses. This method currently offers the best taxonomical resolution of imaging procedures.

The classification of the soft and hard bottoms of the Fehmarn Belt NCA presented here applies on the one hand the hierarchical classification system “HELCOM underwater biotope and habitat classification system” (HELCOM HUB, HELCOM 2013) and on the other, the German standard biotope type classification system (DE 2017). The individual biotope types were determined using a functionally oriented approach with predefined differentiating rules and by combining the results of the sediment and benthos analyses.

Based on these analyses, the following compiled biotope maps can now be presented for the first time:

- maps with newly delineated natural habitat types according to the Habitats Directive (HD) in the Fehmarn Belt NCA (figures 20 and 25)
- maps of Germany’s standard biotope types in the Fehmarn Belt NCA based on the DE 2017 classification system (figure 29)
- maps of the biotope types in the Fehmarn Belt NCA, based on the HELCOM HUB classification system (HELCOM 2013) (figure 31)
- maps of broad habitat types (BHTs) and other habitat types (OHT) according to the MSFD in the Fehmarn Belt NCA, based on Commission Decision (EU) 2017/848 of 17 May 2017 (figure 32).

About half of the NCA area (50 %), predominantly in the eastern part, is dominated by fine sediments (sandy muds and muddy sand). The other half, predominantly in the western and central part of the NCA, is characterised by mixed, coarse and residual sediments. Overall, residual sediments were classified as a main or ancillary component in an area of 101 km² (36 %). The boulder distribution map shows grid cells with the highest boulder density (> 5 boulders/ha) in an area of 91 km². These occurrences are primarily connected to residual sediment on the seafloor. But especially in the west of the area, the boulders also protrude from overlapping layers of fine, mixed and coarse sediments or sands.

On the basis of the results from the grab sampler and the video transects, four endobenthic and five epibenthic communities were identified and included in the modelling for the compilation of the spatially comprehensive biotope mappings. Other biological communities occurred in very small areas or were spatially interconnected with these communities and could not be precisely spatially delineated in the Fehmarn Belt NCA in terms of preparing the biotope maps.

Due to the new findings from the spatially comprehensive mapping, further areas of both HD habitat types occurring in the NCA were identified. Forming a megaripple field, the sublittoral sandbank (EU Code 1110) extends farther to the west (in an overall area of 6.3 km²) than previously assumed and reported to the EU Commission (4.5 km²). Especially in the western region and in the lower slope locations of the central region, new areas of the HD habitat type “reefs” (EU Code 1170) were also identified. On the basis of these mappings, the habitat type “reefs” was confirmed in 113.3 km² of the Fehmarn Belt NCA – approximately twice the area (56.9 km²) that had been detected with former methods and reported to the EU Commission in 2004. In the NCA, the two protected biotope types according to § 30 BNatSchG, “species-rich gravel, coarse-sand and shell-gravel areas” and “seagrass meadows and other marine macrophyte populations”, were mainly found within the biotope complexes of the HD habitat types but could not be precisely spatially mapped.

By combining data on the benthic communities and the sediment formations, a total of 24 biotope types according to the German standard biotope list DE 2017 (Finck et al. 2017) and 38 types according to the HELCOM HUB system (HELCOM 2013) were mapped. Some

of these biotope types can only be found within the biotope complex “reefs”. Beyond the two HD habitat types “sandbanks which are slightly covered by seawater all the time” and “reefs”, the standard biotope type “sublittoral muddy substrates of the Baltic Sea with ocean quahogs (Code 05.02.11.02.03.05)”, which is classified as endangered on the German Red List (2017), contributes – at approximately 116 km² and 70 % – the largest percentage of the overall area. It corresponds to the (according to the HELCOM Red List, threatened with extinction) biotope type “aphotic muddy sediment dominated by the ocean quahog (Code AB.H3L3)” from the HELCOM HUB system, which makes up a comparable proportion of the overall area. Accordingly, 84 % of the seafloor area in the Fehmarn Belt NCA is home to biotopes which are both nationally and internationally considered to be especially worth protecting or endangered. The first-ever spatially comprehensive and high-resolution biotope maps of the Fehmarn Belt NCA, presented in this publication, offer a spatial basis for assessing the status of its benthic species and habitats, and for implementing suitable protection and management measures.

1 Einleitung

Die Bundesrepublik Deutschland hat bereits im Jahr 2004 sechs Meeresgebiete in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) der Ostsee für das Europäische Schutzgebietsnetzwerk Natura 2000 an die Europäische Kommission (EU-KOM) gemeldet. Seit 2017 sind sie durch die drei Naturschutzgebiete (NSG) „Fehmarnbelt“, „Kadetrinne“ und „Pommersche Bucht - Rönnebank¹“ national unter Schutz gestellt (Abbildung 1).

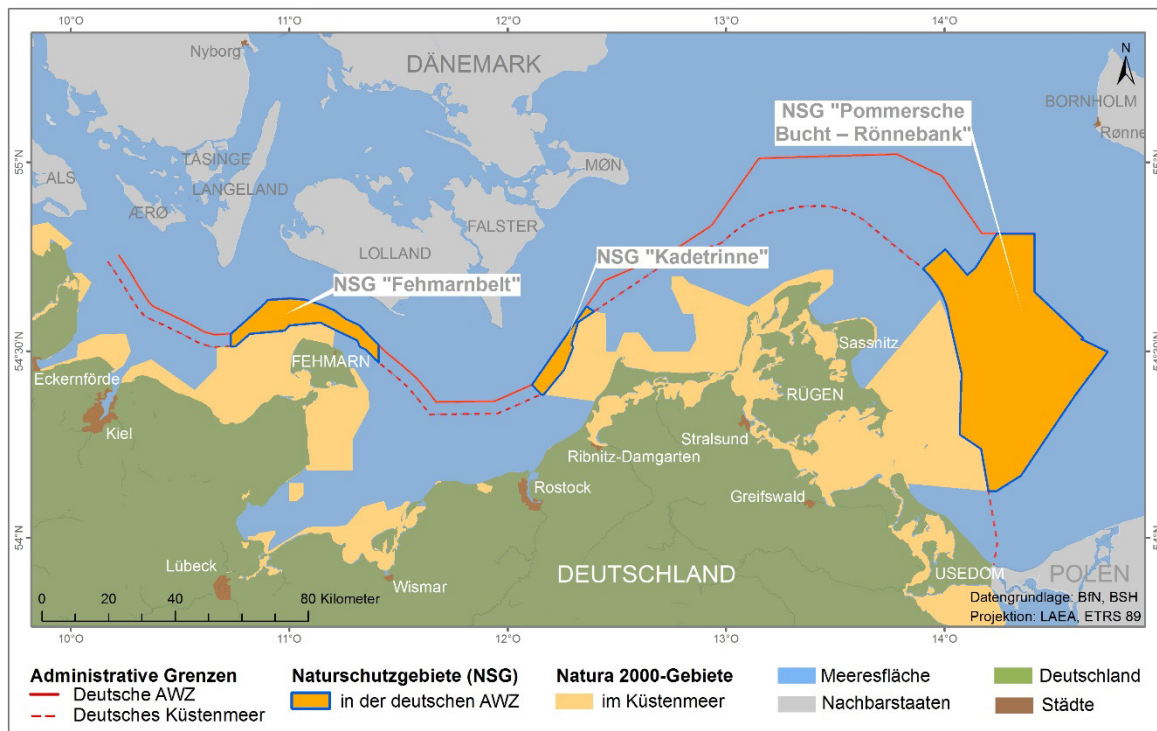


Abbildung 1: Übersichtskarte über die drei Naturschutzgebiete in der deutschen AWZ der Ostsee

Das ca. 280 km² große NSG „Fehmarnbelt“ ist gemäß der Schutzgebietsverordnung (NSGFmbV)² national geschützt (BfN 2020). Es liegt zentral in der AWZ in der gleichnamigen Meerenge zwischen der deutschen Insel Fehmarn und der dänischen Insel Lolland in der Beltsee (Abbildung 1). Die Wassertiefen bewegen sich zwischen 10 und 40 m. Zentrale morphologische Struktur ist die west-ost verlaufende, in Abbildung 2 gut erkennbare Vinds Grav-Rinne, durch die ca. 70 – 75 % des Wasseraustausches zwischen Nord- und Ostsee erfolgt. Die Rinne ist ein Produkt der im Verlaufe des Quartärs wiederholt durch oszillierende Gletscher des skandinavischen Inlandeises hervorgerufenen Ausschürfungen des Untergrunds sowie postglazialer Prozesse, insbesondere Isostasie und Eustasie. Das Gebiet weist daher eine besondere, durch diesen Wasseraustausch geprägte Hydro- und Morphodynamik auf (BfN 2020).

¹ Das NSG stellt einen Komplex aus den FFH-Gebieten („Gebiete gemeinschaftlicher Bedeutung“, „Besondere Erhaltungsgebiete“ gemäß FFH-RL) „Pommersche Bucht mit Oderbank“, „Westliche Rönnebank“ und „Adlergrund“ sowie dem Europäischen Vogelschutzgebiet („Besonderes Schutzgebiet“) „Pommersche Bucht“ dar.

² Verordnung über die Festsetzung des Naturschutzgebiets „Fehmarnbelt“ vom 22. September 2017 (BGBl. I S. 3405)

Der Fehmarnbelt besitzt als ökologisches Bindeglied zwischen Beltsee und Mecklenburger Bucht eine für die gesamte Ostsee wichtige Vernetzungsfunktion, nicht nur für den Wasseraustausch, sondern auch als Teillebensraum und Wanderoute für Schweinswale, See- hunde, Fische sowie für die Larven vieler wirbelloser Tierarten und die Sporen mariner Al- gen. Über den Fehmarnbelt verläuft zudem eine der bedeutendsten Flugrouten des west- palearktischen Vogelzuges („Vogelfluglinie“). Durch die exponierte Lage im Einstrombe- reich von Nordseewasser am Rande der Beltsee werden die Biotope im Gebiet von einer sehr vielfältigen Fauna und Flora besiedelt.

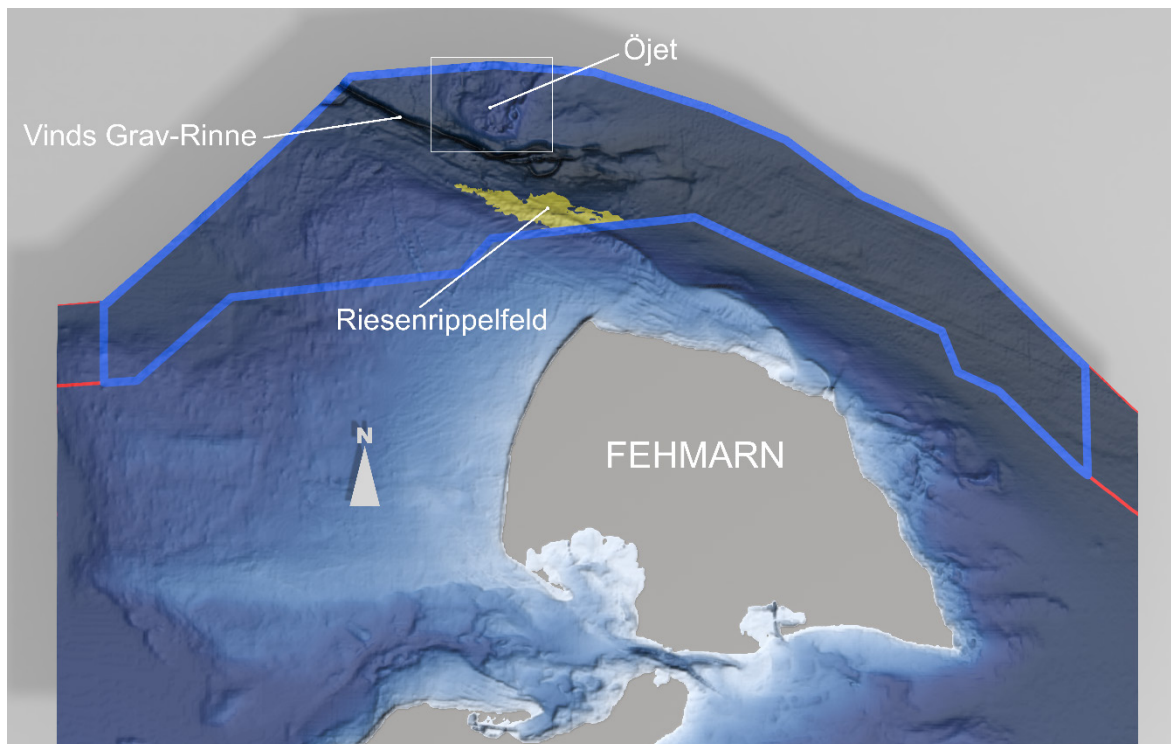


Abbildung 2: Lage im Bericht erwähnter topographischer Strukturen im NSG „Fehmarnbelt“ (Meeresbodenrelief 56-fach überhöht) (C. Terstegge, Mediendesign)

Die Sedimentverteilung und die benthischen Lebensgemeinschaften im Bereich des Fehmarnbelts entsprechen in etwa den Mustern wie sie auch in der Kieler- und Mecklen- burger Bucht anzutreffen sind. Der Meeresbereich um die Insel Fehmarn ist überwiegend als eine große Abrasionsplatte angelegt (BfN 2018; Schwarzer & Diesing 2006). Hier, wie auch auf der submarinen Erhebung Öjet (Abbildung 2), ist der Meeresboden großflächig mit Restsedimenten bedeckt. Auf beiden Teilflächen treten gehäuft Blockfelder auf (Schwarzer & Diesing 2006). Die assoziierten, geogenen Riffe beherbergen einige der ar- tenreichsten Lebensgemeinschaften der Ostsee (BfN 2018). Als lokale Eigenheit kommt im NSG ein Riesenrippelfeld vor (Werner & Newton 1970; Werner et al. 1974; Feldens et al. 2009), welches eine besondere Ausprägung des LRT „Sublitorale Sandbänke“ darstellt. Es ist wegen seiner Seltenheit von besonderem ökologischem und geowissenschaftlichem Wert (BfN 2020).

Das NSG hat zugleich den Status eines „Besonderen Schutzgebietes“ nach Art. 3 Abs. 2 S. 2 und Art. 4 Abs. 4 FFH-RL³. Die Ausweisung erfolgte wegen der dort gemäß Anhang I der FFH-RL vorkommenden Lebensraumtypen „Sandbänke“ (EU-Code 1110) und „Riffe“

³ Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL, Richtlinie 92/43/EWG)

(EU-Code 1170) sowie der dort vorkommenden Seehunde und Schweinswale (BfN 2020). Es ist zudem als HELCOM-Meeresschutzgebiet (HELCOM-MPA) an die Helsinki-Kommission gemeldet und Teil des durch die Convention on Biological Diversity (CBD) als ökologisch und biologisch bedeutsam eingestuften Gebietes „Fehmarn Belt“ (EBSA, CBD 2019). Es gilt als eines der arten- und strukturreichsten Gebiete der westlichen Ostsee und bedarf daher eines besonderen Schutzes (BfN 2020).

Mit der Unterschutzstellung einher geht die Verpflichtung zur Entwicklung, Umsetzung und Überwachung von Maßnahmen zum Erhalt oder zur Wiederherstellung natürlicher Lebensräume und ihrer Artenvielfalt. Eine zielgerichtete Planung dieser Managementmaßnahmen, aber auch die Entwicklung von Monitoring- und Bewertungsstrategien unter Deskriptor 6 in der MSRL, erfordern unter anderem eine hinreichend gute Kenntnis zu Vorkommen und Verbreitung der benthischen Lebensräume und Gemeinschaften (Buhl-Mortensen et al. 2015; Ware & Downie 2020). Biotope des Meeresbodens sind synökologische Lebensräume einer spezifischen wiederkehrenden biologischen Biozönose, die durch die abiotische Umwelt, aber auch durch Wechselbeziehungen der Arten untereinander gekennzeichnet sind (Fürhaupter et al. 2015). Sie sind wichtige Elemente der natürlichen biologischen Vielfalt und dienen z. B. durch ihre Einstufung in Roten Listen (z. B. Finck et al. 2017; HELCOM 2013a) als Indikatoren für den ökologischen Zustand der Meere. Der Begriff Biotop subsumiert in diesem Bericht alle natürlichen Lebensraumtypen gemäß FFH-RL, Anhang I, gesetzlich geschützte Biotope gemäß § 30 BNatSchG sowie alle hierarchischen Ebenen von klassifizierten Biotoptypen und Biotopkomplexen des Meeresbodens.

Bislang war im NSG „Fehmarnbelt“ zwar grundsätzlich bekannt, welche geogenen Substrate (Kaufhold 1985, 1995; Schwarzer & Diesing 2006, 2008; Feldens et al. 2015) und welche Taxa bzw. Gemeinschaften des Benthos vorkommen und welchen Biotopen diese grob zugeordnet werden konnten (z. B. Gosselck et al. 1998; Zettler et al. 2006; Beisiegel et al. 2018), die räumliche Verteilung der verschiedenen Biotope aber war es nicht. Schiele et al. (2015) publizierten erstmals eine kleinmaßstäbige Biotopkarte für die gesamte deutsche Ostsee, die allerdings noch nicht auf die aktuell zur Verfügung stehenden Datensätze zur Sedimentverteilung, zum Blockvorkommen und zu Benthosorganismen, insbesondere zum Epibenthos, zurückgreifen konnte und daher im Detaillierungsgrad nicht allen Ansprüchen des Schutzgebietsmanagements gerecht wurde.

Das BfN initiierte bereits im Jahre 2004 in verschiedenen Projekten die Kartierung der Biotope des Meeresbodens mit Schwerpunkt in den Schutzgebieten der deutschen AWZ (z. B. Zettler et al. 2006; Schwarzer & Diesing 2006, 2008). Ein umfassendes und zielgerichtetes Programm zur Kartierung des Meeresbodens wurde im Jahr 2012 gestartet. Neben der eigentlichen Kartierarbeit waren das BfN, dessen Kooperationspartner und Projektnehmer im nationalen Rahmen auch an der Entwicklung von Kartieranleitungen und Leitfäden beteiligt (z. B. BSH 2016; BfN 2018; Heinicke et al. 2021).

Parallel dazu entstanden in den vergangenen Jahren für derartige Zwecke verschiedene Klassifikationssysteme wie z. B. auf europäischer Ebene das European Nature Information System, kurz EUNIS (Davies & Moss 2004), dessen basale Ebenen jedoch weder mit ihren abiotischen noch mit ihren biotischen Elementen auf die besonderen Gegebenheiten der Ostsee anwendbar sind. Daher sah es die Helsinki Kommission (HELCOM), der alle Ostsee-Anrainerstaaten und die EU angehören, als notwendig an, ein spezielles Klassifikationssystem für die Biotope der Ostsee zu erarbeiten. HELCOM (2013a) legte für die Erarbeitung der Roten Liste gefährdeter Biotope im Ostseeraum mit dem HELCOM Underwater Habitat and Biotope Classification System (kurz: HELCOM HUB) ein entsprechendes Klassifikationssystem mit sechs hierarchischen Ebenen vor. Grundlagen und Anwendungsregeln des HELCOM HUB-Systems sind in einem technischen Bericht ausführlich erläutert

(HELCOM 2013). Darauf aufbauend erfolgte eine Anpassung dieser Biotopklassifizierung an die nationalen Besonderheiten sowie eine Überarbeitung der Standard-Biotoptypenliste Deutschlands (kurz: DE 2017; Fühaupter et al. 2015; Finck et al. 2017). Internationale Kritik an der EUNIS-Klassifikation der marinen Habitate (z. B. in Galparsoro et al. 2012) führte zu mehrfacher Weiterentwicklung von EUNIS. So wurden in einem Überarbeitungsschritt für EUNIS 2019 die ostseespezifischen Biotope aus dem HELCOM HUB übernommen (EEA 2019). Allerdings hat eine Prüfung durch die Autor*innen ergeben, dass EUNIS auch aktuell nicht alle HELCOM HUB-Biotope korrekt abbildet, bzw. wesentliche Definitionen/Beschreibungen widersprüchlich sind. Daher werden in diesem Beitrag außer den auf dem EUNIS-System basierenden benthischen Biotopklassen (BHT) nach MSRL keine EUNIS-Biotope dargestellt (vgl. Kap. 6.1).

Nachdem durch die Kartieranleitungen und Leitfäden sowie die Aktualisierung relevanter Klassifikationssysteme (HELCOM 2013; BSH 2016; Finck et al. 2017; BfN 2018; Heinicke et al. 2021) die notwendigen Voraussetzungen geschaffen worden waren, konnten nun für das NSG „Fehmarnbelt“ flächendeckend erste detaillierte, großmaßstäbige Biotopkarten im Bereich der deutschen AWZ der Ostsee erstellt werden. Anders als bei den terrestrischen oder den küstennahen, meist sehr flachen marinen Lebensräumen kann die Kartierung der küstenferneren marinen Biotope nicht durch eine Kombination aus flächendeckenden optischen Verfahren und Ortsbegehungen erfolgen. Mittel der Wahl zur flächendeckenden Erfassung der wesentlichen Lebensraumstrukturen (Bathymetrie, Sediment) sind hier hydroakustische Verfahren wie der Einsatz von Seitensichtsonaren und Fächerecholoten (Kap. 2). Der angestrebte Darstellungsmaßstab von 1 : 10 000 bei gleichzeitig hoher Auflösung, welche ein Erkennen von Objekten einer bestimmten Größe ermöglicht, bestimmen die Messstrategie. Die Rückstreumosaik als Ergebnis der hydroakustischen Messungen können nicht direkt in Sedimentkarten umgewandelt werden, sondern bedürfen der Aufnahme und Auswertung ergänzender Informationen („Ground Truth“) durch die Entnahme von Bodenproben (Greifer) sowie nach Möglichkeit aus optischen Verfahren (Unterwasser-Video). Die im NSG angewandten Spezifika dieses grundlegenden Ansatzes zur Sedimentkartierung entsprechen den Vorgaben und Empfehlungen der aktuellen Kartieranleitung (BSH 2016), welche als Grundlage für die großflächige Abgrenzung geogener Riffe um die in Heinicke et al. (2021) beschriebene Methode zur Erfassung von Blockfeldern ergänzt wurden. Die aus den geologischen Kartierungsarbeiten resultierenden Sedimentverteilungskarten (Kap. 2.2) und Blockverteilungskarten (Kap. 2.3) bilden in dreierlei Hinsicht die Basis für die weiteren Arbeitsschritte:

- (1) als Prädiktor in der Modellierung der benthischen Gemeinschaften (Kap. 3),
- (2) als essentielle Grundlage für die nach § 30 BNatSchG geschützten Biotope „Riff“ (FFH-LRT 1170, Kap. 4.2), „Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe“ (Kap. 5.2) sowie als ergänzende Information für die Ausweisung von „Sandbänken“ (FFH-LRT 1110, Kap. 4.1) und von „Seegraswiesen und sonstigen marinen Makrophytenbeständen“ (Kap. 5.3) sowie
- (3) als Klassifikations-Parameter in den relevanten Biotop-Klassifizierungssystemen (Kap. 6).

Die biologische Komponente der Biotope lässt sich in den küstenfernen Gebieten nicht flächendeckend erfassen. Stattdessen werden die benthischen Lebensgemeinschaften punktuell aufgenommen, ihre Verbreitung in Abhängigkeit von Umweltparametern analysiert und die Information durch prädiktive Modellierungsverfahren in die Fläche gebracht. Zum Einsatz kommt hier ein aus dem „Machine Learning“ stammendes, „Random Forest“ genanntes Klassifikationsverfahren. Analog zur Geologie werden auch in der Biologie die

Weichböden (Kap. 3.1) und die Gemeinschaften der Hartböden (Kap. 3.2) zunächst separat betrachtet und sekundär miteinander verschnitten (Kap. 6.1). Während die Datenerhebung der endobenthischen Gemeinschaften auf standardisierten Verfahren basierte, wurde das Verfahren für die Aufnahme der epibenthischen Hartbodengemeinschaften im Rahmen der Kartierungsprojekte entwickelt (Beisiegel et al. 2017).

Die vorliegende Veröffentlichung dient zum einen der Erläuterung des methodischen Vorgehens bei der Kartierung, der Darlegung der verwendeten Daten und der Beschreibung der gebietsspezifischen Anpassungen und Konkretisierungen von allgemeinen Regelwerken zur Ableitung der zu kartierenden Biotoptypen (siehe Box). Zum anderen enthält sie erstmals die Ergebnisse einer hochaufgelösten Biotopkartierung eines NSG in der deutschen AWZ auf der Grundlage eines Maßstabs von 1 : 10 000 für die Biotopklassifizierungssysteme HELCOM HUB (HELCOM 2013) und DE 2017 sowie aktualisierte Angaben zur Verbreitung geschützter Biotope inklusive der natürlichen Lebensraumtypen im Sinne der FFH-Richtlinie.

Biotoptypen sind abstrahierte und hinsichtlich ihrer abiotischen und biologischen Merkmale zusammengehörige Erfassungs- und Bewertungseinheiten, die in der Regel hierarchisch strukturiert sind, wie z. B. in Abbildung 3 anhand der Standard-Biotoptypen-Klassifikation der Roten Liste des BfN (Finck et al. 2017) dargestellt. Biotopkomplexe stellen dagegen einen übergeordneten Komplex von Biotoptypen in einem festen räumlichen Gefüge dar (Fürhaupter et al. 2015). In der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) der deutschen Nord- und Ostsee sind dies unter anderem die Lebensraumtypen „Riffe“ und „Sandbänke“ gemäß Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Richtlinie 92/93/EWG). Sowohl Biotoptypen als auch Biotopkomplexe müssen sich durch ihre Merkmale abgrenzen lassen. Eine Mindestgröße ist faktisch nicht zu bestimmen (HELCOM 2013a). Aus ökologischer Sicht muss ein Biotop groß genug sein, um einen ausreichenden Lebensraum für seine Biozönose zu bieten (von Drachenfels 2012).

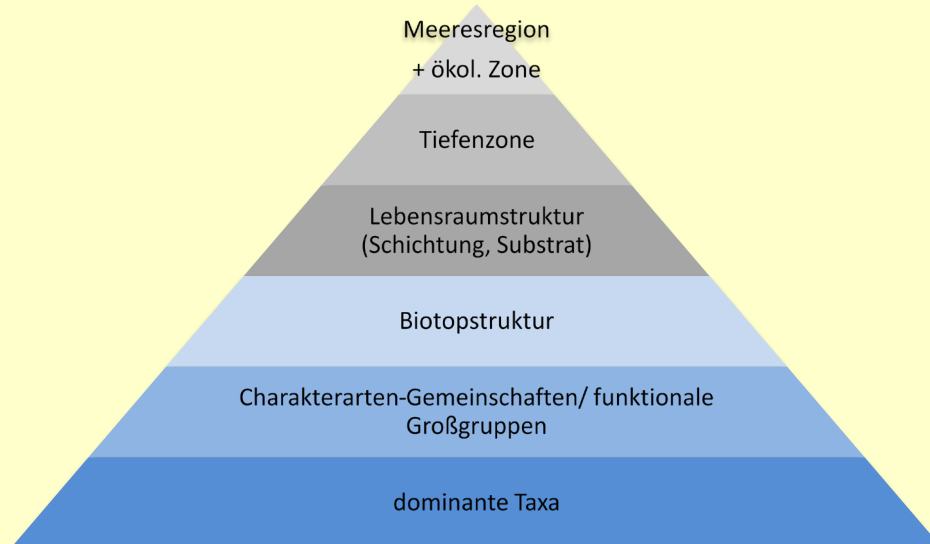


Abbildung 3: Hierarchische Struktur des Klassifikationssystems, auf der die deutsche Standard-Biotoptypenliste (DE 2017) basiert

2 Geologischer Teil der Kartierung

2.1 Datenerfassung

Die geologische Kartierung (Sediment- und Blockverteilung) in den Schutzgebieten der deutschen AWZ von Nord- und Ostsee ist eine wesentliche Grundlage für die benthische Biotoptypenkartierung. Sie begann bereits im Zeitraum 2003 – 2006 als bilaterales Forschungsvorhaben zwischen dem BfN und der CAU (Schwarzer & Diesing 2006). Eine Fortführung dieser Arbeiten im NSG „Fehmarnbelt“ erfolgte im Rahmen des vom BfN geförderten AWZ-Projekts 6 „Flächendeckende Sedimentkartierung in der ausschließlichen Wirtschaftszone von Nord- und Ostsee (Sediment)“ im Zeitraum von 2012 bis Mitte 2021. Kooperationspartner in diesem vom BSH koordinierten Projekt war für den Ostseebereich das Institut für Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU). Das Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) war im Rahmen einer Verwaltungsvereinbarung mit dem BSH ebenfalls an der Sedimentkartierung in den Ostsee-NSG beteiligt.

Grundlage der geologischen Kartierung der Meeresbodenoberfläche sind flächendeckende, hydroakustische Aufnahmen mit Seitensicht-Sonaren, die durch Ground Truth-Verfahren (Beprobungen der Meeresbodenoberfläche mittels Greifer und Unterwasser-Videoaufzeichnungen) verifiziert werden. In den ersten beiden Phasen des AWZ-Projekt 6 „Sediment“ stimmten die Beteiligten eine einheitliche Methodik zur Datenerhebung, Datenanalyse und Interpretation untereinander ab (BSH 2016). Diese Kartieranleitung beinhaltet sowohl einen Leitfaden zur Datenerfassung als auch zur Interpretation bzw. sedimentologischen Klassifikation der Meeresbodensedimente. Allerdings enthält diese BSH-Kartieranleitung von 2016 noch kein Kapitel zu Blockfeldern.

Für die Kartierung wurden sowohl bereits vorliegende hydroakustische Daten und Korngrößenverteilungen aus verschiedenen Quellen verwendet, als auch neue Daten erfasst.

Der Begriff „**Restsediment**“ ist hinsichtlich der Korngrößenzusammensetzung kein fest definierter Begriff in den Geowissenschaften, sondern eher ein prozessorientierter Ausdruck. Insofern sind Restsedimente auch nicht in ein an Korngrößen orientiertes Klassifikationsschema für Sedimenttypen eingeordnet. Der Begriff Restsediment findet aber häufig Anwendung für eine übergeordnete und gebietsspezifische Beschreibung von bestimmten Sedimenttypen. Sie bilden in der Ostsee meistens eine gering mächtige, aber mobile Deckschicht aus Lockermaterial über anstehendem Geschiebemergel. Sie bestehen aus Grobsand, Kies und Steinen. Die Verbreitung dieser Sedimente beschränkt sich größtenteils auf die küstennahen Abrasionsplattformen und submarine Schwellen und Hochlagen, kann aber auch an tiefergelegenen Flanken von Abrasionsflächen vorkommen (Schwarzer et al. 2014). Ihre Entstehung ist auf die Abrasion des Geschiebemergels zurückzuführen, aus dem je nach Energieeinwirkung die feineren Komponenten (Ton, Silt, Fein- bis Mittelsand) abtransportiert wurden. Die gröberen Sedimente bleiben als Relikt zurück. Eine solche Restsedimentdecke kann in den flachen Küstengebieten bis zu mehreren Dezimeter mächtig werden (Schwarzer et al. 2000). Restsedimente sind von grundlegender Bedeutung für die Kartierung des FFH-Lebensraumtyps „Riff“ (EU-Code 1170).

Steine und Blöcke des Meeresbodens sind natürliche Gerölle unterschiedlicher Größe, die dort z. B. durch Gletscher auf natürliche Weise abgelagert wurden. Durch die Abrasionsprozesse am Meeresboden wurden und werden sie im Gebiet des Fehmarnbelts auch heute noch freigelegt. Das BfN (2018) unterscheidet Steine von Blöcken und orientiert sich dabei an maßgeblichen, geowissenschaftlichen Abhandlungen (Kolp 1966). Für die Riffabgrenzung relevante Steine haben einen Durchmesser von > 6,4 cm (European Commission 2013) bis 50 cm. Blöcke haben gemessen an der Längsachse einen Durchmesser von ≥ 50 cm. Erreicht die längste Achse ein Maß von 2 m, bezeichnet das BfN (2018) Blöcke als **marine Findlinge** (in der Biotopkarte NSG

„Fehmarnbelt“ nicht einzeln erfasst, aber wichtige Elemente bei der Kartierung im Zuge von Zulassungsverfahren).

In Anlehnung an das Lexikon der Biologie⁴ bezeichnet **Substrat** (nachfolgend z. T. synonym Sedimenttyp) ein Material oder Medium, auf oder in dem Lebewesen leben und sich entwickeln. Am Meeresboden des Fehmarnbelts sind dies die marinen Lockersedimente⁵. Lockersedimente werden von Festgestein unterschieden. Sie sind im Zuge der Sedimentation- und Ablagerungsprozesse ausgeschiedene Substanzen biogenen oder geogenen Ursprungs, aber auch Ausfällungen infolge biogeochemischer Prozesse. Sie werden entsprechend ihrer Korngrößen klassifiziert und typisiert. Die für die Sedimentkartierung vorgenommenen Analysen und Darstellungen der Korngrößenverteilungen basieren auf der Klassifikation von Blott & Pye (2001), welche die Fraktionen Ton, Schluff, Sand, Kies, Steine und Blöcke, die in weitere Unterfraktionen unterteilt werden können, abbildet (BSH 2016).

2.1.1 Beschreibung der verwendeten Altdaten

Hinsichtlich der Verwendung von Altdaten konnte auf Vermessungen des BSH und der CAU zurückgegriffen werden, die im Zeitraum zwischen 2003 und 2007 durchgeführt worden waren (Schwarzer & Diesing 2006, 2008). Zudem lagen Daten zu Korngrößenverteilungen von Sedimentproben vom IOW aus dem Jahr 2009 und eine Sammlung von Altdaten verschiedener Herkunft aus den Jahren 1938 – 1986 vor (vgl. Kapitel 2.2.1 Abbildung 7 und Kapitel 2.3.1 Abbildung 13).

Seitensichtsonardaten der BSH-Seevermessung

Im Rahmen der Seevermessung und Wracksuche werden vom BSH neben Single- und Multibeam-Echoloten am Schiffsrumpf fest installierte Seitensichtsonare eingesetzt. Für die geologische Kartierung der Sedimente wurden die so auf einer Fläche von ungefähr 95 km² erhobenen Daten durch das IOW prozessiert und Rückstreumosaik in einer räumlichen Auflösung von einem Meter erzeugt.

Seitensichtsonardaten und Oberflächensedimentproben der CAU

Im Rahmen des Projekts „Erforschung der FFH-Lebensraumtypen Sandbank und Riff in der AWZ der deutschen Nord- und Ostsee“ (Schwarzer & Diesing 2006) wurde zwischen 2003 und 2006 ein großer Teil des NSG „Fehmarnbelt“ flächendeckend mit hydroakustischen Methoden erfasst. Für das Ground Truth dieser ca. 148 km² großen Fläche wurden 128 Sedimentproben von der Meeresbodenoberfläche entnommen.

⁴ <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/substrat/64580>

⁵ (gemäß dieser Definition wären auch Lebewesen wie z. B. Großalgen Substrate, da auf ihnen z. B. sessile und vagile Makrozoobenthosarten leben. In der Biotopkarte des NSG „Fehmarnbelt“ stellen sie keine Substrate dar).

2.1.2 Erhebung neuer Daten

Datenerhebung der CAU

Zwischen dem 20. und 29.11.2017 fand eine Messfahrt mit dem Forschungskutter „Littorina“ zur Schließung zweier Datenlücken im NSG „Fehmarnbelt“ statt. Eine große Herausforderung war hier das hohe Verkehrsaufkommen, da das Messgebiet innerhalb der Hauptschifffahrtsroute liegt und daher nur zu bestimmten Tageszeiten und unter großen Sicherheitsvorkehrungen gearbeitet werden konnte. Ungünstige Wetterverhältnisse erschwerten die Arbeiten zusätzlich. Insgesamt konnten auf dieser neuntägigen Ausfahrt 55 km² erfasst und für das Ground Truth 46 Sedimentproben genommen werden.

Datenerhebung des BSH

Im Kooperationsverbund zur flächendeckenden Sedimentkartierung wurde 2018 eine Methodik zur Kartierung von Blöcken ab einem Durchmesser von 50 cm festgelegt (s. Kapitel 2.3). Die Durchsicht der Altdaten zeigte, dass die räumliche Auflösung von einem Meter der BSH-Seevermessungsdaten im westlichen Fehmarnbelt nicht ausreicht, um die Kartierung von Blöcken zu ermöglichen. Zudem wiesen einige Bereiche der CAU-Altdaten aufgrund der Sprungschicht in der Wassersäule sowie teilweise ungünstiger Wetterbedingungen während der Datenerhebungen eine beeinträchtigte Datenqualität auf. Daher fand vom 07. bis 09.05.2019 eine weitere Forschungsfahrt mit dem Vermessungs-, Wracksuch- und Forschungsschiff „VWFS Deneb“ des BSH statt. Damit konnte zudem die bestehende Datenlücke im Norden des Untersuchungsgebietes an der Grenze zu Dänemark geschlossen werden (vgl. Kapitel 2.3.1 Abbildung 13, dunkelblau schraffiert). Insgesamt wurde dabei eine Fläche von 34 km² ohne die Entnahme von Oberflächensedimentproben zur Verifizierung der Sonardaten erfasst.

2.1.3 Ergebnis der Datenerfassung

Abbildung 4 zeigt eine Zusammenstellung der generierten Rückstreumosaik, die als Grundlage für die Erstellung einer flächendeckenden Sedimentverteilungskarte dienen. Zur Kartierung von Blöcken sollte die räumliche Auflösung 25 cm betragen, um Blöcke mit einer Mindestlänge der Längsachse von > 50 cm hinreichend genau detektieren zu können. Im NSG „Fehmarnbelt“ mit seinen hohen Stein- und Blockvorkommen wurde dies erreicht. Lediglich in den von sandigen Sedimenten dominierten Gebieten im Osten und Nordwesten des Untersuchungsgebietes wurde die für die Erstellung der Sedimentverteilungskarte verwendete räumliche Auflösung der Rückstreumosaik von 100 cm (vgl. Abbildung 5) nicht weiter erhöht, da nach der Vorauswertung dieser Flächen dort keine Blockvorkommen zu erwarten waren.

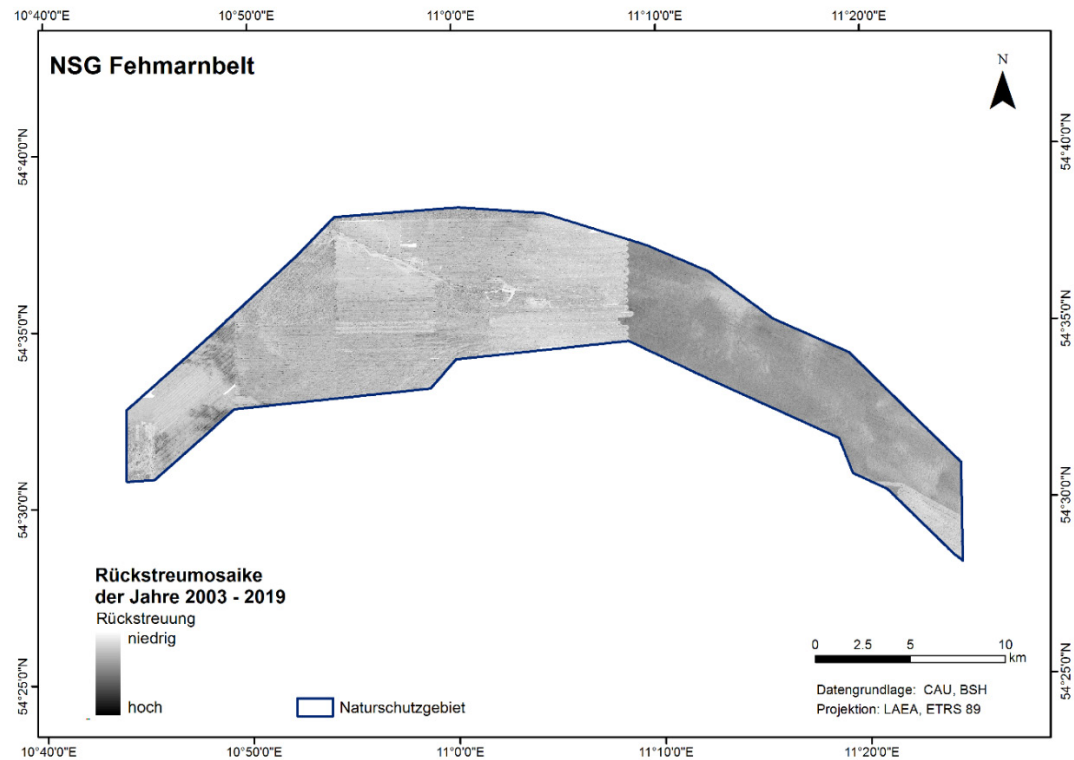


Abbildung 4: Zusammenstellung aller Rückstreumosaik der verschiedenen Quellen (vgl. Kapitel 2.3.1 Abbildung 13). Der Grauwertbereich der Rückstreumosaik variiert zwischen den unterschiedlichen Messkampagnen aufgrund des Einsatzes unterschiedlicher Messgeräte und unterschiedlicher Messbedingungen

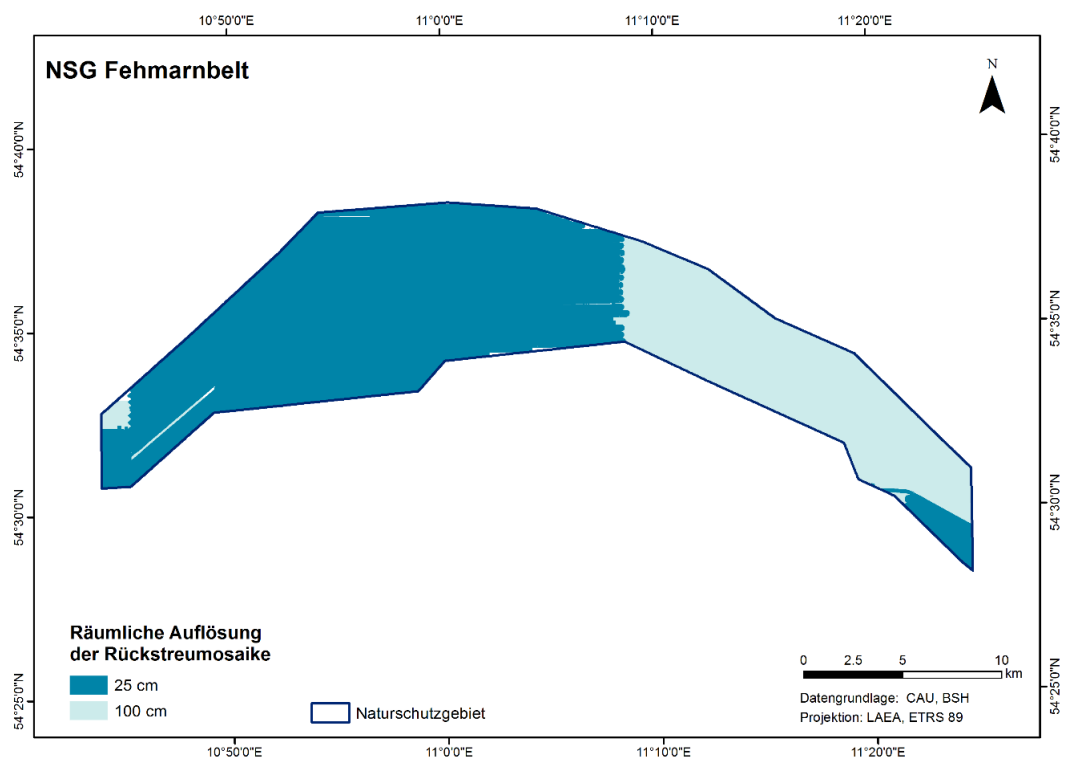


Abbildung 5: Darstellung der Bereiche, in denen Daten mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung der zur geologischen Kartierung herangezogenen Rückstreumosaik vorliegen (vgl. Abbildung 4)

2.2 Sedimentverteilungskarte

2.2.1 Dateninterpretation

Die Interpretation der Daten orientierte sich an der Kartieranleitung des BSH (2016) und dem Kenntnisstand über die geologische Entwicklung des Gebietes (Kolp 1966; Werner et al. 1974; Kaufhold 1995; Werner 2000; Novak & Björck 2002, 2004; Feldens et al. 2009; Feldens & Schwarzer 2012, 2015; Heinrich et al. 2018) sowie über die hydrologischen Randbedingungen (Fennel 1995; Lemke 1998; v. Storch & Omstedt 2008). Seit dem Erscheinen der Kartieranleitung des BSH (2016) wurden jedoch im Kooperationsverbund des AWZ-Projektes 6 „Sediment“ Änderungen hinsichtlich der Klassifikation der Oberflächensedimente abgestimmt, die auch bei der Erstellung der Sedimentverteilungskarte des NSG „Fehmarnbelt“ Anwendung fanden. Die Sedimenttypen werden nunmehr auf drei Ebenen (A bis C) klassifiziert (Abbildung 6). Ebene D, welche die genetischen Sedimente umfasste, entfällt und ist größtenteils in die Ebene A eingeordnet. Dies betrifft auch die „Restsedimente mit Steinen und Blöcken“, die eine essentielle Bedeutung für die Biotoperfassung haben.

Sind zwei oder mehrere Sedimenttypen anhand der vorhandenen Datenbasis nicht eindeutig differenzierbar, z.B. aufgrund gradueller Sedimentübergänge, oder treten Sedimente in kleinräumigem Wechsel auf, wurden sogenannte Spezialfälle definiert (siehe Tabelle 1). Durch diese Vorgehensweise ist eine Vielzahl unterschiedlicher Kombinationen von Sedimenttypen möglich.

Tabelle 1: Spezialfälle zur Kombination verschiedener Sedimenttypen (BSH 2016)

Symbol	Kennung	Erläuterung
-	bis	Fall (I): Die Sedimenttypen sind im Rückstreu-Mosaik nicht weiter differenzierbar. Je nach Beschaffenheit des Meeresbodens (z. B. Rauigkeit, Morphologie, Besiedlung durch benthische Organismen) können gleiche Sedimenttypen unterschiedliche Rückstreuungseigenschaften haben aber auch unterschiedliche Sedimenttypen ähnliche Rückstreuungseigenschaften aufweisen. Aus diesem Grund ist es nicht immer möglich, die jeweiligen Sedimenttypen in einem Rückstreumosaik eindeutig voneinander abzugrenzen. Dies wird durch die Präposition „bis“ gekennzeichnet (z. B. Fein- bis Mittelsand, als Kürzel „fS - mS“).
+	und	Fall (II): Die Fläche weist im Rückstreu-Mosaik eine kleinräumige heterogene Textur auf. Aufgrund des Bearbeitungsmaßstabes (1 : 10.000) und der Mindestgröße der zu erfassenden Strukturen (100 m) werden nicht alle kleinräumigen Flächentexturen auskartiert. Im Falle eines engräumigen Wechsels von unterschiedlichen Flächentexturen werden diese einzeln erfasst, wenn sie mindestens 100 m voneinander entfernt liegen. Ist dieser Mindestabstand in sehr heterogenen Gebieten nicht gegeben, werden die Texturen als „heterogene Textur“ zusammengefasst. Die jeweiligen Sedimenttypen werden mit der Konjunktion „und“ versehen (als Kürzel „+“, z. B. „mS + fS“). Dabei wird der vorherrschende Sedimenttyp zuerst genannt.

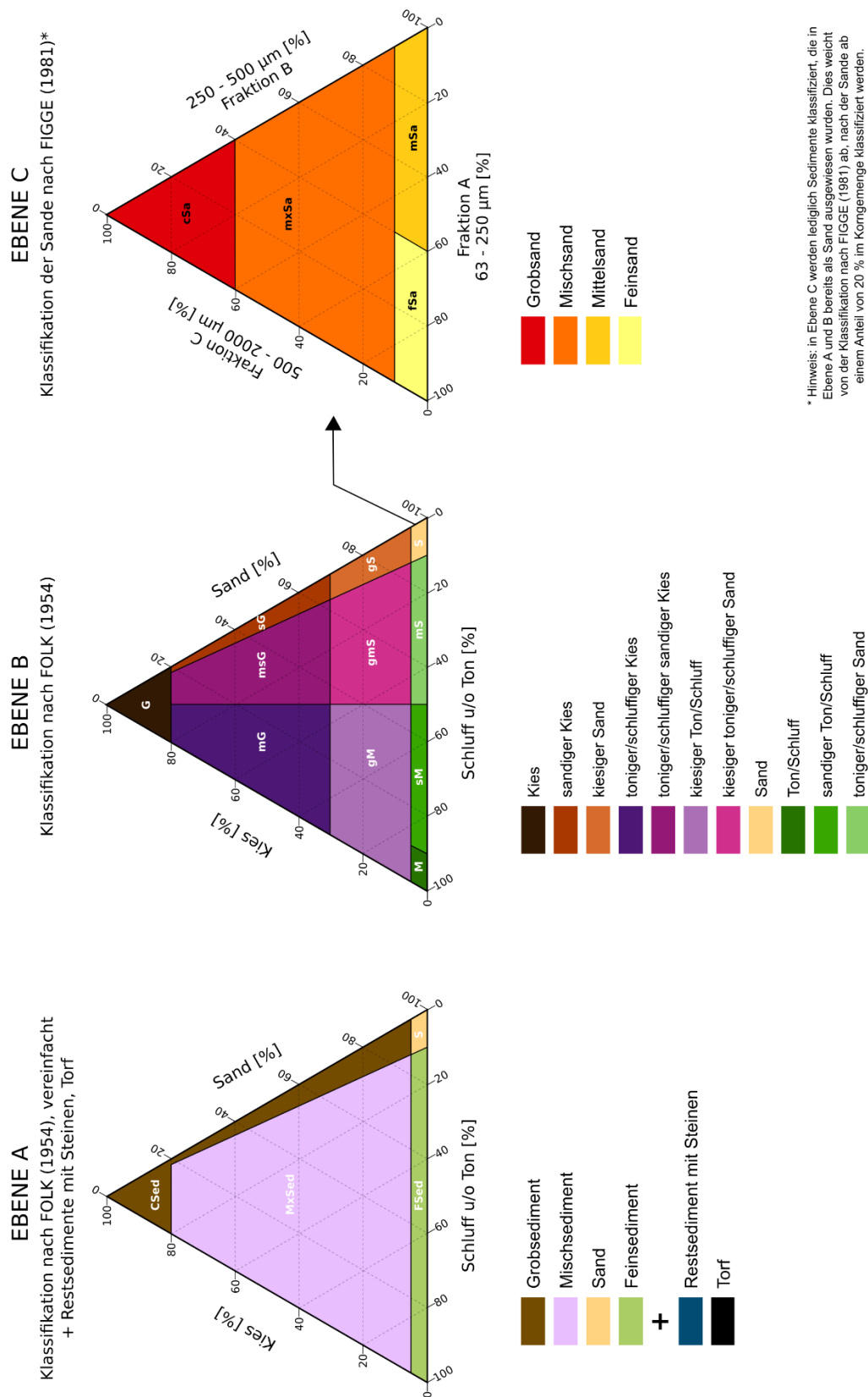


Abbildung 6: Ebenen der Sedimentverteilungskarten basierend auf den klastischen Sedimenttypen nach dem ternären System von Folk (1954) (Ebene A und B) und den Sandtypen nach dem ternären System von Figge (1981) (Ebene C) (Quelle: BSH)

Abbildung 7 zeigt die Datengrundlage der Sedimentverteilungskarte (SVK) im NSG „Fehmarnbelt“. In weiten Teilen basiert diese Karte auf den unter Kap. 2.1 aufgeführten Altdaten (Schwarzer & Diesing 2006) und der BSH-Seevermessung sowie aktuelleren Daten der CAU (s. Kap. 2.1.2). In den Bereichen, in denen BSH-Seevermessungsdaten analysiert wurden, waren keine aktuellen Ground Truth-Daten verfügbar. Hier wurde auf die unter Kap. 2.1 beschriebenen Analysen von Sedimentproben zurückgegriffen. Der zeitliche Versatz wurde im Rahmen der Interpretation entsprechend berücksichtigt.

Der überwiegende Teil der SVK wurde von der CAU erarbeitet. Das IOW hat im Norden des NSG ein 4,6 km² großes Gebiet ergänzt. Für diese Flächen wurden die vom BSH in 2019 neu erfassten hydroakustischen Daten herangezogen. Ground Truth-Informationen lagen hier nicht vor.

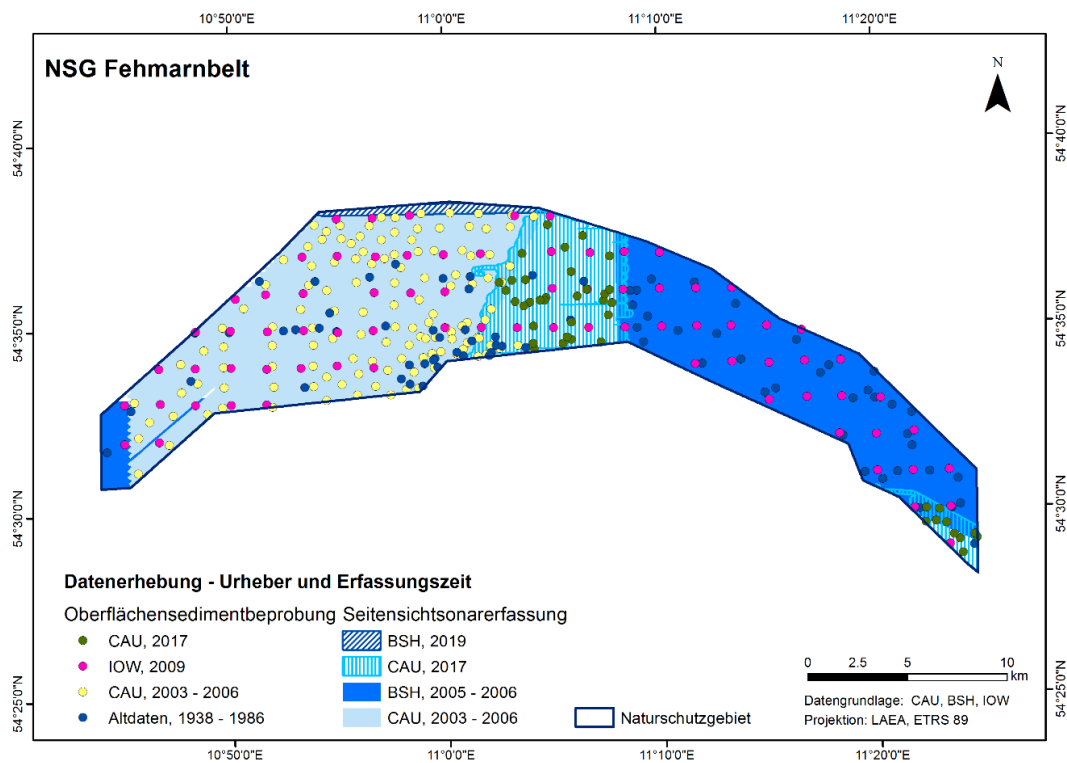


Abbildung 7: Übersicht über die Datengrundlage für die Erstellung der Sedimentverteilungskarte (SVK) des NSG „Fehmarnbelt“

2.2.2 Ergebnisdarstellung

Für das 280 km² große NSG „Fehmarnbelt“ wurden die Sedimente auf den Ebenen A bis C klassifiziert. Sie sind in Abbildung 9 bis 12 dargestellt. Um die Option Spezialfälle zu definieren (vgl. BSH 2016, S. 23), ist die Anzahl an Klassen auf den jeweiligen Ebenen sehr hoch: Ebene A = 19, Ebene B = 31, Ebene C = 11. Für eine vereinfachte Übersicht wurden auf der Ebene A die Klassen entsprechend ihrem zuerst genannten Sedimenttyp (Hauptkomponente) zusammengefasst und in Abbildung 8 dargestellt. Weil die steinigen Restsedimente eine große Bedeutung für die Ausweisung von Riffflächen haben, werden diese, sofern sie in der Ebene A in zweiter Reihung bei den Spezialfällen auftreten, in dem Diagramm als „Nebenkomponente“ dargestellt.

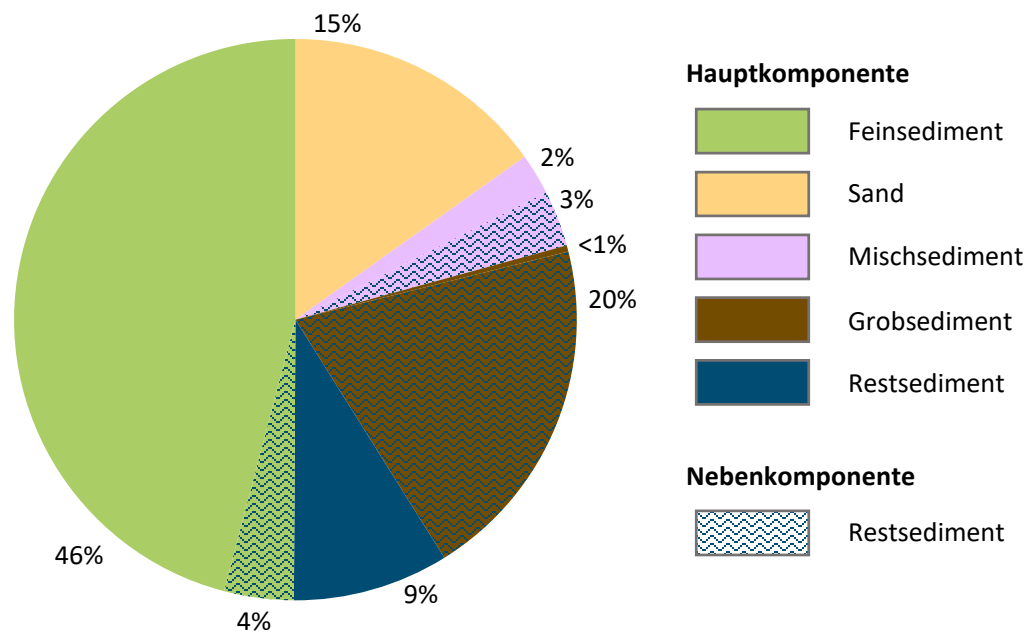


Abbildung 8: Vereinfachte Darstellung der prozentualen Flächenanteile der Klassen auf Ebene A⁶

Die Hälfte des NSG „Fehmarnbelt“ ist durch Feinsedimente dominiert (139 km²). Diese befinden sich im Osten und Südwesten des Naturschutzgebiets sowie in der Vinds Gravrinne. Auf Ebene B sind 66 % der Feinsedimentfläche als sandiger Schlick und 33 % als schlickiger Sand eingeordnet. Lediglich 1 % der Fläche ist als reiner Schlick definiert. Im zentralen Bereich des Naturschutzgebiets ist die Sedimentverteilung sehr heterogen und durch Misch-, Grob- und Restsedimente geprägt. Es ist zu beachten, dass die in Abbildung 8 zusammengefasste Kategorie „Grobsediment“ zu 98 % von der Klasse „Grobsediment- Restsediment“ dominiert wird. Insgesamt wurden Restsedimente auf einer Fläche von 101 km² (36 %) als Haupt- oder Nebekomponente klassifiziert. Bei den Mischsedimenten handelt es sich größtenteils um kiesig-schlickige Sande. Südlich der Rinne verläuft ein sandiges Band, dass auf Ebene C anhand der hydroakustischen Rückstreuung nicht weiter differenzierbar ist. Grob- bis Mittelsande sind als Sedimenttransportkörper im südlichen Bereich des zentralen NSG zu finden. Die einzelnen Flächen sind im Mittel lediglich 8 000 m² groß und machen insgesamt eine Fläche von weniger als 3 km² aus.

⁶ Um die prozentualen Anteile der Klassen auf Ebene A besser visualisieren und verbal beschreiben zu können, wurden die Klassen in der Grafik entsprechend ihres zuerst genannten Sedimenttyps (Hauptkomponente) zusammengefasst. Die Beschreibungen der Klassen sind Abbildung 6 zu entnehmen.

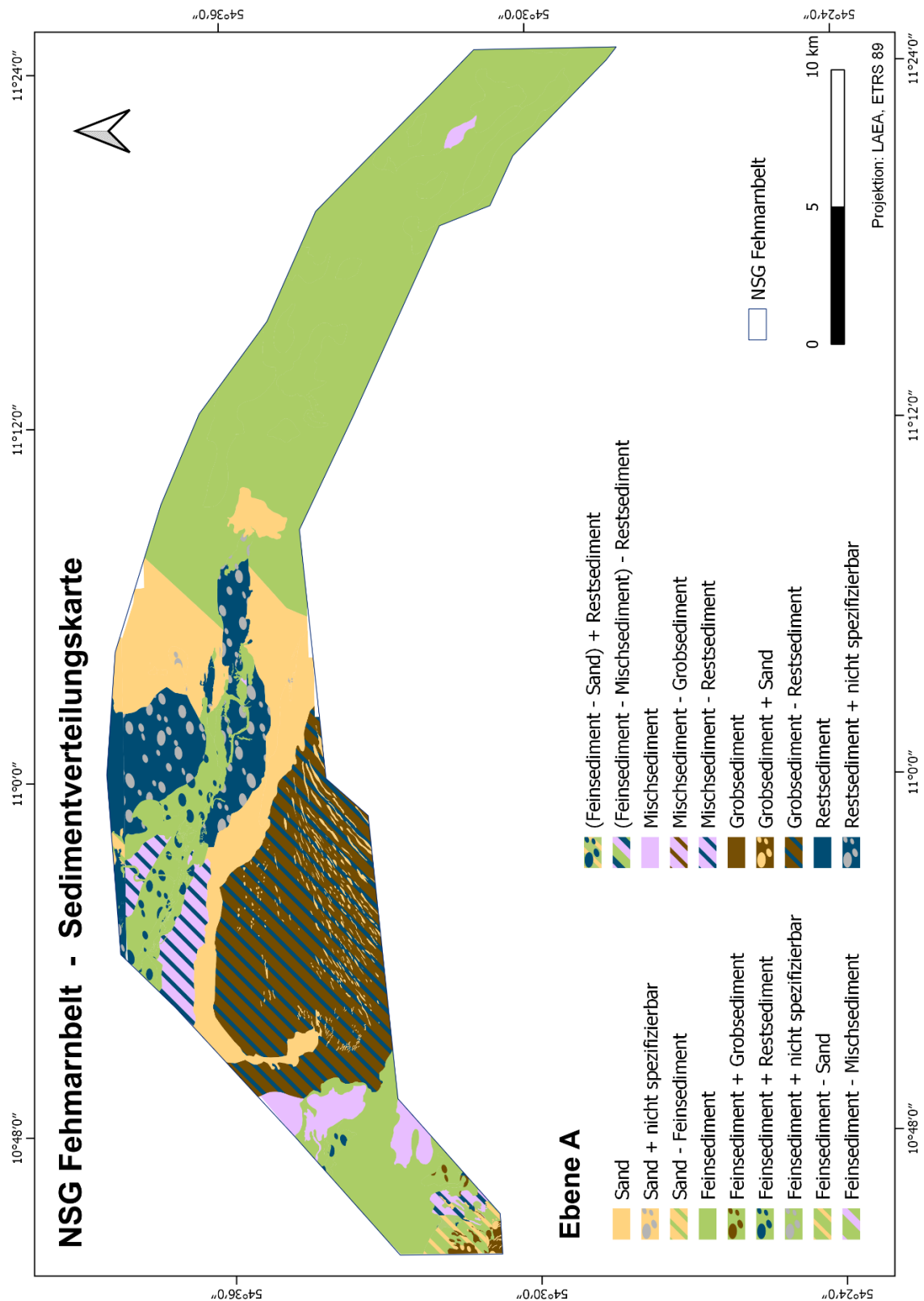


Abbildung 9: Sedimentverteilungskarte des NSG „Fehmarnbelt“ (Richter et al. 2021a; Papenmeier et al. 2020). Dargestellt wird Ebene A (vgl. BSH 2016): modifizierte Klassifikation nach Folk (1954) zuzüglich Ausweisung des Sedimenttyps „Restsedimente mit Steinen und Blöcken“

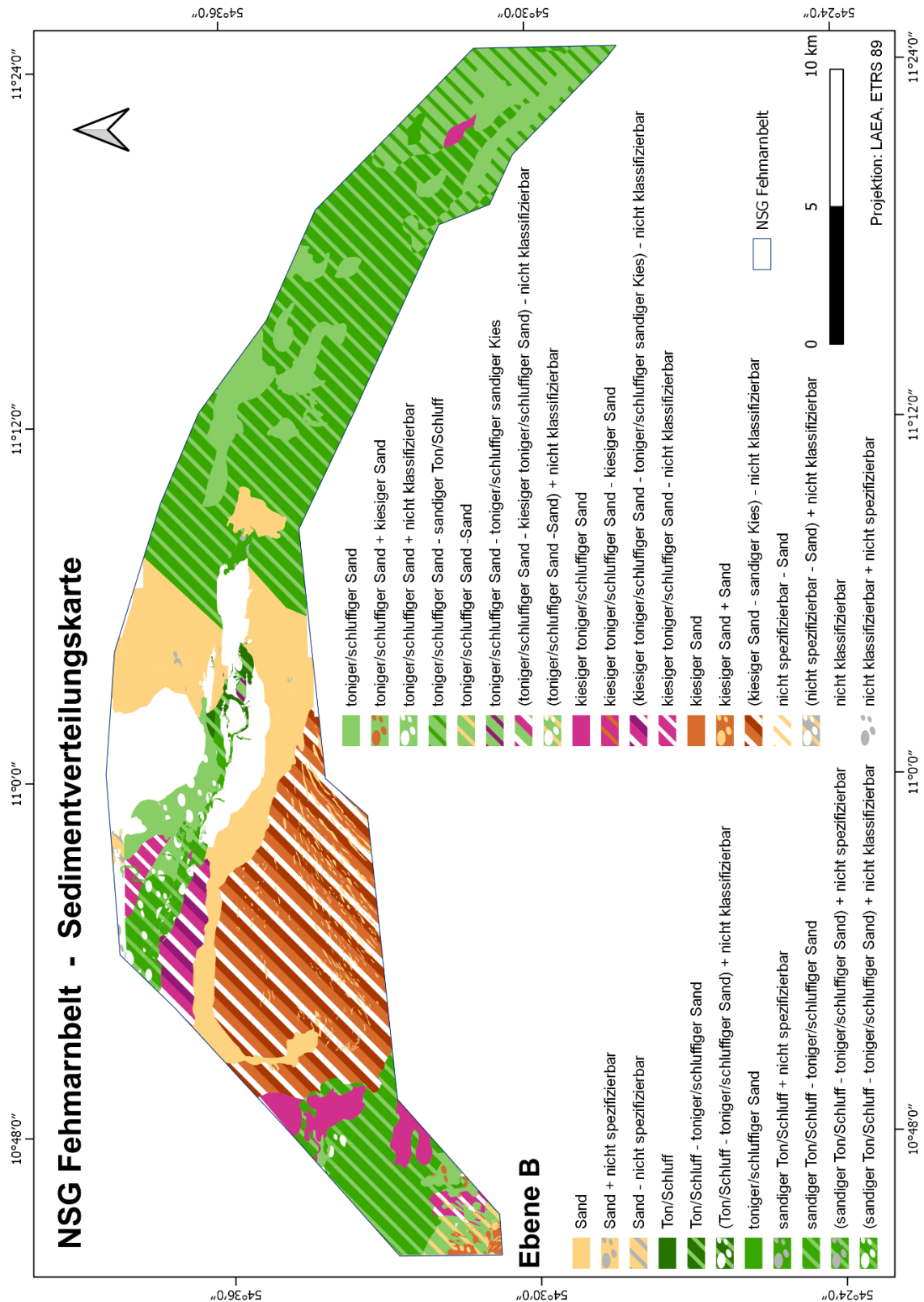


Abbildung 10: Sedimentverteilungskarte des NSG „Fehmarnbelt“ (Richter et al. 2021a; Papenmeier et al. 2020a). Dargestellt wird Ebene B (vgl. BSH 2016): Klassifikation nach Folk (1954)

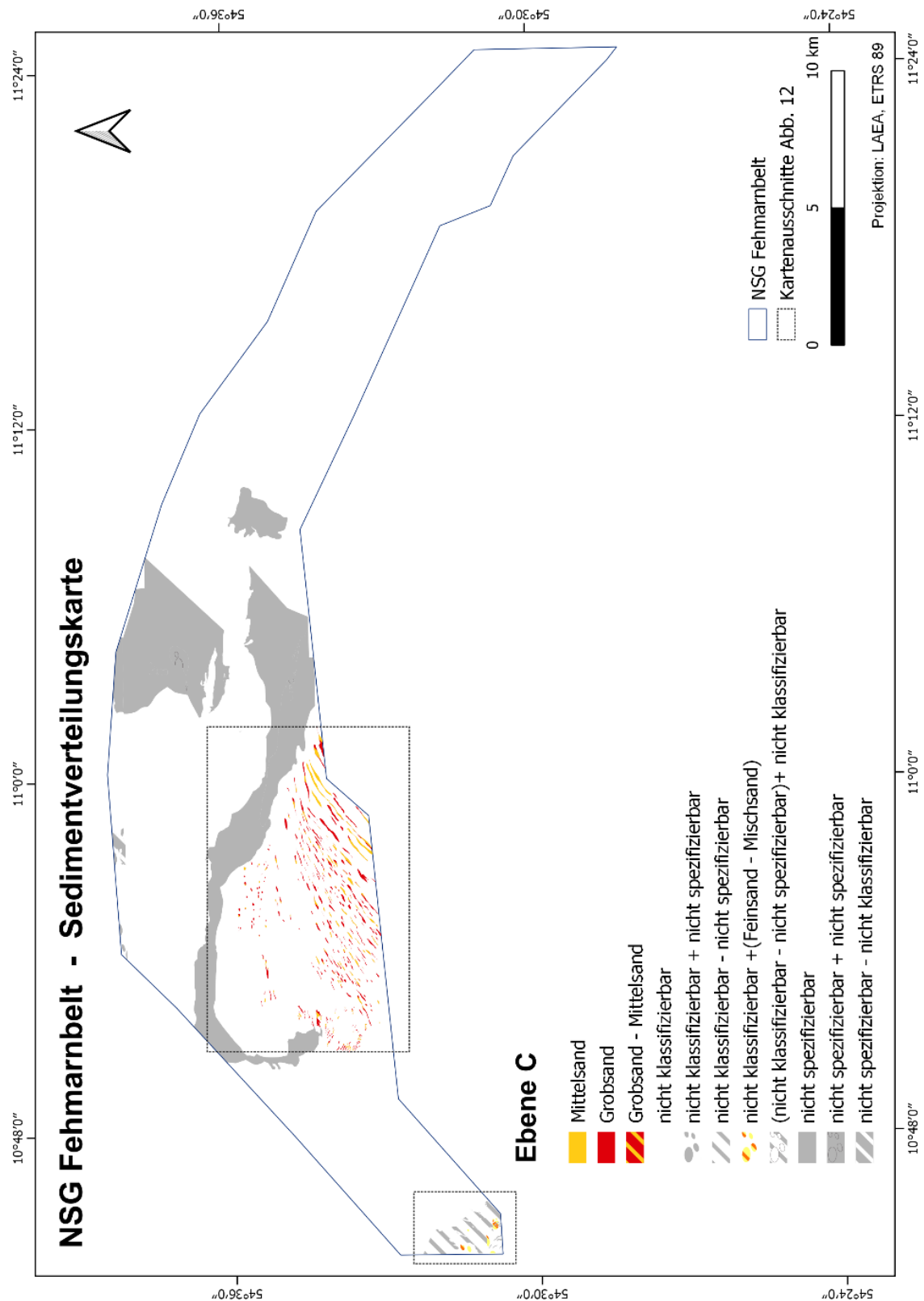


Abbildung 11: Sedimentverteilungskarte des NSG „Fehmarnbelt“ (Richter et al. 2021a; Papenmeier et al. 2020a). Dargestellt wird Ebene C (vgl. BSH 2016): Sandklasse nach Figge (1981)

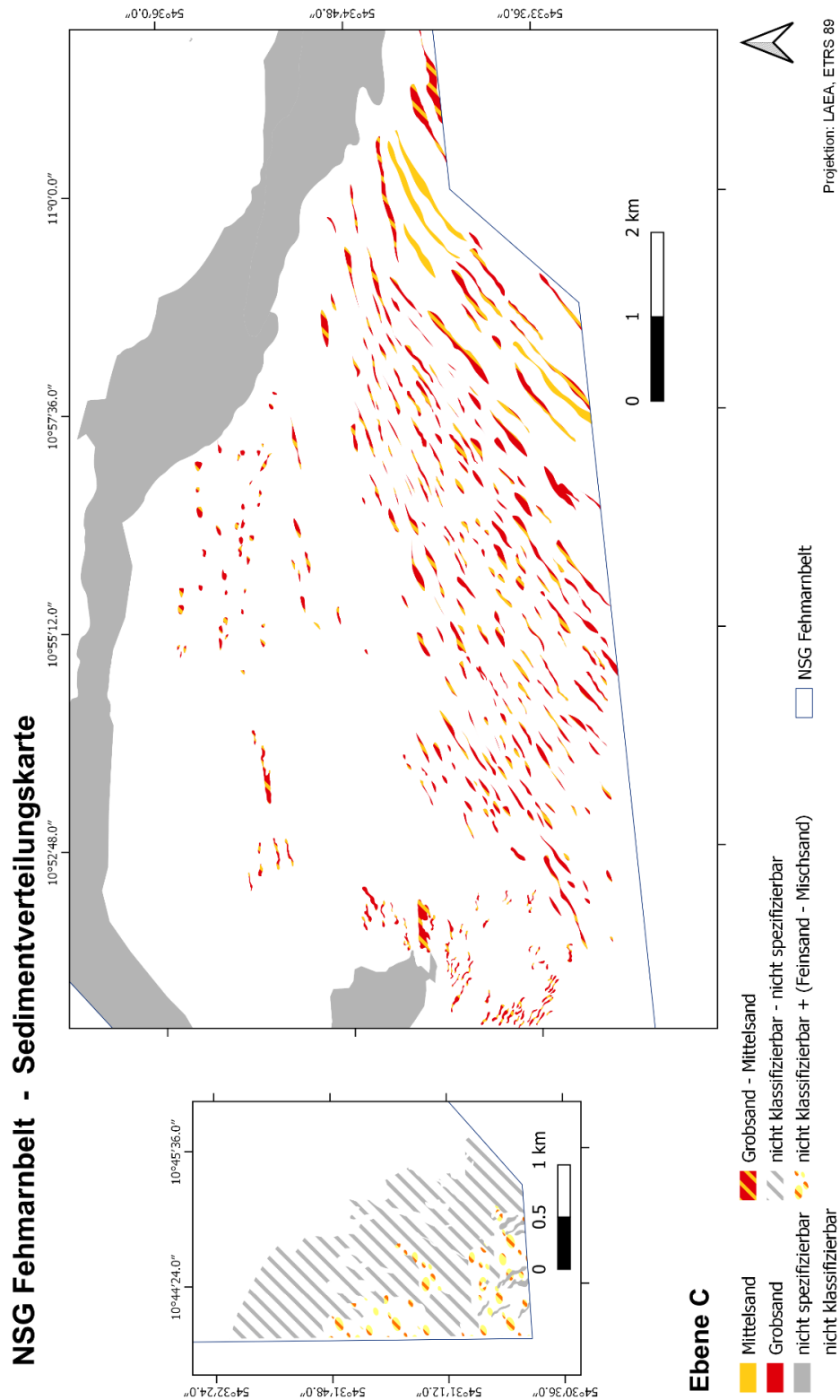


Abbildung 12: Sedimentverteilungskarte des NSG „Fehmarnbelt“ (Richter et al. 2021a; Pappenmeier et al. 2020a). Dargestellt wird Ebene C (vgl. BSH 2016): Sandklasse nach Figge (1981). Vergrößerung der in Abbildung 11 gezeigten Ausschnitte

2.3 Blockverteilungskarte

2.3.1 Dateninterpretation

Die Sedimentverteilungskarte der Ebene A des NSGs „Fehmarnbelt“ (Abbildung 9) gibt mit dem Sedimenttyp „Restsediment mit Steinen und Blöcken“ indirekt Aufschluss über das Vorkommen von Steinen und Blöcken im Schutzgebiet. Informationen über die räumliche Position einzelner Objekte oder von Blockfeldern und deren Ausdehnung, Durchmesser und Bedeckungsdichte sind hiermit jedoch nicht gegeben. Die in der Kartierungsanleitung (BSH 2016) vorgegebene Messkonfiguration ermöglicht nur mit einer räumlichen Auflösung von 25 cm (in Fahrtrichtung) das Erkennen einzelner Blöcke ab einem Durchmesser von ungefähr 50 cm. Kleinere Objekte können bei dieser Auflösung nicht einzeln mit hinreichender Sicherheit detektiert werden. Papenmeier et al. (2020b) und von Rönn et al. (2019) geben einen Überblick über die Herausforderungen der Detektion von Steinen und Blöcken mit hydroakustischen Methoden.

Da in der deutschen AWZ der Ostsee und so auch im Fehmarnbelt, Teilgebiete mit sehr vielen Blöcken am Meeresgrund vorkommen, ist es mit den derzeit einsetzbaren technischen, finanziellen und personellen Ressourcen mit vertretbarem Aufwand nicht möglich, die Blöcke in den NSG vollständig als einzelne Punktoobjekte zu erfassen. In Forschungs-kooperationen mit dem BSH sowie den geowissenschaftlichen Instituten wurde im Rahmen des durch das BfN co-finanzierten AWZ-Projektes 6 „Sediment“ daher eine neue Methode zur Erfassung von Blockfeldern entwickelt. Sie ist in Heinicke et al. 2021 publiziert und wird zukünftig auch in eine Fortschreibung der Kartieranleitung des BSH (2016) einfließen. Im Folgenden wird das Vorgehen für die deutsche AWZ der Ostsee zusammenfassend dargestellt:

Zur Blockerfassung wird ein 50 x 50 m Gitter über die Rückstreumosaik gelegt. Das Gitter leitet sich von dem 100 x 100 m Grid der European Environment Agency ab (EEA Grid⁷). Mittels Simultanerfassung (Chesney & Haladjian 2011) wird für jede Gitterzelle das Vorkommen von Blöcken unter Verwendung der folgenden Klassifizierung visuell abgeschätzt:

Klasse 1: keine Blöcke,

Klasse 2: 1 – 5 Blöcke,

Klasse 3: > 5 Blöcke.

Diese Klasseneinteilung ermöglichte es, eine qualitativ hochwertige und zugleich intersubjektiv (für andere Personen nachvollziehbare) überprüfbare Blockauswertung durchzuführen, ohne alle Blöcke vollständig auszählen zu müssen. In die Auswertung wurden nur Gitterzellen einbezogen, in denen mindestens 75 % der Fläche mit Daten ausreichender Qualität abgedeckt waren. Eine verminderte Datenqualität und somit eine unzuverlässige Objekterkennung kann z.B. durch Sprungschichten in der Wassersäule verursacht sein.

Abbildung 13 zeigt die Datengrundlage der Blockverteilungskarte (BVK) im NSG „Fehmarnbelt“. Sowohl aus den von der CAU als auch aus den vom BSH 2019 erhobenen Daten konnten Rückstreumosaiken mit der für die Blockauswertung erforderlichen hohen räumlichen Auflösung von 25 cm erzeugt werden (vgl. Abbildung 5). In den Bereichen, in denen nur Seevermessungsdaten mit einer geringen räumlichen Auflösung von einem Meter

⁷ <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-reference-grids-2> und https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-reference-grids-1/about-the-eea-reference-grid/eea_reference_grid_v1.pdf/at_download/file; 02.04.2022

verfügbar waren (vgl. Abbildung 5), waren aufgrund der dort vorherrschenden feinkörnigen Sedimente keine Blöcke zu erwarten. Hier wurde die gröbere Auflösung zur Auswertung herangezogen. Die Erstellung der BVK erfolgte schrittweise. Zunächst wurden von der CAU sowohl alle alten als auch die neu erfassten Daten ausgewertet. Dabei zeigte sich, dass in einigen Bereichen die Qualität der Altdaten für eine lückenlose Blockauswertung nicht ausreichte. In diesen Bereichen sowie einem zuvor noch nicht erfassten kleineren Gebiet im Norden des NSGs erfolgte durch eine Ausfahrt des BSH 2019 eine erneute Datenerhebung. Das BSH hat diese Daten in einem zweiten Schritt hinsichtlich des Vorkommens von Blöcken ausgewertet und dann in einem dritten Schritt mit den von der CAU ausgewerteten Daten zusammengeführt. Hierbei wurde in Überlappungsbereichen jede Gitterzelle mit der Klasse belegt, die das höchste Blockaufkommen widerspiegelt.

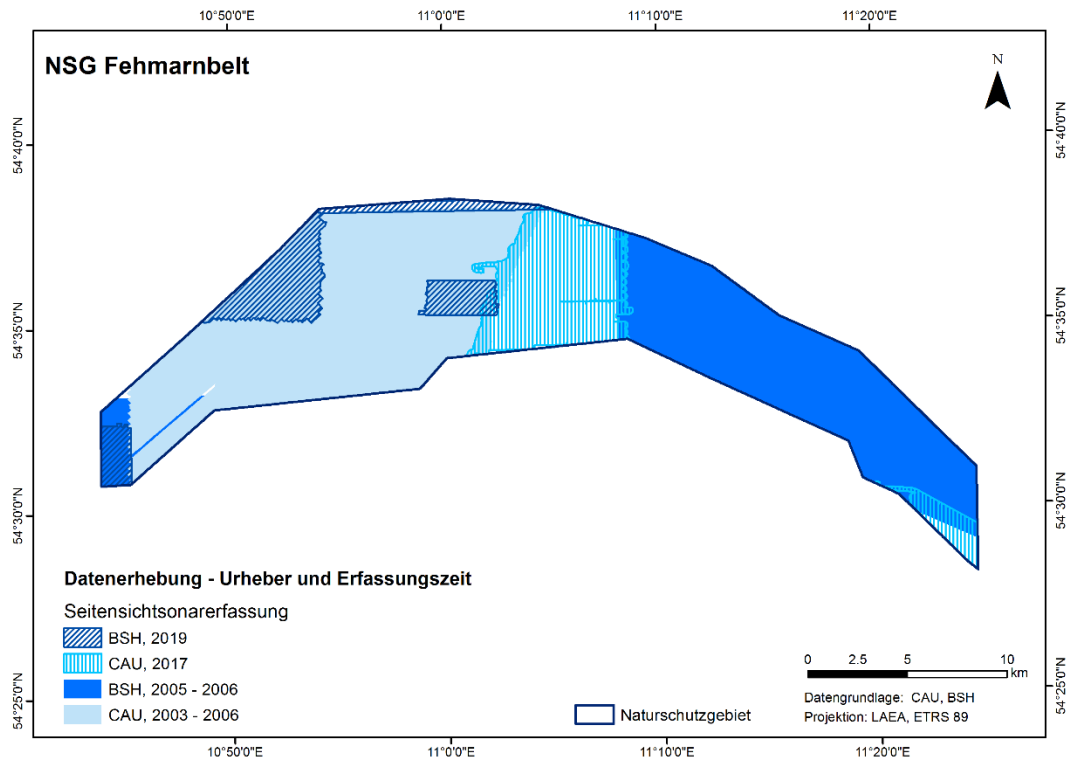


Abbildung 13: Übersicht über die Datengrundlage für die Erstellung der Blockverteilungskarte des NSG „Fehmarnbelt“

2.3.2 Ergebnisdarstellung

Die Blockauswertung zeigt, dass 32 % der Zellen im NSG „Fehmarnbelt“ der Klasse „> 5 Blöcke“ zugeordnet sind. Diese Vorkommen konzentrieren sich auf den zentralen und südwestlichen Bereich des Schutzgebiets (Abbildung 14). Ausgenommen ist der Bereich der Vinds Grav-Rinne. Rund 58 % der Zellen bilden die Klasse „0 Blöcke“ ab. Lediglich 8 % der Zellen weisen 1 - 5 Blöcke auf, die unter anderem einen schmalen Übergangsbereich zwischen Blockfeldern und Feinsediment bilden. Innerhalb der größeren Blockfelder sind teilweise streifenförmige Artefakte (verringerte Blockanzahl) sichtbar. Diese Artefakte verlaufen im Nahbereich des Nadirs. Durch die geometrische Lagebeziehung zwischen Sonar und Block ist in diesem Bereich der akustische Schatten sehr kurz bzw. nicht vorhanden. Ohne dieses charakteristische Merkmal wird hier die Anzahl der Blöcke mit großer Wahrscheinlichkeit unterschätzt. 1,4 % der Zellen konnten nicht klassifiziert werden, da weniger als 75 % der jeweiligen Zellenfläche von hierzu geeigneten Daten abgedeckt war. Für 0,4 % der Zellen waren zudem keine Daten vorhanden.

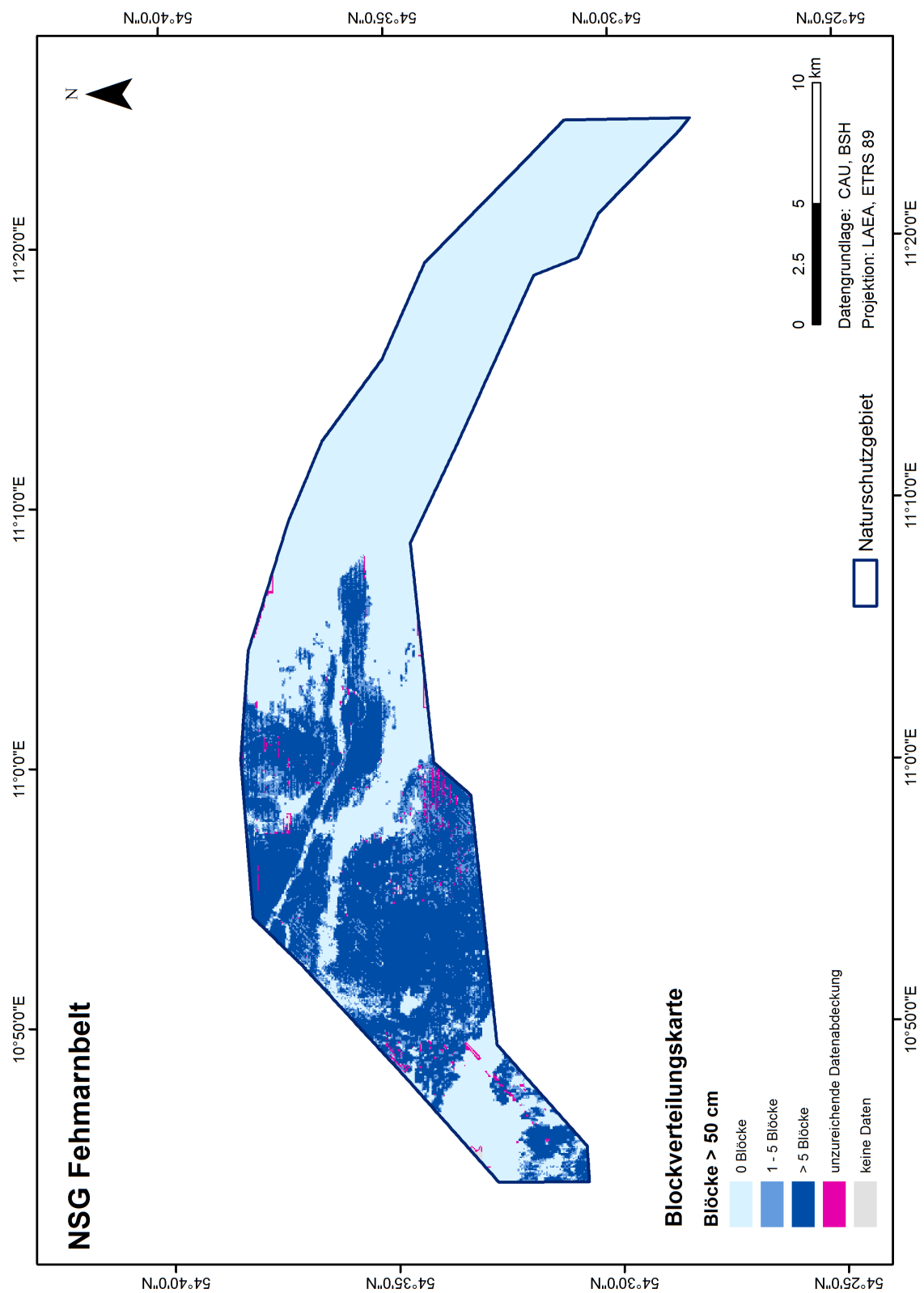


Abbildung 14: Blockverteilungskarte NSG „Fehmarnbelt“ (Richter et al. 2021b)

3 Biologischer Teil der Kartierung

3.1 Endobenthische Gemeinschaften der Weichböden

3.1.1 Datenerhebung und taxonomische Bearbeitung

Für die Aufnahme der endobenthischen Gemeinschaften (vgl. Box, S. 40) war ein stratifiziert randomisiertes Erfassungsprogramm vorgesehen, d.h. die Stationen sollten primär anhand der Sedimentklassen verteilt werden. Die Probenzahl pro Sedimentklasse sollte entsprechend des jeweiligen Flächenanteils gewichtet werden und die räumliche Verteilung dieser Stationen innerhalb der jeweiligen Klasse zufallsbasiert sein. Da die Aufnahme und Auswertung der Rückstreumosaik jedoch zeitlich parallel zu den benthosbiologischen Aufnahmen erfolgten, konnte dieses Konzept nicht vollständig umgesetzt werden. Stattdessen wurden ab 2013 jährlich, basierend auf den zum jeweiligen Zeitpunkt vorhandenen Informationen, gezielt räumliche Lücken identifiziert und geschlossen, wobei der Beprobungsaufwand in bekanntermaßen heterogenen Gebieten höher war als in homogenen Bereichen. Bei der Festlegung der Stationen fand neben der Sedimentinformation (wenn vorhanden) auch die Verfügbarkeit von Infauna-Daten aus anderen Projekten und Programmen Berücksichtigung, die beispielsweise im Rahmen des FFH-Monitorings oder des HELCOM-Monitorings seit 2010 erhoben worden waren.

Die Erfassung der endobenthischen Gemeinschaft der Weichböden erfolgte mit einem Van-Veen-Greifer (0,1 m², 70-80 kg), dem klassischen Beprobungsgerät für diese Aufgabe in der Ostsee. Während in den verwendeten Datensätzen aus anderen Projekten zumeist drei Parallelen pro Station vorlagen, wurde an den originär für die Kartierung erhobenen Stationen, in Abstimmung mit dem Vorgehen in der Nordsee, lediglich ein Hol zur Erfassung der Endofauna genommen. Alle Endofauna-Proben wurden über einer Maschenweite von 1 mm gesiebt und die Tiere zusammen mit dem verbleibenden Substrat in einem 4 %-igen Formalin-Seewasser-Gemisch fixiert. Besonders grobes Sediment wurde zur Reduzierung des Probenvolumens dekantiert. Hierzu wurde das gesamte Sediment in kleineren Unteproben in Seewasser suspendiert und der Überstand mit den auftreibenden Organismen über das 1 mm-Sieb gegossen. Nach wiederholter Suspension wurde das Sediment optisch und taktil nach verbliebenen Organismen durchsucht. Die Ermittlung der Korngrößenverteilung und des organischen Gehalts (ausgedrückt als Glühverlust der Trockenmasse) erfolgte an allen Stationen aus einem separaten Hol. Für jeden Greifer erfolgte zusätzlich eine Grobansprache des Sedimenttyps vor Ort. Zur Messung wichtiger Parameter des bodennahen Wasserkörpers kamen eine bordeigene CTD oder Handsonden zum Einsatz. Der Sauerstoffgehalt wurde mittels automatischer Titration nach Winkler (TITRINO) ermittelt.

Die Siebreste der Greiferproben wurden im Labor zunächst mit Leitungswasser über einem Sieb mit 500 µm Maschenweite gespült und portionsweise in eine Fotoschale gegeben. Bei zehnfacher Vergrößerung wurden die Individuen von anhaftendem Debris, Röhren oder Sedimentkörnern getrennt, aussortiert, identifiziert und gezählt. Die Artansprache folgte den aktuellen Vorgaben der Standard-Arbeitsanweisung sowie der gültigen Artenliste des IOW. Für alle Arten/Taxa schloss sich nach dem Abtropfen anhaftender Feuchtigkeit die Bestimmung der Feuchtmasse an. Die Ermittlung von Trockenmasse und aschefreier Trockenmasse erfolgte in der Regel über IOW-interne Umrechnungsfaktoren, die im Laufe der vergangenen zehn Jahre durch das Veraschen von Proben aus verschiedenen Gebieten artspezifisch ermittelt worden sind. Ein taxonomischer und methodischer Abgleich war nicht erforderlich, da der Datensatz ausschließlich Stationen umfasste, die in den Jahren 2010 bis 2018 durch das IOW genommen, bearbeitet und ausgewertet wurden. Insgesamt

standen so Datensätze von 326 Stationen für die Analysen und die prädiktive Modellierung zur Verfügung.

Für den Begriff **(Lebens-) Gemeinschaft** gibt es in der Fachliteratur unterschiedlich scharfe Definitionen. In Kratochwil & Schwabe (2001) werden Zönosen (Gemeinschaften) als die Gesamtheit der Lebewesen eines über abiotische Umweltparameter abgrenzbaren Lebensraumes (Biotop) bezeichnet, die zumindest teilweise Wechselwirkungen miteinander haben. Während der Begriff in der Vegetationsökologie relativ klar definiert und mit einem hierarchischen System untermauert ist, wird der Begriff in der (Meeres-) Zoologie eher unklar und auf verschiedenen räumlichen und ökosystemaren Skalen verwendet (z. B. Gogina et al. 2016; Schiele et al. 2014). Der Begriff Gemeinschaft wird in Finck et al. (2017) zur Abgrenzung von bereits in der Literatur beschriebenen (z. B. Rachor & Nehmer 2004 für die Nordsee) oder über aktuelle Gemeinschaftsanalysen (z. B. Schiele et al. 2014) abgegrenzter makrobenthischer Zönosen verwendet. Ihnen gegenüber stehen im nationalen Klassifikationssystem in der Ebene 5 die taxonomischen/funktionellen Großgruppen, die ausschließlich über die Biomassedominanz abgeleitet werden und auf dieser Hierarchieebene selten ökologisch abgrenzbaren Lebensgemeinschaften entsprechen. Im HELCOM HUB System werden Gemeinschaften und über dominante Arten/Taxa gebildete Klassifikationseinheiten dagegen gemeinsam auf Ebene 6 abgebildet, da sich die meisten Klassen der Ebene 6 durch Gemeinschaftsanalysen als Lebensgemeinschaften (i. w. S.) identifizieren ließen (Schiele et al. 2014). Aus Gründen der Lesbarkeit werden im Folgenden der Begriff Zönosen und die aus der Biomassedominanz abgeleiteten Hierarchieklassen im Begriff Gemeinschaft subsummiert.

3.1.2 Modellierungsansatz

Vor dem Start der prädiktiven Modellierung wurde der Infauna-Datensatz einem umfangreichen Processing unterzogen. Da die Gemeinschafts- bzw. Biotopzuordnung in den Klassifikationssystemen DE 2017 und HELCOM HUB 2013 über die Biomassedominanz erfolgt, mussten große mobile Arten (z. B. *Asterias rubens*, *Carcinus maenas*, *Crangon crangon*, *Buccinum undatum*) aus dem Datensatz entfernt werden, da sie für die Biotopzuordnung nicht relevant waren und ihre Präsenz die Identifikation dominanter Arten(-gruppen) erschwert hätte. Stationen, an denen nach diesem vorbereitenden Schritt sessile epibenthische Arten die Biomasse dominierten (Anteil > 50 %, n = 36), wurden ebenfalls aus dem Datensatz entfernt, da zu vermuten war, dass an diesen Stellen die eigentliche endobenthische Gemeinschaft stark von der Gemeinschaft der umliegenden Hartböden überprägt war oder der Greifer direkt Hartsubstrat in Form von Kies und/oder kleineren Steinen sowie größeren Schillaggregationen beprobt hatte. Da die geplanten Analysen auf die endobenthischen Gemeinschaften abzielten, wurden anschließend in einem weiteren vorbereitenden Schritt sämtliche epibenthisch-sessilen und Hartboden-typischen, mobilen Artengruppen (Nudibranchia, Isopoda) aus dem Datensatz entfernt.

Entsprechend eines zwischen den beteiligten Institutionen und Büros abgestimmten Vorgehens in der Fallstudie Sylter Aussenriff (unpubliziert), wurden mit dem resultierenden Datensatz zunächst Clusteranalysen durchgeführt, um unterschiedliche Besiedlungsstrukturen und Gemeinschaften identifizieren zu können. Die Ergebnisse der Clusteranalysen konnten trotz der Verwendung verschiedener Response-Variablen (Abundanz, Biomasse), unterschiedlicher Vorbehandlungen (Quadratwurzel-, log10- und anderer Transformationen) sowie der Anwendung verschiedener Cluster-Verfahren (Fuzzy-Clustering, verschiedene Verknüpfungsverfahren im hierarchischen Clustering) nicht für die prädiktive Modellierung genutzt werden, da sie in keinem Fall zu einer hinreichenden Qualität der prädiktiven Modellierung führten. Die enge Verzahnung mit Hartbodengemeinschaften und die extrem hohe kleinräumige Variabilität in Teilen des Schutzgebietes führten trotz der Bereinigung

der Daten einerseits zu einer sehr hohen Überlappung des Arteninventars verschiedener Zönosen. Große interannuelle Unterschiede führten andererseits zu einer hohen Variabilität innerhalb der jeweiligen Zönose. Die Trennschärfe zwischen den Clustern sowie deren Konstanz zwischen den verschiedenen Verfahren blieben dadurch gering. Charakteristische Arten (IV-Analyse, Dufrene & Legendre 1997) konnten nur bedingt identifiziert werden. Auch hier war die Überlappung zwischen den einzelnen Clustern sehr groß. Zudem war die Korrelation der Cluster sowohl mit den Sedimentklassen aus der geologischen Kartierung als auch mit weiteren Umweltparametern schwach. Daraus resultierte in allen Versuchen für einen Großteil der Cluster eine sehr hohe Fehlklassifikationsrate ($> 50\%$) in der Modellierung mittels Random Forest. Da durch die überlappenden Charakterarten auch eine eindeutige Zuordnung der Cluster zu den Biotopklassen der Biotop-Klassifizierungssysteme nicht möglich war, wurden die Ergebnisse der Clusteranalysen für die endobenthischen Gemeinschaften nicht verwendet und werden nachfolgend auch nicht dargestellt.

Stattdessen wurden den einzelnen Stationen die jeweiligen Biotopklassen entsprechend der Regeln der Klassifizierungssysteme direkt über die Biomasseanteile dominanter Arten zugewiesen. Allerdings war dabei zu berücksichtigen, dass neben den Klassen, in denen einzelne Arten mit einem Biomasseanteil von wenigstens 50% dominierten, auch Gemeinschaften zu berücksichtigen waren, in denen mehrere Arten hinsichtlich der Biomasse co-dominant waren. Für diese Klassen gab es bislang keine genaue Definition bzw. Ableitungsregel auf Stationsbasis. Daher wurden basierend auf eigenen Erfahrungswerten folgende Regeln festgesetzt (Priorisierung der Gemeinschaften in der folgenden Reihenfolge):

1. *Ophelia/Travisia*-Gemeinschaft: beide Gattungen kommen mit einem gemeinsamen Biomasseanteil von $\geq 5\%$ vor oder (seltene Ausnahme) nur eine der beiden Gattungen kommt vor und deren Biomasseanteil beträgt $\geq 10\%$.
2. Gemeinschaft der marinen Muscheln: Von den Muschelarten *Astarte borealis*, *Astarte elliptica*, *Astarte montagui*, *Macoma calcarea*, *Mya truncata*, *Spisula* spp., *Thracia* spp. *Thyasira* spp. sind mindestens 4 Arten vertreten und der gemeinsame Biomasse-Anteil beträgt $\geq 30\%$ ⁸.
3. Opportunistische Polychaeten: summierter Biomasseanteil der folgenden Arten $\geq 50\%$ - *Bylgides sarsi*, *Capitella capitata*, *Polydora ciliata*, *Heteromastus filiformis*, *Lagis koreni*, *Nephtys ciliata*, *Nephtys hombergii*, *Halicryptus spinulosus* (Priapulida).
4. *Arctica islandica* (HELCOM HUB-Code 3L3): Biomasseanteil $\geq 50\%$.

Elf Stationen konnten auf Basis dieser Regeln keiner Biotopklasse bzw. Gemeinschaft zugeordnet werden, da entweder andere Arten eine Biomasse-Dominanz von mindestens 50% erreichten (z. B. *Ophiura* spp., *Astarte borealis*) oder aus sonstigen Gründen keine der oben aufgeführten Regeln erfüllt wurde. Der finale Datensatz für die Modellierung der endobenthischen Gemeinschaften umfasste daher 279 Stationen, von denen 9 Stationen der *Ophelia/Travisia*-Gemeinschaft, 71 den marinen Muscheln, 24 den opportunistischen Polychaeten, und 175 *Arctica islandica* zugeordnet wurden (Abbildung 15). Eine Zusammenstellung der typischen Arten der vier identifizierten Gemeinschaften in Abhängigkeit vom Sedimenttyp geben Tabelle 17 bis Tabelle 20 im Anhang.

⁸ Die Abweichung von der HELCOM HUB-Biomasse-Regel ist im verbreiteten Vorkommen von *A. islandica* in dieser Gemeinschaft zu suchen, die in der ursprünglichen Beschreibung für den Typ noch enthalten ist, hier aber zur besseren Trennung nicht mehr als namensgebend integriert ist.

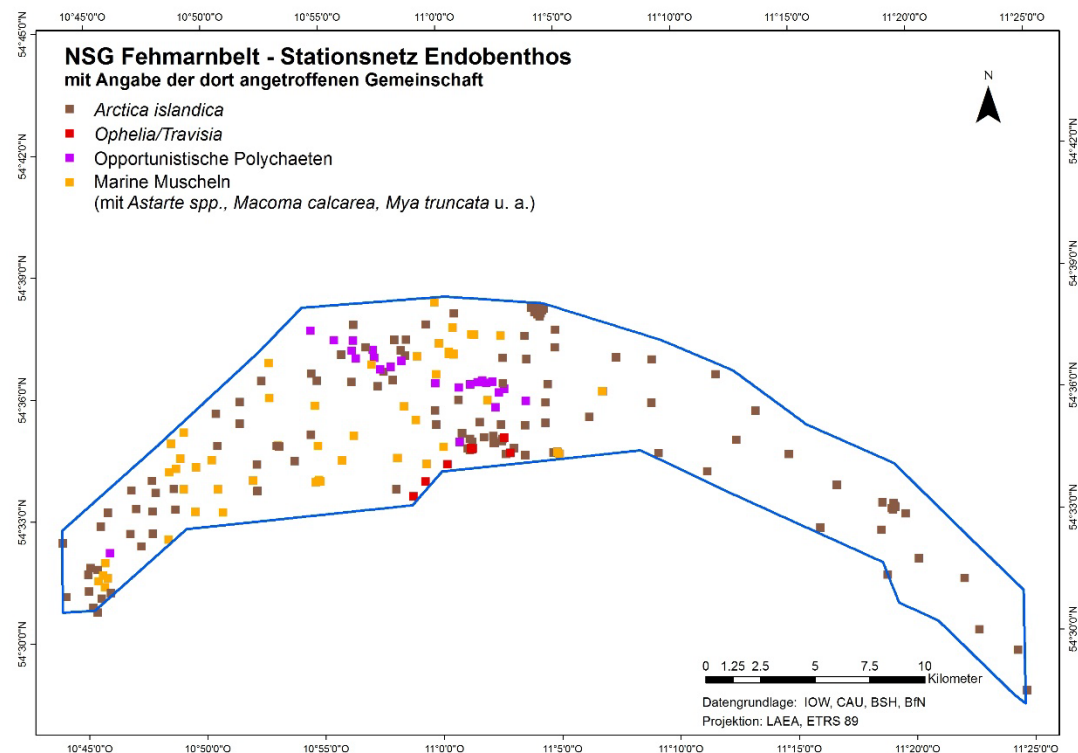


Abbildung 15: Lage der Stationen zur Erfassung des Endobenthos mit Angabe der jeweils an der Station angetroffenen Gemeinschaft

Für die prädiktive Modellierung wurde ein Grid mit einer Zellgröße von 50 x 50 m erzeugt (insgesamt 113 380 Zellen). Das Grid basierte auf dem EU-Standardgrid und war damit deckungsgleich zum Grid der Blockverteilungskarte (vgl. Kap. 2.3). Als Prädiktoren wurden verschiedene Umweltparameter der beiden Kompartimente Sediment und Wasserkörper verwendet, die sich in vorherigen Studien als relevant erwiesen hatten (z. B. Darr et al. 2014; Schiele et al. 2015; Tabelle 2). Da nicht alle in der Sedimentverteilungskarte enthaltenen Sedimentklassen mit Infauna-Stationen abgedeckt werden konnten, mussten die Klassen sekundär wieder zusammengefasst werden. Für diesen sehr gebietsspezifischen Schritt wurden keine allgemeingültigen Regeln aufgestellt. Stattdessen fiel die Entscheidung basierend auf den Mosaiken unter Berücksichtigung der vorhandenen Sedimentinformationen aus dem Ground Truth und den biologischen Erhebungen (siehe Anhang, Tabelle 14). Neben den Substratklassen aus der Sedimentverteilungskarte gingen weitere Sedimentcharakteristika als Prädiktoren ein, die durch die Interpolation der Informationen aus der Sedimentanalyse in die Fläche gebracht wurden. Neben dem Median der Korngröße und dem Glühverlust des Sedimentes war dies der Anteil von Schluff und Kies im Sediment. Auch für die verschiedenen Sandfraktionen (Feinstsand, Feinsand, Mittelsand, Grobsand) lagen Interpolationsergebnisse vor, die jedoch aufgrund geringer Güte keinen Eingang in die Modellierung fanden. Während die Daten zur Wassertiefe von BSH & IOW (2012) stammten, wurden Parameter der Wasserchemie und -physik aus Modellläufen am IOW generiert. Die verwendeten Größen der wichtigsten Nährstoffe, Schubspannung und Strömungsgeschwindigkeit sowie zum Salzgehalt und Sauerstoff bilden Mittelwerte über den Betrachtungszeitraum 2009-2018. Weitere mögliche Parameter wurden aufgrund starker Autokorrelationen zu den in Tabelle 2 aufgeführten Prädiktoren nicht verwendet.

Tabelle 2: Übersicht über die als Prädiktoren in der Modellierung der endobenthischen Gemeinschaften genutzten Umweltparameter

Umweltparameter [Einheit]	Kürzel	Quelle	Auflösung
Sedimentklasse [-]	SKL_final	Sedimentverteilungskarte, Informations- ebene D „summary“	Flächendeckend, Grid 50 x 50 m
Median der Korngröße [µm]	d50	Sedimentanalyse Daten IOW, Interpola- tion	Flächendeckend, Grid 50 x 50 m
Organischer Gehalt/ Glühverlust [%]	LOI	Sedimentanalyse Daten IOW, Interpola- tion	Flächendeckend, Grid 50 x 50 m
Anteil Korngrößenfraktion < 63 µm (Schluff) [%]	mud	Sedimentanalyse Daten IOW, Interpola- tion	Flächendeckend, Grid 50 x 50 m
Anteil Korngrößenfraktion > 2 000 µm (Kies) [%]	gravel	Sedimentanalyse Daten IOW, Interpola- tion	Flächendeckend, Grid 50 x 50 m
Wassertiefe [m]	depth	Bathymetrie BSH & IOW (2012)	Grid 100 x 100 m
Mittlerer Salzgehalt [psu]	psu_avg	GETM-Modell, Gräwe IOW, unpubliziert	Grid 600 x 600 m
Maximaler Salzgehalt (90 % Perzentil, [psu])	psu90	GETM-Modell, Gräwe IOW, unpubliziert	Grid 600 x 600 m
Minimaler Salzgehalt (10 % Perzentil, [psu])	psu10	GETM-Modell, Gräwe IOW, unpubliziert	Grid 600 x 600 m
mittlere Anzahl Tage mit Sauerstoffmangel (< 2 ml/l) [-]	hypdays	ERGOM MOM-Modell, Friedland, IOW, unpubliziert	Grid 600 x 600 m
mittlere Wintertemperatur [°C]	temp_avg	GETM-Modell, Gräwe IOW, unpubliziert	Grid 600 x 600 m
maximale Schubspannung 90 % Perzentil, [-]	curr90	GETM-Modell, Gräwe IOW, unpubliziert	Grid 600 x 600 m
mittlere Strömungsge- schwindigkeit [m/s]	speed_avg	GETM-Modell, Gräwe IOW, unpubliziert	Grid 600 x 600 m
jährliche Gesamtfracht Phosphat [mol/(l*y)]	po4	GETM-Modell, Gräwe IOW, unpubliziert	Grid 600 x 600 m
jährliche Gesamtfracht Am- monium [mol/(l*y)]	nh4	GETM-Modell, Gräwe IOW, unpubliziert	Grid 600 x 600 m
jährliche Gesamtfracht Nit- rat [mol/(l*y)]	no3	GETM-Modell, Gräwe IOW, unpubliziert	Grid 600 x 600 m
jährliche Gesamtfracht ge- löster organischer Kohlen- stoff [mol/(l*y)]	DOC_avg	GETM-Modell, Gräwe IOW, unpubliziert	Grid 600 x 600 m

Die Modellierung selbst erfolgte im Programm R (R Core Team 2019) unter Verwendung des Pakets „RandomForest“ (Liaw & Wiener 2002). In das Random Forest-Klassifikationsmodell gingen die vier genannten HELCOM HUB-Klassen der Ebene 6 als mögliche Werte der Response-Variablen ein. Als Maß für die Sicherheit der Vorhersage für jede Gridzelle wurde folgende Konfidenzabstufung definiert:

- Hohe Konfidenz $\geq 0,8$
- Mäßige Konfidenz $\geq 0,667 - < 0,8$
- Geringe Konfidenz $\geq 0,5 - < 0,667$
- Nicht ausreichende Konfidenz $< 0,5$

Erreichte in einer Gridzelle keine der HELCOM HUB-Biotopklassen eine Vorhersagewahrscheinlichkeit von wenigstens 50 %, wurde der Gridzelle der Wert „Infauna“ (der Ebene 4

entsprechend) zugeordnet. Die Einordnung der Biotopklassen im Klassifikationssystem DE 2017 erfolgte manuell entsprechend Tabelle 10 in Kapitel 6.

3.1.3 Ergebnis der Modellierung

Nachdem bei Modellierungsversuchen mit Clustergruppen nur eine ungenügende Vorhersagegüte erzielt werden konnte (vgl. Kap. 3.1.2), traten auch beim Ansatz über die direkte Klassen-Zuweisung deutliche Unsicherheiten bei der Vorhersage einzelner Gruppen auf. Die Gesamt-Modellgüte war mit einem Out-of-bag-error von 23,7 % mäßig, aber akzeptabel. Die Fehlklassifikationsrate unterschied sich jedoch zwischen den einzelnen Klassen deutlich und lag zwischen 15 % für die *Arctica*-Gemeinschaft und 67 % für die *Ophelia/Travisia*-Gemeinschaft. Die mit Abstand wichtigsten Umweltparameter im Modell waren die Substratklasse (SKL_final) und die Wassertiefe (depth, Abbildung 34 im Anhang). Alle anderen Parameter trugen annähernd gleich viel bzw. gleich wenig zur Modellgüte bei. Die Tatsache, dass das Substrat der wichtigste Parameter für die Vorhersage der endobenthischen Gemeinschaften im Schutzgebiet darstellt, stellt auch gleichzeitig das größte Problem bei der Modellierung dar. Denn die extreme Substratheterogenität führt lokal zu einer engen räumlichen Verzahnung der Gemeinschaften (vgl. Abbildung 15), lässt sich aber in der realisierten (und realisierbaren) Auflösung der Sedimentverteilungskarte nicht widerspiegeln. Die vorwiegend in Grobsanden sowie feinen Kiesen anzutreffende *Ophelia/Travisia*-Gemeinschaft kommt beispielsweise im Bereich des Riesenrippelfeldes (FFH-LRT 1110) und westlich angrenzenden Bereichen lokal, aber nicht flächendeckend vor. Die in diesem Bereich in den Mittelsanden vorkommende *Arctica*-Gemeinschaft überwiegt flächen- und stationsmäßig. Da sich die extrem kleinräumigen Sedimentunterschiede im Riesenrippelfeld jedoch im gewählten Kartierungsmaßstab nicht darstellen ließen, wurde das Gebiet vollständig dem Substrattyp „Sand“ zugeordnet und die spezifische Bindung der *Ophelia/Travisia*-Gemeinschaft an die gröberen Substrate fand in der prädiktiven Interpolation keine Berücksichtigung. Entsprechend schlecht war die Fehlklassifikationsrate dieser Gemeinschaft (66,7 %, Tabelle 3) und die Gebiete, in denen die Gemeinschaft vorhergesagt wurde, schlossen das Riesenrippelfeld nicht mit ein (Abbildung 16). Auch die Grob- und Restsedimente zwischen den Blöcken und Steinen der Riffe wurden nicht der *Ophelia/Travisia*-Gemeinschaft zugesprochen, obwohl beide Arten hier ebenfalls regelmäßig anzutreffen sind (vgl. Kap. 5.2). Typisch für die Gemeinschaft zwischen den Hartböden ist jedoch das stetige Vorkommen verschiedener *Astarte*-Arten sowie mariner Muschelarten, die in anderen Bereichen des Schutzgebietes nur sehr selten vorkommen. Dazu zählen *Mya truncata* und *Macoma calcarea*, aber punktuell oder temporär auch *Spisula* spp. und *Thracia* spp. Auch *Arctica islandica* kommt hier häufig in hoher Abundanz und teils in Form von sehr großen Individuen vor, so dass die Abgrenzung zwischen den Biotopklassen der marinen Muschel-Gemeinschaft und der *Arctica*-Gemeinschaft in diesem Bereich nicht immer eindeutig ist. Entsprechend hoch war auch die Fehlklassifikation zwischen diesen beiden Typen (Tabelle 3). Mit zunehmender Wassertiefe und dem damit verbundenen höheren Schluffanteil des Sedimentes nimmt die Präsenz einiger der charakteristischen Muschelarten der marinen Muschel-Gemeinschaft spürbar ab und die Gemeinschaft geht mehr und mehr in eine reine *Astarte*-Gemeinschaft bzw. eine *Astarte/Arctica*-Mischgemeinschaft über. Die Übergänge sind hier jedoch so fließend, dass sich eine eigenständige „Astarte-Gemeinschaft“ in den Clusteranalysen nicht abgrenzen ließ. Auch die Modellierung basierend auf der direkten Zuweisung der Biotopklasse führte für die potenzielle „Astarte-Gemeinschaft“ zu einer sehr hohen Fehlklassifikation. Auch die Biotopklasse „dominiert von opportunistischen Polychaeten“ ist im HELCOM HUB-System nicht klar definiert (und in DE 2017 nicht explizit ausgewiesen) und bildet somit eher eine Sammelklasse für verschiedene Gemeinschafts- bzw. Besiedlungsstrukturen (= „Varianten“), die auf verschiedenste

Störungen und (Wieder-) Besiedlungsereignisse hinweisen können, als eine echte Gemeinschaft. Im NSG „Fehmarnbelt“ stellt der Köcherwurm *Lagis koreni* die charakteristische Art der häufigsten Variante dieser Biotopklasse dar, wie sie vor allem in und entlang der Vinds Grav-Rinne anzutreffen ist. Hier wird die Entwicklung stabiler Muschelpopulationen vor allem durch kurzen saisonalen Sauerstoffmangel, sehr hohe organische Gehalte im Sediment sowie möglicherweise schnelle Sedimentumlagerungen verhindert. Während diese Vorkommen durch das Modell sehr gut vorhergesagt wurden, traten andere Varianten der Biotopklasse in der Prädiktion nicht zu Tage, was die Fehlklassifikationsrate erhöhte (Tabelle 3). So wird die Gemeinschaft an den verstreut im westlichen Bereich und rund um das Riesenrippelfeld befindlichen Stationen neben *L. koreni* auch von *Nephtys hombergii* und/oder *N. ciliata* dominiert. Die oben aufgeführten Störungen sind in diesen Bereichen eher unwahrscheinlich. Möglich sind hier natürlicher Stress durch starke Exposition (Riesenrippelfeld) aber auch anthropogen bedingte physikalische Störungen, beispielsweise durch aktive Fischerei mit bodenberührenden Geräten (westlicher Teil des NSG). Im Gegensatz zu den Vorkommen in der Vinds Grav-Rinne ist das Auftreten der opportunistischen Polychaeten-Gemeinschaft in diesen Bereichen daher möglicherweise auch temporär und ist deshalb in der prädiktiven Modellierung kaum vorherzusagen.

Tabelle 3: Fehlklassifikationsmatrix des Random Forest-Modells für die endobenthischen Gemeinschaften bzw. Biotopklassen

Vorhersage Beobachtung	marine Muscheln	<i>Arctica islandica</i>	<i>Ophelia/ Travisia</i>	opport. Polychaeten	Fehlklassifikation
marine Muscheln	45	23	0	3	36,6 %
<i>Arctica islandica</i>	19	149	3	4	14,9 %
<i>Ophelia/Travisia</i>	1	5	3	0	66,7 %
opport. Polychaeten	0	8	0	16	33,3 %

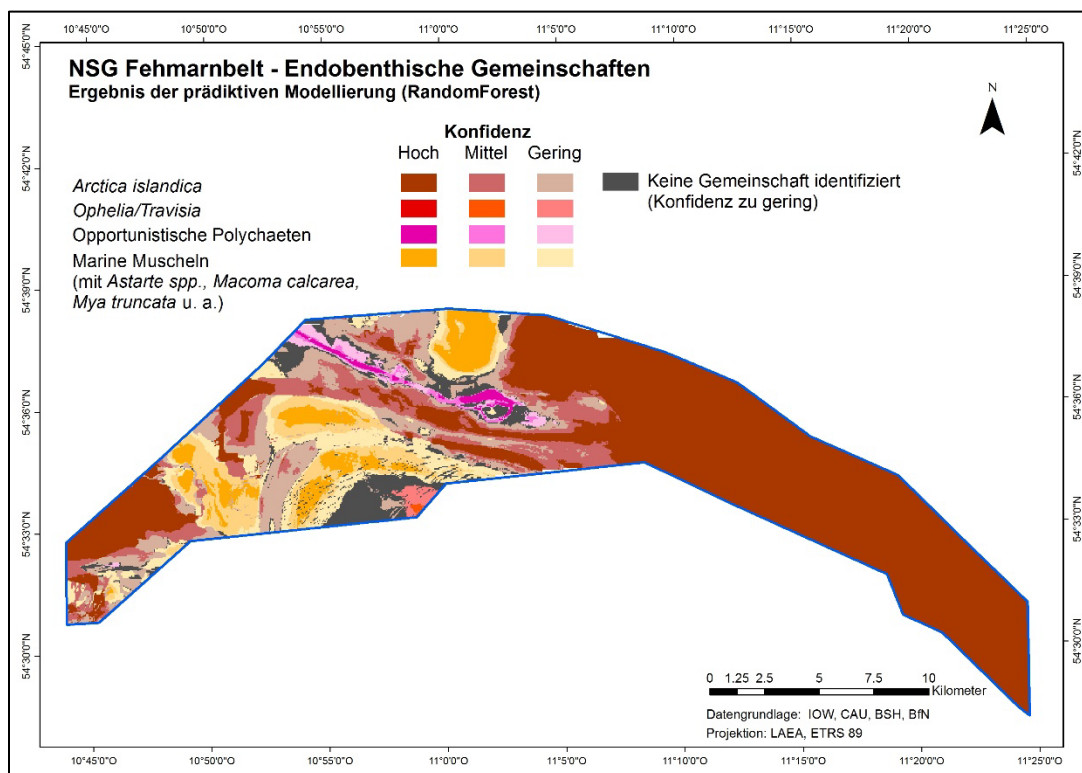


Abbildung 16: Karte der Verbreitung der endobenthischen Gemeinschaften als Ergebnis der prädiktiven Modellierung mit Angabe der Konfidenz

3.2 Epibenthische Gemeinschaften der Hartböden

3.2.1 Datenerhebung und Auswertung

Der zweite Teil der benthosbiologischen Arbeiten befasste sich mit den Hartboden-Gemeinschaften (Epibenthos), die mittels Unterwasser-Fotografie erfasst wurden. Dafür wurde ein am IOW entwickeltes Schleppkamarasystem (BaSIS – Baltic Sea Imaging System, Beisiegel et al. 2017) hinter dem langsam fahrenden Schiff (Zielgeschwindigkeit 0,5 kn) geschleppt. Um eine möglichst bewegungsarme Fahrt zu gewährleisten, wurde eine Seegangskompensationswinde dazwischengeschaltet, die einen Großteil der Roll- und Stampfbewegungen ausgleichen konnte. Mit einer senkrecht nach unten ausgerichteten, hochauflösenden Kamera (Hersteller 1cam) wurde ungefähr alle 30 Sekunden manuell ein Foto vom Untergrund aufgenommen. Anfangs erfolgte die Betätigung des Auslösers aus dem Schwebezustand heraus, um eine Störung des Sedimentes zu vermeiden. Im Laufe der Arbeiten zeigte sich jedoch, dass ein Absetzen bei der gewählten Fahrtgeschwindigkeit und dank der Kompensationswinde möglich war, ohne Debris aufzuwirbeln. Da das Ein- und Aussetzen des Gerätes vergleichsweise zeitintensiv ist, wurden die Fotos entlang von Transekten von 0,5 – 2 km Länge (entspricht 1 – 4 Stunden) gewonnen. Lage und Länge der Transekte ergaben sich aus den aktuellen Wind- und Strömungsbedingungen, der Kenntnis zur Lage der Hartböden sowie aus den Anforderungen des FFH-Monitorings für den LRT „Riff“, für das ein Teil der Transekte ebenfalls genutzt werden sollte (Abbildung 17). Eine genauere Beschreibung der Feldmethodik sowie der nachfolgend beschriebenen Bildauswertung findet sich in Beisiegel (2019).

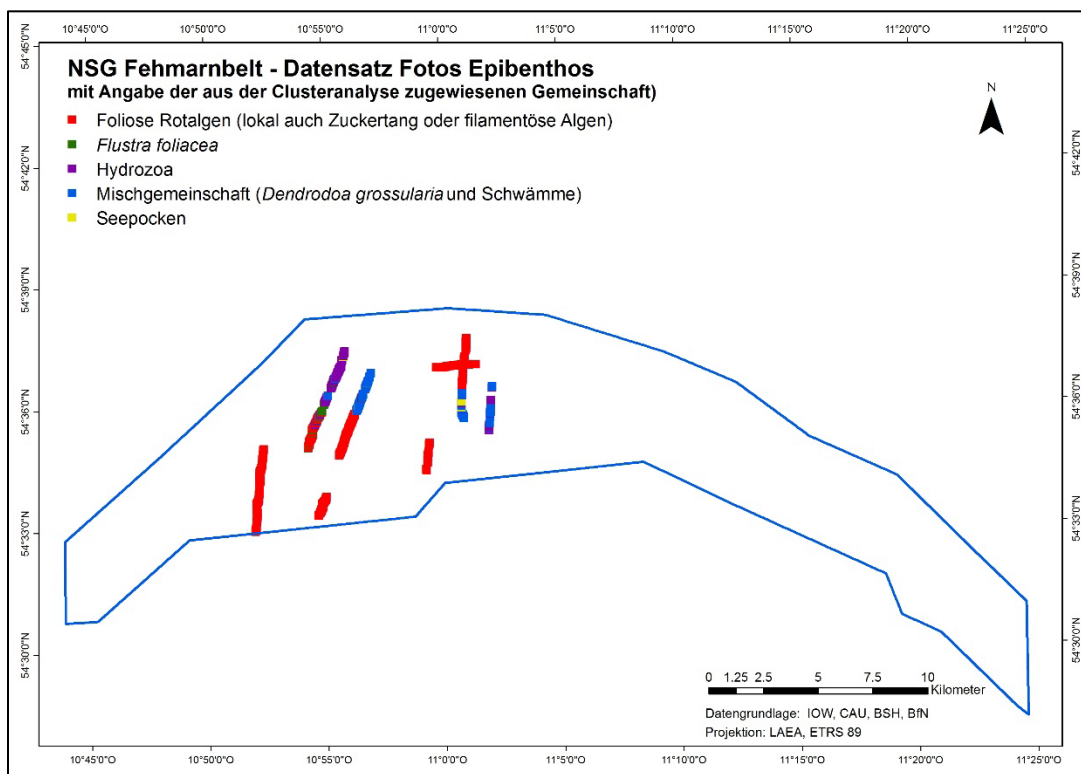


Abbildung 17: Lage der Foto-Transekte mit Angabe der für das jeweilige Foto zugeordneten Gemeinschaft

Vor der Analyse erfolgte eine Prä-Selektion der gespeicherten Fotos. Bilder ohne Hartsubstrate wurden ebenso aussortiert wie unscharfe Fotos und solche, auf denen der Fokusbereich durch Fremdkörper (aufgewirbelter Debris, mitgeschleppte Algen) ganz oder teilweise bedeckt war. Nach Abschluss des Selektionsprozesses konnten 944 Fotos aus acht Video-transekten wie folgt ausgewertet werden: Zunächst wurden alle Fotos auf den mittleren Bereich von 80 cm x 50 cm (= 0,4 m²) zugeschnitten. Dieser Bereich war in der Regel vollständig gut ausgeleuchtet und nicht von möglichen Schleifspuren durch das Absetzen des Geräts beeinträchtigt. Eine weitere Vorbereitung der Fotos (Aufhellung, Farbkorrekturen) war in der Regel nicht erforderlich. Die eigentliche Bildauswertung erfolgte mit Hilfe der open-source Software CoralPhotoCount with Excel Extension (CPCe, Kohler & Gill 2006). Dafür wurde jedes Foto zunächst in ein Raster aufgeteilt (5 x 5 Zellen) und dann im Raster stratifiziert zufällig 50 Punkte verteilt. Jedem dieser Punkte wurde das Taxon bzw. das Substrat zugeteilt, auf dem er lag. So konnte aus der Anzahl der Punkte pro Taxon anschließend der Bedeckungsgrad (in %) und das dominante Taxon für jedes Foto bestimmt werden.

3.2.2 Modellierungsansatz

Anders als bei den Weichboden-Biotopen konnten hier die Gemeinschaften erfolgreich aus dem Bedeckungsgrad der identifizierten Taxa über Clusteranalysen abgeleitet werden. Eine genaue Beschreibung der Prozedur findet sich in Beisiegel et al. (2018). Insgesamt wurden die 944 Einzelfotos in 5 Cluster unterteilt, die dann als Response-Variable in die Modellierung eingingen.

Die Modellierung selbst verlief im Grundsatz analog zu dem für die endobenthischen Gemeinschaften gewählten Ansatz (vgl. Kap. 3.1.2). Die Sedimentparameter mussten jedoch als Prädiktoren ausgeschlossen werden, da sie auf die Verbreitung der Weichboden-Gemeinschaften fokussierten und für die Verbreitung der sessilen Epifauna nicht relevant sind. Für das Epibenthos relevante Informationen zur Struktur der Hartsubstrate wie Dichte oder Größe (Blöcke, Steine, Kiesel, Muschelschalen) ließen sich weder aus den Fotos noch aus den vorhandenen Sedimentkarten flächendeckend ableiten und konnten daher ebenfalls nicht berücksichtigt werden. Als zusätzliche Umweltparameter wurden stattdessen die Neigung des Geländes (Slope) und das am Boden verbleibende Restlicht (PAR – Photosynthetic Active radiation) aufgenommen. Der Slope wurde mit dem ESRI ArcGIS add-in Benthic terrain Modeller (Wright et al. 2005) aus der Bathymetrie (BSH & IOW 2012) abgeleitet. Die PAR wurde dagegen analog zum DOC aus dem ERGOM MOM-Modell ermittelt (vgl. Tabelle 2). Die Vorhersage (Prädiktion) erfolgte zunächst für das gesamte NSG und wurde im Nachgang anhand der Information zur Verbreitung von Hartböden ausgeschnitten (vgl. Kap. 6).

3.2.3 Ergebnis der Analysen und der Modellierung

Aus der Clusteranalyse ergaben sich fünf Cluster, die basierend auf dem Bedeckungsgrad der wichtigsten sessilen Arten fünf unterschiedlichen Gemeinschaften und damit Biotopklassen zugeordnet werden konnten: Foliose Rotalgen, *Flustra foliacea*-Gemeinschaft, Hydrozoen-Gemeinschaft, eine Mischgemeinschaft aus verschiedenen Epifauna-Arten und eine reine Seepocken-Gemeinschaft. Typische Arten der fünf Gemeinschaften sind in Tabelle 21 im Anhang zusammengestellt.

Entsprechend dem Vorgehen bei den Endobenthos-Daten, wurden aus den Fotos zusätzlich über den Bedeckungsgrad dominante Taxa bestimmt und so direkt ohne den Weg über die Clusteranalysen den jeweiligen Klassen aus den Klassifikationssystemen zugeordnet. Über die direkte Zuweisung wurde die große räumliche Variabilität der epibenthischen

Besiedlung noch deutlicher und es wurden, zusätzlich zu den fünf Gemeinschaften aus der Clusteranalyse, fünf weitere Taxa identifiziert, die kleinräumig die Hartboden-Gemeinschaft dominierten (Tabelle 4). Insgesamt ergab sich für 118 der 944 Fotos (12,5 %) eine abweichende Zuweisung. Diese kleinräumige Heterogenität war jedoch mit den verfügbaren Prädiktoren nicht in der Modellierung darstellbar, so dass für die prädiktive Modellierung der epibenthischen Gemeinschaften auf die fünf Gruppen aus der Clusteranalyse zurückgegriffen wurde. Die Verbreitung dieser kleinräumig vorkommenden Biotopklassen und der Gemeinschaften der Clusteranalyse wird im Folgenden kurz dargestellt.

Tabelle 4: Auf Einzelfotos (n = 118) dominierende Taxa und deren Zuweisung zu den fünf Gemeinschaften aus der Clusteranalyse

Gemeinschaft aus der Clusteranalyse	<i>Saccharina latissima</i>	filamentöse Algen	<i>Ciona intestinalis</i>	Schwämme	<i>Metridium senile</i>
Foliose Rotalgen	62	37	1	5	-
<i>Flustra foliacea</i>	-	-	-	-	1
Hydrozoa	--	-	-	1	-
Mischgemeinschaft	-	-	-	10	1
Seepocken	-	-	-	-	-

In der lichtdurchfluteten, photischen Zone konnte durch die Clusteranalyse lediglich eine von perennierenden Rotalgen dominierte Gemeinschaft identifiziert werden. Gebiete, die zusätzlich bzw. vorwiegend Zuckertang aufwiesen (62 Fotos, 10,6 % aller Fotos in dieser Gemeinschaft), konnten ebenso wie Bereiche, in denen filamentöse Algen vorherrschend waren (37 Fotos, 6 %), nicht separiert werden. Während filamentöse Algen vor allem in Bereichen mit ausschließlich kleinen Steinen das Bild prägten, war Zuckertang im photischen Bereich verbreitet, aber meist nur sehr lokal dominant. Lediglich auf der Erhebung Öjet im nördlichen Bereich des Schutzgebietes scheint es Bereiche zu geben, die dauerhaft und flächendeckend von Zuckertang dominiert werden (Abbildung 26).

Im Übergangsbereich zur aphotischen Zone fand sich auf großen Blöcken die *Flustra*-Gemeinschaft, in der bereits viele charakteristische Taxa der unteren Hanglagen neben einzelnen Rotalgen in geringerer Dichte vorkamen. Dabei fand sich auf den Blöcken eine kleinräumige Zonierung mit oftmals Rotalgen auf der Oberseite, *Flustra* auf den oberen seitlichen und anderen Arten auf den bodennahen Abschnitten der Blockseiten. Die Identifikation dieser Gemeinschaft war daher direkt von der Lage des Fotos auf bzw. zwischen den Blöcken abhängig.

In den lichtarmen Bereichen konnten drei Gemeinschaften identifiziert werden. In der tiefsten Zone der Rinne sowie auf größeren Muschelschalen siedelten fast ausschließlich Seepocken. Diese artenarme Pioniergemeinschaft findet sich überall dort, wo Hartböden (nach Störungen) neu zu besiedeln sind. Ein wichtiger Faktor hierbei ist saisonaler Sauerstoffmangel, der vor allem in der Vinds Grav-Rinne und den untersten Hanglagen (unterhalb 30 m) auftreten kann. In ihrer Ausprägung auf großen Muschelschalen ist die Pioniergemeinschaft jedoch vereinzelt im gesamten Gebiet anzutreffen. Deutlich mehr Fläche nehmen dagegen die beiden anderen Gemeinschaften der aphotischen Zone ein: eine von *Dendrodoa grossularia* und Schwämmen dominierte Misch-Gemeinschaft, die lokal auch nur von einem der beiden Taxa dominiert sein kann, sowie eine von Hydrozoen dominierte Gemeinschaft. In kleinen Bereichen oder auf Einzelfotos bildet darüber hinaus die Seenenke *Metridium senile* oder die Schlauch-Ascidie *Ciona intestinalis* dichte Bestände.

Mit einer Fehlklassifikationsrate von 7,1 % war das Random Forest-Modell grundsätzlich exzellent in der Lage, die fünf Gemeinschaften zu unterscheiden. Allerdings ergaben sich

im Detail deutliche Unterschiede in der Trennschärfe zwischen den Gemeinschaften (Tabelle 5). Die Rotalgen-Gemeinschaft war aufgrund der direkten Abhängigkeit vom Licht sehr scharf über die Parameter Tiefe und PAR abgrenzbar. Dementsprechend gering war die Fehlklassifikationsrate (1,9 %). Da die mit Abstand meisten Fotos auf diese Gemeinschaft entfielen, schlug diese geringe Fehlklassifikationsrate positiv auf den Gesamt-Fehler durch. Aber auch die beiden wichtigsten Gemeinschaften der aphotischen Zone (Hydrozoen, Fehlklassifikation 7,1 % und die Mischgemeinschaft aus *Dendrodoa grossularia* und Schwämmen, Fehlklassifikation 14,2 %) wurden gut durch das Modell wiedergegeben. Wichtigster trennender Parameter zwischen diesen beiden Gemeinschaften war im Modell der gelöste organische Kohlenstoff, was möglicherweise auf einen Einfluss der Eutrophierung auf die Verbreitung der beiden Gemeinschaften hindeutet (Abbildung 35 im Anhang). Große Unsicherheiten bestanden dagegen in der Vorhersage der beiden verbleibenden Gemeinschaften, die lediglich an wenigen Stellen gefunden wurden. Die *Flustra*-Gemeinschaft tritt nur auf größeren Blöcken auf und ist dann vorwiegend im Übergangsbereich zwischen photischer und aphotischer Zone anzutreffen. Da der Sedimenttyp bzw. die Größe des Hartboden-Substrats jedoch nicht als Prädiktor in das Modell eingehen konnte, war eine Abgrenzung der Gemeinschaft durch das Modell kaum möglich. Infolgedessen wurden nur 3 von 24 *Flustra*-Fotos im Modell korrekt klassifiziert. Obwohl die räumliche Lage der vorhergesagten Bereiche relativ gut mit der Lage der *Flustra*-Fotos übereinstimmt, ist die modellierte Verbreitung für diese Gemeinschaft nur bedingt aussagekräftig. Ähnliches gilt bei einer Fehlklassifikationsrate von 45 % für die Seepocken-Gemeinschaft. Aufgrund der im Vergleich zur Breite der Vinds Grav-Rinne relativ groben Auflösung des hydrodynamisch-ökologischen Modells (600 x 600 m) konnten die für diesen hochvariablen Bereich (Beisiegel et al. 2018) wichtigsten Umweltparameter wie Sauerstoffgehalt und Sedimentation nicht in der erforderlichen Genauigkeit eingebracht werden, sodass die Vorhersagbarkeit der Gemeinschaft gering war. Zudem finden sich Seepocken als Pionierorganismen auch immer wieder in hoher Dichte auf großen *Arctica*-Schalen, die im gesamten Gebiet anzutreffen sind. Diese Variante war aufgrund der mehr oder weniger zufälligen Verbreitung nicht vorhersagbar.

Ein Blick auf die resultierende Karte (Abbildung 18) verdeutlicht, dass in der aphotischen Zone weite Bereiche keiner Gemeinschaft eindeutig zugewiesen werden konnten. Das betraf vor allem die Bereiche, aus denen keine Videos/Fotos für die Erstellung des Modells zur Verfügung standen, aber auch Bereiche, in denen die beiden Hauptgemeinschaften der aphotischen Zone räumlich eng verzahnt vorkommen bzw. direkt ineinander übergehen.

Forschungsbedarf besteht vor allem noch zur zeitlichen und räumlichen Stabilität einzelner Biotope und der damit verbundenen Ökosystemfunktion. Auch der Zusammenhang zwischen dem Vorkommen einzelner epibenthischer Gemeinschaften (und damit auch der daraus abgeleiteten Biotope) bzw. deren unterschiedlicher Ausprägungen durch (anthropogene) Umweltfaktoren, wie Eutrophierungseffekte und anderen Umweltparametern, ist noch weitgehend ungeklärt.

Tabelle 5: Fehlklassifikationsmatrix des Random Forest-Modells für die epibenthischen Gemeinschaften

Vorhersage Beobachtung	foliose Rotalgen	<i>Flustra</i>	Hydrozoa	Mischge- meinschaft	Seepocken	Fehlklassi- fikation
foliose Rotalgen	573	5	4	2	0	1,9 %
<i>Flustra</i>	14	3	0	7	0	87,5 %
Hydrozoa	4	0	184	8	2	7,1 %
Mischgemein- schaft	4	4	8	109	2	14,2 %
Seepocken	0	0	4	1	6	45,5 %

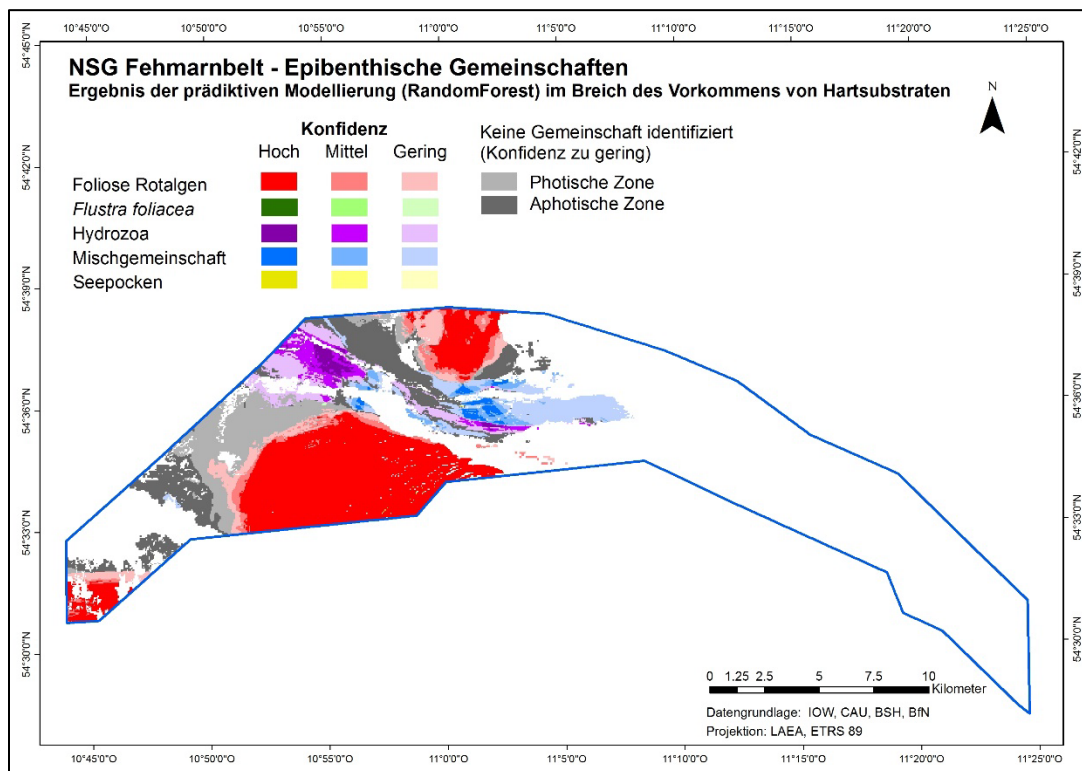


Abbildung 18: Karte der Verbreitung der epibenthischen Gemeinschaften als Ergebnis der prädiktiven Modellierung mit Angabe der Konfidenz

4 Natürliche Lebensraumtypen nach Anhang I Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie

4.1 „Sandbänke mit nur schwacher, ständiger Überspülung durch Meerwasser“ (EU-Code 1110)

Sublitorale Sandbänke im Sinne der FFH-RL gehören aufgrund ihrer besonderen ökologischen Bedeutung und ihrer Sensitivität zu den sowohl durch nationales als auch durch EU-Recht geschützten natürlichen Lebensraumtypen im Meer. Konkret unterliegen sie in der deutschen Nord- und Ostsee seit 2010 in Ergänzung des Schutzes durch die FFH- und Umwelthaftungsrichtlinie (vgl. §§ 33, 34 und § 19 BNatSchG) dem gesetzlichen Biotopschutz des Bundesnaturschutzgesetzes (§ 30 Abs. 2 S. 2 Nr. 6 BNatSchG).

Laut Definition (European Commission 2013) sind „Sandbänke mit nur schwacher, ständiger Überspülung durch Meerwasser“ (im Folgenden kurz „Sandbänke“ genannt) im Sinne der FFH-Richtlinie sublitorale Erhebungen des Meeresbodens, die überwiegend von Bereichen größerer Wassertiefe umgeben sind und deren höhere Bereiche in der Regel nicht in größeren Wassertiefen als 20 m liegen. Die Oberflächensedimente von Sandbänken bestehen überwiegend aus verschiedenenkörnigen Sanden. Größere Sedimente (bis hin zu einzelnen Blöcken) oder feinere Korngrößen (z. B. Schlick) können lokal eingeschlossen sein. Sandige Lebensräume auf von Hartsubstraten gebildeten Bänken gehören zum Lebensraumtyp (LRT) „Sandbänke“, wenn die assoziierten Lebensgemeinschaften vorwiegend von Sand und nicht vom darunterliegenden Hartsubstrat abhängig sind. Sublitorale Sandbänke kommen je nach Sedimenttyp, Tiefenausdehnung, Topographie sowie Strömungs- und Brandungsexposition in großer Formenvielfalt vor. In Abhängigkeit von vorherrschenden Meeresströmungen kann der Lebensraum relativ stabil sein oder aber einer hohen Dynamik unterliegen. Die Identifizierung und Abgrenzung sollte unter Verwendung von digitalen Tiefendaten und, wenn es die Datenlage erlaubt, unter Anwendung eines GIS gestützten „Triangulierten Irregulären Netzes“ (TIN) zur Berechnung von Hangneigungen erfolgen (Boedeker et al. 2006; Klein 2006).

Im NSG „Fehmarnbelt“ kommt der LRT „Sandbänke“ in Form eines etwa 6,4 km² großen Riesenrippelfeldes⁹ in Wassertiefen zwischen 11 und 25 m vor. Das Riesenrippelfeld ragt aus den Hoheitsgewässern Schleswig-Holsteins in die AWZ hinein und ist bereits seit den späten 1960er Jahren Gegenstand geologischer Untersuchungen (Werner & Newton 1970; Werner et al. 1974; Kaufhold 1985, 1995; Feldens et al. 2009, 2012, 2015). Die Riesenrippe haben Kammabstände von 40-70 m und Kammhöhen von 1-2,5 m. Das Feld hat eine Gesamtausdehnung von etwa 8,1 km in Ost-West- und 1,8 km in Nord-Süd-Richtung (Schwarzer & Diesing 2006; Feldens et al. 2009). Die einzelnen Rippel bestehen aus bis zu 4,5 m mächtigen Mittel- bis Grobsanden, deren Basis überwiegend eine Geschiebemergeloberfläche bildet, stellenweise liegt dieser Sandkörper auch auf früh-holozänen Sedimenten. Dabei ist eine Zonierung der Sedimentverteilung erkennbar, die der Tiefenlage des Rippelfeldes auf zwei Terrassen folgt, mit tendenziell feineren Sedimenten und geringeren Dünenabmessungen im tieferen, nördlichen Bereich des Rippelfeldes (Feldens et al. 2009, 2015). Das Vorkommen der Riesenrippeln ist an die durch die paläogeographische Situation bedingte Sedimentverfügbarkeit gebunden (Feldens et al. 2015), typisch für Sedimentmangelgebiete auf kontinentalen Schelfen. Die einzelnen Transportkörper sind als Strömungsrippe deutlich asymmetrisch, wobei die steile Leeseite nach Osten weist. Vermutlich

⁹ Riesenrippe weisen nach Reineck et al. (1971) Kammabstände von über 30 m auf. In der englischsprachigen Literatur werden Groß- und Riesenrippe zusammenfassend als „dunes“ bezeichnet (Ashley 1990, zitiert nach Schwarzer & Diesing 2006).

entstehen die Riesenrippel bei heftigen, sturmbedingten Salzwassereinbrüchen aus der Nordsee (Feldens et al. 2009), deren Strömungen nach Modellierungen annähernd senkrecht zu den Dünenachsen verlaufen (Feldens et al. 2015). Dies bedingt eine Dynamik des Riesenrippelfeldes, welche durch Phasen der Inaktivität geprägt ist und von aperiodischen Phasen der Umgestaltung unterbrochen wird. Verschiedene Bereiche des Riesenrippelfeldes weisen eine unterschiedliche morphologische Dynamik auf. Wiederholte Vermessungen lassen für die letzten Dekaden eine Erweiterung und Dünenneubildung vor allem der unteren Terrasse des Riesenrippelfeldes nach Westen erkennen (Werner & Newton 1970; Kaufhold 1988; Wittmaack 1988; Milkert & Fiedler 2002; alle zitiert in Schwarzer & Diesing 2006; Feldens et al. 2009), wohingegen der östliche Rand sowie die südliche Begrenzung des Feldes – vermutlich bedingt durch die Sedimentverfügbarkeit - in diesem Zeitraum annähernd lagestabil zu sein scheinen (Feldens et al. 2009). Inwiefern zwischen den verfügbaren Vermessungen eine teilweise Aufarbeitung v.a. der westlichen Bereiche des Riesenrippelfeldes z.B. durch Starkwindereignisse erfolgen kann, ist nicht untersucht.

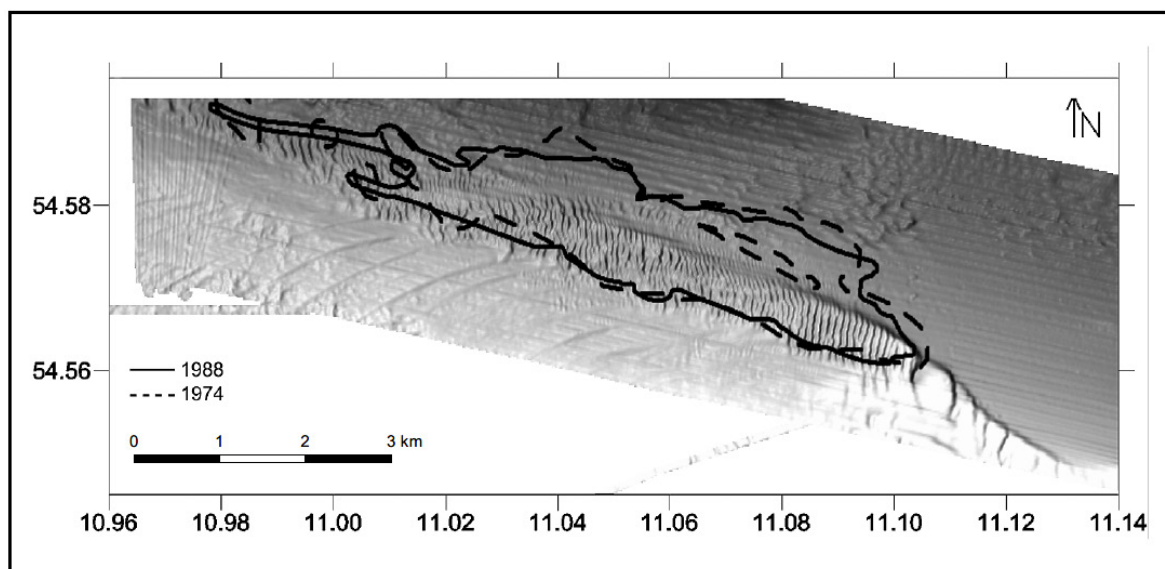


Abbildung 19: Grenzen des Riesenrippelfeldes nach Werner et al. (1974), gestrichelte Linie, und nach Kaufhold (1988), durchgezogene Linie (Feldens et al. 2009)

Zum Zeitpunkt der Meldung des Natura 2000-Gebiets „Fehmarnbelt“ an die EU-Kommission im Jahr 2004 wies das als LRT „Sandbänke“ in den Standarddatenbogen aufgenommene Riesenrippelfeld in der deutschen AWZ der Ostsee eine Flächengröße von 446 ha auf. Diese Ausdehnung war im Rahmen des F+E-Vorhabens „Erforschung der FFH-Lebensraumtypen Sandbank und Riff in der AWZ der deutschen Nord- und Ostsee“ durch das Institut für Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) ermittelt worden (Schwarzer & Diesing 2006). Eine im Zuge des Genehmigungsverfahrens zur festen Fehmarnbeltquerung fast ein Jahrzehnt später durchgeführte Neuvermessung des Riesenrippelfeldes (FEHY 2013) ergab eine stärkere Flächenausdehnung Richtung Westen. Da dieses Ergebnis durch Feldens et al. (2015) bestätigt wurde, fanden diese Bereiche Eingang in die Überarbeitung der Sandbankkulisse.

Eine weitere, ebenfalls im Zuge des Genehmigungsverfahrens zur festen Fehmarnbeltquerung abgegrenzte Sandbankfläche wurde hingegen in der Anpassung der Sandbankkulisse im NSG „Fehmarnbelt“ nicht berücksichtigt. Diese im Norden des Schutzgebietes im Bereich des submarinen Flachgrundes Öjet befindliche Fläche ist Forschungsergebnissen der CAU entsprechend durch das Vorkommen von Restsedimenten geprägt (Schwarzer &

Diesing 2006). Diese Einschätzung wurde durch Videountersuchungen des IOW bestätigt. Die Fläche ist daher nicht als Sandbank anzusprechen.

Bei der Überarbeitung der Sandbankkulisse wurden zunächst die Polygon-Shapes der 2004 gemeldeten Sandbankfläche und der durch FEHY (2013) im Zuge des Genehmigungsverfahrens eingebrachten und durch das BfN bestätigten Sandbankfläche des Riesenrippelfeldes miteinander verschnitten. Dieses Ergebnis wurde dann in das auch für die Modellierung der benthischen Gemeinschaften verwendete 50 x 50 m Grid (vgl. Kapitel 3.1.2) überführt. Dabei wurde jede Gridzelle, die einen Sandbankanteil $\geq 50\%$ aufwies, dem LRT „Sandbänke“ zugeordnet. Anschließend erfolgte eine Verschneidung mit dem LRT „Riffe“. Dort, wo Gridzellen dem LRT „Riff“ zuzuordnen waren (vgl. Kap. 4.2), wurden diese aus der Sandbankkulisse ausgeschnitten. Damit nimmt der FFH-Lebensraumtyp „Sandbänke“ im NSG „Fehmarnbelt“ nach der Anpassung der Kulisse eine Fläche von 6,3 km² ein (Abbildung 20). Das Vorkommen ist damit gegenüber der 2004 an die EU-Kommission gemeldeten Fläche von 4,5 km² um 29 % größer.

Die für diesen Lebensraumtyp charakteristischen Arten wurden im Rahmen der Konzeptentwicklung für eine FFH-Bewertung zusammengestellt (IOW 2009) und im Monitoring evaluiert und ergänzt. Die derzeit aktuelle Liste charakteristischer Arten findet sich als Tabelle 15 im Anhang.

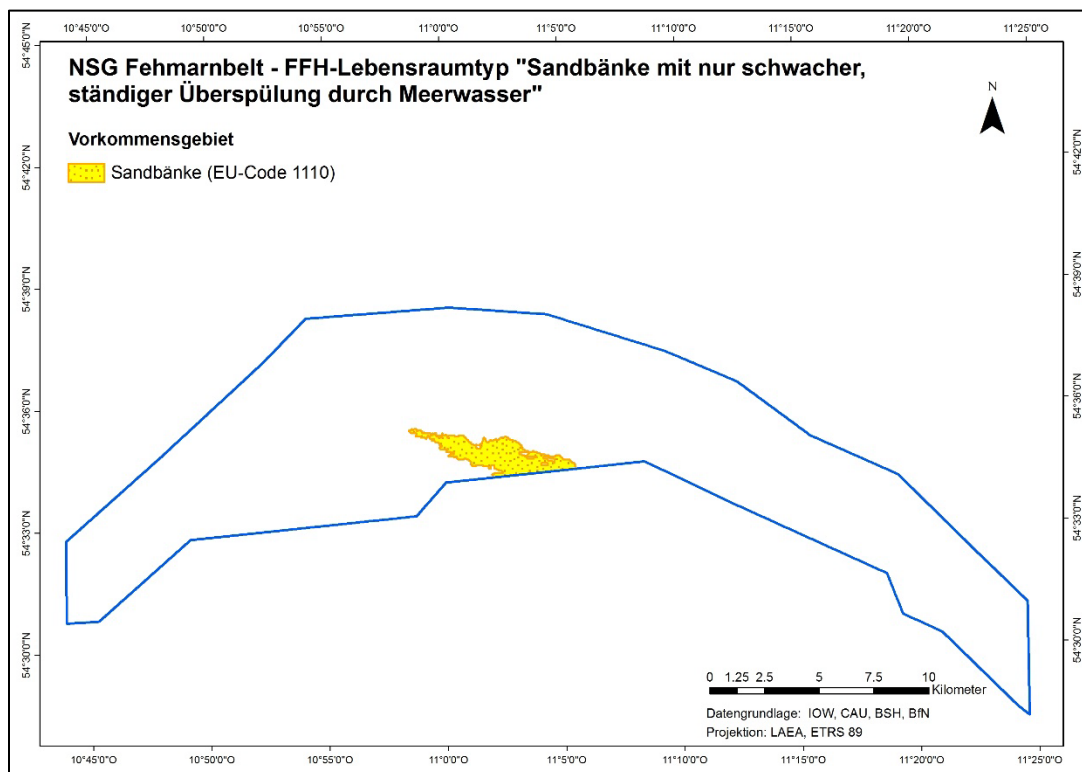


Abbildung 20: Vorkommen des FFH-Lebensraumtyps „Sandbänke mit nur schwacher, ständiger Überspülung durch Meerwasser“ (EU Code 1110) im NSG „Fehmarnbelt“

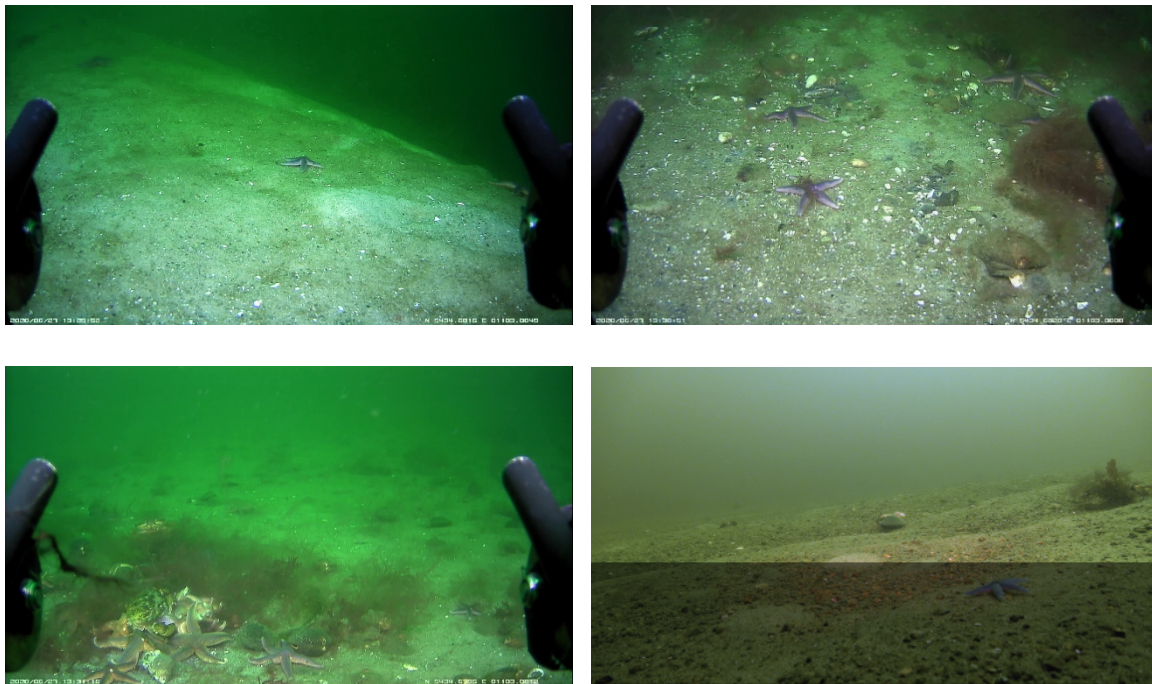


Abbildung 21: Typische Strukturen des FFH-LRT „Sandbänke mit nur schwacher, ständiger Überspülung durch Meerwasser“ (EU-Code 1110) im NSG „Fehmarnbelt“ (Fotos: IOW)

Oben links: Mittelsande an der Rippelkante, oft besiedelt von der *Ophelia/Travisia*-Gemeinschaft (vgl. Kap. 3.1); oben rechts: Im Rippeltal liegt oft gröberes Substrat an und es aggregieren driftende Algen; unten links: auch Aas sammelt sich in den Rippeltälern – Nahrung für Strandkrabben, Wellhörner und Seesterne; unten rechts: eine der lokal eingestreuten Kiesinseln.

4.2 „Riffe“ (EU-Code 1170)

Riffe sind wichtige Habitate für viele Meereslebewesen, da sie Ansiedlungsflächen, Versteck- und Schutzräume bieten, durch ihre komplexen Strukturen Lebensraum für vielfältige Lebensgemeinschaften formen und damit zahlreiche ökologische Funktionen erfüllen. Riffe im Sinne der FFH-RL gehören aufgrund ihrer besonderen ökologischen Bedeutung und ihrer Sensitivität zu den sowohl durch nationales als auch EU-Recht geschützten natürlichen Lebensraumtypen im Meer. Konkret unterliegen sie in der deutschen Nord- und Ostsee seit 2010 in Ergänzung des Schutzes durch die FFH- und Umwelthaftungsrichtlinie (vgl. §§ 33, 34 und § 19 BNatSchG) dem gesetzlichen Biotopschutz des Bundesnaturschutzgesetzes (§ 30 Abs. 2 S. 2 Nr. 6 BNatSchG).

Bei Riffen handelt es sich um Biotopkomplexe, die in bestimmten räumlichen Konstellationen aus verschiedenen Biotoptypen mit rifftypischen Biozönosen (korrespondierende Biotope) bestehen können und als markante morphologische Großformen des Meeresbodens in Erscheinung treten (Finck et al. 2017 zitiert in BfN 2018). Laut Definition im EU-Interpretationshandbuch (European Commission 2013) können FFH-Riffe sowohl geogene als auch biogene Erhebungen des Meeresbodens sein, wobei die geogenen Riffe aus riffformenden Hartsubstraten, z. B. in Form von Steinen mit einem Durchmesser von > 64 mm bestehen. Biogene Riffe sind z. B. Miesmuschelbänke, kommen jedoch im NSG „Fehmarnbelt“ nicht vor. Während im östlichen Teil des Schutzgebiets aufgrund der dort vorherrschenden Sedimentverhältnisse keine Riffvorkommen zu erwarten sind, ist der westliche Teil von Restsedimenten geprägt (Schwarzer & Diesing 2006). Sowohl auf diesen Restsedimentflächen als auch entlang der Hänge der Vinds Grav-Rinne sind Steine und Blöcke

laut Schwarzer & Diesing (2006) weit verbreitet. Ihre Untersuchungen wiesen bereits darauf hin, dass die Riffkulisse im NSG „Fehmarnbelt“ größer ist, als 2004 – dem Jahr der Meldung an die EU-Kommission - bekannt war. Vor diesem Hintergrund erfolgte im Rahmen eines breit angelegten Biotopkartierungsprojekts des BfN unter Beteiligung von Projektpartnern eine Neukartierung der Riffe im NSG „Fehmarnbelt“. Hierfür kam zum ersten Mal ein einheitliches, zwischen Bundes- und Länderbehörden abgestimmtes Verfahren zur großflächigen Abgrenzung von geogenen, aus natürlichen Gesteinsfeldern gebildeten Riffen in der deutschen Ostsee zur Anwendung (Heinicke et al. 2021).

Die Riffkulisse in der Biotopkarte für das NSG „Fehmarnbelt“ resultiert aus einer flächendeckenden SSS-basierten Sediment- und Blockkartierung (Richter et al. 2021a; Papenmeier et al. 2020a; Richter et al. 2021a, b), die vom BSH gemeinsam mit der CAU und dem IOW im Zuge des AWZ-Projekts 6 „Sedimente“ des BfN und einer Verwaltungsvereinbarung zwischen BSH und IOW erfolgte (siehe Kap. 2). Die biologischen Komponenten bzw. Grundlagen zur Beschreibung der dort vorkommenden epibenthischen Gemeinschaften (siehe Kap. 3.2) basieren auf der vom IOW im Rahmen von AWZ-Projekt 4 „Benthos“ für das BfN durchgeführten Biotopkartierung und -modellierung. In der großflächigen Kartierung werden zwei Typen von geogenen Riffen im NSG „Fehmarnbelt“ unterschieden: Riffe des Typs „Blockfeld der deutschen Ostsee“ sowie des Typs „Restsediment mit vereinzelt Steinen und/oder Blöcken“. Restsedimente werden hinzugezogen, da auch kleine Steine gemäß Interpretationshandbuch (European Commission 2013) geogene Riffbildner sind, diese aber nicht mit vertretbarem Aufwand bzw. der bisher verfügbaren Technik als solche im Rückstreumosaik der SSS-Messungen zu identifizieren sind¹⁰. „Marine Findlinge“, in der deutschen AWZ der Ostsee ebenfalls als eigener Riffotyp vorkommend, wurden in der großflächigen Kartierung des NSG „Fehmarnbelt“ nicht erfasst. Sie als Einzelobjekte zu identifizieren, hätte einen hohen zusätzlichen Aufwand in der Auswertung erfordert und ist gemäß Heinicke et al. (2021) aus diesem Grund in der großflächigen Kartierung auch nicht verbindlich vorgeschrieben. In den zugrundeliegenden SSS-Daten sind aber generell sowohl im NSG „Fehmarnbelt“ wie auch in anderen Bereichen der Ostsee „Marine Findlinge“ erkennbar.

Wichtigste Grundlage und Ausgangsbasis der Riffabgrenzung innerhalb des NSG „Fehmarnbelt“ war die Blockverteilungskarte (BVK; Richter et al. 2021b). Sie enthält vereinzelt auch Gridzellen, die aufgrund nicht auswertbarer, beziehungsweise fehlender Daten nicht klassifiziert werden konnten (vgl. Abbildung 14 in Kapitel 2.3.2). Da jedoch eine flächendeckende Zuordnung von Blockdichten als Grundlage für die regelbasierte Riffabgrenzung erforderlich ist, wurde entsprechend eines in Heinicke et al. (2021) beschriebenen, regelbasierten Vorgehens die BVK des Schutzgebiets als sogenannter Blocklayer vervollständigt (Abbildung 22).

¹⁰ die mit der verwendeten Technik detektierbare Größe beginnt bei einem Durchmesser der Steine von ca. 30 cm

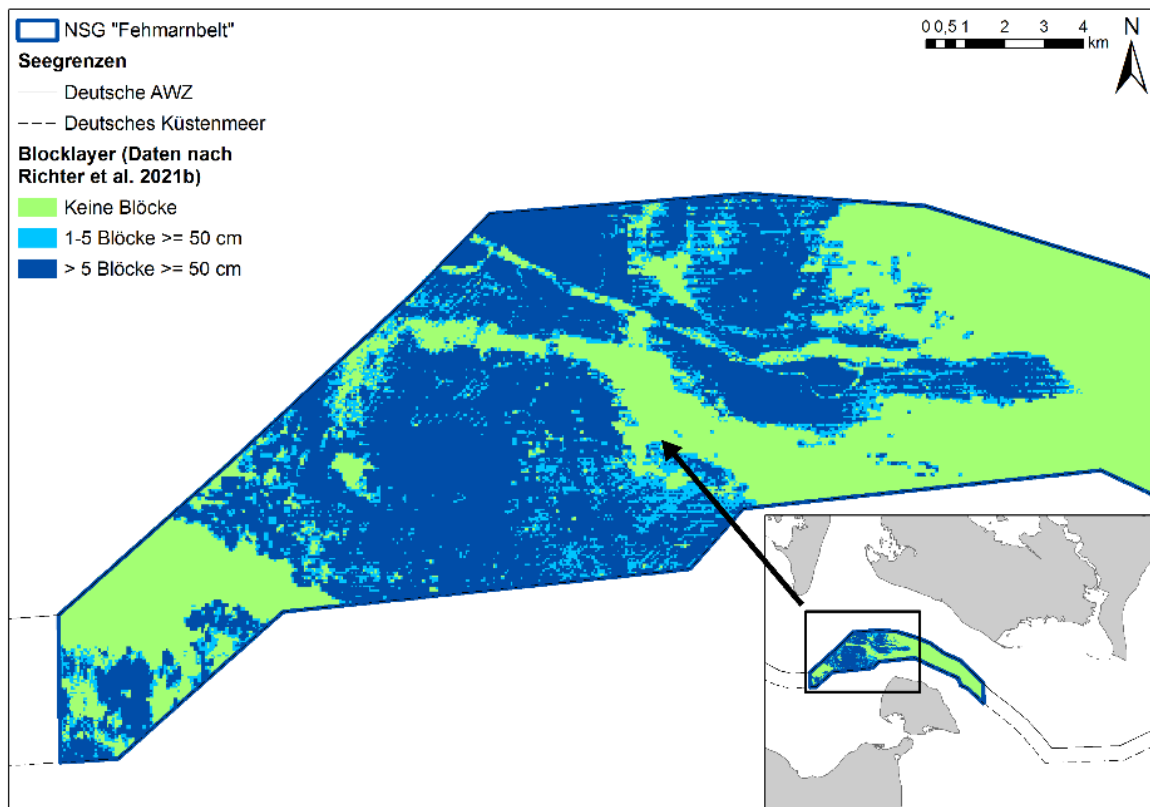


Abbildung 22: Für die Riffabgrenzung verwendeter Blocklayer des NSG „Fehmarnbelt“ (nach Heinicke et al. 2021)

Die zweite wichtige Grundlage für die Riffabgrenzung bildete die Sedimentverteilungskarte (SVK; Richter et al. 2021a; Papenmeier et al. 2020a), da dort in der Ebene A die relevanten Informationen zur Verbreitung des Sedimenttyps „Restsediment“ vorliegen. Tabelle 6 zeigt die als Restsedimente für die Erstellung des „Restsedimentlayers“ des NSG „Fehmarnbelt“ herangezogenen Sedimenttypen. Dabei handelt es sich um Sedimenttypen, die entweder durch Restsedimente dominiert werden oder diese in Kombination mit Grobsedimenten vorkommen. Aus der SVK, deren Geometrie die räumliche Abgrenzung von Sedimenttypen am Meeresboden als Polygon widerspiegelt, wurde für die Riffabgrenzung dann aus diesen drei Sedimenttypen ein eigener, als „Restsedimentlayer“ bezeichneter Griddatensatz erzeugt (Abbildung 23). Für die spätere Abgrenzung der Riffe relevant waren dabei die zu > 50 % von Restsedimenten bedeckten Gridzellen und alle Randzellen mit > 50 % Restsediment.

Tabelle 6: Klassifikation der zur Erstellung des Restsedimentlayers herangezogenen Restsedimente der SVK des NSG „Fehmarnbelt“ (Daten aus Richter et al. 2021a)

EbeneA_SonarSedimentType	Erläuterungen
LagSed	Restsediment
LagSed+1	Restsediment und ein weiterer unklassifizierter Sedimenttyp; es kommen beide Sedimenttypen klar voneinander abgegrenzt vor, jedoch kleinräumig verteilt. Restsediment tendenziell dominierend.
CSed-LagSed	Grobsediment bis Restsediment; genauere Abgrenzung schwierig, Übergang zwischen den beiden Sedimenttypen ggf. fließend.

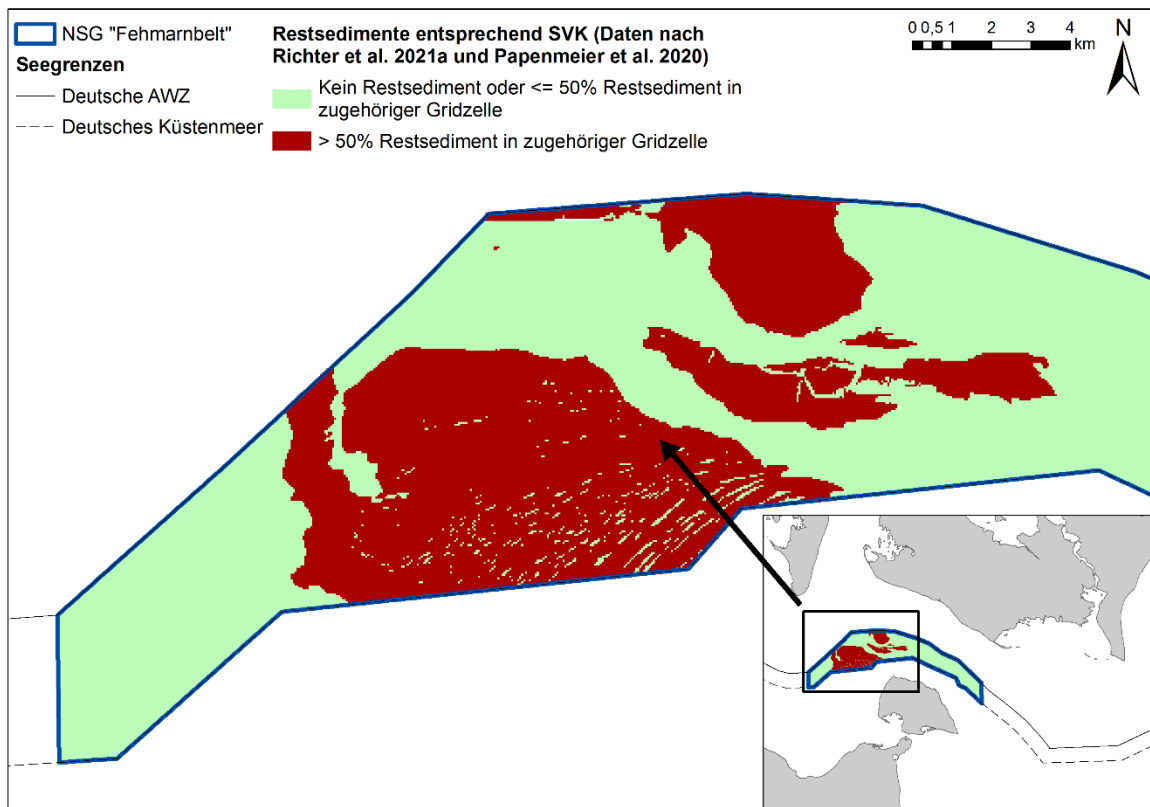


Abbildung 23: Für die Riffabgrenzung verwendeter Restsedimentlayer des NSG „Fehmarnbelt“ (nach Heinicke et al. 2021)

Abbildung 24 zeigt das Ergebnis der Riffabgrenzung, das anhand der in Heinicke et al. (2021) beschriebenen Abgrenzungskriterien mit Hilfe des Blocklayers und Restsedimentlayers erzeugt wurde. Demnach sind die im NSG „Fehmarnbelt“ vorkommenden Riffe größtenteils dem Riffotyp „Blockfeld der deutschen Ostsee“ zuzuordnen. Die abgegrenzten Kern- und Randbereiche bilden dabei die neue Kulisse, die als FFH-LRT „Riff“ spätestens mit dem nächsten nationalen Bericht nach Art. 17 FFH-Richtlinie an die EU-Kommission gemeldet werden soll. Das Vorkommen des geogenen Riffotyps „Restsediment mit vereinzelt Steinen und/oder Blöcken“ kann innerhalb der abgegrenzten Entwicklungsbereiche derzeit für das Schutzgebiet nicht ausgeschlossen werden.

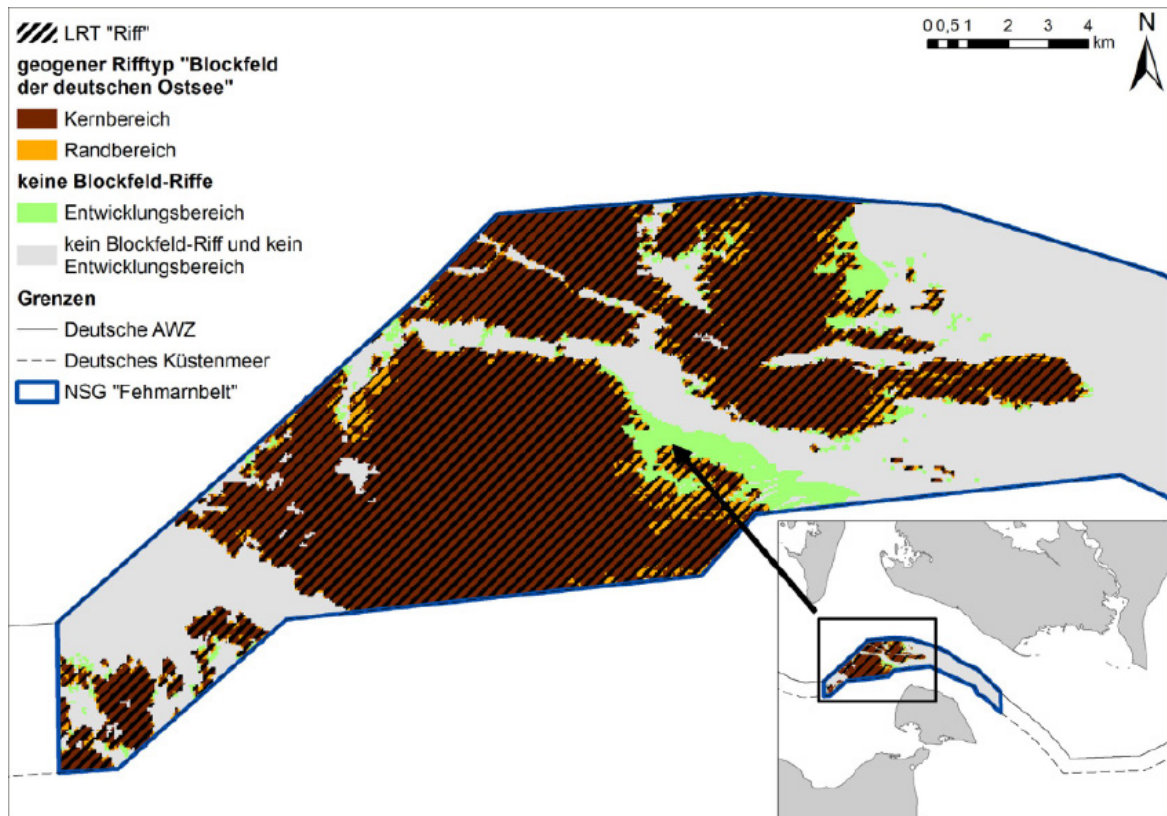


Abbildung 24: Abgrenzung des geogenen Riffotyps „Blockfeld der deutschen Ostsee“ für das NSG „Fehmarnbelt“ mit seinen Kern- und Randbereichen sowie Entwicklungsbereichen (nach Heinicke et al. 2021)

Die in Abbildung 25 dargestellte Riffkulisse ist mit 113,3 km² nahezu doppelt so groß wie die von Deutschland bislang an die EU gemeldete Fläche. Sie umfasst die gemäß dem Leitfaden eindeutig und methodisch nachvollziehbar erfassten Flächen geogener Riffe. Zusätzliche Kartierarbeiten mit optischen Verfahren in den sogenannten „Entwicklungsbereichen“, die i. d. R. Restsedimente ohne Blockvorkommen und damit potenziell den Riffotyp „Restsediment mit vereinzelt Steinen und/oder Blöcken“ darstellen, könnten im Ergebnis die Riffkulisse noch vergrößern.

Die für diesen Lebensraumtyp charakteristischen Arten wurden im Rahmen der Konzeptentwicklung für eine FFH-Bewertung zusammengestellt (IOW 2009) und im Monitoring evaluiert und ergänzt. Die derzeit aktuelle Liste charakteristischer Arten findet sich als Tabelle 16 im Anhang.

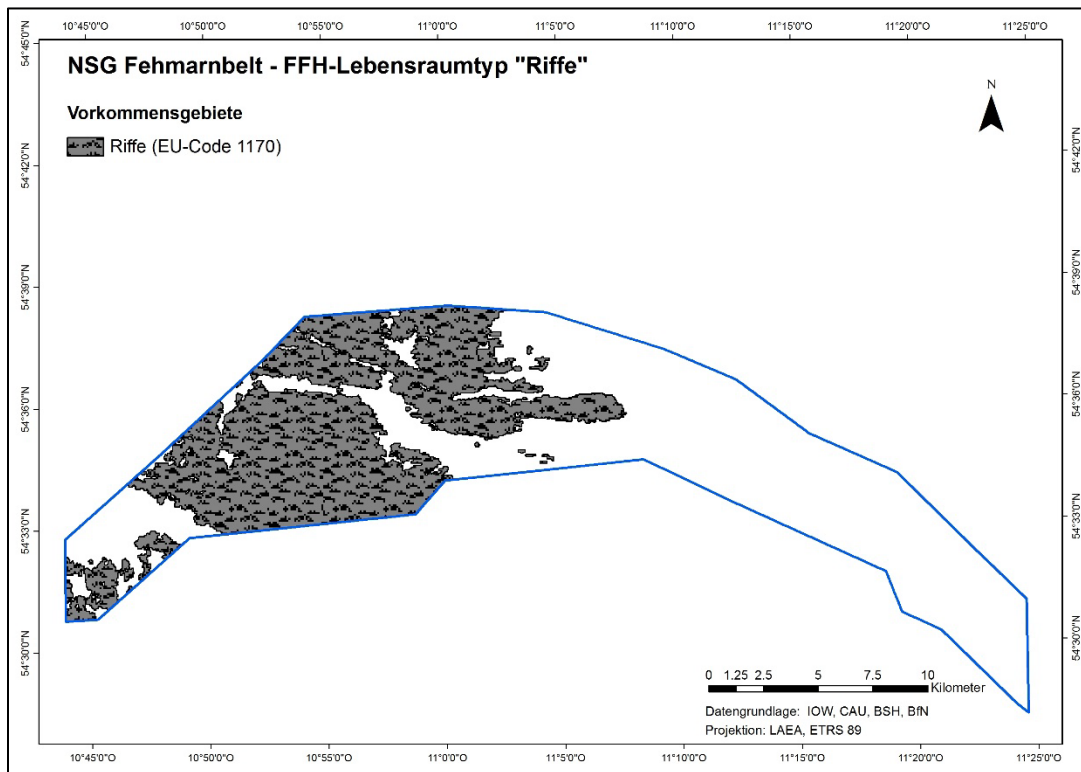


Abbildung 25: Vorkommen des FFH-Lebensraumtyps „Riffe“ (EU-Code 1170) im NSG „Fehmarnbelt“

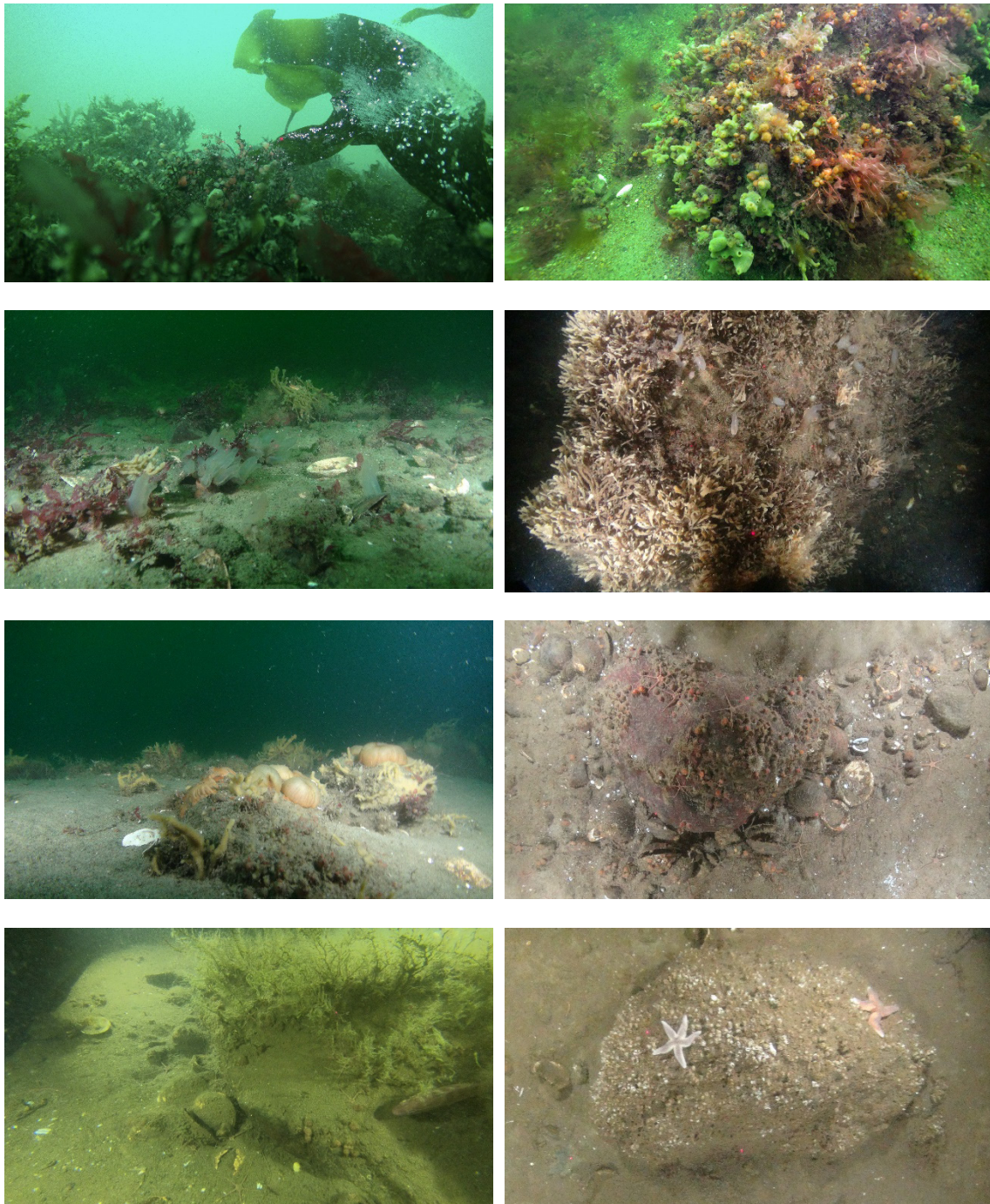


Abbildung 26: Typische Strukturen und Gemeinschaften des FFH-LRT „Riff“ im NSG „Fehmarnbelt“ (Fotos: IOW)

Oben links: Zuckertang auf der Öjet; oben rechts: Block mit foliosen Rotalgen und Schwämmen; 2. Reihe links: *Ciona intestinalis* bildet verbreitet, aber temporär, ein ergänzendes Element; 2. Reihe rechts: Block mit Blätter-Moostierchen im Übergangsbereich zur aphotischen Zone; 3. Reihe links: Schwamm-Misch-Gemeinschaft mit Seenelken; 3. Reihe rechts: Mischgemeinschaft in der Ausprägung mit fast ausschließlich *Dendrodoa*; unten links: Hydrozoen-Gemeinschaft; unten rechts: Seepocken-Gemeinschaft am unteren Ende der Riffe im Bereich der Vinds Grav-Rinne.

5 Weitere geschützte Biotope nach § 30 BNatSchG

5.1 Hintergrund

Gesetzlich geschützte Biotope sind fester Bestandteil des Bundesnaturschutzgesetzes (§ 30 BNatSchG). Hintergrund der Einführung des gesetzlichen Biotopschutzes Ende der 1980er Jahre war die Erkenntnis, dass für das Verschwinden und den Rückgang von Arten und wertvollen Biotopen die Summe vieler kleiner, örtlich begrenzter Eingriffe unterschiedlicher Intensität ursächlich war. Diesen Auswirkungen konnte man durch Ausweisung von Schutzgebieten allein nicht begegnen. Der § 30 des BNatSchG stellt daher jedes entsprechende Biotopvorkommen sowohl innerhalb als auch außerhalb von Schutzgebieten automatisch unter Schutz. Erst mit der Neufassung von 2010 erstreckt sich § 30 mit zusätzlich aufgenommenen marinen Biotoptypen auch auf die AWZ. Die nach § 30 BNatSchG geschützten marinen Biotope umfassen die natürlichen Lebensraumtypen gem. Anhang I, FFH-RL (vgl. Kap. 4). Weitere dort gelistete Biotope mit Vorkommen in der Ostsee gehen auf Listen von bedrohten und / oder im Rückgang befindlichen Biotoptypen, wie sie HELCOM (1998, 2007) erstellt hat, zurück (BfN 2012).

5.2 Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe

Hinweise zur Kartierung dieses Biotops gibt das BfN (2011) in einer Kartieranleitung. Dort heißt es zur Definition: „Dieser Biotoptyp umfasst Rein- oder Mischvorkommen von Kies-, Grobsand- oder Schillsedimenten des Meeresbodens, die unabhängig von der großräumigen Lage von einer spezifischen Endofauna (unter anderem Sandlückenfauna) und Makrozoobenthos-Gemeinschaft besiedelt werden. [...] In der Ostsee sind die entsprechenden Sedimente mit den primär charakteristischen Polychaeten-Gattungen *Ophelia* und *Travisia* besiedelt.“ Weiter heißt es in der dortigen Beschreibung, dass die „Besiedlung artenreicher Kies-, Grobsand- und Schillgründe (KGS) räumlich stark heterogen ist“. Als Hauptverbreitungsgebiete werden in BfN (2011) die flachen Schwellen (< 15 m) und die Restsedimente in enger Verzahnung mit Riffen genannt (z. B. Adlergrund). Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass Flächen, die dem FFH-LRT „Riffe“ zugeordnet sind, nicht gleichzeitig dem § 30-Biotop „Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe im Meeres- und Küstenbereich“ zugewiesen werden können, da Riffe ebenfalls ein geschütztes § 30-Biotop darstellen und eine Doppelvergabe unzulässig ist.

Entsprechend den Kartierungshinweisen in BfN (2011) liegt der Biotoptyp in der Ostsee vor, wenn:

- pro Station mindestens zwei von drei Van-Veen-Greiferproben Kies oder Grobsand gemäß Figge (1981) und HELCOM (1998) bzw. Schill (Schalen oder deren Bruchstücke von Organismen) in mehr als 50 % der Gesamtfraktion enthalten und
- innerhalb einer Vorkommensfläche an drei Stationen, die deutlich (mindestens 15 m) voneinander getrennt sind, die Arten *Ophelia* spp. oder *Travisia forbesii* oder *Branchiostoma lanceolatum* zusätzlich zu anderen Endofaunavertretern vorkommen.

Damit ist der Biotoptyp über das Substrat und das Vorkommen der Gattungen *Ophelia* und/oder *Travisia* sowie das Lanzettfischchen *Branchiostoma lanceolatum* eindeutig definiert. Da das Lanzettfischchen zum Zeitpunkt der Kartierung im Schutzgebiet nicht nachgewiesen wurde, fokussierte das weitere Vorgehen auf die beiden Polychaeten-Gattungen.

Beide Gattungen kamen im NSG verbreitet vor (n = 84). Die Funde konzentrierten sich auf das Riesenrippelfeld und den sich westlich anschließenden Restsediment-Bereich. Einzelfunde lagen aus den Hangbereichen der Öjet sowie den gröberen Sedimenten im äußersten Südwesten des Schutzgebietes vor (Abbildung 27). Beide Gattungen waren in Kiesen und

Grobsanden, aber häufig auch in Mittelsanden und örtlich in Feinsanden anzutreffen. Eine direkte Schlussfolgerung vom Vorkommen der Arten auf das Vorkommen des geschützten § 30-Biotops war daher nicht möglich.

Auch die geologische Abgrenzung der potenziellen Vorkommensgebiete war schwierig. Aufgrund der kleinräumigen Sedimentheterogenität bildeten die meisten Substratklassen in der Sedimentverteilungskarte Mischungen aus feineren und gröberen Sedimenten. Eine eindeutige geologische Ausweisung der Flächen als (potenzielle) KGS-Flächen war so nicht möglich. Eine als „Grobsand“ eingestufte Fläche wurde aufgrund ihrer geringen Größe nicht durch die Infauna-Erhebungen erfasst und konnte daher nicht biologisch als KGS-Fläche verifiziert werden. Schillflächen sind wegen ihrer Kleinräumigkeit mit dem gewählten Stationsnetz gar nicht zu erfassen. Eine flächendeckende Kartierung des geschützten § 30-Biotops entsprechend der Kartieranleitung (BfN 2011) war daher nicht möglich.

Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe können aber unter Berücksichtigung der oben bereits genannten Einschränkungen im NSG „Fehmarnbelt“ potenziell auf Grobsubstratinselfn im Bereich der Restsedimente sowie in Tallagen des Riesenrippelfeldes vorkommen. Deutliche Hinweise auf ein Vorkommen gibt die modellierte Verbreitung der *Ophe- lia/Travisia*-Gemeinschaft auf Grob- und Restsedimenten (Abbildung 27). Stationsdaten lassen vermuten, dass sich das Vorkommen hier nach Nordosten Richtung Riesenrippelfeld erstreckt. Auch ein Vorkommen in den Sandschleiern des dortigen Riffgebietes ist nicht ausgeschlossen, sofern die Sande den Anforderungen an die Körnung des Sedimentes entsprechen. Dagegen sind Vorkommen der beiden charakteristischen Polychaeten-Gattungen im Bereich der blockreichen Restsedimentflächen möglicherweise temporär (Daten aus dem FFH-Monitoring). Die dortigen Grobsubstrate sind zudem zwar artenreich, entsprechen aber eher der „marinen Muschel-Gemeinschaft“. *Travisia* und *Ophe- lia* sind hier als wenig charakteristische (und möglicherweise temporäre) Begleitarten einzustufen.

Zusammenfassend muss konstatiert werden, dass die Kartiergenauigkeit für die Ausweisung des nach § 30 BNatSchG geschützten Biototyps „Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe“ nicht ausreichend war. Zur Abklärung des Vorkommens könnte gegebenenfalls eine Nachkartierung der Verdachtsgebiete außerhalb der FFH-LRT „Sandbänke“ (EU-Code 1110) und „Riffe“ (EU-Code 1170) erfolgen. Da die ausgewerteten Seitensichtsonar-Mosaik vorliegen, dürfte hierfür eine Neuinterpretation der Verdachtsflächen durch zusätzliche Ground Truth-Daten in Kombination mit den nach BfN (2011) erforderlichen biologischen Untersuchungen ausreichend sein.

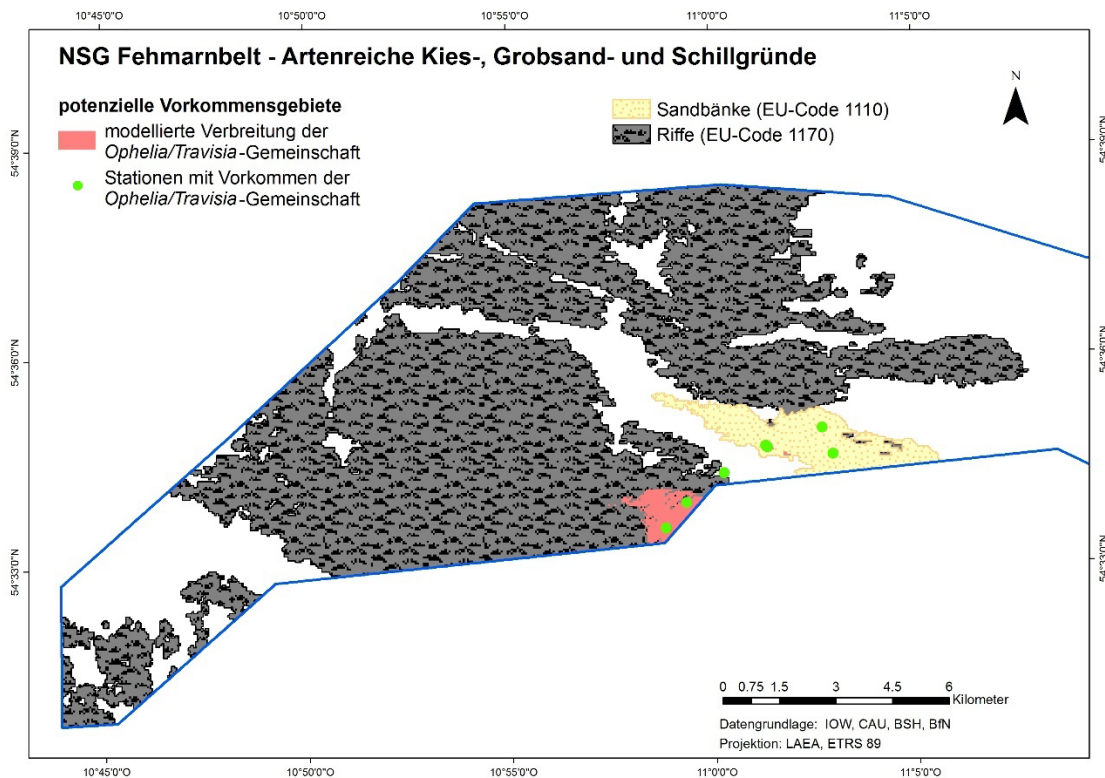


Abbildung 27: Modellierte Verbreitung mit der Ophelia/Travisia-Gemeinschaft sowie Stationen mit Vorkommen dieser Gemeinschaft, dargestellt als potenzielle Vorkommen des § 30-Biotops „Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe“

5.3 Seegraswiesen und sonstige marine Makrophytenbestände

Für diesen Biotoptyp gibt es derzeit keine für die AWZ gültige Kartieranleitung. Hinweise auf ein mögliches Vorgehen bei der Kartierung geben aber die „Erläuterungen zur Kartierung der gesetzlich geschützten Biotope in Schleswig-Holstein“ (LLUR 2015). Hieraus geht hervor, dass die im NSG verbreitet vorkommenden Arten *Saccharina latissima* (Zuckertang) sowie die foliosen Rotalgen *Delesseria sanguinea*, *Coccotylus truncatus* sowie *Phycodrys rubens* kennzeichnende Arten für diesen Biotoptyp in seiner Ausprägung „Makroalgen auf Hartsubstrat“ sein können. Als Mindestfläche für diesen Biotoptyp werden 10 000 m² (= 1 ha) angegeben. Konkrete Angaben zur erforderlichen Bestandsdichte (Bedeckungsgrad) der Makroalgen werden in LLUR (2015) für diese Ausprägung nicht gemacht. Es wird im Gegenteil sogar darauf hingewiesen, dass Bereiche ohne oder mit aktuell nur geringer Makroalgenbesiedlung ebenfalls als Potenzialflächen für den Biotoptyp zu berücksichtigen sind, wenn davon ausgegangen werden kann, dass die Flächen unter günstigeren Umweltbedingungen (erneut) von dichten Makroalgenbeständen besiedelt werden. Ein Vorkommen von in Weichsedimenten wachsenden Gefäßpflanzen (z.B. Seegras *Zostera marina*) kann dagegen aufgrund der vorherrschenden Wassertiefen und den damit auch unter natürlichen Bedingungen für diese Arten unzureichenden Lichtbedingungen ausgeschlossen werden.

Demnach könnte das Verbreitungsgebiet des nach § 30 BNatSchG geschützten Biototyps „Seegraswiesen und sonstige marine Makrophytenbestände“ als deckungsgleich mit dem modellierten Vorkommen des Biototyps „Sublitorales Mischsubstrat der Ostsee mit mehrjährigen blattförmigen Rotalgen“ (Code 05.02.06.01.02.04) nach DE 2017 (Abbildung 28) angesehen werden. Für diesen Biotoptyp wird entsprechend der Ableitungsregel von einer mittleren Makroalgenbedeckung von > 10 % ausgegangen. Die tatsächliche Dichte der

Makroalgenbestände im NSG hängt jedoch primär von der Dichte des verfügbaren Hartbodens ab und erst sekundär von anthropogenen Beeinträchtigungen. Eine Angabe zur Dichte und Größe der Blöcke und Steine liegt jedoch aufgrund des dafür erforderlichen sehr hohen Kartierungsaufwandes nicht vor. Hinweise auf besonders dichte Makroalgen-Bestände können jedoch aus den Videosurveys gezogen werden (Abbildung 28). Solche hohen Dichten werden im Bereich des Öjet (hier foliose Rotalgen zusammen mit Zuckertang *S. latissima*) und an verschiedenen Stellen in der südlichen Rifffläche mit hoher Block- und Steindichte erreicht. Diese Flächen liegen alle innerhalb der Kernbereiche des FFH-LRT „Riffe“ (vgl. Kap. 4.2). Analog zu den artenreichen Kies-, Grobsand- und Schillgründen gilt auch für die marinen Makrophytenbestände, dass Flächen, die dem FFH-LRT „Riffe“ zugeordnet sind, nicht gleichzeitig einem anderen § 30-Biototyp zugewiesen werden können, aber (wenn möglich) als besonders wertvolle Bereiche innerhalb der Riffe auszuweisen sind.

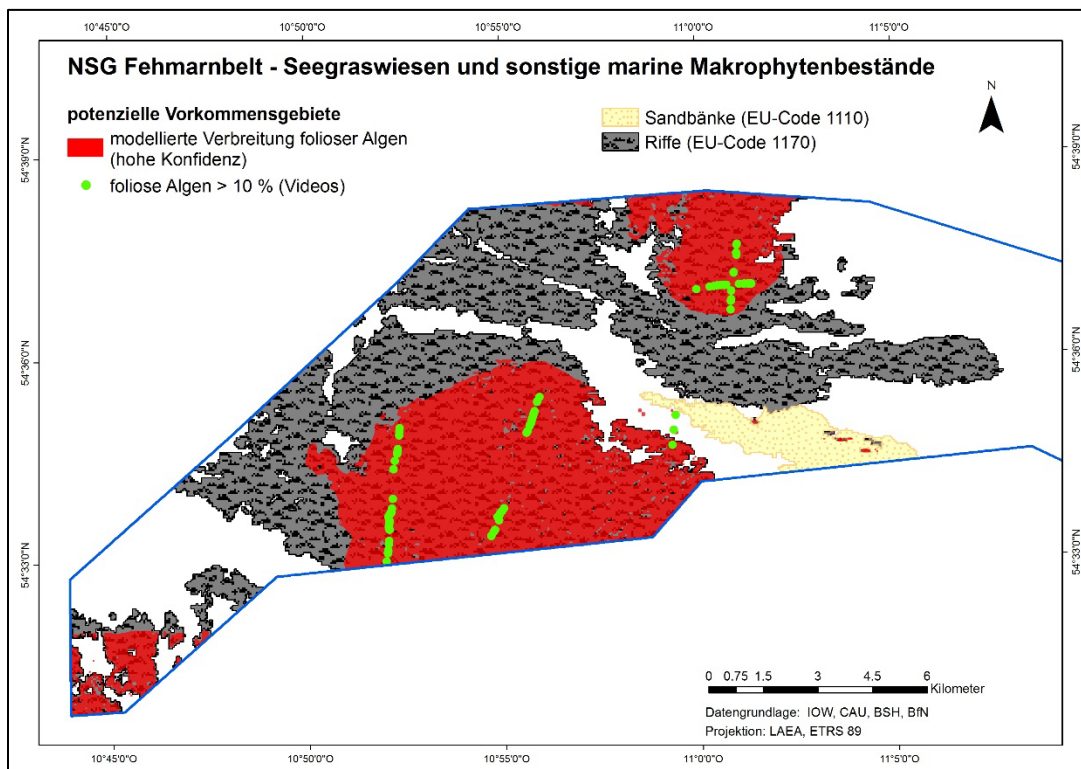


Abbildung 28: Modelliertes Vorkommen von dichten Makroalgen-Beständen, dargestellt als potenzielle Verbreitung des § 30 Biotops „Seegraswiesen und sonstige marine Makrophytenbestände“

6 Biotoptypen auf Grundlage hierarchischer Klassifikationssysteme

6.1 Vergleich der Klassifikationssysteme

Ursprünglich sollten in der Kartierung des NSG „Fehmarnbelt“ drei verschiedene hierarchische Klassifikationssysteme berücksichtigt werden:

- das auf europäischer Ebene entwickelte European Nature Information System (EUNIS, Davies & Moss 2004, EEA 2019), auf dem auch die Klassifikation der benthischen Biotopklassen (Broad habitat types, BHTs) im Sinne der MSRL basiert,
- das HELCOM Underwater Biotope and Habitat Classification System (HELCOM HUB) auf Ostsee-Ebene (HELCOM 2013) sowie
- die nationale Standard-Biotoptypenliste Deutschlands (DE 2017).

Alle drei Systeme sind von der Grundstruktur her ähnlich aufgebaut, indem sie zunächst in den basalen Ebenen vor allem die Tiefenzonierung und das Sediment berücksichtigen und dann in den höheren Ebenen Informationen zur Biologie integrieren. Die teils erheblichen Detailunterschiede galt es jedoch bei der Aggregation der Informationen zu berücksichtigen.

Eine relevante Trenngröße ist die **Tiefenzonierung** der benthischen Biotope, die in allen drei Systemen in der Ebene 2 behandelt wird. EUNIS und HELCOM HUB unterteilen das System dabei primär in den lichtdurchfluteten und von Algen besiedelten oberen Bereich (Infralitoral im EUNIS, photic zone im HELCOM HUB) und den lichtarmen unteren Bereich (Circalitoral bzw. aphotic zone). Auch wenn die Begriffe nicht überall synonym verwendet werden, wird in diesem Bericht die Zonierung für beide Systeme identisch aus der Modellierung der Lichteindringtiefe abgeleitet. EUNIS grenzt darüber hinaus das küstenferne Circalitoral ins Tiefe hin vom küstennäheren Circalitoral ab. In der Beschreibung der entsprechenden Ostsee-Biotoptypen in EUNIS 2019 wird ersichtlich, dass für die Unterteilung der beiden Tiefenstufen die Halokline bzw. Pycnokline genutzt wird. Allerdings bleibt unklar, ob hier die dauerhaft stabile Sprungschicht gemeint ist, oder ob eine saisonale Sprungschicht ausreichend ist. In vorliegendem Skript wird von erstem Fall ausgegangen und die Biotope im NSG „Fehmarnbelt“ werden nicht in eine weitere Tiefenstufe unterteilt. Nach DE 2017 wird lediglich in Sublitoral und Hydrolitoral unterschieden, so dass in diesem Klassifikationssystem nur eine Tiefenzone im NSG vorkommt.

Der zweite wichtige Umweltparameter ist das **Substrat**, dass im EUNIS überwiegend auf Ebene 2 gemeinsam mit der Tiefenzonierung abgearbeitet, in den beiden anderen Klassifikationssystemen jedoch als eine eigenständige hierarchische Ebene dargestellt wird (Ebene 3). Da die Standard-Biotoptypenliste Deutschlands auf dem HELCOM HUB-System basiert, sind die grundlegenden Kategorien in diesen beiden Systemen weitgehend identisch. In der Definition der einzelnen Sedimentklassen ergeben sich allerdings wiederum wichtige Unterschiede. Beide Systeme definieren einen Fels- oder Steingrund ab einer Bedeckung des Meeresbodens mit Felsgestein, Blöcken oder Steinen ab 6,4 cm Größe von mindestens (DE) bzw. mehr als (HELCOM HUB) 90 %. Der absolute Bedeckungsgrad mit Blöcken und Steinen in einer Gridzelle lässt sich jedoch mit den hier angewandten Kartierungsmethoden nicht ableiten. Da sich aus den Videoaufnahmen für die Gridzellen keine verlässlichen Informationen mit einer entsprechend hohen Hartbodenbedeckung ableiten lassen, wurde diese Substratkategorie im NSG „Fehmarnbelt“ nicht belegt. Es ist aber nicht auszuschließen, dass sie in den Kernzonen der Riffe lokal vorkommt. Die Hartsubstrate werden im NSG „Fehmarnbelt“ in der Substratklasse „Mischsubstrat“ zusammengefasst, die in beiden Klassifikationssystemen die Bereiche mit einem Hartbodenanteil von 10-90 %

subsummiert. In der vorliegenden Studie umfasst dies die Gridzellen, die entweder in der BVK der Klasse 3 (> 5 Blöcke) oder in der BVK der Klasse 2 (1-5 Blöcke) und zusätzlich in der SVK entsprechend der Definition im Leitfaden Riffe (Heinicke et al. 2021) den „Rest-sedimenten“ zugeordnet werden.

Die „Weichsubstrate“ werden in beiden Klassifikationssystemen in Grobsediment, Sande und schlickige Substrate eingeteilt, die allerdings unterschiedlich definiert sind. Daraus ergeben sich divergierende Ableitungen aus der auf der Folk-Klassifikation basierenden SVK (Tabelle 9). So wird in der deutschen Standardbiotoptypenliste zunächst nach dem Grobkorn-Anteil im Sediment getrennt. Beträgt der Kiesanteil (> 2 mm) wenigstens 20 % oder der Grobsandanteil (> 500 µm) wenigstens 50 %, wird das Sediment dem „Grobsediment“ zugeordnet. Im zweiten Schritt wird nach dem Schluffanteil unterteilt: Beträgt dieser mindestens 20 %, liegt ein „Schlickgrund“ vor, ansonsten wird das Substrat als „Sand“ klassifiziert. Im HELCOM HUB-System wird dagegen zunächst der Schluffanteil abgefragt. Auch hier liegt die Schwelle für „muddy substrate“ bei 20 %. Da jedoch zunächst nach dem Schlickanteil gefragt wird, werden im HELCOM HUB-System Mischsedimente (im Sinne der Folk-Klassifikation) aus Schlick, Sand und Kies tendenziell den schlickigen Substraten zugeordnet, die im deutschen Klassifikationssystem zum Teil als „Grobsediment“ angesprochen werden. Die Substratklasse „Grobsediment“ wird im HELCOM HUB-System ausschließlich über den Kiesanteil definiert ($\geq 30\%$), Grobsande werden der Substratklasse „Sand“ zugeordnet.

In beiden Klassifikationssystemen werden neben Hart- und Weichsubstraten auch andere bio- oder geogene Substrate wie Geschiebemergel, Torf und Schill berücksichtigt. Solche Substrate wurden maßstabsbedingt nicht flächendeckend erfasst, bzw. kommen im NSG „Fehmarnbelt“ nicht in der erforderlichen Mindestausdehnung (eine Gridzelle 50 x 50 m) vor. Das EUNIS 2019-System berücksichtigt diese „Sondersubstrate“ anders als die klassischen Weich- und Hartsubstrate nicht auf Ebene 2, sondern parallel zu den ersten biologischen Informationen auf Ebene 4 (Tabelle 7). Das System ist in diesem Fall folglich nicht streng hierarchisch. Auch bei der Definition der Hart- und Weichsubstratbiotope treten deutliche Unterschiede zu den beiden anderen Klassifikationssystemen auf. Anders als DE 2017 und HELCOM HUB beinhaltet das EUNIS-System eine Substrat-Klasse „mixed sediment“, die entsprechend der Folk-Sedimentklassifikation Mischungen aus Sanden, Schlick und Kies umfasst und sich damit von den Substratklassen der gut sortierten Schlicke und Sande separiert. Dieser Definition von „mixed sediment“ wird jedoch in der Beschreibung der Biotope in den höher aufgelösten Ebenen 4 und 5 von EUNIS 2019 nicht mehr gefolgt. Dort wird stattdessen das „mixed sediment“ dem „mixed substrate“ (Mischung aus Hart- und Weichböden) aus dem HELCOM HUB-System gleichgesetzt. Infolgedessen unterscheiden sich auch die Ableitungen und Beschreibungen für die Substratklasse „coarse substrate“ zwischen den hierarchischen Ebenen in EUNIS 2019. Diese Inkonsistenzen in EUNIS 2019 haben letztlich dazu geführt, dass zum Zeitpunkt der Analysen (2020-21) für das EUNIS-System keine thematischen Karten erstellt werden konnten. Für die Darstellung der BHT wurde die ursprüngliche Definition der „mixed sediments“ verwendet.

Analyseschritte

1. **Tiefenzone:** Verschneiden des Grids mit dem Polygon-Layer Lichteindringtiefe (Modell IOW), Zuordnung der Gridzelle zu photisch/ Infralitoral, wenn photischer Flächenanteil $\geq 50\%$

2. Substrat:

2.1. Auflösen der SVK in Grid: Zuordnung der Grid-Zelle zum Substrattyp mit dem höchsten Flächenanteil.

2.2. Zellen mit der Blockbelegungsklasse 3 aus der BVK oder dem Attribut „Restsediment“ entsprechend Heinicke et al. (2021, vgl. Kap. 4.2) UND mit der Blockbelegungsklasse 2 aus der BVK werden der Substratklasse „Mischsubstrat“ bzw. „mixed substrate“ (HELCOM HUB, DE 2017) bzw. „rock“ (BHT) zugeordnet.

2.3. Zuordnung der Substratklassen in den verbleibenden Grid-Zellen entsprechend der Vorgaben in Tabelle 7 und Tabelle 8. Bei Substratansprachen, die mehrere Folk-Klassen umfassen oder bei denen die Folk-Klasse nicht eindeutig einer Substratklasse im Klassifikationssystem zuzuordnen ist, sind als Unterstützung für die Entscheidungsfindung die Rückstreumosaik und die Daten des Ground Truth zu verwenden. Diese Zuordnung ist gebietsspezifisch und kann daher zwischen den NSG variieren. Die Zuordnung ist daher zu dokumentieren (Tabelle 14 im Anhang).

3. **Biologie:** Die im Schritt 2.2. als „Mischsubstrat“ identifizierten Grid-Zellen werden als „Hartboden dominiert“ interpretiert. Für sie gelten daher die die epibenthischen Aufwuchs-Gemeinschaften als charakteristisch. Dementsprechend werden für die Hierarchie-Ebenen 4-6 die Ergebnisse der Modellierung aus Kap. 3.2 eingesetzt (siehe Tabelle 10). Alle weiteren nach Schritt 2.3 differenzierten Zellen werden dagegen durch die endobenthischen Gemeinschaften charakterisiert (Ergebnis der Modellierung im Kapitel 3.1, siehe Tabelle 10).

Tabelle 7: Gegenüberstellung der hierarchischen Ebenen der drei berücksichtigten Klassifikationssystemen

Ebene	EUNIS 2019	HELCOM HUB 2013	DE 2017
1	Stratum M - marine	Ökoregion A – Ostsee	Stratum 05. Benthal der Ostsee
2	Tiefenzone B- Infralitoral C – Circalitoral (D – Offshore Circalitoral) UND Substrat Siehe Tabelle 8	Tiefenzone A - photisch B – aphotisch	Tiefenzone 02. Sublitoral
3	Ökoregion 3 - Baltic	Substrat Siehe Tabelle 8	Substrat Siehe Tabelle 8
4	Sondersubstrate und höhere tax. Gruppen entsprechend HELCOM HUB & DE Ebene 5 <u>Sondersubstrate</u> <i>Unter „rock“:</i> hard clay, marl, ferromanganese concretion, anthropogenic created substrates	Funktional-biologische Charakteristik 1 – (sessiles Epibenthos) 2 – sessiles Epibenthos in geringer Dichte („sparse“) 3 – Endobenthos (4 – ohne Makroorganismen)	Funktional-biologische Charakteristik 01. – (sessiles) Epibenthos 02. – Endobenthos (03 – vereinzelt mobiles Epibenthos oder keine Makroorganismen)

Ebene	EUNIS 2019	HELCOM HUB 2013	DE 2017
	<i>Unter "biogenic substrates": mussel bed, shell gravel, peat</i>		
5	Dominante Arten und Gemeinschaften (entsprechend HELCOM HUB Ebene 6)	Dominante taxonomische Gruppen	Dominante taxonomische Gruppen und Gemeinschaften (entsprechend Sonderklassen 3L9, 10 und 11 im HELCOM HUB)
6	- nicht vorhanden -	Dominante Arten und Gemeinschaften (Sonderklassen 3L9, 10, 11)	Dominante Arten

Tabelle 8: Überblick zu den Substratdefinitionen in den drei berücksichtigten Klassifikationssystemen

Substrattyp	EUNIS 2019	HELCOM HUB 2013	DE 2017
Hartsubstrate	rock ≥ 90 % Bedeckung mit rock, boulder, cobbles (> 64 mm)	A - „rock and boulders“ > 90 % Bedeckung mit rock and boulders (möglicherweise inklusive cobbles) ¹¹	Fels- oder Steingrund > 90 % Bedeckung mit nicht mobilen (?) Hartböden
Mischbereiche aus Grob- und Feinsubstraten	Coarse sediment? mobile pebbles, cobbles and gravel, sometimes with varying amounts of coarse sand	M - Mixed substrate Hart- und Weichbodenanteil (sowie potenziell vorkommende Sondersubstrate) jeweils 10-90 %	Mischsubstrat Hart- und Weichbodenanteil (sowie potenziell vorkommende Sondersubstrate) jeweils 10-90 %
mobile Substrate/ Weichboden			
Mischsedimente aus Schlick, Sand und Kies	Mixed sediments Mixture of sand, mud and gravel following folk classification	<i>nicht vorhanden</i>	<i>nicht vorhanden</i>
Kiese (z.T. mit Grobsand)	Coarse sediment Including coarse sand and gravel (und Hartböden, s.o.)	I - Coarse sediment (2) Gravel and pebbles (2-63 mm) > 30 %	ebenes Grobsubstrat (1) ≥ 50 % Grobsand ODER ≥ 20 % Kies Sondertyp: Grob-sedimentbank , wenn auf FFH-LRT 1110
Schlickige Substrate	Mud > 20 % mud	H - Muddy sediment (1) Mud > 20 %	Schlickgrund (2) Mud ≥ 20 %
Sand	Sand	J – sand (3)	ebener Sandgrund (3)

¹¹ Cobbles werden im technischen Bericht zum HELCOM HUB (HELCOM 2013) nicht explizit zu dieser Klasse gezählt.

Jedoch beinhaltet die nächst feinere Substratfraktion „coarse sediment“ Korngrößenfraktionen ab 64 mm abwärts (pebbles, gravel).

Substrattyp	EUNIS 2019	HELCOM HUB 2013	DE 2017
			Sondertyp: sublitorale Sandbank , wenn auf FFH-LRT 1110
Sondersubstrate			
biogen	Mussel bed Shell gravel peat	- E - Shell gravel G – peat	- Schill Torf
geogen	Hard clay	B - Hard clay	Geschiebemergel eben oder aufragend Grobsedimentbank Sublitorale Sandbank
anthropogen	anthropogenic created (hard substrate)	<i>Nicht vorhanden</i>	<i>Nicht vorhanden</i>

Tabelle 9: Interpretation der Substrattypen nach der Folk-Klassifikation für die drei Klassifikationssysteme

Folk class	EUNIS 2019	HELCOM HUB 2013	DE 2017
M	muddy	muddy	Schlick
sM	muddy	muddy	Schlick
mS	muddy/sand	muddy/sand	Schlick/ Sand
S	sand	sand	Grob/Sand
gM	mixed sediment	muddy	Schlick/Grob
gmS	mixed sediment	muddy/coarse/sand	Schlick/Grob/Sand
gS	coarse	sand	Grob/Sand
mG	mixed sediment	muddy/coarse	Grobsediment
msG	mixed sediment	muddy/coarse	Grobsediment
sG	coarse	coarse	Grobsediment
G	coarse	coarse	Grobsediment

Tabelle 10: Zuordnung der Gemeinschaften in den Klassifizierungssystemen. Für HELCOM HUB sind die Codes der Ebenen 4 bis 6 angegeben, für DE 2017 auch die entsprechenden Klarnamen der Biotopklassen. Da das DE 2017-System durchlaufend nummeriert, sind für die endobenthischen Gemeinschaften keine Codes angegeben (unterschiedliche Codes für dieselbe Biotopklasse in verschiedenen Substratklassen)

Gemeinschaft	HELCOM HUB 2013 (Code)	DE 2017
Epibenthos, unspezifisch	1	01. mit Epibenthos
Foliose Rotalgen	1C3	01.02.04 mit mehrjährigen, blattförmigen Rotalgen
<i>Flustra</i> spp.	1H2	01.05 mit Moostierchen (Bryozoa)
Hydrozoa	1G1	01.06.02 mit Hydroidpolypen (Hydrozoa)
Seepocken	1I1	01.03. mit epibenthischen Krebsen, v.a. Seepocken
Mischgemeinschaft (<i>Dendrodoa</i> & Schwämme)	1V	01. mit Epibenthos
Endobenthos, unspezifisch	3	[Code variabel] mit Infauna
<i>Arctica</i>	3L3	[Code variabel] mit Islandmuscheln (<i>Arctica islandica</i>)

Gemeinschaft	HELCOM HUB 2013 (Code)	DE 2017
marine Muscheln	3L10	[Code variabel] mit mariner Muschel-Gemeinschaft
<i>Ophelia/Travisia</i>	3L11	[Code variabel] mit Ophelia-Travisia-gemeinschaft
opportunistische Polychaeten	3M6	[Code variabel] mit endobenthischen Vielborstern, aber ohne Dominanz spezifischer Arten

6.2 Ergebnisse

6.2.1 Deutsche Standard-Biotoptypenliste (DE 2017)

Insgesamt wurden im NSG „Fehmarnbelt“ 24 Habitat- und Biotoptypen nach DE 2017 kartiert (Tabelle 11). Die gegenüber der HELCOM HUB-Klassifikation (vgl. folgendes Kapitel) deutlich geringere Typenzahl liegt in der fehlenden Tiefenabstufung in DE 2017 begründet. Einen Sondertypus stellt die „Sublitorale Grobsedimentbank / Sandbank (inkl. Riesenrippelfelder) der Ostsee“ (Code 05.02.07 bzw. 05.02.09) dar, die als Biotopkomplex anders als die weiteren kartierten Biotoptypen nicht dem hierarchischen Ansatz des Klassifikationssystems entspricht, sondern deckungsgleich mit dem FFH-LRT „Sandbänke mit nur schwacher, ständiger Überspülung durch Meerwasser“ (EU-Code 1110) ist.

Von den 24 Biotoptypen sind 15 in der Roten Liste mit einer Gefährdungskategorie versehen. Darunter befinden sich drei Typen auf der Vorwarnliste (V) und elf Typen auf der akuten Vorwarnliste (3-V). Der Biototyp „Sublitoraler Schlickgrund der Ostsee mit Islandmuscheln (*Arctica islandica*)“ (Code 05.02.11.02.03.05) ist der einzige Biototyp, bei dem eine stärkere Gefährdung vorliegt (Kategorie 2-3, gefährdet bis stark gefährdet). Gleichzeitig nimmt dieser Biototyp mit einer Fläche von fast 12 000 ha den größten Anteil aller Biotoptypen im NSG „Fehmarnbelt“ ein (42 %) und ist vor allem im homogenen Ostteil des NSG präsent. Außerhalb der FFH-Lebensraumtypen (LRT) ist sein Flächenanteil mit rund 75 % somit noch deutlich größer. Weitere 20 % der Fläche außerhalb der LRT nimmt der korrespondierende Biototyp auf Sand (05.02.10.02.05.05) ein. Folglich nehmen diese beiden von *Arctica islandica* dominierten Biotoptypen außerhalb der FFH-LRT fast die gesamte Fläche des NSG „Fehmarnbelt“ ein (95 %).

Bei Betrachtung der Gesamtfläche des NSG sind zwei der auf Mischsubstrat basierenden Biotoptypen, namentlich „Sublitorales Mischsubstrat der Ostsee mit mehrjährigen blattförmigen Rotalgen“ (05.02.06.01.02.04) und, ohne klare Dominanzstruktur, „Sublitorales Mischsubstrat der Ostsee mit Epibenthos“ (05.02.06.01), flächenmäßig größer als der Typ „Sandgrund mit *Arctica islandica*“ (05.02.10.02.05.05). Beide sind jedoch integraler Bestandteil des FFH-LRT „Riffe“ im NSG „Fehmarnbelt“ und kommen außerhalb der Riffflächen so gut wie nicht vor. Insgesamt 12 Biotoptypen besitzen einen Flächenanteil von < 1 % an der Gesamtfläche und werden daher in der thematischen Karte zu DE 2017 nicht dargestellt (Abbildung 29). Sie werden in der Karte in der nächst größeren dargestellten Klassifikationsebene subsummiert.

Tabelle 11: Flächenanteil der kartierten Biotoptypen nach DE 2017. Fett hervorgehobene Biotoptypen sind in Abbildung 29 dargestellt.

Code	Name	RL Kategorie	Fläche [in ha]	Fläche außerhalb LRT [in ha]
05.02.	Sublitorales Benthos der Ostsee (ohne Sedi- mentinformation)		93,2	46,9

Code	Name	RL Kategorie	Fläche [in ha]	Fläche außerhalb LRT [in ha]
05.02.06.	Sublitorales Mischsubstrat der Ostsee	3-V	5,4	5,3
05.02.06.01.	Sublitorales Mischsubstrat der Ostsee mit Epibenthos	3-V	4 064,8	16,5
05.02.06.01.02.04	Sublitorales Mischsubstrat der Ostsee mit mehrjährigen, blattförmigen Rotalgen	3-V	5 192,3	8,4
05.02.06.01.03.	Sublitorales Mischsubstrat der Ostsee mit epibenthischen Krebsen (v.a. Seepocken)	V	1	-
05.02.06.01.05.	Sublitorales Mischsubstrat der Ostsee mit Moostierchen	V	2,3	-
05.02.06.01.06.02	Sublitorales Mischsubstrat der Ostsee mit Hydroidpolypen	V	1 050,5	2,8
05.02.07.	Sublitorale Grobsedimentbank der Ostsee	3-V	20,6	-
05.02.08.02.	Sublitorales, ebenes Grobsediment der Ostsee mit Infauna	3-V	228,2	121,8
05.02.08.02.01	Sublitorales, ebenes Grobsediment der Ostsee mit mariner Muschel-Gemeinschaft	3-V	574,2	447,5
05.02.08.02.02	Sublitorales, ebenes Grobsediment der Ostsee mit Ophelia/Travisia-Gemeinschaft	3-V	2,3	0,3
05.02.08.02.04	Sublitorales, ebenes Grobsediment der Ostsee mit endobenthischen Vielborstern	3-V	1,3	1,0
05.02.08.02.05	Sublitorales, ebenes Grobsediment der Ostsee ohne Charakterarten oder der Dominanz von spezifischen funktionalen/taxonomischen Gruppen der Infauna	3-V	79,2	49,7
05.02.09.	Sublitorale Sandbank der Ostsee		572,5	-
05.02.10.02.	Sublitoraler, ebener Sandboden der Ostsee mit Infauna		6,8	3,9
05.02.10.02.02	Sublitoraler, ebener Sandboden der Ostsee mit mariner Muschel-Gemeinschaft	3-V	226,7	132,9
05.02.10.02.03	Sublitoraler, ebener Sandboden der Ostsee mit Ophelia/Travisia-Gemeinschaft	3-V	2,3	-
05.02.10.02.05.05	Sublitoraler, ebener Sandboden der Ostsee mit Islandmuscheln (<i>Arctica islandica</i>)	?	3 520,9	3 196,7
05.02.10.02.07.05	Sublitoraler, ebener Sandboden der Ostsee mit endobenthischen Vielborstern aber ohne Dominanz spezifischer Arten		27,3	14,0
05.02.10.02.09	Sublitoraler, ebener Sandboden der Ostsee ohne Charakterarten oder der Dominanz von spezifischen funktionalen/taxonomischen Gruppen der Infauna		159,9	105,3
05.02.11.02.	Sublitoraler Schlickgrund der Ostsee mit Infauna		6,3	2,3
05.02.11.02.03.05	Sublitoraler Schlickgrund der Ostsee mit Islandmuscheln (<i>Arctica islandica</i>)	2-3	11 756,1	11 608,4
05.02.11.02.05.06	Sublitoraler Schlickgrund der Ostsee mit endobenthischen Vielborstern ohne Dominanz spezifischer Arten		316,7	212,7
05.02.11.02.07	Sublitoraler Schlickgrund der Ostsee ohne Charakterarten oder der Dominanz von spezifischen funktionalen/taxonomischen Gruppen der Infauna		83,7	58,5

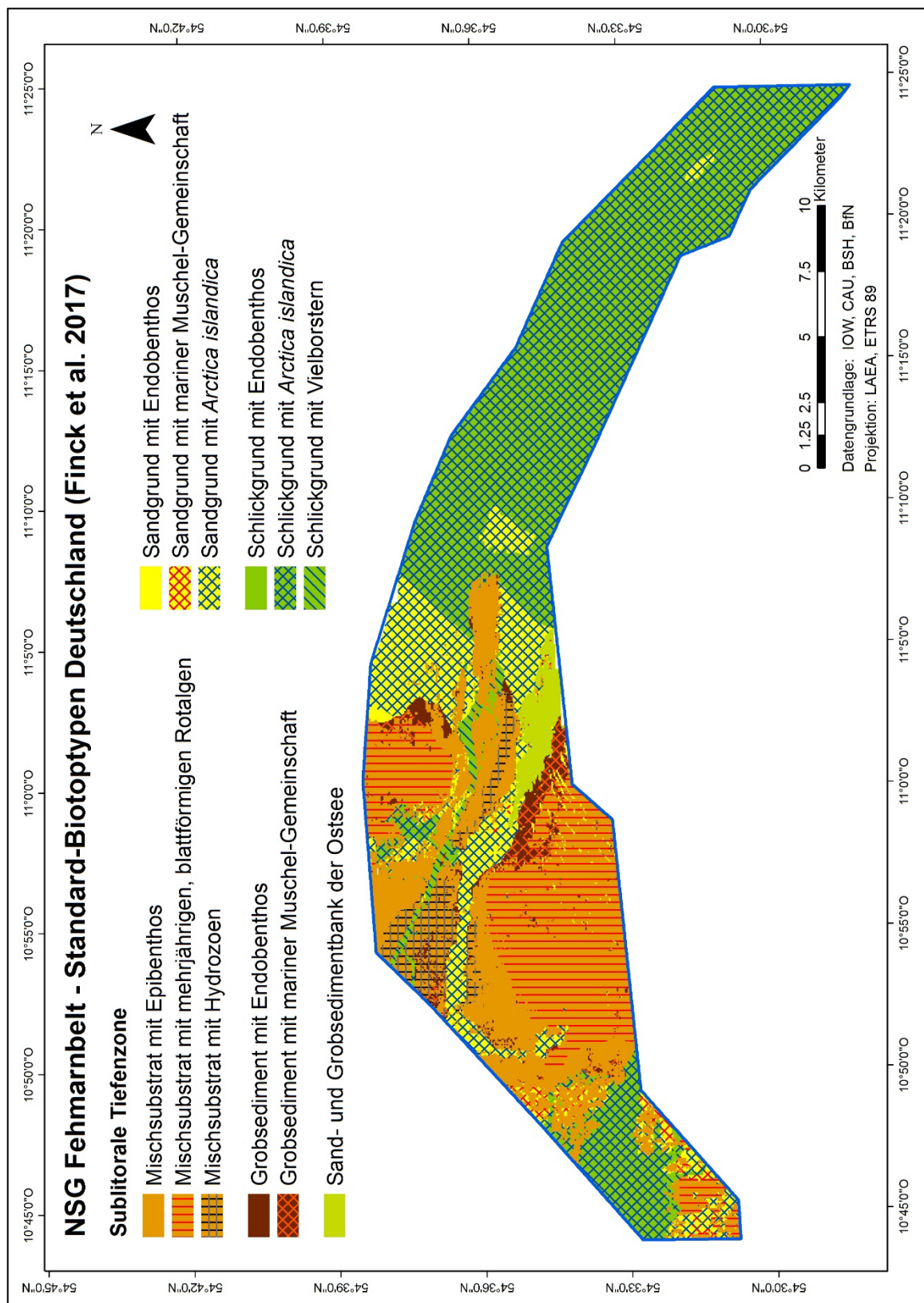


Abbildung 29: Karte der Standard-Biotypen Deutschlands (DE 2017) im NSG „Fehmarnbelt“

Neben den auskartierten Biotoptypen ergaben die Datenerhebungen und Auswertungen Hinweise auf das Vorkommen weiterer Biotoptypen, deren Gesamtfläche möglicherweise 1 ha übersteigt, die aber mit den hier angewandten Methoden flächenmäßig nicht ausreichend erfasst wurden. Dazu zählen:

- **05.02.01 Sublitoraler Felsen- und Steingrund der Ostsee** (und Untertypen). Die Blockdichte konnte mit den gewählten Methoden nicht erfasst werden. Es ist nicht auszuschließen, dass die Hartbodenbedeckung lokal 90 % übersteigt.
- **05.02.04 Sublitoraler Schillgrund der Ostsee.** Schillagerstätten konnten bei der gewählten Kartierungsauflösung nicht flächendeckend erfasst werden. Videountersuchungen zeigen jedoch lokale Vorkommen von dichten Lagen *Arctica*-Schill (vgl. Abbildung 30), die aber als Einzelvorkommen eine Größe von 100 m² kaum übersteigen.
- **05.02.06.01.02.03 Sublitorales Mischsubstrat mit *Laminaria/Saccharina*.** Lokal dichte Bestände des Zuckertangs (v.a. auf der Öjet, vgl. Abbildung 26) deuten auf ein Vorkommen dieses Biotoptyps hin. Die Ausdehnung der Einzelvorkommen umfasst auf der Öjet vermutlich > 1 ha.
- **05.02.06.01.06.01 Sublitorales Mischsubstrat mit Anthozoen, 05.02.06.01.07 Sublitorales Mischsubstrat mit Porifera und 05.02.06.01.08 Sublitorales Mischsubstrat mit Ascidien.** Vor allem im Bereich der Mischgemeinschaft deuten zahlreiche Fotos und Videoausschnitte darauf hin, dass zumindest lokal die Epifauna-Gemeinschaft von einzelnen Taxa dominiert wird. Dabei handelt es sich um *Metridium senile* (Anthozoa, Vorkommen sehr lokal, Flächengröße nie > 1 ha), *Haliclona oculata* und andere Schwämme (Porifera; verbreitet, vermutlich lokal > 1 ha), *Ciona intestinalis* (Ascidien, meist sehr lokal, aber aperiodisch häufiger, dann Flächengröße auch > 1 ha) und *Dendrodoa grossularia* (Ascidien, verbreitet, vermutlich lokal > 1 ha).
- **05.02.06.01.10 Sublitorales Mischsubstrat mit einjährigen (festsitzenden) Makroalgen.** Verbreitet in flacheren (photischen) Bereichen von steinig-kiesigen Restsedimenten ohne Blöcke oder mit sehr geringer Blockdichte. In der Gemeinschaftsanalyse aufgrund des Fehlens der relevanten Umweltparameter (Steingröße und Dichte) nicht von den mehrjährigen Algenbeständen zu trennen.
- **05.02.10.02.05.01 Sublitoraler, ebener Sandgrund mit *Astarte*.** In unteren Hanglagen der Restsedimentflächen als Übergangsgemeinschaft zwischen der marinen Muschel-Gemeinschaft (05.02.10.02.02) und der *Arctica*-Gemeinschaft (hier Biotyp 05.02.10.02.05.05) an mehreren Stationen identifiziert. Ein separates, von *Astarte* spp. dominiertes Biotop konnte jedoch weder über die direkte HELCOM HUB-Zuweisung noch über die Gemeinschaftsanalysen abgegrenzt werden, da die biologischen Übergänge zwischen den Typen fließend sind und keine klare räumliche Trennung vorliegt, die anhand der verfügbaren Umweltparameter durch die Modellierung abgebildet werden konnte.
- **05.02.10.02.07.02 Sublitoraler, ebener Sandgrund mit Opalwürmern (Nephtyidae) und 05.02.11.02.05.02 Sublitoraler Schlickgrund mit Opalwürmern (Nephtyidae).** Eine Biomasse-Dominanz von Opalwürmern wurde an einzelnen Benthosstationen nachgewiesen. Das Vorkommen war aber weder zeitlich noch räumlich stabil, so dass es als möglicherweise temporär nach natürlichen oder anthropogen bedingten Störungen eingestuft wird.
- **05.02.10.02.07.04 Sublitoraler, ebener Sandgrund dominiert von Wattwürmern (*Arenicola marina*).** Wattwürmer besitzen als tiefgrabende und gleichzeitig Habitat-

formende Art eine besondere Bedeutung für sandige Lebensräume. Aufgrund ihrer großen Grabtiefe sind sie jedoch in den Greifer-Proben oft unterrepräsentiert bzw. werden aufgrund der hohen Biomasse der Islandmuscheln im Klassifikationssystem nicht ausreichend berücksichtigt. Vorkommen der Wattwürmer finden sich v.a. am Nordhang des Riesenrippelfeldes hin zur Vinds Grav Rinne sowie im westlichen Bereich des NSG. Zahlreiche große Kothaufen waren dort in den Unterwasser-Videos zu sehen, so dass ein Vorkommen dieses Biotoptyps nicht auszuschließen ist.

- **[ohne Code] Sublitoraler Schlickgrund dominiert von Schlangensternen (*Ophiura* spp.).** Schlangensterne kommen in weiten Teilen des Schutzgebietes in großen Mengen vor und dominieren an einzelnen Benthosstationen auch die Biomasse mit einem Anteil von > 50 %. Es bleibt allerdings unklar, ob diese Dominanz über die Zeit stabil oder nur ein temporärer Effekt ist, der sich möglicherweise auch durch das Fehlen von *Arctica islandica* in (anthropogen bedingt) gestörten Bereichen ergibt.

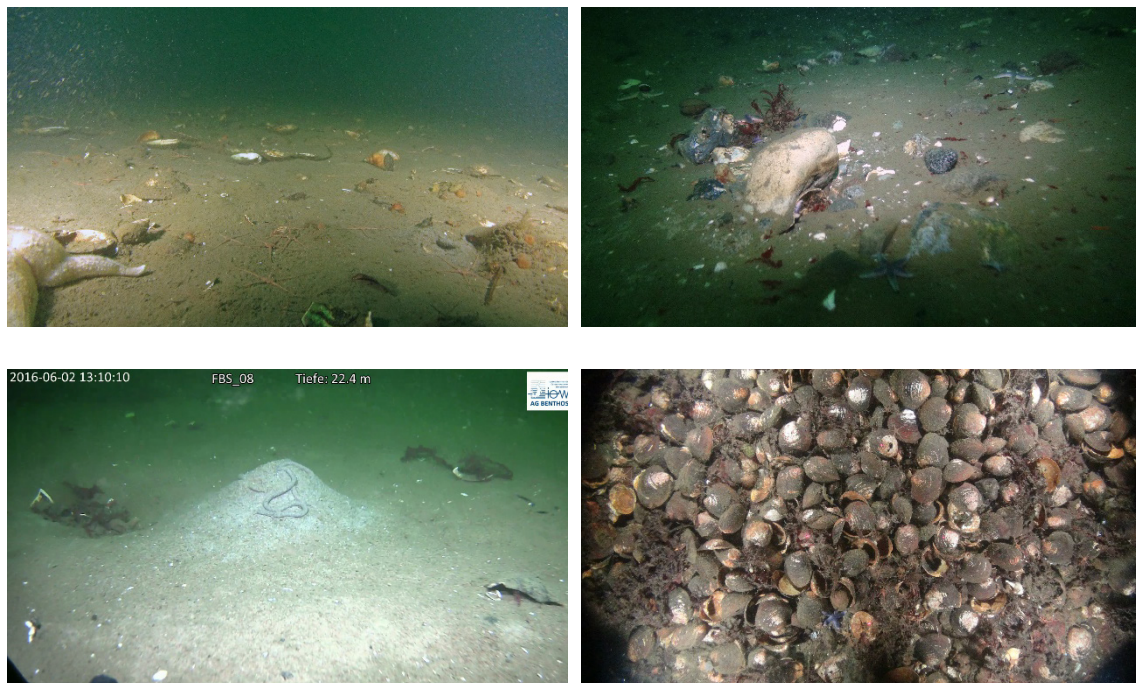


Abbildung 30: Weitere charakteristische Strukturen und Gemeinschaften im NSG „Fehmarnbelt“ (Fotos: IOW)

Oben links: schlickiges Mischsubstrat mit viel Schill und Schlangensternen; oben rechts: Restsediment außerhalb der Riffe ohne ausgeprägte epibenthische Besiedlung; unten links: Kothaufen von *Arenicola marina* am unteren Rand der Sandbank im Übergang zur Vinds Grav-Rinne; unten rechts: Ansammlung von *Arctica*-Schill als typische Form eines kleinräumigen Schill-Biotops

6.2.2 HELCOM Underwater Habitat and Biotope Classification System (HELCOM HUB)

Im Gegensatz zu DE 2017 betrachtet HELCOM HUB die gesamte Ostsee im Sinne des vom Helsinki Übereinkommen abgedeckten Meeresgebiets. Fachlich ist dies eine große Herausforderung, da die naturräumlichen Gegebenheiten dieses vom Kattegat bis in den hohen Norden des Finnischen Meerbusen reichenden, relativ flachen Binnenmeeres stark variieren. So weist der Meeresboden eine durch Becken und Schwellen gegliederte Topographie auf. Aufgrund der morphologischen Gegebenheiten kann sich eine zum Teil stark ausgeprägte vertikale Salinitäts- und Temperaturschichtung ausbilden.

HELCOM HUB stellt erstmals ein am damaligen EUNIS orientiertes, aber auf die Ostseespezifischen Gegebenheiten angepasstes Klassifikationssystem für Unterwasserbiotope dar. Es basiert auf den bestmöglichen und verfügbaren abiotischen und biologischen Daten aus zehntausenden von Stationswerten und wurde von einem Team aus nationalen Expert*innen aus allen Ostseeanrainerstaaten entwickelt. Diese Zusammensetzung erlaubte es dem Team, auch bereits existierende nationale Klassifikationssysteme in HELCOM HUB zu berücksichtigen. Im Ergebnis umfasst HELCOM HUB 328 pelagische und benthische Biotoptypen und darüber hinaus zehn Biotopkomplexe, wobei letztere den in der Ostsee vorkommenden natürlichen Lebensraumtypen gem. Anhang I FFH-RL entsprechen (HELCOM 2013). Auf Grundlage von HELCOM HUB erarbeitete HELCOM seine Rote Liste für Biotope (HELCOM 2013a).

Da auf die Trennregeln im HELCOM HUB-System und deren Spezifika für die Biotopklassifizierung bereits in Kapitel 6.1 eingegangen wurde und sich die ausführlich beschriebenen Trennregeln der deutschen Standardbiotopliste weitgehend daran orientieren, sei an dieser Stelle für vertiefte Studien auf HELCOM (2013) verwiesen. Die nachfolgende Tabelle 12 enthält die im Zuge der Biotopkartierung im NSG „Fehmarnbelt“ kartierten HELCOM HUB-Biotope und Abbildung 31 deren kartographische Darstellung.

Insgesamt wurden 38 Habitate und Biotope kartiert, deren Ableitung und Charakterisierung weitgehend denen in der deutschen Standard-Biotopliste entsprechen. Da im HELCOM HUB-System jedoch zwischen photischer und aphotischer Zone unterschieden wird, ist die Zahl der Biotope höher und deren Einzelfläche entsprechend geringer als bei DE 2017. Von den 38 kartierten Biotopen werden 11 auf der Roten Liste der gefährdeten Lebensräume (HELCOM 2013a) geführt, darunter neun in der Kategorie „near threatened“ (NT) und jeweils ein Biotop als „vulnerable“ (VU) und „critically endangered“ (CR). Bei letztgenanntem handelt es sich um „aphotic muddy sediment dominated by the ocean quahog“ (AB.H3L3), das im NSG mit 11 681 ha den größten Flächenanteil aller HELCOM HUB-Biotope stellt (41,7 % der Gesamtfläche). Als „vulnerable“ eingestuft wurde der korrespondierende Biotoptyp auf Sand („aphotic sand dominated by the ocean quahog“, AB.J3L3), der mit 3 160 ha einen Flächenanteil von etwa 11 % an der Gesamtfläche ausmacht.

Lediglich zehn Biotoptypen nach dem HELCOM HUB-System besitzen einen Flächenanteil von > 1 % an der Gesamtfläche und werden daher in der thematischen Karte dargestellt (Abbildung 31). Alle anderen Biotope werden analog zum Vorgehen beim Klassifikationssystem DE 2017 in der Karte in der nächst gröberen dargestellten Klassifikationsebene subsummiert.

Tabelle 12: Flächenanteil der kartierten Biotoptypen nach HELCOM HUB. Fett hervorgehobene Biotoptypen sind in Abbildung 31 dargestellt.

Code	Name	RL	Fläche [in ha]	
			gesamt	außerhalb LRT
AA.	unknown habitats in the photic zone		37,6	2,6
AA.H3	photic muddy sediment dominated by infauna		10,6	9,1
AA.H3L3	photic muddy sediment dominated by the ocean quahog	NT	75,6	43,3
AA.I	photic coarse sediment		0,6	-
AA.I3	photic coarse sediment dominated by infauna		47,7	41,5
AA.I3L10	photic coarse sediment dominated by multiple infaunal bivalve species: <i>Macoma calcarea</i>, <i>Mya truncata</i>, <i>Astarte</i> spp. <i>Spisula</i> spp.	NT	480,3	400,6
AA.I3L11	photic coarse sediment dominated by multiple infaunal polychaete species including <i>Ophelia</i> spp. and <i>Travisia forbesii</i>	NT	2,3	0,3
AA.I3L3	photic coarse sediment by the ocean quahog		68,1	24,8
AA.J	photic sand		6,2	3,5
AA.J3	photic sand dominated by infauna		146,3	83,8
AA.J3L10	photic sand dominated by multiple infaunal bivalve species: <i>Macoma calcarea</i> , <i>Mya truncata</i> , <i>Astarte</i> spp. <i>Spisula</i> spp.	NT	112,4	70,6
AA.J3L11	photic sand dominated by multiple infaunal polychaete species including <i>Ophelia</i> spp. and <i>Travisia forbesii</i>	NT	5,0	-
AA.J3L3	photic sand dominated by the ocean quahog	NT	896,9	421,9
AA.J3M6	photic sand dominated by various opportunistic polychaets		0,5	-
AA.M	photic mixed substrate		1,7	-
AA.M1	photic mixed substrate dominated by epibenthos		1 440,6	2,3
AA.M1C3	photic mixed substrate dominated by foliose red algae		5 104,1	6,9
AA.M1G1	photic mixed substrate dominated by hydroids		63,8	0,3
AA.M1H2	photic mixed substrate dominated by erect moss animals (<i>Flustra foliacea</i>)	NT	2,3	-
AA.M1V	photic mixed substrate dominated by mixed epibenthic community		8,8	-
AB.	unknown habitats in the aphotic zone		55,6	49,6
AB.H3	aphotic muddy sediment dominated by infauna		79,3	51,7
AB.H3L3	aphotic muddy sediment dominated by the ocean quahog	CR	11 680,5	11 565,2
AB.H3M6	aphotic muddy substrate dominated by various opportunistic polychaets		316,7	212,7
AB.I3	aphotic coarse sediment dominated by infauna		32,5	8,2
AB.I3L10	aphotic coarse sediment dominated by multiple infaunal bivalve species: <i>Macoma calcarea</i> , <i>Mya truncata</i> , <i>Astarte</i> spp. <i>Spisula</i> spp.	NT	99,3	46,9
AB.I3L3	aphotic coarse sediment dominated by the ocean quahog		173,3	97,0
AB.I3M6	aphotic coarse sediment dominated by various opportunistic polychaets		1,3	1,0
AB.J	aphotic sand		0,5	0,4
AB.J3	aphotic sand dominated by infauna		42,3	21,5
AB.J3L10	aphotic sand dominated by multiple infaunal bivalve species: <i>Macoma calcarea</i> , <i>Mya truncata</i> , <i>Astarte</i> spp. <i>Spisula</i> spp.	NT	116,0	62,3

Code	Name	RL	Fläche [in ha]	
			gesamt	außerhalb LRT
AB.J3L3	aphotic sand dominated by the ocean quahog	VU	3 163,3	2 774,8
AB.J3M6	aphotic sand dominated by various opportunistic polychaets		27,3	14,0
AB.M	aphotic mixed substrate		3,7	-
AB.M1	aphotic mixed substrate dominated by epibenthos		1 616,4	11,0
AB.M1G1	aphotic mixed substrate dominated by hydroids		986,7	2,5
AB.M1I1	aphotic mixed substrate dominated by barnacles		1,0	-
AB.M1V	aphotic mixed substrate dominated by mixed epibenthic community		1 087,2	4,8

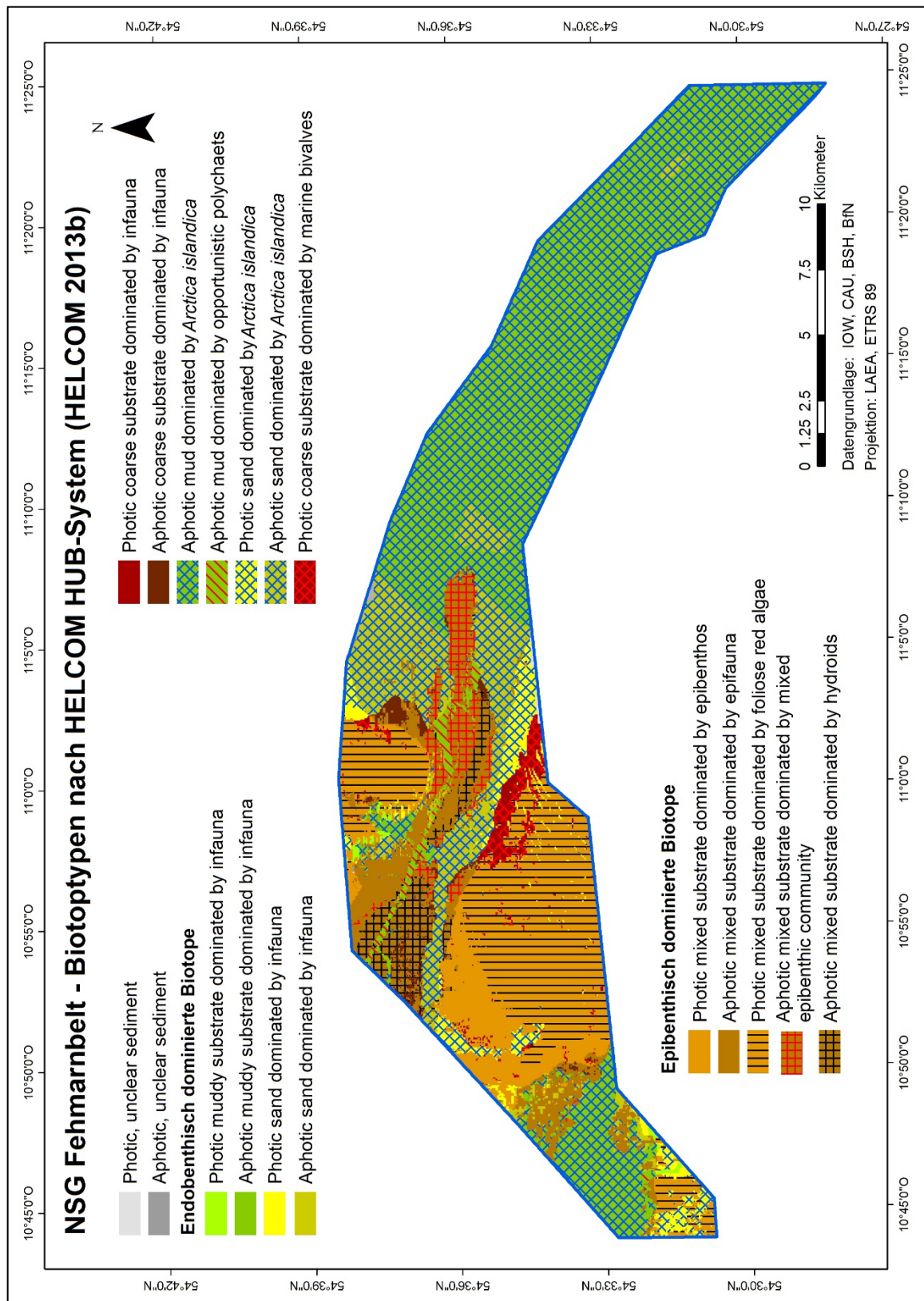


Abbildung 31: Karte der Biotoptypen entsprechend des Klassifikationssystems HELCOM HUB im NSG „Fehmarnbelt“

Neben den auskartierten Biotoptypen gibt es auch für das HELCOM HUB-System aus den Datenerhebungen Hinweise auf das Vorkommen weiterer Biotoptypen, deren Gesamtfläche möglicherweise 1 ha übersteigt, die aber mit den hier angewandten Methoden nicht ausreichend erfasst wurden. Dabei handelt es sich um analoge Biotope zu den im Kap. 6.2.1 beschriebenen Typen:

- AA.A/AB.A photic/aphotic rock and boulders (und Untertypen)
- AA.E/AB.E. photic/aphotic shell gravel (und Untertypen)
- AA.J3M2/AB.J3M2 photic/aphotic sand dominated by lugworms (*Arenicola marina*).
- AA.M1C4 photic mixed substrate dominated by kelp
- AA.M1S1 photic mixed substrate dominated by filamentous annual algae.
- AB.H3O aphotic muddy sediment characterized by infaunal echinoderms (hier: *Ophiura* spp.).
- AB.J3L5 aphotic sand dominated by *Astarte* spp.
- AB.M1G2 aphotic mixed substrate dominated by sea anemones und AB.M1J aphotic mixed substrate dominated by sponges und AB.M1F1 aphotic mixed substrate dominated by sea squirts.
- [ohne code] photic/aphotic sand/ muddy sediment dominated by Nephtyidae.

6.2.3 Benthische Biotopklassen und andere Lebensraumtypen nach MSRL

Die Bewertung des Meeresbodens im Zuge der Berichtspflichten zur Umsetzung der MSRL erfordert die Kenntnis über das Vorkommen und die räumliche Verteilung von "Benthischen Biotopklassen" (Broad Habitat Types, BHT) und den, von den EU-Mitgliedsstaaten zu definierenden, "anderen Lebensraumtypen gemäß KOM-Beschluss 2017/848" (Other Habitat Types, OHT), welchen national bzw. international eine besondere Bedeutung zukommt. Benthische Biotopklassen basieren EU-weit auf den Ebenen 2 und 3 der EUNIS Klassifikation. Die anderen Lebensraumtypen gemäß KOM-Beschluss 2017/848 umfassen in der deutschen Ostsee die natürlichen FFH-Lebensraumtypen „Sandbänke mit nur schwacher, ständiger Überspülung durch Meerwasser“ (EU-Code 1110) und „Riffe“ (EU-Code 1170), die beiden nach § 30 BNatSchG geschützten Biotope „Seegraswiesen und sonstige marine Makrophytenbestände“ und „Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe“ sowie den HELCOM-Rote-Liste-Typ „Schlickige Substrate in der aphotischen Zone der Ostsee dominiert von *Arctica islandica*“ (AB.H3L3) (BMU 2018).

Die in Abbildung 32 dargestellten Ergebnisse der Biotopkartierung im NSG „Fehmarnbelt“ ändern die Kulisse der BHT und OHT gegenüber den Ergebnissen in BMU (2018), da die hier vorgelegten Kartierungen zeigen, dass z. B. Riffe eine größere Fläche einnehmen. Sie stellen nunmehr im NSG mit über 11 000 ha Fläche gemeinsam mit dem BHT „circalitoral mud“ den größten Flächenanteil der MSRL-relevanten benthischen Lebensräume. Ein Großteil (> 98 %) des circalitoral Schlicks entfällt auf den HELCOM-Rote-Liste-Typ „Schlickige Substrate in der aphotischen Zone der Ostsee dominiert von *Arctica islandica*“ (AB.H3L3), der in BMU (2018) ebenfalls zu den anderen Lebensraumtypen gemäß KOM-Beschluss 2017/848 gezählt wird. Deutschland besitzt in Bezug auf den Schutz von *Arctica islandica* und ihrer Lebensräume für die Ostsee eine besondere Verantwortung.

Unter den insgesamt 10 kartierten BHT stellt, nach den circalitoral Schlick, der korrespondierende Lebensraum aus dem Infralitoral mit über 2 600 ha den größten Flächenanteil. Grobsubstrate (622 ha), Mischsubstrate (325 ha) und Sande (479 ha, jeweils Infra- und

Circalitoral addiert) sind flächenmäßig deutlich weniger verbreitet, wobei zu den Sandflächen noch 630 ha der Sandbank hinzukommen. Hartsubstrate (Rock) finden sich außerhalb der Riffflächen in nur geringem Umfang (62 ha) (Tabelle 13).

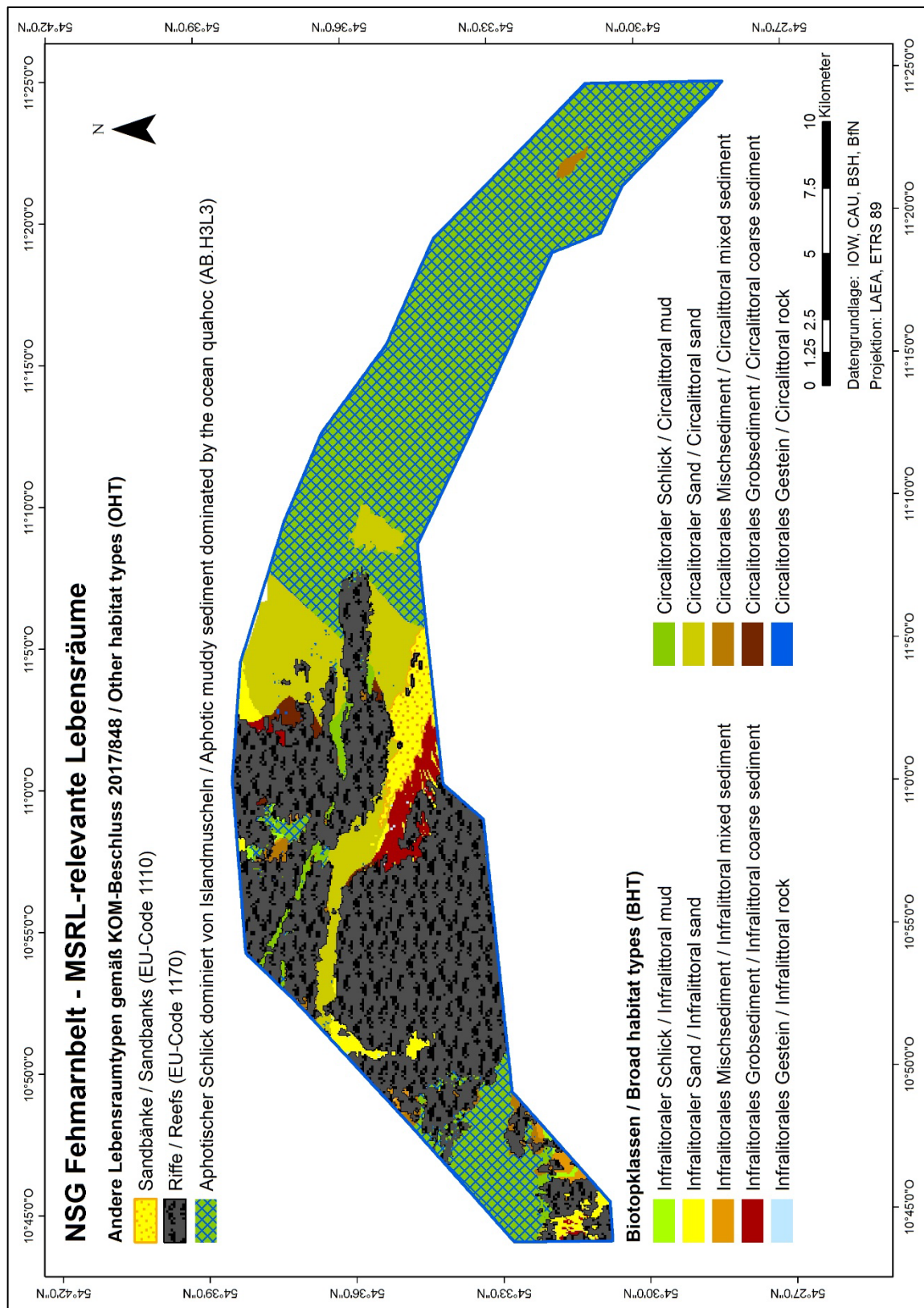


Abbildung 32: Karte der MSRL-relevanten benthischen Biotoptypen (BHT) und der anderen Lebensraumtypen gemäß KOM-Beschluss 2017/848 (OHT)

Tabelle 13: Flächenanteile der kartierten benthischen Lebensräume im Sinne der MSRL

Lebensraum		Fläche [ha]
BHT	infralitoral rock	9,4
	infralitoral coarse sediment	487,3
	infralitoral mixed sediment	98,7
	infralitoral sand	460,8
	infralitoral mud	2 672,3
	circalitoral rock	52,4
	circalitoral coarse sediment	134,3
	circalitoral mixed sediment	224,8
	circalitoral sand	18,2
	circalitoral mud ¹²	143,8
OHT	Sandbänke (1110)	630,7
	Riffe (1170)	11 328,7
	Aphotic mud dominated by <i>Arctica</i> (AB.H3L3), critically endangered nach HELCOM (2013a)	11 680,5
unbekannt		52,2

7 Fazit und Ausblick

Als Ergebnis von zwei vom BfN finanzierten Forschungs- und Entwicklungsprojekten können zum ersten Mal detaillierte flächendeckende Karten der Sedimentverteilung und der Meeresbodenbiotope in einem NSG in der AWZ der deutschen Ostsee vorgelegt werden. Die Gesamt-Konzeption sowie die fachlichen Schritte der Erhebungen im Feld, der Datenauswertung und der Ableitung der Biotope entsprechend der verschiedenen Klassifikationssysteme basieren auf den wissenschaftlichen Erkenntnissen, die im Rahmen des Projektes erzielt wurden, und tragen zu deren Erweiterung und Verbesserung in hohem Maße bei. Im Verlauf der einzelnen Entwicklungsschritte konnten unter anderem Leitfäden zur Vereinheitlichung von Kartiermethoden (BSH 2016; Heinicke et al. 2021) erstellt und Zwischenergebnisse in wissenschaftlichen Arbeiten (Beisiegel et al. 2017, 2018; Beisiegel 2019) veröffentlicht werden. Hervorzuheben ist die erstmalige vollständige und standardisierte hydroakustische Kartierung der Sediment- und Blockverteilung, welche als Grundlage zur großräumigen Riffabgrenzung und zur Biotopmodellierung herangezogen wurde. Des Weiteren sind sowohl die auf optischen Verfahren basierende Darstellung von epibenthischen Aufwuchs-Gemeinschaften auf Hartsubstraten, als auch die flächenhafte Darstellung der daraus abgeleiteten Biotoptypen zu betonen. Mit den hier vorgelegten Ergebnissen wird ein Verfahren vorgestellt, das als neuer Standard für die Erstellung der Biotopkarten der beiden übrigen NSG in der deutschen AWZ der Ostsee (Kadetrinne und Pommersche Bucht – Rönnebank) dienen soll.

Als besondere Herausforderung hat sich im Laufe der Arbeitsprozesse die Transformation der Daten aus punktuellen Erhebungen der benthischen Besiedlung in flächenhafte Karten dargestellt. Prädiktiv-statistische Verfahren konnten sich hierbei grundsätzlich als geeignetes Mittel der Wahl bewähren. Allerdings zeigte sich, dass mehrfache Verifizierungsprozesse zur Prüfung der Plausibilität der Ergebnisse erforderlich sind. Die Kartiergenauigkeit

¹² Der BHT „circalitoral mud“ entspricht im Gebiet in weiten Teilen dem OHT „Aphotic mud dominated by *Arctica* (AB.H3L3)“. Die Flächenangabe für den BHT bezieht sich nur auf den Teil der Fläche, der nicht diesem OHT zuzuordnen ist.

wurde einerseits von der zeitlichen Variabilität der benthischen Gemeinschaften begrenzt, andererseits durch die kleinräumige Heterogenität/Verzahnung der Sedimente im NSG. Eine noch detailliertere Darstellung der Biotoptypen wäre nur mit einem weder finanziell noch zeitlich vertretbarem höheren Kartieraufwand möglich gewesen. Im vorliegenden Ergebnis bieten die Karten ein hinreichend hohes Maß an Konfidenz in Bezug auf die räumliche Abgrenzung der Biotope und auf die grundlegende Charakterisierung der darin lebenden Gemeinschaften. Insofern stellen diese neuen Biotopkarten mit ihren ergänzenden Informationen im NSG „Fehmarnbelt“ eine wesentliche Grundlage für die Planung von Schutz- und Managementmaßnahmen dar. Auch tragen sie zur Erreichung und Umsetzung von Zielen und Aufgaben im Rahmen des Ostseeschutzes (HELCOM) und von EU-Richtlinien bei. Die Neuabgrenzung der FFH-LRT im NSG stellt die neue Kulisse für die natürlichen Lebensraumtypen „Sandbänke mit nur schwacher, ständiger Überspülung durch Meerwasser“ und „Riffe“ dar und soll spätestens im Rahmen des nächsten nationalen Berichts gemäß Artikel 17 der FFH-Richtlinie an die EU-Kommission gemeldet werden. Die § 30-Biotopkulisse dient zudem dem Aufbau eines nationalen Biotopkatasters. Die neu abgegrenzten benthischen Biotopklassen und anderen Lebensraumtypen gemäß KOM-Beschluss 2017/84 dienen der Umsetzung von Verpflichtungen aus der MSRL.

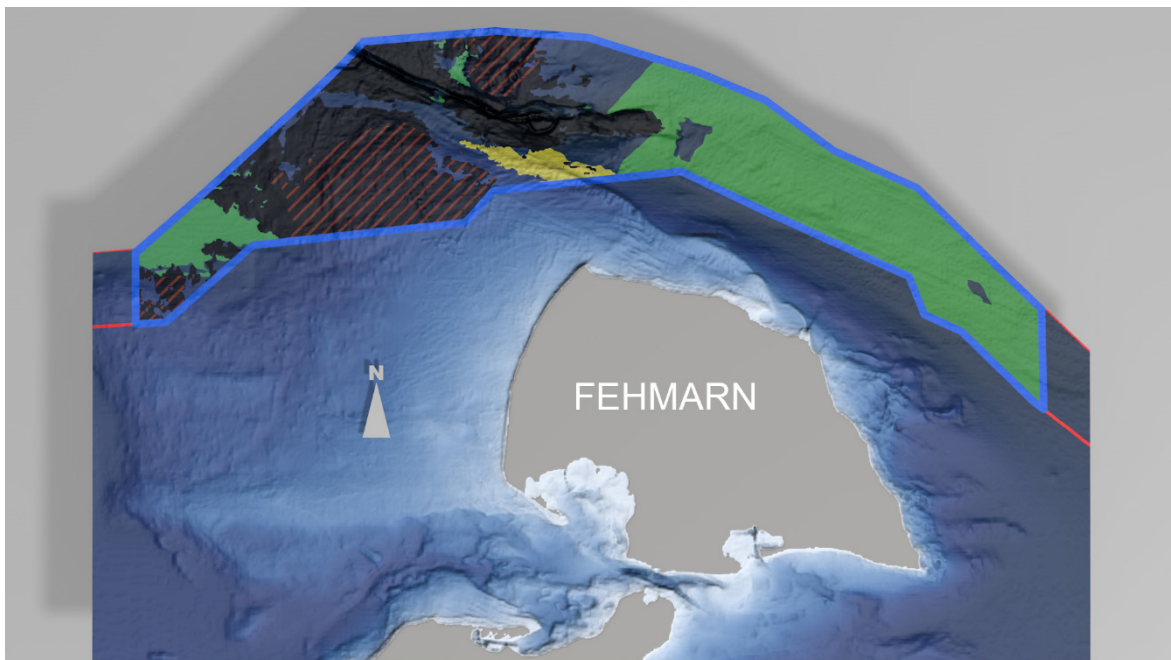


Abbildung 33: Gefährdete und geschützte Biotope im NSG „Fehmarnbelt“ (Gelb = Sandbänke, Anthrazit = Riffe, Grün = Sublitorale Schlickgründe der Ostsee mit Islandmuscheln / Aphotic muddy sediment dominated by the ocean quahog, Braun gestreift = Makrophytenfluren, Meeresbodenrelief 56-fach überhöht) (C. Terstegge, Mediendesign)

In Abbildung 33 sind die kartierten und auf das Meeresbodenrelief projizierten Vorkommen gefährdeter und geschützter Biotope im NSG „Fehmarnbelt“ dargestellt, die insgesamt 84 % der Schutzgebietsfläche einnehmen. Zu ihnen zählen neben den Sandbänken (Gelb) und Riffen (Anthrazit) auch „Aphotic muddy sediment dominated by the ocean quahog“ (Grün) sowie die fast ausschließlich im photischen Bereich der Riffe vorkommenden und von foliosen Rotalgen dominierten Makrophytenfluren (Braun schraffiert).

Die flächendeckenden und hochauflösenden Biotopkarten aus dem NSG „Fehmarnbelt“ basieren auf den Klassifikationssystemen HELCOM HUB (HELCOM 2013) und dem deutschen System nach Finck et al. (2017). Beide Systeme stützen sich auf hierarchische

Klassifikationsebenen mit überwiegend klar definierten Abgrenzungsregeln. Dass die praktische Anwendung dieser Regeln grundsätzlich auch in Gebieten mit sehr heterogenen Substrattypen möglich ist, konnte durch die vorliegenden Biotopkarten gezeigt werden. Jedoch mussten die durch die Klassifikationssysteme vorgegebenen Trennregeln in verschiedenen Analyseschritten angepasst, präzisiert oder auch neu erstellt werden. Die allgemeine Anwendbarkeit dieser Anpassungen muss in weiteren Kartierungsvorhaben kritisch geprüft werden. Einzelne Schritte, wie beispielsweise die Ableitung von Gemeinschaften aus Clusteranalysen und die Zuordnung von sedimentologischen Mischklassen zu den einzelnen Substrat-Klassen der Klassifikationssysteme, sind jedoch so stark von den jeweiligen Gegebenheiten der verfügbaren Daten abhängig, dass sie sich aller Voraussicht nach nicht vollständig standardisieren lassen. Umso wichtiger ist es, das jeweilige Vorgehen zu dokumentieren und damit den Entstehungsprozess der Karten nachvollziehbar zu machen.

Wesentlicher Forschungsbedarf für das Schutzgebietsmanagement besteht vor allem noch zur zeitlichen und räumlichen Struktur, Dynamik, Stabilität und Elastizität einzelner Biotope und der damit verbundenen Ökosystemfunktionen sowie zu anthropogenen Einflussfaktoren. Ein repräsentatives Benthosmonitoring im Schutzgebiet ist daher unerlässlich, um die räumliche und zeitliche Dynamik der Prozesse am Meeresboden zu beobachten und die Qualität der Lebensraumtypen und Biotope auch hinsichtlich der Auswirkungen menschlicher Aktivitäten und Eingriffe bewerten zu können.

Für die Bearbeitung dieser wissenschaftlichen Fragestellungen und die Umsetzung aller relevanten Management-Aufgaben stellen die nun vorliegenden Biotopkarten, die dafür erhobenen Datensätze und die im Laufe der Prozesse erreichten Standardisierungen und Methodenentwicklungen eine sehr wertvolle und belastbare Grundlage dar, die darüber hinaus auch als Basis für andere Kartierungsvorhaben im marinen Bereich dienen kann.

Literaturverzeichnis

- Beisiegel, K. (2019): Picturing the Seafloor – shedding light on offshore rock habitats in the Baltic Sea using imaging systems. Dissertation an der Universität Rostock, 94 S.
- Beisiegel, K., Darr, A., Gogina, M. & Zettler, M. L. (2017): Benefits and shortcomings of non-destructive benthic imagery for monitoring hard-bottom habitats. *Mar Poll Bull* 121: 5-15.
- Beisiegel, K., Zettler, M. L., Darr, A., Gogina, M., Friedland, R. & Gräwe, U. (2018): Regional spatial variability of sessile assemblages on subtidal rocky reefs: An image-based approach for a Baltic Sea marine protected area. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 207: 82-92.
- BfN (2011): Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe im Meeres- und Küstenbereich - Definition und Kartieranleitung. 5 S., URL: <http://www.bfn.de/habitatmare/de/downloads/marine-biotope/Biototyp-Kies-Sand-Schillgruende.pdf>.
- BfN (2012): Daten zur Natur 2012. Landwirtschaftsvlg. Münster, 358 S.
- BfN (2018): BfN-Kartieranleitung für „Riffe“ in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ). Geschütztes Biotop nach § 30 Abs. 2 S. 1 Nr. 6 BNatSchG, FFH - Anhang I - Lebensraumtyp (Code 1170); URL: <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/meeresundkuestenschutz/Dokumente/BfN-Kartieranleitungen/BfN-Kartieranleitung-Riffe-in-der-deutschen-AWZ.pdf>, zuletzt aufgerufen am 11. Mai 2022.
- BfN (Hrsg.) (2020): Die Meeresschutzgebiete in der deutschen AWZ der Ostsee – Beschreibung und Zustandsbewertung. BfN-Skripten 553: 497 S.; URL: <https://www.bfn.de/publikationen/bfn-schriften/bfn-schriften-553-die-meeresschutzgebiete-der-deutschen>, zuletzt aufgerufen am 11. Mai 2022.
- BMU (Hrsg.) (2018): Zustand der deutschen Ostseegewässer 2018 - Aktualisierung der Anfangsbewertung nach § 45c, der Beschreibung des guten Zustands der Meeresgewässer nach § 45d und der Festlegung von Zielen nach § 45e des Wasserhaushaltsgesetzes zur Umsetzung der MSRL. Verabschiedet vom Bund/Länder-Ausschuss Nord- und Ostsee (BLANO) am 13.12.2018. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) Referat WR I 5. 194 S.; URL: <https://www.meeresschutz.info/berichte-art-8-10.html>, zuletzt aufgerufen am 11. Mai 2022.
- Blott, S. J. & Pye, K. (2001): GRADISTAT: a Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*. Volume 26, Issue 11: 1237-1248.
- Boedeker, D., Krause, J. C. & v. Nordheim, H. (2006): Interpretation, identification and ecological assessment of the Natura 2000 habitats „sandbank“ and „reef“. In v. Nordheim, H., Boedeker, D., Krause, J. C. (Eds.): *Progress in Marine Conservation in Europe: Natura 2000 sites in German Offshore waters*. Berlin (Springer), S. 47-64.
- BSH & IOW (2012): Digitaler Kartensatz zum Meeresbodenrelief für das deutsche Ostseegebiet.
- BSH (2016): Anleitung zur Kartierung des Meeresbodens mittels hochauflösender Sonare in den deutschen Meeresgebieten Version 1.0. BSH Nr. 7201, 147 S.
- Buhl-Mortensen, L., Buhl-Mortensen, P., Dolan, M. J. F. & Gonzalez-Mirelis, G. (2015): Habitat mapping as a tool for conservation and sustainable use of marine resources: Some perspectives from the MAREANO Programme, Norway, *J Sea Res* 100: 46-61.
- CBD (2019): Convention on Biological Diversity, Ecologically or Biologically Significant Areas (EBSA) – Fehmarn Belt. Online Fact Sheet; URL: <https://chm.cbd.int/database/record?documentID=241804>, zuletzt aufgerufen am 11. Mai 2022.

- Chesney, D. L. & Haladjian, H. H. (2011): Evidence for a shared mechanism used in multiple-object tracking and subitizing. *Atten Percept Psychophys* 73: 2457–2480.
- Darr, A., Gogina, M. & Zettler, M. L. (2014): Detecting hot-spots of bivalve biomass in the south-western Baltic Sea, *J Mar Sys*: 134: 69-80.
- Davies, C. E. & Moss, D. (2004): EUNIS Habitat Classification Marine Habitat Types: Revised Classification and criteria, September 2004. Report to: European Environment Agency: European Topic Centre On Nature Protection and Biodiversity CEH Project No: C02492NEW.
- Drachenfels, O. von (2012): Biotoptypen als Erfassungs- und Bewertungseinheiten von Naturschutz und Landschaftsplanung *NuL* 44 (12): 357-363.
- Dufrene, M. & Legendre, P. (1997): Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol Mono* 67(3): 345-366.
- EEA (2019) EUNIS marine Habitat classification review 2019; URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eunis-habitat-classification>, zuletzt aufgerufen am: 08. Dezember 2020.
- EUNIS (2019): s. EEA (2019).
- European Commission (2013): Interpretation Manual of European Union Habitats. EUR 28. 144 pp.
- Feldens, P., Schwarzer, K., Hübscher, C. & Diesing, M. (2009): Genesis and sediment dynamics of a subaqueous dune field in Fehmarn Belt (south-western Baltic Sea). In Vött A, Brückner H, 2008 (Hrsg.) *Ergebnisse aktueller Küstenforschung. Beiträge der 26. Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten 2008*. Marburger Geographische Schriften Heft 145: 80-97.
- Feldens, P. & Schwarzer, K. (2012): The Ancylus Lake stage of the Baltic Sea in Fehmarn Belt: Indications of a new threshold? *Continental Shelf Res.* 35: 43–52.
- Feldens, P., Diesing, M., Schwarzer, K., Heinrich, C. & Schlenz, B. (2015): Occurrence of flow parallel and flow transverse bedforms in Fehmarn Belt (SW Baltic Sea) related to the local palaeomorphology. *Geomorphology* 231: 53-62.
- FEHY (2013): Fehmarnbelt Fixed Link EIA. Marine Soil – Impact Assessment. Seabed Morphology of the Fehmarnbelt Area. Report No. E1TR0059 - Volume I, 140 S.
- Fennel, W. (1995): Wasserhaushalt und Strömungen. In: Rheinheimer, G. (Hrsg), *Meereskunde der Ostsee*, pp. 56-67.
- Figge, K. (1981): Begleitheft zur Sedimentverteilung in der Deutschen Bucht, Blatt 2900. Deutsches Hydrographisches Institut Hamburg.
- Finck, P., Heinze, S., Raths, U., Riecken, U. & Ssymank, A. (2017): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands – dritte fortgeschriebene Fassung 2017, *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 156: 637 S.
- Folk, R. L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *The Journal of Geology* 62(4): 344-359.
- Fürhaupter, K., Meyer, T., Darr, A., Zettler, M. L., Bildstein, T. & Schuchardt, B. (2015): Anpassung und Weiterentwicklung der Klassifizierung der Meeresbiotoptypen an internationale Entwicklungen sowie Fortschreibung der Roten Liste gefährdeter Meeresbiotope Deutschlands“ - Technische Dokumentation. Forschungsbericht der MArLim Gesellschaft für Gewässeruntersuchung mbH, des IOW und der BioConsult Schuchardt & Scholle GbR im Auftrag des BfN, FKZ 3514 82 0800, 183 S.
- Galparsoro, I., Connor, D. W., Borja, A., Aish, A., Amorim, P., Bajjouk, T., Chambers, C., Coggan, R., Dirberg, G., Ellwood, H., Evans, D., Goodin, K. L., Grehan, A., Haldin, J.,

- Howell, K., Jenkins, C., Michez, N., Mo, G., Buhl-Mortensen, P., Pearce, B., Populus, J., Salomidi, M., Sánchez, F., Serrano, A., Shumchenia, E., Tempera, F. & Vasquez, M. (2012): Using EUNIS habitat classification for benthic mapping in European seas: present concerns and future needs. *Mar Poll Bull* 64(12): 2630-2638.
- Gogina, M., Nygård, H., Blomqvist, M., Daunys, D., Josefson, A. B., Kotta, J., Maximov, A., Warzocha, J., Yermakov, V., Gräwe, U., Zettler, M. L. (2016): The Baltic Sea scale inventory of benthic faunal communities. *ICES Journal of Marine Science* 73: 1196-1213.
- Gosselck, F., Bönsch, R. & Kreuzberg, M. (1998): Wissenschaftliche Grundlagen zur Ausweisung und zum Management mariner off-shore-Schutzgebiete im Bereich der Hoheitsgewässer und der Ausschließlichen Wirtschaftszone Deutschlands in der Ostsee und deren Integration in das System von Baltic Sea Protected Areas. Endbericht zu einem FuE-Vorhaben des Bundesamtes für Naturschutz, 166 S.
- Heinicke, K., Bildstein, T., Boedeker, D., Reimers, H.-Ch. (2021): Leitfaden zur großflächigen Abgrenzung und Kartierung des LRT 1170 „Riffe“ in der deutschen Ostsee (Unter-*typ: geogene Riffe*). BfN-Skripten Nr. 612, 46 S.
- Heinrich, C.; Anders, S.; Schwarzer, K. (2018): Late Pleistocene and Early Holocene Drainage Events in the Eastern Fehmarn Belt and Mecklenburg Bight, SW Baltic Sea. *Boreas* 47: 754–767.
- HELCOM (1998): Red list of marine and coastal biotopes and biotope complexes of the Baltic Sea, Belt Sea and Kattegat - Including a comprehensive description and classification system for all Baltic marine and coastal biotopes. *Baltic Sea Environment Proceedings* No. 75: 115pp; URL: <http://www.helcom.fi/Lists/Publications/BSEP75.pdf>, zuletzt aufgerufen am 11. Mai 2022.
- HELCOM (2007): HELCOM lists of threatened and/or declining species and biotopes/habitats in the Baltic Sea area. *Balt. Sea Environ. Proc.* 113: 17 pp.
- HELCOM (2013): HELCOM HUB-Technical Report on the HELCOM Underwater Biotope and habitat classification. *Baltic Sea Environmental Proceedings* 139, 76 S.; URL: <https://helcom.fi/media/publications/BSEP139.pdf>, zuletzt aufgerufen am 11. Mai 2022.
- HELCOM (2013a): Red List of Baltic Sea underwater biotopes, habitats and biotope complexes. *Baltic Sea Environmental Proceedings* 138, 69 S.; URL: <https://helcom.fi/media/publications/BSEP138.pdf>, zuletzt aufgerufen am 11. Mai 2022.
- IOW (2009): Erprobung eines Fachvorschlags für das langfristige benthologische Monitoring der Na-tura 2000 Lebensräume in der deutschen AWZ der Ostsee als Grundlage für die Erfüllung der Natura 2000 – Berichtspflichten (FFH - Berichtsperiode 2007 – 2012), Forschungsbericht des Instituts für Ostseeforschung Warnemünde im Auftrag des BfN, 82 S.; URL: https://www.io-warnemuende.de/tl_files/bio/ag-benthische-organismen/pdf/BfN_Natura_2000_Endbericht.pdf, zuletzt aufgerufen am 11. Mai 2022.
- Kaufhold, H. (1985): Geologisch-Sedimentologische Untersuchungen an küstennahen Nord- und Ostseesedimenten - Vergleich unterschiedlicher Ablagerungsräume - Oberflächensedimente und ihre Vertikalstruktur (Dissertation). Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel.
- Kaufhold, P. (1988): Zur Dynamik des Riesenrippelfeldes im Fehmarnbelt (Westliche Ostsee). Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Kiel, 46 S.
- Kaufhold, H. (1995): Verteilung und Zusammensetzung der quartären Oberflächensedimente im westlichen Fehmarnbelt (Ostsee). *Meyniana* 47: 45–67.
- Klein, A. (2006): Identification of submarine banks in the North Sea and the Baltic Sea with aid of TIN modelling. In v. Nordheim, H., Boedeker, D., Krause, J. C. (Eds.): *Progress in Marine Conservation in Europe: Natura 2000 sites in German Offshore waters*. Berlin (Springer) 97-110.

- Kohler, K. E., Gill, S. M. (2006): Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): a visual basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Comput. Geosci.* 32: 1259–1269.
- Kolp, O. (1966): Die Sedimente der westlichen und südlichen Ostsee und ihre Darstellung. *Beiträge Meereskd.* 1966, 17–18: 9–60.
- KOM-Beschluss 2017/848 (2017): Beschluss (EU) 2017/848 der Kommission vom 17. Mai 2017 zur Festlegung der Kriterien und methodischen Standards für die Beschreibung eines guten Umweltzustands von Meeresgewässern und von Spezifikationen und standardisierten Verfahren für die Überwachung und Bewertung sowie zur Aufhebung des Beschlusses 2010/477/EU
- Kratochwil, A., Schwabe, A. (2001): *Ökologie der Lebensgemeinschaften – Biozönologie.* Verlag UTB für Wissenschaft, Stuttgart, 756 S.
- Lemke, W. (1998): Sedimentation und paläogeographische Entwicklung im westlichen Ostseeraum (Mecklenburger Bucht bis Arkonabecken) vom Ende der Weichselvereisung bis zur Litorinatransgression. *Marine Science Reports* 31.
- Liaw, A. & Wiener, M. (2002): Classification and regression by randomForest. *R News* 2 (3): 18–22.
- LLUR (2015): Erläuterungen zur Kartierung der gesetzlich geschützten Biotope in Schleswig-Holstein, Stand April 2015, 131 S.; URL: https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/E/eingriffsregelung/Downloads/kartier_pdf.html, zuletzt aufgerufen am 11. Mai 2022.
- Milkert, D. & Fiedler, H. M. (2002): Processing and mosaicking digital side scan sonar images: two examples from the western Baltic Sea. *Baltica* 15: 40–48.
- Novak, B. & Björck, S. (2002): Late Pleistocene–early Holocene fluvial facies and depositional processes in the Fehmarn Belt, between Germany and Denmark, revealed by high-resolution seismic and lithofacies analysis. *Sedimentology* 49: 451–465.
- Novak, B. & Björck, S. (2004): A Late Pleistocene Lacustrine Transgression in the Fehmarn Belt, Southwestern Baltic Sea. *Int J Earth Sci* 93: 634–644.
- Papenmeier, S., Valerius, J., Meier, F. & Mulckau, A. (2020a): Map of sediment distribution in the German EEZ (1:10.000). URL: www.geoseaportal.de, zuletzt aufgerufen am 11. Mai 2022.
- Papenmeier, S., Darr, A., Feldens, P. & Michaelis, R. (2020b): Hydroacoustic Mapping of Geogenic Hard Substrates: Challenges and Review of German Approaches. *Geosciences* 10 (3): 100 S.
- Rachor, E. & Nehmer, P. (2004): Erfassung und Bewertung ökologisch wertvoller Lebensräume in der Nordsee. Forschungsbericht des AWI im Auftrag des BfN (FKZ 89985310), 175 S.
- R Core team (2019): R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria 3-900051-07-0; URL: <http://www.R-project.org>, zuletzt aufgerufen am 11. Mai 2022.
- Reineck, H.-E., Singh, I. B. & Wunderlich, F. (1971): Einteilung der Rippeln und anderer mariner Sandkörper. *Senckenbergiana maritima*, 3: 93–101.
- Richter, P., Höft, D., Feldens, A., Schwarzer, K., Diesing, M., Valerius, J. & Mulckau, A. (2021a): Map of sediment distribution in the German EEZ (Fehmarn Belt). URL: www.geoseaportal.de, zuletzt aufgerufen am 11. Mai 2022.
- Richter, P., Höft, D., Schwarzer, K., Valerius, J. & Meier, F. (2021b): Map of boulder distribution in the German EEZ (Fehmarn Belt). URL: www.geoseaportal.de, zuletzt aufgerufen am 11. Mai 2022.

- Rönn, G. A. von, Schwarzer, K., Reimers, H.-C. & Winter, C. (2019): Limitations of Boulder Detection in Shallow Water Habitats Using High-Resolution Sidescan Sonar Images. *Geosciences* 2019, 9, 390.
- Schiele, K., Darr, A. & Zettler, M. L. (2014): Verifying a biotope classification using benthic communities – an analysis towards the implementation of the European Marine Strategy Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin* 78: 181-189.
- Schiele, K. S., Darr, A., Zettler, M. L., Friedland, R., Tauber, F., von Weber, M. & Voss, J. (2015): Biotope map of the German Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin* 96: 127-135.
- Schwarzer, K., Schrottke, K., Stoffers, P., Kohlhasse, S., Fröhle, P., Fittschen, T., Mohr, K., Riemer, J. & Weinhold, H. (2000): Einfluss von Steiluferabbrüchen an der Ostsee auf die Prozessdynamik angrenzender Flachwasserbereiche. Final Report, Inst. of Geosciences, 182 p.
- Schwarzer, K. & Diesing, M. (2006): Erforschung der FFH-Lebensraumtypen Sandbank und Riff in der AWZ der deutschen Nord- und Ostsee. Bericht des Instituts für Geowissenschaften an der CAU zu Kiel im Auftrag des BfN, 66 S.
- Schwarzer, K. & Diesing, M. (2008): Kartierung mariner Sedimente in der deutschen Nord- und Ostsee als Basis für die Erfassung benthischer Lebensräume. – 17. Meeresumweltsymposium, Hamburg, 13 – 28.
- Schwarzer, K., Bohling, B. & Heinrich, C. (2014): Submarine hard-bottom substrates in the western Baltic Sea – human impact versus natural development. In: Green, A.N. and Cooper, J.A.G. (eds.), *Proceedings 13th International Coastal Symposium* (Durban, South Africa), *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 70, ISSN 0749-0208.
- Storch, H. von & Omstedt, A. (2008): 1. Introduction and Summary. *The BALTEX Assessment of Climate Change for the Baltic Sea basin*. ISBN:978-3-540-72785-9. Springer-Verlag. pp. 1-34.
- Ware, S. & Downie, A. L. (2020): Challenges of habitat mapping to inform marine protected areas (MPA) designation and monitoring: An operational perspective. *Mar Pol* 111.
- Werner, F., Arntz, W. E., Tauchgruppe Kiel (1974): Sedimentologie und Ökologie eines ruhenden Riesenrippelfeldes. *Meyniana* 26: 39-62.
- Werner, F. & Newton, R. S. (1970): Riesenrippeln im Fehmarnbelt. *Meyniana* 20: 83-90.
- Werner, F. (2000): New aspects of sand waves (Fehmarn Belt, western Baltic) by using high-resolving sonography. - *Baltica*, 13: 85-87.
- Wittmaack, A. (1988): Interngefüge und akustische Unterlage des Riesenrippelfeldes im Fehmarnbelt (Westliche Ostsee). Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Kiel, 37 S.
- Wright, D. J., Lundblad, E. R., Larkin, E. M., Rinehart, R. W., Murphy, J., Cary-Kothera, L. & Draganov, K. (2005): *ArcGIS Benthic Terrain Modeler*. Corvallis, Oregon, Oregon State University, Davey Jones Locker Seafloor Mapping/Marine GIS Laboratory and NOAA Coastal Services Center.
- Zettler, M. L., Röhner, M., Frankowski, J., Borchert, R., Glockzin, M. & Glockzin I (2006): Benthologische Arbeiten zur ökologischen Bewertung von Windenergie-Anlagen-Eignungsgebieten in der Ostsee - Zusammenfassung der Untersuchungen zum Makrozoobenthos in potentiellen NATURA 2000-Gebieten. Bericht des Leibniz-Instituts für Ostseeforschung im Auftrag des BfN, 222 S.

Anhang

Abbildungen

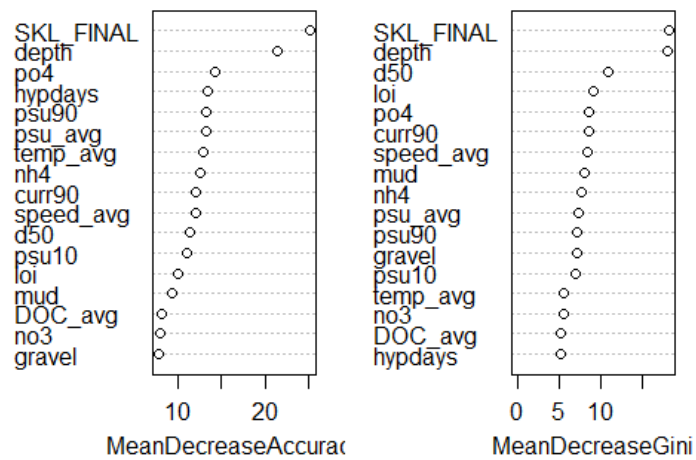


Abbildung 34: Variable Importance Infauna des Random Forest-Modells für die endobenthischen Gemeinschaften

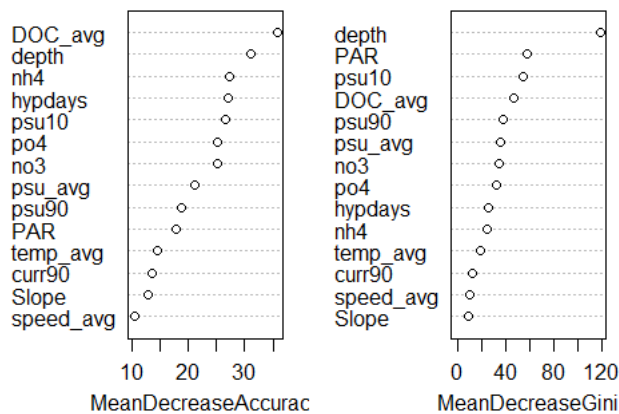


Abbildung 35: Variable Importance Infauna des Random Forest-Modells für die epibenthischen Gemeinschaften

Tabellen

Tabelle 14: Zuordnung der Substrate aus der SVK zu den Substratklassen der verschiedenen Klassifizierungssysteme

SVK_summary	MSRL BHT	HELCOM HUB (2013)		Restsediment	DE 2017
(gmS-msG)-LagSed	mixed	coarse	I	1	08.
(gS-sG)-LagSed	rock	mixed	M	2	06.
(M-mS)+LagSed	muddy	muddy	H	1	11.
(mS-gmS)-LagSed	mixed	sand	J	1	10.
(ms-S)+LagSed	sand	sand	J	1	10.
(sM-mS)+1	muddy	muddy	H	0	11.
(sM-mS)+LagSed	muddy	muddy	H	1	11.
cSa	sand	sand	J	0	08.
cSa-mSa	sand	sand	J	0	10.
FSed	muddy	muddy	H	0	11.
gmS	mixed	sand	J	0	10.
gmS-gS	mixed	sand	J	0	10.
gmS-LagSed	mixed	sand	J	1	10.
gS	coarse	sand	J	0	10.
gS+(fSa-mxSa)	coarse	sand	J	0	10.
LagSed	rock	mixed	M	2	06.
LagSed+1	rock	mixed	M	2	06.
M	muddy	muddy	H	0	11.
M-mS	muddy	muddy	H	0	11.
mS	muddy	muddy	H	0	11.
mS+1	muddy	muddy	H	0	11.
mS+gS	mixed	sand	J	0	10.
mS+LagSed	mixed	sand	J	1	10.
mSa	sand	sand	J	0	10.
mS-msG	mixed	muddy	H	0	11.
mS-S	sand	sand	J	0	10.
mS-sM	muddy	muddy	H	0	11.
NA	?	?	?	NA	?.
S	sand	sand	J	0	10.
S+1	sand	sand	J	0	10.
S-FSed	sand	sand	J	0	10.
sM	muddy	muddy	H	0	11.
sM+1	muddy	muddy	H	0	11.
sM-mS	muddy	muddy	H	0	11.
Fsed-S	muddy	muddy	H	0	11.

Tabelle 15: Charakterarten des FFH-LRT „Sandbänke“ im NSG „Fehmarnbelt“ (aktualisierte Liste November 2018)

Bivalvia	<i>Abra alba</i> <i>Astarte borealis</i> <i>Kurtiella bidentata</i> <i>Parvicardium pinnulatum</i> <i>Spisula subtruncata</i> <i>Thracia phaseolina</i>	Polychaeta	<i>Aricidea</i> spp. <i>Chaetozone setosa</i> <i>Dipolydora quadrilobata</i> <i>Eteone longa</i> <i>Exogone naidina</i> <i>Nephtys caeca</i> <i>Ophelia</i> spp. <i>Pholoe</i> spp. <i>Polycirrus medusa</i> <i>Pygospio elegans</i> <i>Scoloplos armiger</i> <i>Spio goniocephala</i> <i>Travisia forbesii</i>
Crustacea	<i>Bathyporeia</i> spp. <i>Crassikorophium crassicorne</i> <i>Crangon crangon</i> <i>Gastrosaccus spinifer</i> <i>Phoxocephalus holbolli</i> <i>Tanaissus lilljeborgi</i>		
Echinodermata	<i>Echinocyamus pusillus</i>		

Tabelle 16: Charakterarten des FFH-LRT „Riffe“ im NSG „Fehmarnbelt“ (aktualisierte Liste November 2018)

LRT-typisches Taxon	photisch	aphotisch
Makroalgen		
<i>Delesseria sanguinea</i>	x	
<i>Furcellaria lumbricalis</i>	x	
<i>Phycodrys rubens</i>	x	
<i>Saccharina latissima</i>	x	
sessile Epifauna		
<i>Actinia equina</i>	x	x
Balanidae (v.a. <i>Balanus crenatus</i> , <i>Ampibalanus improvisus</i>)	x	x
<i>Callopora lineata</i>	x	x
<i>Ciona intestinalis</i>	x	x
<i>Dendrodoa grossularia</i>	x	x
Electridae (<i>Electra pilosa</i> ODER <i>Einhornia crustulenta</i>)	x	x
<i>Escharella immersa</i>	x	x
<i>Eucratea loricata</i>	x	x
<i>Farrella repens</i>	x	x
<i>Flustra</i> spp.	x	x
<i>Halichondria panicea</i>	x	x
<i>Haliclona oculata</i>	x	x
<i>Halisarca dujardini</i>	x	x
<i>Hartlaubella gelatinosa</i>	x	x
<i>Leucosolenia</i> sp.	x	x
<i>Metridium dianthus</i>	x	x
<i>Molgula manhattensis</i>	x	x
<i>Musculus discors</i>	x	x
<i>Musculus niger</i>	x	x
<i>Musculus subpictus</i>	x	x
<i>Mytilus</i> spp.	x	x
<i>Sertularia cupressina</i>	x	x
Spirorbidae (<i>Spirorbis</i> / <i>Laeospira</i>)	x	

LRT-typisches Taxon	photisch	aphotisch
<i>Urticina felina</i>	x	x
(semi)mobile, Hartboden-assoziierte Begleitarten		
<i>Acanthodoris pilosa</i>	x	
<i>Ampithoe rubricata</i>	x	
<i>Ancula gibbosa</i>	x	
<i>Apherusa bispinosa</i>	x	
<i>Bittium reticulatum</i>	x	
<i>Caprella</i> spp.	x	x
<i>Dexamine spinosa</i>	x	
<i>Gammarellus homari</i>	x	
<i>Idotea</i> spp.	x	
<i>Lacuna</i> spp.	x	
<i>Lepidochitona cinerea</i>	x	x
<i>Littorina littorea</i>	x	
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	x	x
<i>Monophorus perversus</i>	x	
<i>Nereis pelagica</i>	x	
<i>Onchidoris muricata</i>	x	x
<i>Onoba semicostata</i>	x	x
<i>Phtisica marina</i>	x	x
<i>Pusillina inconspicua</i>	x	
Arten der Sand- und Kiesbodenfauna, sowie substratunspezifische, mobile Epifauna		
<i>Buccinum undatum</i>	x	x
<i>Pycnogonida</i> (<i>Nymphon</i> spp. oder <i>Callipallene</i> spp.)	x	x
<i>Carcinus maenas</i>	x	x
<i>Cheirocratus sundeavallii</i>	x	
<i>Monocorophium insidiosum</i>	x	x
<i>Edwardsia danica</i>	x	x
<i>Flabelligera affinis</i>	x	x
<i>Halcaampa duodecimcirrata</i>	x	x
<i>Harmothoe imbricata</i>	x	x
<i>Neptunea antiqua</i>	x	x
<i>Nereimyra punctata</i>	x	x
<i>Pariambus typicus</i>	x	x
<i>Praunus</i> spp.	x	
<i>Psammechinus miliaris</i>	x	
<i>Streptosyllis websteri</i>	x	

Tabelle 17: Typische Arten der *Arctica*-Lebensgemeinschaft in den verschiedenen Substraten im NSG „Fehmarnbelt“. Aufgeführt sind alle Arten, die in wenigstens einer Ausprägung eine Frequenz von $\geq 50\%$ oder eine mittlere Abundanz von 100 Ind./m² oder eine Feuchtmasse von 1 g/m² erreichten. Arten des Hartboden-Epibenthos wurden nicht berücksichtigt. (Fr. % = Frequenz in %, Ind. = Individuen, FM = Frischmasse; namensgebende Charakterart der Gemeinschaft fett gedruckt)

Art	Schlick			Feinsand			Mittelsand			Grobsubstrat		
	Fr. %	Ind./m ²	FM g/m ²	Fr. %	Ind./m ²	FM g/m ²	Fr. %	Ind./m ²	FM g/m ²	Fr. %	Ind./m ²	FM g/m ²
Cnidaria												
<i>Edwardsia danica</i>	16	13	0,2	21	19	0,1	26	12	0,1	65	162	1,2
<i>Halocampa duodecimcirrata</i>	44	6	< 0,1	21	2	< 0,1	23	3	< 0,1	50	27	0,1
Nemertea												
<i>Lineus ruber</i>	22	1	0,3	24	1	< 0,1	37	1	< 0,1	65	10	0,1
Nemertea	28	1	< 0,1	44	6	0,1	46	21	< 0,1	76	58	0,1
Bivalvia												
<i>Abra alba</i>	94	522	5,4	79	592	3,0	81	234	2,2	65	98	2,1
<i>Arctica islandica</i>	100	209	553	100	106	919	100	81	629	100	30	605
<i>Astarte borealis</i>	50	11	1,7	71	35	35,4	84	54	31,9	88	57	61,1
<i>Astarte elliptica</i>	62	17	9,2	79	35	29,0	54	39	15,3	59	22	16,0
<i>Astarte montagui</i>	18	8	1,6	24	9	2,0	23	25	3,9	21	3	0,5
<i>Corbula gibba</i>	92	60	0,4	97	159	0,7	93	105	0,7	71	43	0,3
<i>Kurtiella bidentata</i>	90	83	0,1	94	370	0,5	96	571	0,9	100	407	0,5
<i>Limecola balthica</i>	46	6	< 0,1	62	19	0,1	60	41	0,9	38	10	0,2
<i>Macoma calcarea</i>	10	1	0,1	35	20	1,0	33	7	2,3	21	1	0,1
<i>Mya truncata</i>	16	1	< 0,1	12	1	0,1	18	2	0,2	21	2	6,9
<i>Parvicardium pinnulatum</i>	60	13	0,1	68	44	0,2	75	86	0,6	82	48	0,7
<i>Phaxas pellucidus</i>	38	5	0,1	29	2	0,1	51	11	0,3	21	2	0,1
Gastropoda												
<i>Bittium reticulatum</i>	-	-	-	6	< 1	< 0,1	28	2	< 0,1	56	45	0,1
<i>Buccinum undatum</i>	12	< 1	< 0,1	21	< 1	< 0,1	32	< 1	< 0,1	50	1	7,9
<i>Neptunea antiqua</i>	-	-	-	9	< 1	1,9	14	< 1	2,7	15	< 1	0,4
<i>Onoba semicostata</i>	24	7	< 0,1	35	9	< 0,1	54	35	< 0,1	65	56	0,1
<i>Peringia ulvae</i>	52	25	< 0,1	35	14	< 0,1	39	23	< 0,1	21	2	< 0,1
<i>Retusa truncatula</i>	50	6	< 0,1	62	10	< 0,1	46	10	< 0,1	35	5	< 0,1
Polychaeta												
<i>Alitta virens</i>	16	1	2,2	12	< 1	1,4	11	1	2,2	9	< 1	0,1
<i>Ampharete baltica</i>	74	40	0,1	85	43	0,1	86	37	< 0,1	88	17	< 0,1
<i>Aricidea minuta</i>	-	-	-	24	3	< 0,1	42	8	< 0,1	62	22	< 0,1
<i>Aricidea suecica</i>	80	23	< 0,1	74	81	0,3	68	59	0,2	74	22	0,1
<i>Bylgides sarsi</i>	92	21	0,1	91	24	0,1	70	12	0,1	65	9	< 0,1
<i>Chaetozone setosa</i>	6	1	< 0,1	35	86	0,1	51	51	0,1	56	24	0,1
<i>Dipolydora quadrilobata</i>	60	12	< 0,1	79	52	0,1	63	26	< 0,1	65	18	< 0,1
<i>Eteone longa</i>	34	2	< 0,1	47	4	< 0,1	68	17	0,1	79	18	0,1
<i>Eumida sanguinea</i>	10	< 1	< 0,1	26	1	< 0,1	44	1	< 0,1	59	1	< 0,1
<i>Exogone naidina</i>	12	< 1	< 0,1	29	3	< 0,1	58	6	< 0,1	62	15	< 0,1

Art	Schlick			Feinsand			Mittelsand			Grobsubstrat		
	Fr. %	Ind./ m ²	FM g/m ²	Fr. %	Ind./ m ²	FM g/m ²	Fr. %	Ind./ m ²	FM g/m ²	Fr. %	Ind./ m ²	FM g/m ²
<i>Harmothoe imbricata</i>	46	1	< 0,1	65	4	0,1	58	6	0,1	71	9	0,1
<i>Harmothoe impar</i>	24	1	< 0,1	44	3	< 0,1	58	3	< 0,1	59	5	< 0,1
<i>Heteromastus filiformis</i>	86	37	0,1	82	67	0,2	58	27	< 0,1	79	52	< 0,1
<i>Lagis koreni</i>	80	157	1,7	85	210	1,7	58	134	0,7	32	24	0,1
<i>Levinsenia gracilis</i>	64	43	< 0,1	38	15	< 0,1	14	5	< 0,1	3	1	< 0,1
<i>Nephtys caeca</i>	26	6	0,4	44	20	1,7	89	32	3,6	94	17	1,7
<i>Nephtys ciliata</i>	86	274	7,7	59	27	1,9	26	7	1,2	6	2	0,5
<i>Nereimyra punctata</i>	40	4	< 0,1	62	8	< 0,1	53	5	< 0,1	62	18	0,1
<i>Nicolea zostericola</i>	32	3	0,1	26	6	0,1	33	1	< 0,1	68	15	0,1
<i>Pherusa plumosa</i>	54	6	0,2	62	17	1,2	28	5	0,2	21	6	0,2
<i>Pholoe assimilis</i>	52	4	< 0,1	65	9	< 0,1	42	7	< 0,1	44	11	< 0,1
<i>Scoloplos armiger</i>	94	192	1,2	91	385	2,9	98	195	2,5	100	115	2,1
<i>Phyllodoce mucosa</i>	50	3	< 0,1	50	9	< 0,1	51	9	< 0,1	38	3	< 0,1
<i>Polycirrus medusa</i>	18	2	< 0,1	38	15	< 0,1	72	69	0,2	85	92	0,3
<i>Pygospio elegans</i>	2	< 1	< 0,1	29	25	< 0,1	53	39	< 0,1	68	53	< 0,1
<i>Scolecopsis foliosa</i>	-	-	-	6	< 1	< 0,1	35	3	0,4	59	5	0,4
<i>Spio gonioccephala</i>	14	1	< 0,1	53	25	0,1	75	67	0,2	88	77	0,2
<i>Terebellides stroemii</i>	90	315	7,6	85	271	4,5	40	23	0,4	21	12	0,2
<i>Trochochaeta multisetosa</i>	50	10	0,4	50	9	0,1	23	3	< 0,1	6	< 1	< 0,1
Oligochaeta												
Tubificinae	66	14	< 0,1	50	18	< 0,1	56	23	< 0,1	74	66	< 0,1
<i>Tubificoides benedii</i>	-	-	-	35	4	< 0,1	49	29	< 0,1	79	107	0,1
Crustacea												
<i>Caprella linearis</i>	8	1	0,0	26	7	0,0	32	1	< 0,1	56	12	< 0,1
<i>Cheirocratus sundevallii</i>	4	< 1	0,0	9	1	0,0	16	2	< 0,1	50	18	0,5
<i>Crassikorophium crassicornes</i>	20	3	0,0	29	17	0,0	49	41	0,1	56	17	< 0,1
<i>Diastylis rathkei</i>	98	178	0,8	100	140	0,8	84	79	0,3	76	40	0,1
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	8	1	0,0	35	3	0,0	47	14	0,2	76	54	0,6
<i>Phoxocephalus holbolli</i>	12	1	0,0	35	46	0,1	81	116	0,2	94	154	0,3
<i>Tanaissus lilljeborgi</i>	-	-	-	-	-	-	37	16	< 0,1	59	46	< 0,1
Echinodermata												
<i>Asterias rubens</i>	62	< 1	0,0	71	4	0,0	75	4	3,8	85	8	2,6
<i>Echinocyamus pusillus</i>	4	1	0,0	26	11	0,1	51	12	0,1	71	25	0,3
<i>Ophiura albida</i>	96	119	5,0	85	82	4,5	74	35	2,4	56	28	1,6
Phoronida												
<i>Phoronis</i> sp.	14	1	0,0	53	12	0,1	26	4	0,1	9	1	< 0,1

Tabelle 18: Typische Arten der marinen Muschel-Lebensgemeinschaft in den verschiedenen Substraten im NSG „Fehmarnbelt“. Aufgeführt sind alle Arten, die in wenigstens einer Ausprägung eine Frequenz von $\geq 50\%$ oder eine mittlere Abundanz von 100 Ind./m² oder eine Feuchtmasse von 1 g/m² erreichten. Arten des Hartboden-Epibenthos wurden nicht berücksichtigt. (Fr. % = Frequenz in %, Ind. = Individuen, FM = Frischmasse; namensgebende Charakterarten, die zur Ermittlung des Biomasseanteils herangezogen werden, sind fett gedruckt)

Art	Grobsubstrat			Mittelsand			Feinsand		
	Fr. %	Ind./m ²	FM g/m ²	Fr. %	Ind./m ²	FM g/m ²	Fr. %	Ind./m ²	FM g/m ²
Cnidaria									
<i>Edwardsia danica</i>	100	244	2,0	72	71	0,4	77	88	0,7
<i>Halcompa duodecimcirrata</i>	73	22	0,2	44	15	0,1	62	7	< 0,1
Nemertea									
<i>Lineus ruber</i>	88	14	0,1	33	2	< 0,1	46	3	< 0,1
Nemertea	95	45	< 0,1	56	25	< 0,1	46	3	0,2
Bivalvia									
<i>Abra alba</i>	85	165	1,5	94	181	3,2	92	967	5,7
<i>Arctica islandica</i>	50	7	175,6	78	33	266,7	62	26	164,8
<i>Astarte borealis</i>	100	144	225,4	100	193	173,7	92	158	137,9
<i>Astarte elliptica</i>	83	77	105,5	89	310	336,2	100	426	547,6
<i>Astarte montagui</i>	48	10	1,4	94	149	24,9	85	134	34,0
<i>Corbula gibba</i>	63	12	0,1	89	92	0,7	85	47	0,5
<i>Hiatella arctica</i>	70	13	1,6	17	< 1	< 0,1	46	6	0,1
<i>Kurtiella bidentata</i>	100	491	0,6	100	345	0,5	85	285	0,4
<i>Limecola balthica</i>	38	4	0,1	67	18	0,2	15	2	0,2
<i>Macoma calcaria</i>	43	5	1,6	44	13	4,9	46	20	3,5
<i>Mya arenaria</i>	15	2	< 0,1	39	19	2,6	23	5	< 0,1
<i>Mya truncata</i>	30	4	3,7	11	2	< 0,1	23	2	< 0,1
<i>Parvicardium pinnulatum</i>	98	153	2,6	94	107	0,9	92	134	1,4
<i>Parvicardium scabrum</i>	65	8	0,1	61	11	0,1	8	< 1	< 0,1
<i>Spisula subtruncata</i>	-	-	-	11	1	< 0,1	-	-	-
<i>Thracia phaseolina</i>	10	< 1	< 0,1	22	2	0,4	-	-	-
Gastropoda									
<i>Bittium reticulatum</i>	63	60	0,1	11	8	< 0,1	-	-	-
<i>Buccinum undatum</i>	78	2	4,0	44	2	1,3	62	4	4,2
<i>Onoba semicostata</i>	90	122	0,2	72	31	< 0,1	77	65	0,1
<i>Retusa truncatula</i>	73	20	< 0,1	39	5	< 0,1	38	2	< 0,1
Polychaeta									
<i>Ampharete baltica</i>	78	15	< 0,1	83	41	0,1	85	46	0,1
<i>Aricidea minuta</i>	78	15	< 0,1	28	14	< 0,1	15	1	< 0,1
<i>Aricidea suecica</i>	80	38	0,1	100	55	0,2	77	36	0,1
<i>Bylgides sarsi</i>	53	6	< 0,1	72	13	0,1	54	13	< 0,1
<i>Chaetozone setosa</i>	70	21	< 0,1	33	240	0,4	15	8	< 0,1
<i>Dipolydora quadrilobata</i>	90	52	< 0,1	89	182	0,1	77	30	< 0,1
<i>Enipo kinbergi</i>	5	< 1	< 0,1	17	2	0,1	54	9	0,6
<i>Eteone longa</i>	85	15	< 0,1	44	10	0,1	46	5	< 0,1
<i>Eumida sanguinea</i>	85	11	< 0,1	22	1	< 0,1	38	2	< 0,1
<i>Exogone naidina</i>	90	19	< 0,1	39	17	< 0,1	54	3	< 0,1

Art	Grobsubstrat			Mittelsand			Feinsand		
	Fr. %	Ind./m ²	FM g/m ²	Fr. %	Ind./m ²	FM g/m ²	Fr. %	Ind./m ²	FM g/m ²
<i>Fabriciola baltica</i>	50	24	< 0,1	17	1	< 0,1	23	3	< 0,1
<i>Harmothoe imbricata</i>	90	35	0,3	67	11	0,1	85	20	0,2
<i>Harmothoe impar</i>	88	13	< 0,1	22	5	< 0,1	46	3	< 0,1
<i>Heteromastus filiformis</i>	75	49	0,1	78	19	< 0,1	54	18	< 0,1
<i>Lagis koreni</i>	38	13	0,1	67	114	0,6	77	27	0,6
<i>Laonome kroyeri</i>	63	10	0,1	50	14	0,1	92	20	0,1
<i>Lepidonotus squamatus</i>	40	2	0,1	28	1	< 0,1	54	4	0,2
<i>Levinsenia gracilis</i>	8	1	< 0,1	33	9	< 0,1	69	24	< 0,1
<i>Lysilla loveni</i>	8	< 1	< 0,1	50	14	1,0	54	11	1,1
<i>Nephtys caeca</i>	98	26	3,7	89	29	3,8	62	20	2,6
<i>Nephtys ciliata</i>	8	1	< 0,1	44	12	0,9	77	34	4,1
<i>Nephtys pente</i>	25	6	0,4	44	13	0,7	77	22	4,1
<i>Nereimyra punctata</i>	78	17	0,1	72	13	< 0,1	77	70	0,4
<i>Nicolea zostericola</i>	68	78	0,5	56	23	1,4	38	24	0,1
<i>Pherusa plumosa</i>	55	14	0,4	67	28	1,1	85	55	1,2
<i>Pholoe assimilis</i>	73	24	< 0,1	83	38	< 0,1	77	26	< 0,1
<i>Pholoe baltica</i>	58	15	0,1	39	9	< 0,1	54	7	< 0,1
<i>Polycirrus medusa</i>	98	90	0,3	78	43	0,1	62	17	0,1
<i>Pygospio elegans</i>	95	86	0,1	50	71	< 0,1	8	5	< 0,1
<i>Scalibregma inflatum</i>	13	1	< 0,1	56	35	0,3	54	28	0,6
<i>Scoloplos armiger</i>	95	83	1,0	100	251	2,3	100	224	1,8
<i>Spio gonocephala</i>	78	37	0,1	50	40	0,1	38	12	< 0,1
<i>Terebellides stroemii</i>	50	45	0,9	72	91	1,6	100	135	2,3
Oligochaeta									
Tubificinae	95	36	< 0,1	28	12	< 0,1	23	4	< 0,1
<i>Tubificoides benedii</i>	100	132	0,2	44	20	< 0,1	8	3	< 0,1
Crustacea									
<i>Caprella linearis</i>	63	14	< 0,1	39	15	< 0,1	54	145	0,2
<i>Cheirocratus sundevallii</i>	55	54	0,1	44	14	< 0,1	31	3	< 0,1
<i>Crassikorophium cras-</i> <i>sicorne</i>	65	56	0,1	78	25	< 0,1	69	49	0,1
<i>Diastylis rathkei</i>	75	30	0,1	94	139	0,6	100	216	0,8
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	65	28	0,3	44	13	0,1	31	8	< 0,1
<i>Monocorophium insidiosum</i>	80	107	0,1	17	21	< 0,1	23	1	< 0,1
<i>Phoxocephalus holbolli</i>	100	132	0,2	72	66	0,1	31	11	< 0,1
<i>Protomedeia fasciata</i>	28	12	< 0,1	72	127	0,1	69	99	0,1
Echinodermata									
<i>Asterias rubens</i>	98	33	2,0	44	5	0,1	62	4	0,3
<i>Echinocyamus pusillus</i>	80	50	0,6	56	19	0,3	31	2	< 0,1
<i>Ophiura albida</i>	63	26	1,2	83	434	8,4	100	316	13,1
<i>Psammechinus miliaris</i>	58	5	0,9	28	< 1	1,0	38	1	< 0,1
Phoronida									
<i>Phoronis</i> sp.	15	1	< 0,1	56	40	0,7	46	8	0,1

Tabelle 19: Typische Arten der *Ophelia/Travisia*-Lebensgemeinschaft in den verschiedenen Substraten im NSG „Fehmarnbelt“. Aufgeführt sind alle Arten, die in wenigstens einer Ausprägung eine Frequenz von $\geq 50\%$ oder eine mittlere Abundanz von 100 Ind./m² oder eine Feuchtmasse von 1 g/m² erreichten. Arten des Hartboden-Epibenthos wurden nicht berücksichtigt. (Fr. % = Frequenz in %, Ind. = Individuen, FM = Frischmasse, D = Dredge ohne Flächenbezug und daher keine Berechnung pro m² möglich; namensgebende Arten der Gemeinschaft fett gedruckt)

Art	Grobsubstrat			Mittelsand		
	Fr. %	Ind./m ²	FM mg/m ²	Fr. %	Ind./m ²	FM mg/m ²
Cnidaria						
<i>Edwardsia danica</i>	43	5	50	100	3	31
Nemertea						
<i>Lineus ruber</i>	71	2	4	100	3	6
Nemertea	71	11	9	100	13	15
Bivalvia						
<i>Arctica islandica</i>	43	2	13	100	4	65 728
<i>Astarte borealis</i>	43	6	3 045	100	3	15
<i>Corbula gibba</i>	57	27	48	100	243	346
<i>Kurtiella bidentata</i>	100	142	276	100	485	674
<i>Limecola balthica</i>	57	4	58	50	21	12
<i>Parvicardium pinnulatum</i>	86	91	398	100	32	333
<i>Parvicardium scabrum</i>	57	6	18	100	1	1
Gastropoda						
<i>Bittium reticulatum</i>	86	14	38	100	3	4
<i>Peringia ulvae</i>	71	34	30	50	67	59
<i>Retusa truncatula</i>	57	3	5	50	15	26
Polychaeta						
<i>Ampharete baltica</i>	71	13	20	100	42	69
<i>Aricidea minuta</i>	71	17	7	-	-	-
<i>Bylgides sarsi</i>	57	2	4	100	5	7
<i>Chaetozone setosa</i>	29	3	6	100	151	141
<i>Eteone longa</i>	86	25	121	100	28	118
<i>Exogone naidina</i>	71	9	1	50	< 0,1	< 0,1
<i>Harmothoe imbricata</i>	86	D	D	100	D	D
<i>Nephtys caeca</i>	86	3	919	100	8	3 846
<i>Ophelia limacina</i>	29	3	210	100	17	3 465
<i>Ophelia rathkei</i>	100	26	68	50	14	100
<i>Parexogone hebes</i>	43	23	9	100	47	13
<i>Polycirrus medusa</i>	86	90	259	100	72	157
<i>Pygospio elegans</i>	86	48	29	50	2	1
<i>Scolelepis foliosa</i>	57	4	599	-	-	-
<i>Scoloplos armiger</i>	100	17	340	100	348	2 205
<i>Spio goniocephala</i>	100	95	221	100	117	259
<i>Streptosyllis websteri</i>	86	57	7	50	30	7
<i>Travisia forbesii</i>	100	143	3 234	100	65	1 007
Oligochaeta						
Tubificinae	86	49	28	50	18	6
<i>Tubificoides benedii</i>	100	76	128	50	5	2
Crustacea						

Art	Grobsubstrat			Mittelsand		
	Fr. %	Ind./m ²	FM mg/m ²	Fr. %	Ind./m ²	FM mg/m ²
<i>Bathyporeia guilliamsoniana</i>	57	8	39	100	3	5
<i>Bathyporeia pilosa</i>	57	42	141	-	-	-
<i>Crangon crangon</i>	86	D	D	100	D	D
<i>Diastylis rathkei</i>	71	3	21	50	5	7
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	100	81	1 237	100	34	472
<i>Phoxocephalus holbolli</i>	100	118	171	100	16	33
<i>Tanaissus lilljeborgi</i>	86	119	15	100	107	12
Echinodermata						
<i>Echinocyamus pusillus</i>	43	4	25	100	3	33

Tabelle 20: Typische Arten der opportunistischen Polychaeten-Lebensgemeinschaft in den verschiedenen Substraten im NSG „Fehmarnbelt“. Aufgeführt sind alle Arten, die in wenigstens einer Ausprägung eine Frequenz von $\geq 50\%$ oder eine mittlere Abundanz von 100 Ind./m² oder eine Feuchtmasse von 1 g/m² erreichten. Arten des Hartboden-Epibenthos wurden nicht berücksichtigt. (Fr. % = Frequenz in %, Ind. = Individuen, FM = Frischmasse, D = Dredge ohne Flächenbezug und daher keine Berechnung pro m² möglich; Charakterarten der beiden Ausprägungen sind fett gedruckt (andere opportunistische Arten spielten in der Dominanzstruktur eine untergeordnete Rolle und werden daher in dieser Tabelle nicht aufgeführt))

Art	Schlick			Sand		
	Fr. %	Ind./m ²	FM mg/m ²	Fr. %	Ind./m ²	FM mg/m ²
Bivalvia						
<i>Abra alba</i>	55	138	807	75	36	383
<i>Corbula gibba</i>	45	18	252	75	63	199
<i>Kurtiella bidentata</i>	70	34	50	75	18	27
<i>Limecola balthica</i>	30	11	44	50	18	32
Polychaeta						
<i>Ampharete baltica</i>	40	12	12	50	10	31
<i>Aricidea suecica</i>	15	3	6	50	15	25
<i>Lagis koreni</i>	70	245	1 624	50	105	3 004
<i>Levinsenia gracilis</i>	25	5	2	50	38	22
<i>Nephtys caeca</i>	10	2	11	50	38	3 213
<i>Nephtys ciliata</i>	90	36	3 733	50	31	4 533
<i>Scoloplos armiger</i>	75	54	182	75	164	1 236
<i>Spio goniocephala</i>	5	1	2	50	10	30
Oligochaeta						
Tubificinae	55	27	8	-	-	-
Crustacea						
<i>Diastylis rathkei</i>	85	56	466	100	100	257
Phoronida						
<i>Phoronis</i> sp.	10	1	20	50	13	213
Echinodermata						
<i>Ophiura albida</i>	85	44	2 208	50	54	3 261

Tabelle 21: Regelmäßig in den fünf epibenthischen Gemeinschaften der Hartböden vorkommende Makroalgen, sessile Epifauna-Arten sowie mobile Begleitarten und endobenthische Arten der Grobsubstrate (Auswahl)¹³. (Mischg. = Mischgemeinschaft, Hydroz. = Hydrozoen, Seepo. = Seepocken)

!: namensgebende Art der Gemeinschaft
 (!): namensgebende Art einer lokal auftretenden Ausprägung der Gemeinschaft
 x: verbreitet vorkommende Art
 (x): in Übergangsbereichen häufig vorkommende Art
 ?: keine Daten vorliegend, aber regelmäßiges Vorkommen wahrscheinlich

LRT-typisches Taxon		Rotalgen	Flustra	Mischg.	Hydroz.	Seepo.
Makroalgen						
Rhodophyta	<i>Ahnfeltia plicata</i>	x	?			
	<i>Brongniartella byssoides</i>	x	?			
	<i>Ceramium</i> spp.	(!)	?			
	<i>Coccotylus truncatus</i>	!	?			
	<i>Delesseria sanguinea</i>	!	x	(x)	(x)	
	<i>Furcellaria lumbricalis</i>	x	x			
	<i>Membranoptera alata</i>	x	?			
	<i>Phycodrys rubens</i>	!	x	(x)	(x)	
	<i>Phyllophora pseudoceranoides</i>	x	?			
	<i>Polyides rotunda</i>	x	?			
	<i>Polysiphonia</i> spp.	(!)	?			
	<i>Rhodomela confervoides</i>	(!)	?			
Phaeophyta	<i>Chaetopteris plumosa</i>	x				
	<i>Desmarestia viridis</i>	x				
	<i>Dictyosiphon foeniculaceus</i>	x				
	<i>Ectocarpus</i> spp.	x				
	<i>Pylaiella littoralis</i>	x				
	<i>Saccharina latissima</i>	(!)	?	(x)	(x)	
	<i>Stictyosiphon tortilis</i>	x				
	<i>Sphacelaria cirrosa</i>	x				
sessile Epifauna						
Porifera	<i>Chalinula limbata</i>	x	?	x	x	
	<i>Halichondria panicea</i>	x	?	x	x	
	<i>Haliclona oculata</i>	x	?	!	x	
	<i>Halisarca dujardini</i>	x	?	x	x	
	<i>Leucosolenia</i> sp.	x	?	x	x	
	<i>Polymastia</i> sp.			x	x	
	<i>Sycon ciliatum</i>			x	x	
Anthozoa	<i>Actinia equina</i>	x	?			
	<i>Metridium senile</i>	x	?	(!)	x	
	<i>Sagartia</i> sp.	x	?	x	x	
	<i>Urticina felina</i>	x	?	x	?	

¹³ Die Ausweisung der Arten erfolgte nur für die Rotalgen-Gemeinschaft direkt datenbasiert durch Auswertung von quantitativen Taucherproben (Sammelrahmen). Für die Mischgemeinschaft und die Hydrozoen-Gemeinschaft wurden alle Daten aus Greiferproben, Dredgezügen und Videoauswertungen, die in den mittels Modellierung vorhergesagten Verbreitungsgebieten erhoben wurden, zusammengetragen. Für die Flustra- und die Seepocken-Gemeinschaft liegen ausschließlich Daten aus Video-/ Fotoobservationen vor.

	LRT-typisches Taxon	Rotalgen	Flustra	Mischg.	Hydroz.	Seepo.
Hydrozoa	<i>Clytia hemisphaerica</i>	x	?		x	?
	<i>Dynamena pumilla</i>		?		x	?
	<i>Halecium halecinum</i>		?	x		?
	<i>Hartlaubella gelatinosa</i>	x	?	x	x	?
	<i>Opercularella lacerata</i>	x	?	x	!	?
	<i>Sertularia cupressina</i>	x	?	x	!	?
Bivalvia	<i>Hiatella arctica</i>	x	?	x	x	
	<i>Musculus discors</i>	x	?	x	x	
	<i>Musculus niger</i>	x	?	x	x	
	<i>Musculus subpictus</i>	x	?	x	x	
	<i>Mytilus</i> spp.	x	?	x	x	
Polychaeta	<i>Spirorbis corallinae</i> & <i>S. spirorbis</i>	(x)				
Crustacea	<i>Balanus balanus</i>		?		x	!
	<i>Balanus crenatus</i>	(x)	?	x	x	!
Bryozoa	<i>Alcyonidium diaphanum</i>	x	?	x	x	
	<i>Callopora lineata</i>	x	?	(x)	(x)	
	<i>Cribilina punctata</i>	x	?			
	<i>Crisia eburnea</i>	x	?			
	<i>Electra pilosa</i>	x	?	x	x	
	<i>Escharella immersa</i>	x	?	x	x	
	<i>Eucratea loricata</i>	x	?	x	x	
	<i>Farrella repens</i>	x	?	(x)	(x)	
	<i>Flustra</i> spp.	x	!	(x)	(x)	
Ascidacea	<i>Ciona intestinalis</i>	x	x	x	x	
	<i>Dendrodoa grossularia</i>	x	x	!	x	(x)
	<i>Molgula manhattensis</i>	x	?	x	x	
(semi)mobile, Hartboden-assoziierte Begleitarten, Endofauna der Grobsubstrate (Auswahl) sowie substrat-unspezifische Epifauna						
Gastropoda	<i>Acanthodoris pilosa</i>	x	?			
	<i>Ancula gibbosa</i>	x	?		(x)	
	<i>Bittium reticulatum</i>	x	?			
	<i>Boreotrophon truncatus</i>		?	x	x	
	<i>Buccinum undatum</i>	x	?	x	x	
	<i>Cadlina laevis</i>		?		x	
	<i>Facelina bostoniensis</i>	x	?	x	x	
	<i>Lacuna</i> spp.	x	?			
	<i>Littorina littorea</i>	x	?			
	<i>Onchidoris muricata</i>	x	?	(x)		
	<i>Onoba semicostata</i>	x	?	x	x	
	<i>Pusillina inconspicua</i>	x			x	
Polyplacophora	<i>Lepidochitona cinerea</i>	x	?	x	x	
Polychata	<i>Nereis pelagica</i>	x	?			
	<i>Flabelligera affinis</i>	x	?			
	<i>Harmothoe imbricata</i>	x	?	x	x	
	<i>Nereimyra punctata</i>	x	?	x	x	
	<i>Streptosyllis websteri</i>	x	?			
Crustacea	<i>Ampithoe rubricata</i>	x	?			

	LRT-typisches Taxon	Rotalgen	Flustra	Mischg.	Hydroz.	Seepo.
	<i>Apherusa bispinosa</i>	x	?			
	<i>Caprella linearis</i>	x	?	x	x	
	<i>Carcinus maenas</i>	x	?			
	<i>Cheirocratus sundevallii</i>	x	?		x	
	<i>Dexamine spinosa</i>	x	?			
	<i>Dyopedos monacanthus</i>	x	?	x	x	
	<i>Gammarellus homari</i>	x	?			
	<i>Idotea</i> spp.	x	?			
	<i>Ischyceros anguipes</i>	x	?	(x)	(x)	
	<i>Megamphopus cornutus</i>	x	?			
	<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	x	?	?	x	
	<i>Monocorophium insidiosum</i>	x	?	(x)	(x)	
	<i>Pariambus typicus</i>	x	?	(x)	(x)	
	<i>Phthisica marina</i>	x		x	x	
	<i>Protomedeia fasciata</i>	x	?	x	x	
Pycnogonida	<i>Callipallene brevirostris</i>	x	?			
	<i>Nymphon brevirostre</i>	x	?	x	x	
Echinodermata	<i>Asterias rubens</i>	x	x	x	x	(x)
	<i>Psammechinus miliaris</i>	x	?	(x)	(x)	