

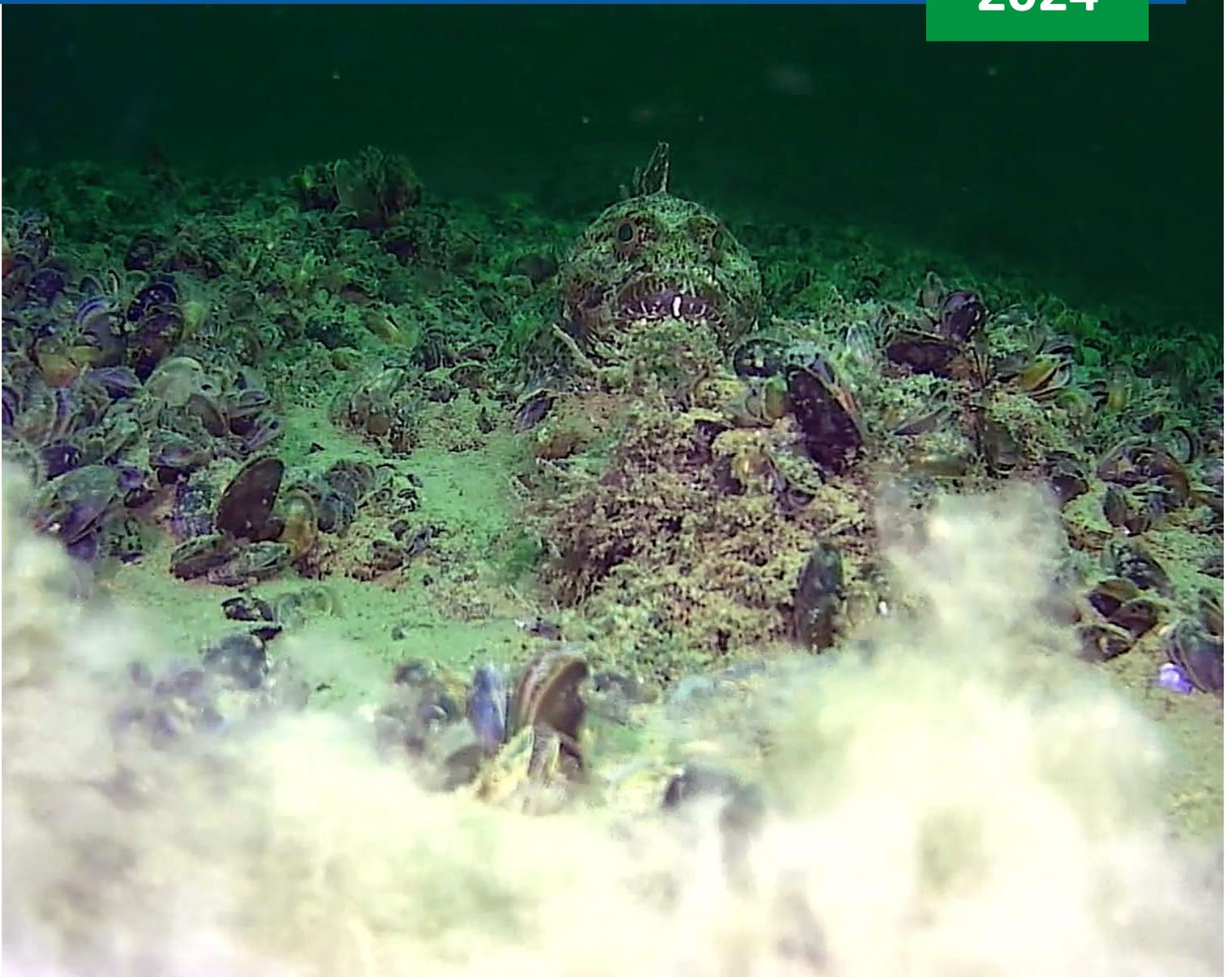
Die Biotope des Meeresbodens im Naturschutzgebiet „Kadetrinne“

Denise Marx, Katharina Romoth,
Svenja Papenmeier, Jennifer Valerius,
Simone Eisenbarth und Kathrin Heinicke

BfN-Schriften

690

2024





Bundesamt für
Naturschutz

Die Biotope des Meeresbodens im Naturschutzgebiet „Kadetrinne“

Version 1.0

Stand: 05.04.2024

Denise Marx

Katharina Romoth

Svenja Papenmeier

Jennifer Valerius

Simone Eisenbarth

Kathrin Heinicke

Impressum

Titelbild: Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) und Seeskorpion (*Myoxocephalus scorpius*) im Naturschutzgebiet „Kadetrinne“ (Foto: Katharina Romoth, IOW)

Adressen der Autorinnen:

Denise Marx
Dr. Katharina Romoth
Dr. Svenja Papenmeier

Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde
Seestraße 15, 18119 Rostock/Warnemünde
E-Mail: denise.marx@io-warnemuende.de
katharina.romoth@io-warnemuende.de
svenja.papenmeier@io-warnemuende.de

Jennifer Valerius

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie
Standort Hamburg
Bernhard-Nocht-Str. 78, 20359 Hamburg
E-Mail: jennifer.valerius@bsh.de

Simone Eisenbarth
Kathrin Heinicke

Bundesamt für Naturschutz
Standort Insel Vilm/Rügen
Fachgebiet II 3.2 „Meeresschutzgebiete der AWZ“
18581 Lauterbach/Rügen
E-Mail: simone.eisenbarth@bfn.de
kathrin.heinicke@bfn.de

Fachbetreuung im BfN:

Kathrin Heinicke
Simone Eisenbarth
Claudia Morys

Fachgebiet II 3.2 „Meeresschutzgebiete der AWZ“

Förderhinweis:

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 (creativecommons.org/licenses).

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

Gedruckt auf 100% Altpapier

ISBN 978-3-89624-452-9

DOI 10.19217/skr690

Bonn 2024

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Zusammenfassung	6
Abstract	9
1 Einleitung	11
2 Geologische Kartierung	17
2.1 Datenerfassung	17
2.1.1 Beschreibung der verwendeten Altdaten	19
2.1.2 Erhebung neuer Daten	19
2.1.3 Ergebnis der Datenerfassung	19
2.2 Sedimentverteilungskarte	21
2.2.1 Dateninterpretation	21
2.2.2 Ergebnisdarstellung.....	22
2.3 Blockverteilungskarte.....	25
2.3.1 Dateninterpretation	25
2.3.2 Ergebnisdarstellung.....	26
3 Biologischer Teil der Kartierung	28
3.1 Endobenthische Gemeinschaften der Weichböden	28
3.1.1 Datenerhebung und taxonomische Bearbeitung.....	28
3.1.2 Allgemeiner Modellierungsansatz	29
3.1.3 Endobenthos-Modellierungsansatz im NSG „Kadetrinne“	36
3.1.4 Ergebnis der Modellierung.....	38
3.2 Epibenthische Gemeinschaften der Hartböden	42
3.2.1 Datenerhebung und Auswertung.....	42
3.2.2 Epibenthos-Modellierungsansatz	44
3.2.3 Ergebnis der Analysen und der Modellierung	45
4 Natürliche Lebensraumtypen nach Anhang I Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie	48
4.1 „Sandbänke“ (EU-Code 1110)	48
4.2 „Riffe“ (EU-Code 1170)	50
5 Weitere geschützte Biotope nach § 30 BNatSchG	57
5.1 Hintergrund	57
5.2 Seegraswiesen und sonstige marine Makrophytenbestände.....	57
6 Biotoptypen auf Grundlage hierarchischer Klassifikationssysteme	59

6.1	Vergleich der Klassifikationssysteme	59
6.2	Ergebnisse	66
6.2.1	Benthische Biotopklassen und andere Lebensraumtypen (EU-KOM 2017/848) nach MSRL	66
6.2.2	HELCOM Underwater Habitat and Biotope Classification System (HUB)	68
6.2.3	Deutsche Standard-Biotoptypenliste	72
7	Eignung verschiedener Kamerasysteme zur Erstellung von Biotopkarten	77
7.1	Hintergrund	77
7.2	SeaViewer–System	80
7.2.1	Einsatz und Aufwand: SeaViewer	80
7.2.2	Ergebnis der Modellanalysen und Kartierung	80
7.3	BfN-Drop-Kamera-System	84
7.3.1	Einsatz und Aufwand: BfN-Drop-Kamera	84
7.3.2	Ergebnis der Modellanalysen und Kartierung	86
7.4	BaSIS (Baltic Sea Imaging System)	90
7.4.1	Einsatz und Aufwand: BaSIS	90
7.4.2	Ergebnis der Modellanalysen und Kartierung	91
7.5	Vergleich der Ergebnisse	96
7.5.1	Vergleich der Biotopkarten	96
7.5.2	Eignung der Kamerasysteme und Einsatzmöglichkeiten	97
8	Fazit und Ausblick	100
	Danksagung	103
	Literaturverzeichnis	104
	Abbildungsverzeichnis	109
	Tabellenverzeichnis	112
	Abkürzungsverzeichnis	113
	Anhang	115

Vorwort

Kenntnisse über die Beschaffenheit und die Lebewelt des Meeresbodens sind nicht nur aus wissenschaftlicher Perspektive spannend und zugleich wichtig für das ökologische Verständnis unserer Meere. Die Biotope am Meeresboden bieten auch Nahrung und Schutz für eine Vielzahl anderer mariner Arten. Gleichzeitig zeigen sich hier die Auswirkungen menschlicher Nutzungen oftmals in besonderem Maße. Deshalb stellen die Kenntnisse über ihr Vorkommen, ihre Beschaffenheit und ihren Zustand eine essentielle Grundlage für die Ausweisung von Schutzgebieten und ein zielgerichtetes Schutzgebietsmanagement dar. Seit der Meldung als Natura 2000-Gebiete an die EU-Kommission im Jahr 2004 und der finalen Ausweisung als Naturschutzgebiete im Jahr 2017 stehen daher die marinen Biotope im Fokus der durch das Bundesamt für Naturschutz geförderten Forschung in der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ).

Im Rahmen von interdisziplinären Vorhaben wurde der Meeresboden in den Schutzgebieten der AWZ flächendeckend in einem Maßstab von 1 : 10 000 kartiert. 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 GmbH & Co. KG (BC) konnten damit im Auftrag des BfN dank neuester Technik eine so genaue Darstellung der Biotope am Meeresboden liefern, wie niemals zuvor. Im Rahmen dieser Arbeiten konnten funktionale Zusammenhänge zwischen abiotischen und biotischen Parametern hergestellt und visualisiert sowie neue Erfassungs- und Auswertestandards entwickelt werden.

Bereits im vergangenen Jahr wurden die dabei erstellten Biotopkarten für das Naturschutzgebiet „Fehmarnbelt“ veröffentlicht (BfN Schrift 636). Dieser Bericht stellte den Auftakt einer Reihe von BfN-Schriften dar, die sich mit der Biotopverteilung in allen sechs Meereschutzgebieten der deutschen AWZ befassen. Mit dem vorliegenden Werk wird nun der zweite Band dieser Reihe veröffentlicht, in dem die Erkenntnisse über die Biotope am Meeresboden des Naturschutzgebietes „Kadetrinne“ präsentiert werden.

Für die Kartierarbeiten und die Visualisierung der Ergebnisse im Kartenformat haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der beteiligten Institutionen ein großes, auch persönliches, Engagement gezeigt. Dafür möchte ich mich ausdrücklich bedanken! Ich freue mich auf die weitere Zusammenarbeit und die nächsten Ergebnisse.

Dr. Britta Knefelkamp

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

Zusammenfassung

Die Ermittlung von Vorkommen und Verbreitung der Biotoptypen des Meeresbodens beruht auf den funktionalen Zusammenhängen von abiotischen und biotischen benthischen Parametern (Marx et al. 2024). Im Rahmen der Biotopkartierung in den Naturschutzgebieten (NSG) der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) wurden dazu zunächst vom Schiff aus (a) flächendeckend hydroakustische Rückstreudaten mittels Seitensichtsonar (SSS) erhoben und daraus georeferenzierte Rastergrafiken (Rückstreumosaik) prozessiert, (b) die makrobenthische Besiedelung (Endobenthos/Infauna) anhand eines Stationsnetzes mittels Van-Veen-Greifer untersucht und (c) das Epibenthos mittels hochauflösender Unterwasserkameras aufgenommen.

Die Ermittlung und Klassifizierung der Gesamtverteilung der Sedimenttypen erfolgte anhand der Anleitung zur Kartierung des Meeresbodens des BSH (2016), die der Blockverteilung anhand des Leitfadens zur großflächigen Abgrenzung und Kartierung des Lebensraumtyps „Riffe“ in der deutschen Ostsee (Heinicke et al. 2021). Die flächenhafte Extrapolation der punktuell bzw. transekt-basiert aufgenommenen benthischen Gemeinschaften erfolgte mittels Modellierung durch ein „Random Forest“-Klassifikationsmodell (Marx et al. 2024). Als Prädiktoren für die Modellierung wurden parallel erhobene, abiotische Messwerte und für die Ostseeküste vorliegende, modellierte hydrodynamische und hydrochemische Parameter sowie die Sedimentklassifikationen verwendet. Die Zuordnung zu den einzelnen Biotoptypen erfolgte funktionsorientiert mit definierten Trennregeln durch Zusammenführung der Ergebnisse der Sediment- und Benthosanalysen.

Im Ergebnis dieser Analysen liegen nun erstmals hochauflösend die Vorkommen und die Verteilung der Biotoptypen des Meeresbodens im NSG „Kadetrinne“ vor. Diese werden entsprechend der jeweiligen nationalen und internationalen harmonisierten Klassifikationen dargestellt als

- Karte der Biotoptypen entsprechend des Klassifikationssystems HELCOM HUB (HELCOM 2013b) (Abb. 27) und als
- Karte der Standard-Biotoptypen Deutschlands (Finck et al. 2017) (Abb. 28).

Auf Basis dieser Ergebnisse können die für die gesetzlichen Vorgaben relevanten Biotoptypen in den

- Karten mit den abgegrenzten, natürlichen Lebensraumtypen gemäß Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL) (Abb. 19 und Abb. 23) und der
- Karte der Meeresstrategierahmenrichtlinien- (MSRL-) relevanten, benthischen Biotopklassen (Broad habitat types, BHT) und anderen Lebensraumtypen gemäß KOM-Beschluss 2017/848 (Other habitat types, OHT) (Abb. 26)

abgeleitet werden. Insgesamt wurden durch die Verschneidung der benthischen Gemeinschaften mit den Sedimentinformationen 22 Typen nach HELCOM HUB (HELCOM 2013b) und 12 Habitat- und Biotoptypen nach der Standard-Biotoptypenliste (Finck et al. 2017) kartiert. Die Standard-Biotoptypenliste unterscheidet anders als HELCOM HUB nicht die

photischen von den aphotischen Bereichen, wodurch sich die Anzahl der kartierten Biototypen zwischen beiden Systemen unterscheidet.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich im NSG „Kadetrinne“ drei Bereiche des Meeresbodens voneinander abgrenzen lassen:

- schllickige Sande bis Feinsande im Süden, mit einer typischen Weichboden-Gemeinschaft wie z.B. „Sublitoraler Schlickgrund der Ostsee mit Brackwassermuschel-Gemeinschaft (*Cerastoderma spp.*, *Mya arenaria*, *Astarte borealis*, *Arctica islandica*, *Macoma balthica*)“,
- Mischsedimente bzw. Restsedimente mit kleineren, eingestreuten Feinsedimentflächen im zentralen Bereich (hier konzentrieren sich auch die Blockvorkommen des Riffotyps „Blockfeld der Ostsee“), mit dominierenden Hartboden-Gemeinschaften, wie z. B. „sublitorales Mischsubstrat der Ostsee mit Hydroidpolypen“ bzw. „sublitorales Mischsubstrat der Ostsee mit mehrjährigen, blattförmigen Rotalgen“
- sowie Feinsediment und Mittelsand im Norden, auf denen ebenfalls die Weichboden-Gemeinschaft „Sublitoraler, ebener Sandboden der Ostsee mit Brackwassermuschel-Gemeinschaft (*Cerastoderma spp.*, *Mya arenaria*, *Astarte borealis*, *Arctica islandica*, *Macoma balthica*)“ charakteristisch ist.

Für das NSG „Kadetrinne“ typisch sind zudem sehr kleinräumige oder in enger räumlicher Verzahnung mit den bereits genannten Gemeinschaften auftretende weitere Gemeinschaften, die sich aber in der Ableitung der Biotopkarten nicht flächenscharf abgrenzen lassen.

Das Wissen über die Vorkommen geschützter Biotope und Lebensraumtypen konnte nun dank der vorliegenden Kartierergebnisse erweitert und ihre räumliche Verteilung präzisiert werden. Dabei wurde zum einen eine als Riesenrippelfeld ausgeprägte „Sandbank mit schwacher, ständiger Überspülung durch Meerwasser“ (EU-Code 1110) im NSG nachgewiesen. Diese erstreckt sich auf einer Fläche von insgesamt 2 km². Die Sandbank wurde bereits 2003 identifiziert, jedoch erfolgte wegen fehlender Kenntnisse zur Lagestabilität bisher keine Meldung als FFH-Lebensraumtyp (LRT) an die EU-Kommission. Da die neuen Kartierergebnisse diese Wissenslücke nun schließen, kann die Meldung im Rahmen der nächsten FFH-Bewertung nachgeholt werden. Auch hinsichtlich des LRT „Riffe“ (EU-Code 1170) gibt es neue Erkenntnisse. Im zentralen Bereich des Schutzgebiets konnte dieser LRT auf einer größeren Fläche festgestellt werden, als bisher auf Basis gröberer Kartierungen angenommen. Die Verdachtsflächen im Norden haben sich allerdings nicht bestätigt. Trotzdem hat sich durch die flächendeckenden Erhebungen die aktuelle Fläche gegenüber der 2004 bekannten und gemeldeten Fläche von 23,4 km² auf 40,7 km² fast verdoppelt. Der nach § 30 BNatSchG geschützte Biototyp „Seegrasswiesen und sonstige marine Makrophytenbestände“ kommt im NSG vor allem innerhalb des Biotopkomplexes des FFH-Lebensraumtyps „Riffe“ vor und nimmt darin eine Fläche von zusammengekommen 7,6 km² ein. Ein Vorkommen des §30-Biototyps „Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe“ konnte hingegen nicht nachgewiesen werden.

Insgesamt nehmen die beiden FFH-Lebensraumtypen „Sandbänke“ und „Riffe“ zusammen eine Fläche von 42,8 km² ein und bedecken damit 43 % des Schutzgebietes. Außerhalb der

LRT-Kulisse dominiert im Schutzgebiet der Biotoptyp „Sublitoraler Schlickgrund der Ostsee mit Brackwassermuschel-Gemeinschaft“ auf insgesamt rund 30 km².

Die nun für das NSG „Kadetrinne“ erstmals flächendeckend hochaufgelöst vorliegenden Biotopkarten bilden die räumlichen Grundlagen für die Zustandsbewertungen der Arten und Lebensräume sowie für die Umsetzung der Schutz- und Managementmaßnahmen im Gebiet.

Abstract

The determination of the occurrence and distribution of biotope types on the seafloor is based on the analysis of functional relationships of abiotic and biotic benthic parameters (Marx et al. 2024). As part of the biotope mapping in the nature conservation area (NCA) of the German Exclusive Economic Zone (EEZ), (a) hydroacoustic backscatter data were collected from the research vessel over a wide area using side-scan sonar (SSS) and georeferenced raster graphics (backscatter mosaics) were processed from this data, (b) the macrobenthic colonisation (endobenthos/infauna) was investigated on the basis of a station network using a Van Veen grab and (c) the epibenthos was recorded using high-resolution underwater cameras.

The determination and classification of the overall distribution of sediment types was based on the BSH seafloor mapping guide (2016). The boulder distribution was determined and classified using the procedure described in the guide for large-scale delineation and mapping of the habitat type "reefs" in the German Baltic Sea (Heinicke et al. 2021). A spatial extrapolation of the benthic communities found at each station or transect was carried out by using a "Random Forest" classification model (Marx et al. 2024). Parallel abiotic measurements and modeled hydrodynamic and hydro-chemical parameters available for the Baltic Sea coast, as well as the sediment classifications described above, were used as predictors.

As a result of these analyses, the occurrence and distribution of seabed biotope types in the "Kadet Trench" NCA are now available in high resolution. They are presented according to the respective national and international harmonised classifications as:

- map of biotope types according to the HELCOM HUB classification system (HELCOM 2013b) (Fig. 27) and as
- map of the standard biotope types of Germany (Finck et al. 2017) (Fig. 28).

Based on these results, the biotope types relevant to the legal requirements can be derived as:

- map with newly delineated natural habitat types according to the Habitats Directive (HD, 92/43/EEC) (Fig. 19 and Fig. 23) and the
- map of benthic biotope classes (Broad habitat types, BHTs) and other habitat types (Other habitat types, OHTs) relevant to the Marine Strategy Framework Directive (MSFD, 2008/56/EC) according to the Commission Decision (EU) 2017/848 (Fig. 26).

A total of 22 biotope types according to HELCOM HUB (HELCOM 2013b) and 12 biotope types according to the standard biotope type list in Finck et al. 2017 were mapped by intersecting the benthic communities with the sediment information. Unlike HELCOM Hub, the standard biotope type list does not differentiate between photic and aphotic zones. Therefore, there is a different number of mapped biotope types between both classification systems.

The results show that there are three different seabed areas in the "Kadet Trench" NCA:

- silty sands to fine sands in the south with a typical soft-bottom community such as “Baltic aphotic muddy substrate dominated by multiple infaunal bivalve species: *Cerastoderma spp.*, *Mya arenaria*, *Astarte borealis*, *Arctica islandica*, *Macoma balthica*”,
- mixed sediments or residual sediments with smaller, interspersed areas of fine sediment in the central area (the boulder deposits of the "Baltic Sea boulder field" reef type are concentrated here) with dominant hard-bottom communities, such as “Baltic aphotic mixed substrate dominated by hydroids (Hydrozoa)” or “Baltic photic mixed substrate dominated by foliose red algae”,
- and fine sediment and medium sand in the north. Here, the soft-bottom community “Baltic aphotic sand dominated by multiple infaunal bivalve species: *Cerastoderma spp.*, *Mya arenaria*, *Astarte borealis*, *Arctica islandica*, *Macoma balthica*” is also characteristic.

The "Kadet Trench" NCA is also characterised by very small-scale communities or communities that are closely interlinked with the communities mentioned above. However, these communities could not be clearly delineated in the biotope maps.

Thanks to these new mapping results, knowledge of the occurrence of protected biotopes and habitat types could be extended and spatial distributions could be refined. A "sandbank which is slightly covered by sea water all the time" (EU code 1110), characterized as a ripple field, was detected in the nature conservation area. It expands over an area of 2 km² in total. It was already identified in 2003, but has not yet been reported to the EU Commission as an HD habitat type due to a lack of knowledge about its positional stability. This gap can now be closed and the sandbank will be reported in the frame of the next Habitats Directive assessment. There are also new findings with regard to the habitat type "reefs" (EU code 1170). In the central part of the NCA, this habitat type could be detected on a larger area than previously assumed. The suspect areas in the north, however, could not be confirmed. Nevertheless, the area, which has been revealed now, is with 40.7 km² almost twice the size than previously determined and reported to the EU Commission (23.4 km²). The biotope type "seagrass meadows and other marine macrophyte populations", protected according to § 30 of the German Federal Nature Conservation Act (BNatschG), occurs in the NCA mainly within the biotope complex of the habitat type "reefs" and covers an area of in total 7.6 km². There was no evidence of the §30 biotope type "species-rich gravel, coarse-sand and shell layers".

In total, the two habitat types "sandbanks" and "reefs" cover an area of 42.8 km² and thus comprise 43 % of the NCA. Apart from these two habitat types, the biotope type "sublittoral muddy bottoms of the Baltic Sea with multiple infaunal bivalve species" dominates the NCA, covering in total around 30 km².

The high resolution biotope maps of the "Kadet Trench" NCA provide the spatial basis for the status assessments of the benthic species and habitats as well as for the implementation of the protection and management measures in the area.

1 Einleitung

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

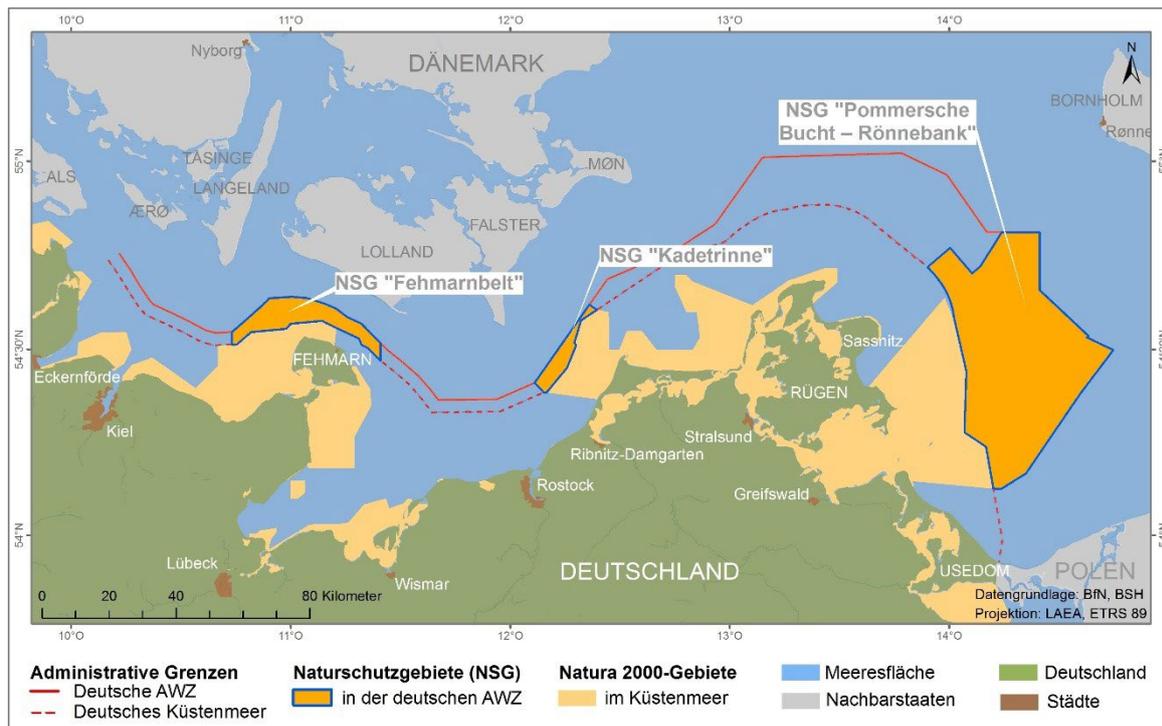


Abb. 1: Übersichtskarte der drei Naturschutzgebiete in der deutschen AWZ der Ostsee.

Das ca. 100 km² große NSG „Kadetrinne“ (NSGkdrV²) liegt in der deutschen AWZ zwischen der Halbinsel Fischland-Darß-Zingst und der dänischen Insel Falster (Abb. 1).

Das Seegebiet um das NSG herum ist geprägt durch die Darßer Schwelle, die sich mit durchschnittlich 17 m Wassertiefe morphologisch von der Umgebung abhebt. Sie verläuft von Nordwest nach Südost und stellt eine unterseeische Barriere zwischen der Mecklenburger Bucht und dem Arkona Becken dar. Die Darßer Schwelle besteht hauptsächlich aus aufragendem Geschiebemergel mit einer dünnen Restsedimentschicht (Lemke et al. 1994). Mit

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 Naturschutzgebietes „Kadetrinne“ (NSGkdrV) vom 22.09.2017 (BGBl. I S. 3410)

Anhebung des Baltischen Eissees (vor ca. 11.500 Jahren)³ wurden sandige Sedimente von Osten her akkumuliert und die Schwelle aus Schmelzwassersanden aufgebaut (Lemke et al. 1994). Während der Litorina-Transgression (vor ca. 8000 Jahren)⁴ wurden Fein- bis Mittelsande aus dem Untergrund aufgearbeitet und heutzutage von Strömungen großräumig geformt (Schwarzer & Diesing 2006; Lemke et al. 1994). Innerhalb des NSG ist diese Barriere von der Südwest nach Nordost verlaufenden Kadetrinne unterbrochen und trägt damit maßgeblich zum Wasseraustausch zwischen westlicher und zentraler Ostsee bei (Abb. 2). Auch wenn die Darßer Schwelle allgemein als die östlichste Verbreitungsgrenze vieler mariner Arten in der Ostsee gilt, ermöglicht das Rinnensystem durch den Transport salz- und sauerstoffreichen Wassers und die Brackwassersubmergenz eine Verschiebung der Verbreitungsgrenzen einiger benthischer Arten gen Osten in die Tiefenwasser des Arkonabeckens (Zettler & Röhner 2004). Die Wassertiefen im NSG bewegen sich zwischen 15 und 31 m.

Die Kadetrinne gilt durch ihren Artenreichtum, das Vorkommen des FFH-Lebensraumtyps „Riffe“ und durch ihre Funktion als Migrationsgebiet für Schweinswale als besonders schützenswert (BfN 2020). Somit hat das NSG auch den Status eines „Besonderen Erhaltungsgebietes“ nach Art. 3 Abs. 2 S. 2 und Art. 4 Abs. 4 FFH-RL⁵ inne. Es ist zudem als HELCOM-Meeresschutzgebiet (HELCOM-MPA) an die Helsinki-Kommission gemeldet worden und anerkannt.

³ das Schmelzwasserstadium der Ostsee nach Abschmelzen der Gletscher aus der letzten Eiszeit

⁴ der letzten Ausdehnungs-Phase nach einer Reihe von Heb- und Senkvorgängen der Ostsee während des Spätpleistozäns und Holozäns

⁵ Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL, Richtlinie 92/43/EWG)

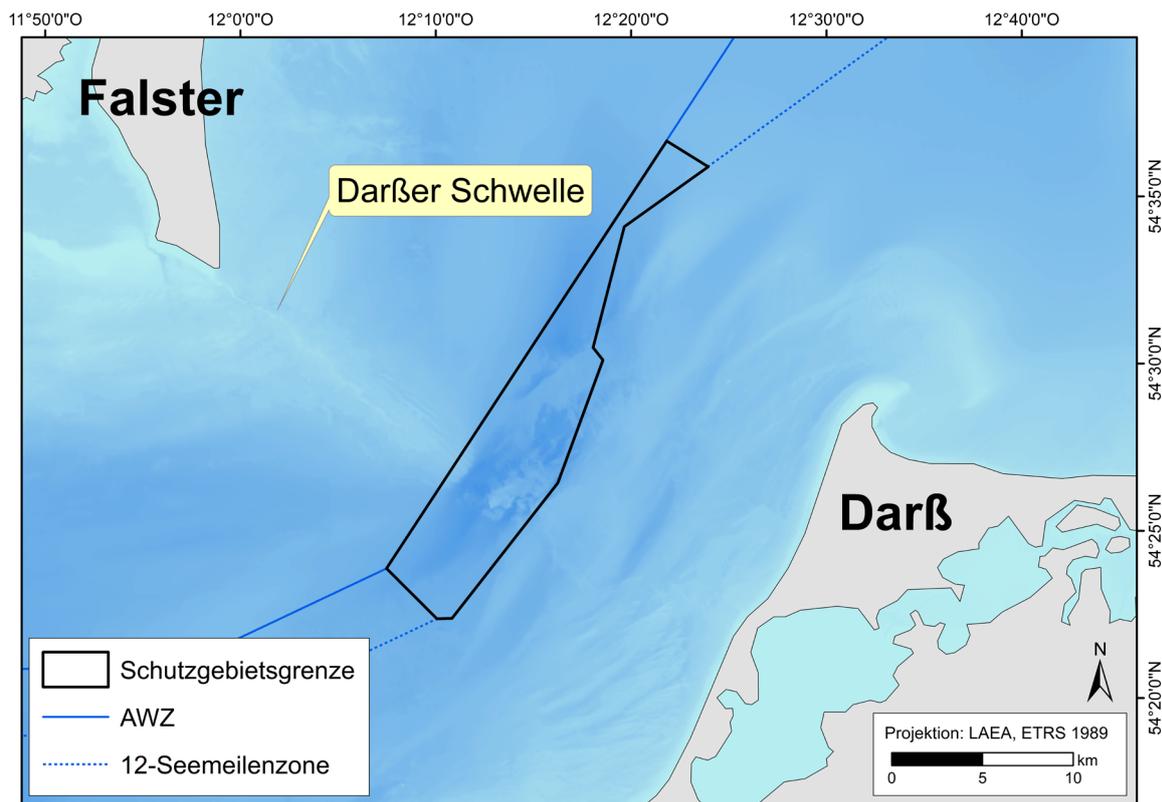


Abb. 2: Anhand der Bathymetrie ist erkennbar, wie das Rinnensystem des NSG „Kadetrinne“ die Darßer Schwellen durchbricht.

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 der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL, (2008/56/EU), erfordern unter anderem eine hinreichend gute Kenntnis zu Vorkommen und Verbreitung der benthischen Lebensräume und Gemeinschaften (Buhl-Mortensen et al. 2015; Ware & Downie 2020). Biotop 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 auf Roten Listen (z. B. Finck et al. 2017; HELCOM 2013a) als Indikatoren für den ökologischen Zustand der Meere. Der Begriff Biotop subsummiert in diesem Bericht alle natürlichen Lebensraumtypen gemäß FFH-RL, Anhang I inklusive ihrer charakteristischen Gemeinschaften, gesetzlich geschützte Biotop gemäß § 30 BNatSchG sowie alle hierarchischen Ebenen von klassifizierten Biotoptypen und Biotopkomplexen des Meeresbodens.

Bislang war im NSG „Kadetrinne“ zwar grundsätzlich bekannt, welche geogenen Substrate (Schwarzer & Diesing 2006) und welche Taxa bzw. Gemeinschaften des Benthos vorkommen und welchen Biotopen diese in etwa zugeordnet werden konnten (z. B. Gosselck et al

1998; Zettler et al. 2006, IOW 2009), die räumliche Verteilung der verschiedenen Biotope war es jedoch nicht. Schiele et al (2015) publizierten zum ersten Mal 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 Jahr 2004 in verschiedenen Projekten die Kartierung der Biotope des Meeresbodens mit Schwerpunkt in den Schutzgebieten der deutschen AWZ (z. B. Schwarzer & Diesing 2006, Zettler et al. 2006). Ein umfassendes und zielgerichtetes Kartierungsprogramm wurde im Jahr 2012 begonnen. Neben der eigentlichen Kartierungsarbeit 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 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 bis zu seiner letzten Überarbeitung im Jahr 2022 weder mit ihren abiotischen noch mit ihren biotischen Elementen auf die besonderen Gegebenheiten der Ostsee anwendbar waren. 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 2013b). Darauf aufbauend erfolgte eine Anpassung dieser Biotopklassifizierung an die nationalen Besonderheiten sowie eine Überarbeitung der Standard-Biotoptypenliste Deutschlands (Fürhaupter et al. 2015; Finck et al. 2017). Internationale Kritik an der EUNIS-Klassifikation der marinen Habitats (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) und im Jahr 2021 abermals aktualisiert. Die EUNIS Biotope gehen hier lediglich bis auf Level 2 (Substratebene) als benthische Biotopklassen (BHT) nach der MSRL ein.

Nachdem durch die Kartieranleitungen und Leitfäden sowie die Aktualisierung relevanter Klassifikationssysteme (HELCOM 2013b; BSH 2016; Finck et al. 2017; BfN 2018; Heinicke et al. 2021) die notwendigen Voraussetzungen geschaffen worden waren, konnten nun fortgeschrittenere Ansätze für die Erstellung neuer Biotopkarten im Bereich der deutschen AWZ der Ostsee erarbeitet werden. Erstmals wurden diese im NSG „Fehmarnbelt“ angewandt und umgesetzt (Darr et al. 2022). Für das NSG „Kadetrinne“ liegen nun ebenfalls flächendeckend detaillierte, großmaßstäbige Biotopkarten vor. 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 Fächer-echoloten (Kap. 2). 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 „Riffe“ (FFH-LRT 1170, Kap. 4.2), sowie als ergänzende Information für die Ausweisung von „Sandbänken“ (FFH-LRT 1110, Kap. 4.1) und von „Seegraswiesen und sonstigen marinen Makrophytenbeständen“ (Kap. 5.2) 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 von vorherigen Kartierungsprojekten entwickelt (Beisiegel et al. 2017).

Der vorliegende Bericht dient zum einen der Erläuterung des methodischen Vorgehens bei der Kartierung, der Darlegung der verwendeten Daten und der Beschreibung der gebiets-spezifischen Anpassungen und Konkretisierungen von allgemeinen Regelwerken zur Ableitung der zu kartierenden Biotoptypen (siehe Box). Zum anderen enthält er für das NSG „Kadetrinne“ erstmals die Ergebnisse einer hochaufgelösten Biotopkartierung nach den Biotopklassifizierungssystemen HELCOM HUB (HELCOM 2013b) und der Standard-Biotoptypenliste sowie aktualisierte Angaben zur Verbreitung der benthischen Biotopklassen und anderen Lebensraumtypen nach KOM-Beschluss 2017/848 und der Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-Richtlinie.

Biotoptypen (aus Darr et al. 2022)

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 Abb. 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).

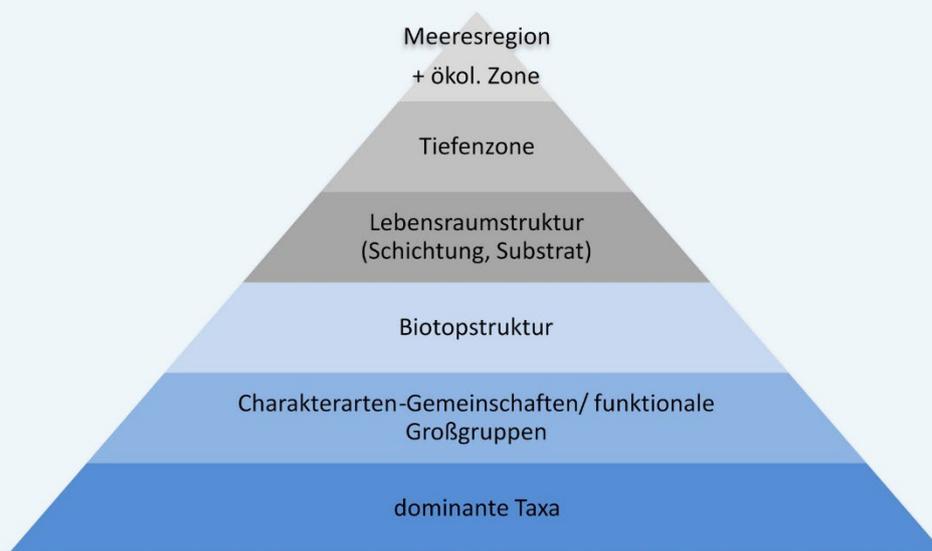


Abb. 3: Hierarchische Struktur des Klassifikationssystems, auf der die deutsche Standard-Biotoptypenliste basiert.

2 Geologische Kartierung

2.1 Datenerfassung

Bei der benthischen Biotoptypenkartierung werden Informationen über die Sediment- und Blockverteilung am Meeresboden herangezogen. Hydroakustische Vermessungen zusammen mit Ground Truth Verfahren (Beprobungen der Meeresbodenoberfläche mittels Greifer und Unterwasser-Videoaufzeichnungen) erlauben eine flächendeckende Interpretation der sedimentologischen Verhältnisse des Meeresbodens deutlich detailreicher als existierende Kartenwerke (wie z.B. Tauber 2012). Für das NSG „Kadetrinne“ wurden unterschiedliche Datenquellen herangezogen. Bereits im Zeitraum 2003-2006 begann, als bilaterales Forschungsvorhaben zwischen dem BfN und der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU; Schwarzer & Diesing 2006), die Kartierung des zentralen Bereichs des NSG „Kadetrinne“ mittels Seitensichtsonar. Noch ausstehende Flächen innerhalb des NSG wurden seit 2012 im Rahmen des vom BfN geförderten AWZ-Projekts 6 „Flächendeckende Sedimentkartierung in der ausschließlichen Wirtschaftszone von Nord- und Ostsee (Sediment)“ sukzessive ergänzt. An der Datenerfassung, Prozessierung und an der Dateninterpretation waren unter der Koordination des BSH die CAU sowie das Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) involviert.

Um vergleichbare Daten Grundlagen und –interpretation gewährleisten zu können, richteten sich für die Sedimentverteilungskarte alle Schritte, von der Erhebung bis zum fertigen Kartenprodukt, nach der Kartieranleitung des BSH (2016). Nicht enthalten in dem Standardwerk ist das Prozedere für die Erstellung von Blockverteilungskarten, dass sich zum Zeitpunkt der Veröffentlichung noch in der Abstimmung befand. Ein inzwischen etabliertes Verfahren ist von Heinicke et al. (2021) publiziert und kam hier zur Anwendung.

Einordnung ausgewählter Lebensraumstrukturen (aus Darr et al. 2022)

In Anlehnung an das Lexikon der Biologie⁶ bezeichnet **Substrat** (nachfolgend z. T. synonym Sedimenttyp) ein Material oder Medium, auf oder in dem Lebewesen leben und sich entwickeln. 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).

⁶ <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/substrat/64580>

Der Begriff „**Restsediment**“ ist hinsichtlich der Korngrößenzusammensetzung kein fest definierter Begriff in den Geowissenschaften, sondern ein prozessorientierter Ausdruck. Insofern sind Restsedimente auch nicht in ein von Korngrößen orientiertes Klassifikationschema 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. 1999). Restsedimente sind von grundlegender Bedeutung für die Kartierung des FFH-Lebensraumtyps „Riff“ (EU-Code 1170).

Steine und Blöcke am Meeresboden sind natürliche Gerölle unterschiedlicher Größe, die dort z. B. durch Gletscher auf natürliche Weise abgelagert wurden. Durch Abrasionsprozesse am Meeresboden werden Steine und Blöcke 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 „Kadetrinne“ nicht einzeln erfasst, aber wichtige Elemente bei der Kartierung im Zuge von Zulassungsverfahren).

2.1.1 Beschreibung der verwendeten Altdaten

Die Sedimentverteilungskarte wurde ausschließlich auf Basis von hydroakustischen Altdaten erstellt (vgl. Kapitel 2.2.1, Abb. 6). Im südlichen Teil wurden Rückstreudaten herangezogen, die im Rahmen der Seevermessung und Wracksuche des BSH standardmäßig mit einem am Schiffsrumpf installierten Seitensichtsonar (Edgetech 4300 MPX, 410 kHz) aufgenommen wurden. Die Datenprozessierung erfolgte durch das IOW. Für den zentralen Bereich des NSG „Kadetrinne“ wurde auf prozessierte Altdaten der CAU zurückgegriffen. Die Daten wurden mit geschleppten Seitensichtsonaren (Klein Assoc. Inc., USA, Modell 595, 100 & 500 kHz sowie EG&G, Modell 272TD, 384 kHz) im Zeitraum zwischen 2003 und 2005 erhoben, wobei nur die höhere Frequenz zur Kartierung der Oberflächensedimentverteilung herangezogen wurde (Schwarzer & Diesing 2006, 2008).

Die Daten der CAU lieferten eine Auflösung von 25 cm und waren somit auch geeignet für die Auswertung der Blockverteilung. Die Daten der Seevermessung, im Süden des NSG, haben eine Auflösung von 1 m. Da ursprünglich im nördlichen Bereich der BSH-Seevermessung Steine erwartet wurden, war es notwendig, neue Daten mit einer höheren Auflösung zu generieren (siehe Kapitel 2.1.2).

Für das Ground Truth wurden bestehende Korngrößenverteilungen herangezogen. Dafür wurde neben den 2003 – 2005 durch die CAU und 2013 durch das IOW erhobene Daten eine Sammlung von Altdaten verschiedener Herkunft aus den Jahren 1938 – 1986 verwendet, die auch für die Sedimentverteilungskarte von Tauber (2012) genutzt wurden (vgl. Kapitel 2.2.1, Abb. 6).

2.1.2 Erhebung neuer Daten

Der nördliche Teil des NSG wurde 2013 durch das IOW erfasst (Ausfahrt EMB51). Die Datenaufnahme erfolgte mit einem geschleppten Edgetech DF1000 (100 & 400 kHz). Zudem wurden in der Fläche, die durch Daten der BSH Seevermessung abgedeckt waren, teilweise erneut hydroakustisch erfasst, da die Mosaikauflösung der Altdaten nicht für die Auswertung der Blockverteilung ausreichte. Hier erfolgte die Datenerhebung im Juni/Juli 2020 ebenfalls durch das IOW mit einem geschleppten Seitensichtsonar (Klein 4000, 100 & 400 kHz) von dem Mehrzweckschiff „Arne Tiselius“ aus. Zusätzlich wurden Sedimentproben und Unterwasservideos zwecks Ground Truth erhoben. Im südlichen Bereich der BSH-Seevermessung sind auf Grund der geologischen Gegebenheiten keine Blöcke zu erwarten, so dass hier auf die Erhebung neuer Daten zur Erreichung einer höheren Mosaikauflösung verzichtet wurde.

2.1.3 Ergebnis der Datenerfassung

Abb. 4 zeigt eine Zusammenstellung der generierten Rückstreumosaike, die als Grundlage für die Erstellung einer flächendeckenden Sediment-, bzw. Blockverteilungskarte dienen. Insgesamt liegen 4 separate Mosaiken vor. Die Rückstreuskalen unterscheiden sich leicht, durch die Nutzung unterschiedlicher Messgeräte, Prozessierungsprogramme, etc.

In Abb. 5 ist die verfügbare Datenauflösung dargestellt. Wie zuvor beschrieben, wurde im Süden des NSG von einer hoch aufgelösten Neuerfassung abgesehen, da hier der geologische Hintergrund für ein natürliches Stein- und Blockvorkommen nicht gegeben ist. Die Rückstreumosaiken weisen im Norden und Süden des NSG geringe Rückstreuwerte auf. Der zentrale Bereich ist geprägt von Flächen hoher Rückstreuung die partiell von geringen Rückstreubereichen unterbrochen werden.

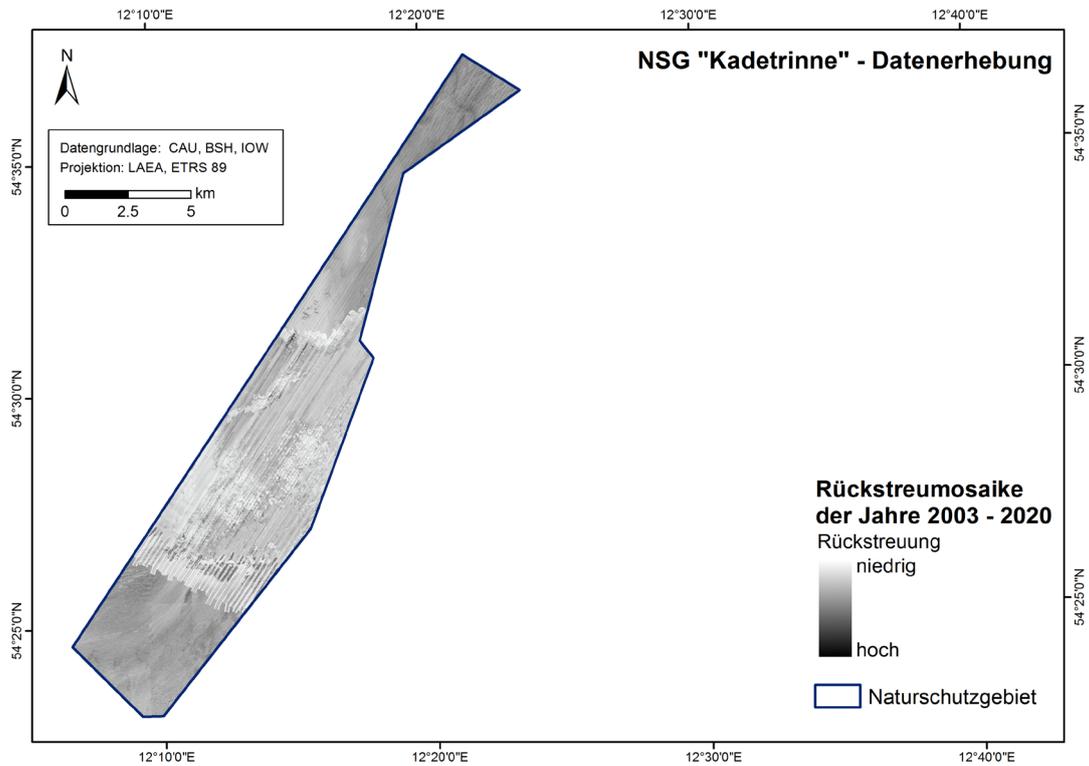


Abb. 4: Zusammenstellung aller Rückstreumosaik aus den verschiedenen Datenquellen (vgl. Kapitel 2.3.1, Abb. 11). Der Grauwertbereich der Rückstreumosaik variiert zwischen den unterschiedlichen Messkampagnen aufgrund des Einsatzes unterschiedlicher Messgeräte und unterschiedlicher Messbedingungen.

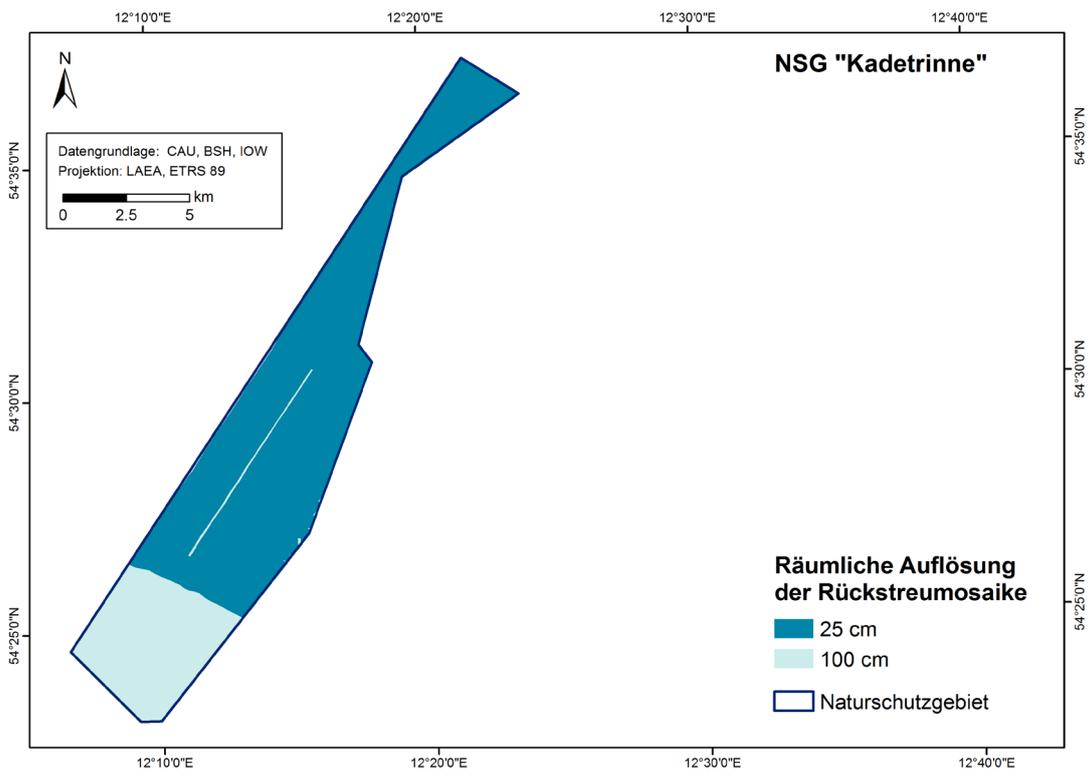


Abb. 5: Darstellung der Bereiche, in denen Daten mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung der zur geologischen Kartierung herangezogenen Rückstreumosaik vorliegen (vgl. Abb. 4).

2.2 Sedimentverteilungskarte

2.2.1 Dateninterpretation

Die Abgrenzung und Klassifikation der einzelnen Sedimenttypen in den Rückstreumosaiken folgte im Wesentlichen den Kriterien der Kartieranleitung des BSH (2016). Unterstützt wurde die Auswertung mit aus der Literatur bekannten regional-geologischen Informationen (Tauber & Lemke 1995, Lemke et al. 1994, Lemke & Kuijpers 1995). Seit der Veröffentlichung der Kartieranleitung hat es kleinere Änderungen im Klassifikationsschema gegeben. Die Sedimente werden nunmehr auf drei Ebenen klassifiziert (A bis C). Ebene A entspricht einer vereinfachten Klassifizierung nach FOLK (1954) zuzüglich der Klasse „Restsedimente mit Steinen und Blöcken“. Ebene B folgt der Einteilung nach FOLK (1954). Sande werden auf Ebene C nach Figge (1981) weiter differenziert. Ebene D, die eine wissenschaftliche Interpretation hinsichtlich Genese und Fazies bot, existiert nicht mehr.

Sogenannte „Spezialfälle“ werden definiert, wenn die Sedimente anhand der Datenbasis nicht eindeutig differenziert werden können. Dies kann der Fall sein, wenn z.B. graduelle Sedimentübergänge existieren oder Sedimente auf extrem kleinen Raumskalen wechseln (vgl. Tab. 1, Kap. 2.2.1 in Darr et al. 2022). Durch diese Vorgehensweise ist eine Vielzahl unterschiedlicher Kombinationen von Sedimenttypen möglich.

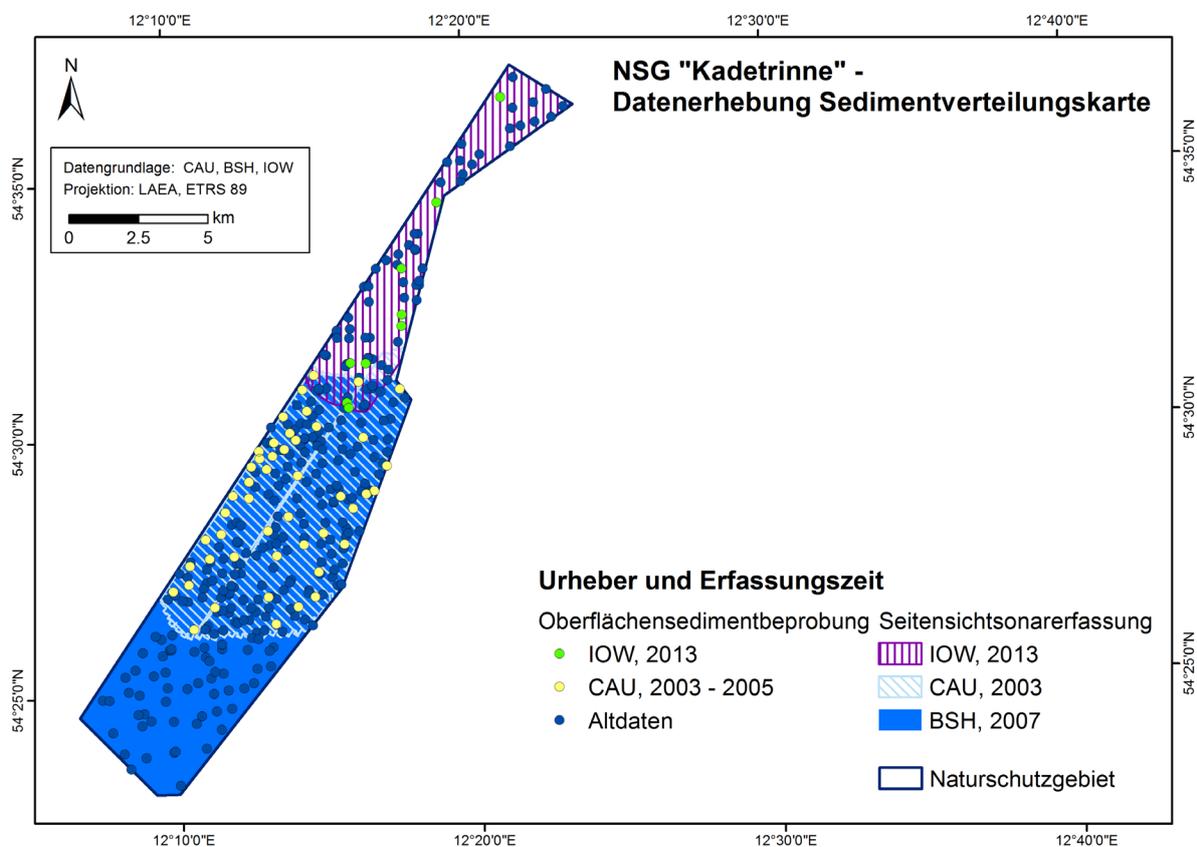


Abb. 6: Übersicht über die Datengrundlage für die Erstellung der Sedimentverteilungskarte (SVK) des NSG „Kadetrinne“.

2.2.2 Ergebnisdarstellung

Für das etwa 100 km² große NSG „Kadetrinne“ wurden die Sedimente auf den Ebenen A bis C klassifiziert (Richter et al. 2021). Sie sind in Abb. 7 bis Abb. 9 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 = 15, Ebene B = 20, Ebene C = 10. Für eine vereinfachte Übersicht wurden auf der Ebene A die Klassen entsprechend ihrem zuerst genannten Sedimenttyp (Hauptkomponente) zusammengefasst (Abb. 10). Da 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. Weitere Beschreibungen zum methodischen Vorgehen sind in Darr et al. (2022) zu finden.

Nach der hydroakustischen Kartierung kann das NSG „Kadetrinne“ in drei sedimentologische Bereiche eingeteilt werden. Der Süden (33 km²) ist dominiert durch tonige/schluffige Sande, die im Osten in Feinsande übergehen. Im zentralen Bereich weist die SVK überwiegend Mischsedimente bzw. Restsedimente aus (35 km²) die von kleineren Feinsediment- und Sandflächen (12 km²) unterbrochen werden. Die Differenzierung von Mischsedimenten und Restsedimenten ist nicht immer eindeutig möglich. Daher wurde weitestgehend die Klasse Mischsediment-Restsediment angegeben. Der Norden (20 km²) ist wiederum von Feinsediment und Sand dominiert. Richtung Norden nimmt der Sandanteil zu und geht von Feinsand zu Mittelsand über.

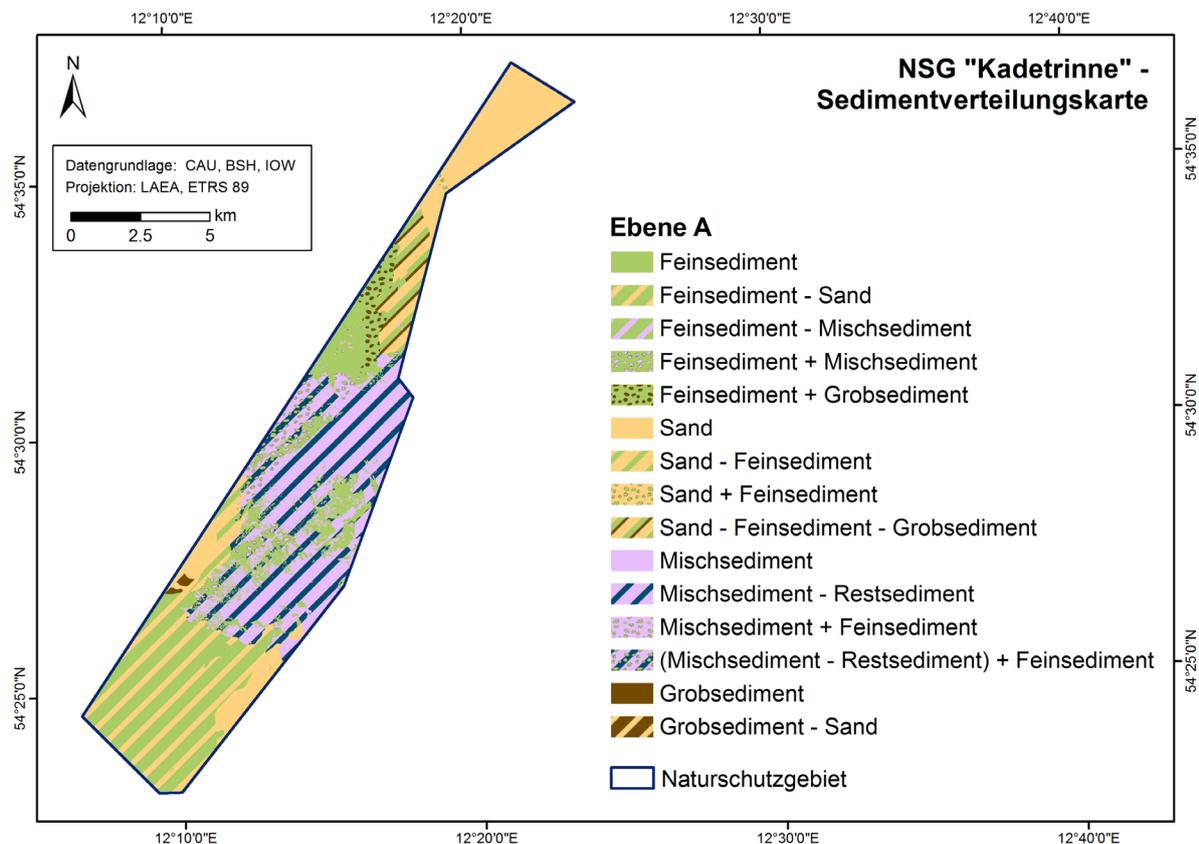


Abb. 7: Sedimentverteilungskarte des NSG „Kadetrinne“ (Richter et al. 2021). Dargestellt wird Ebene A (vgl. BSH 2016): modifizierte Klassifikation nach Folk (1954) zuzüglich Ausweisung des Sedimenttyps „Restsedimente mit Steinen und Blöcken“ (in der Abbildung verkürzt als „Restsediment“ beschrieben).

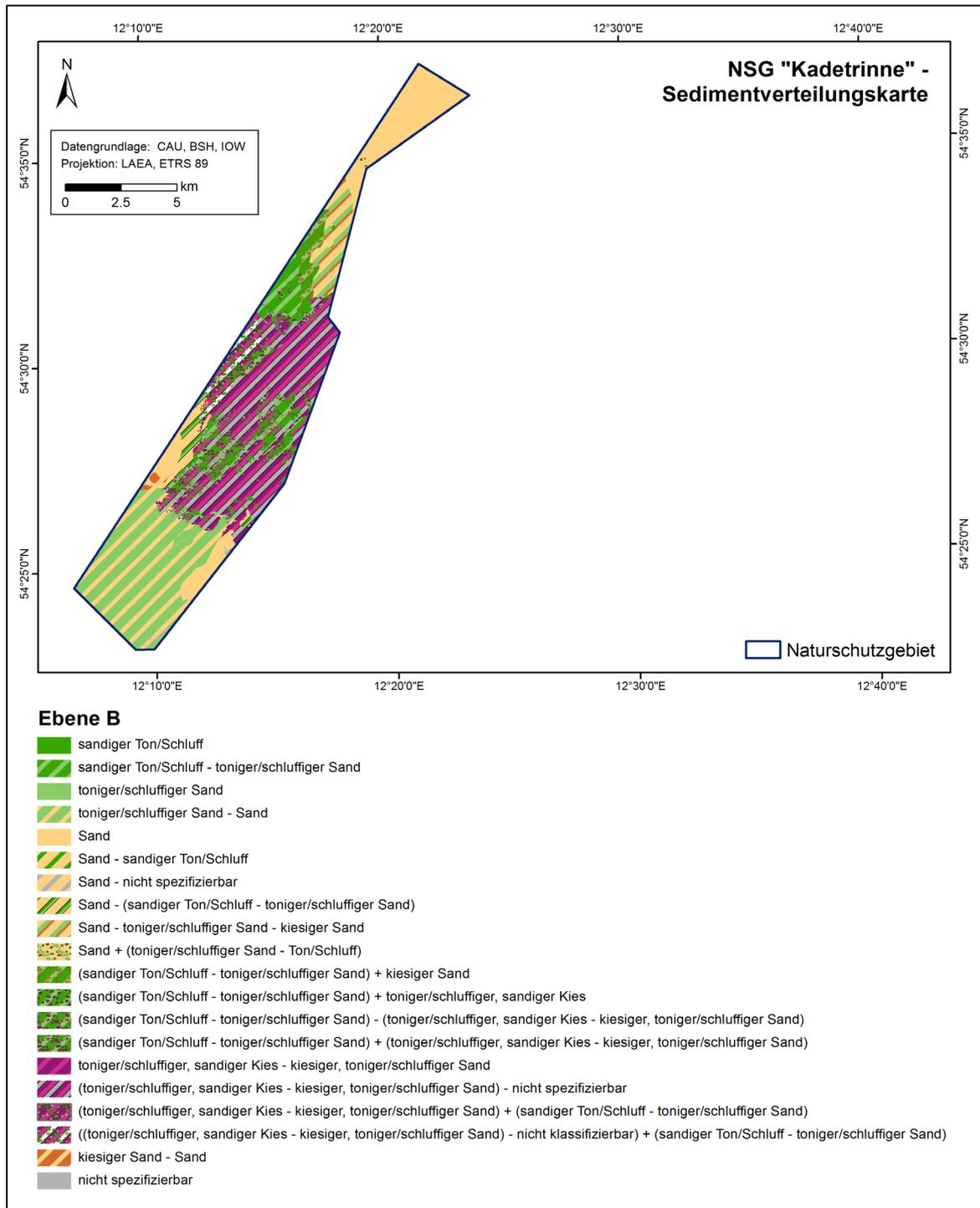


Abb. 8: Sedimentverteilungskarte des NSG „Kadetrinne“ (Richter et al. 2021). Dargestellt wird Ebene B (vgl. BSH 2016): Klassifikation nach Folk (1954).

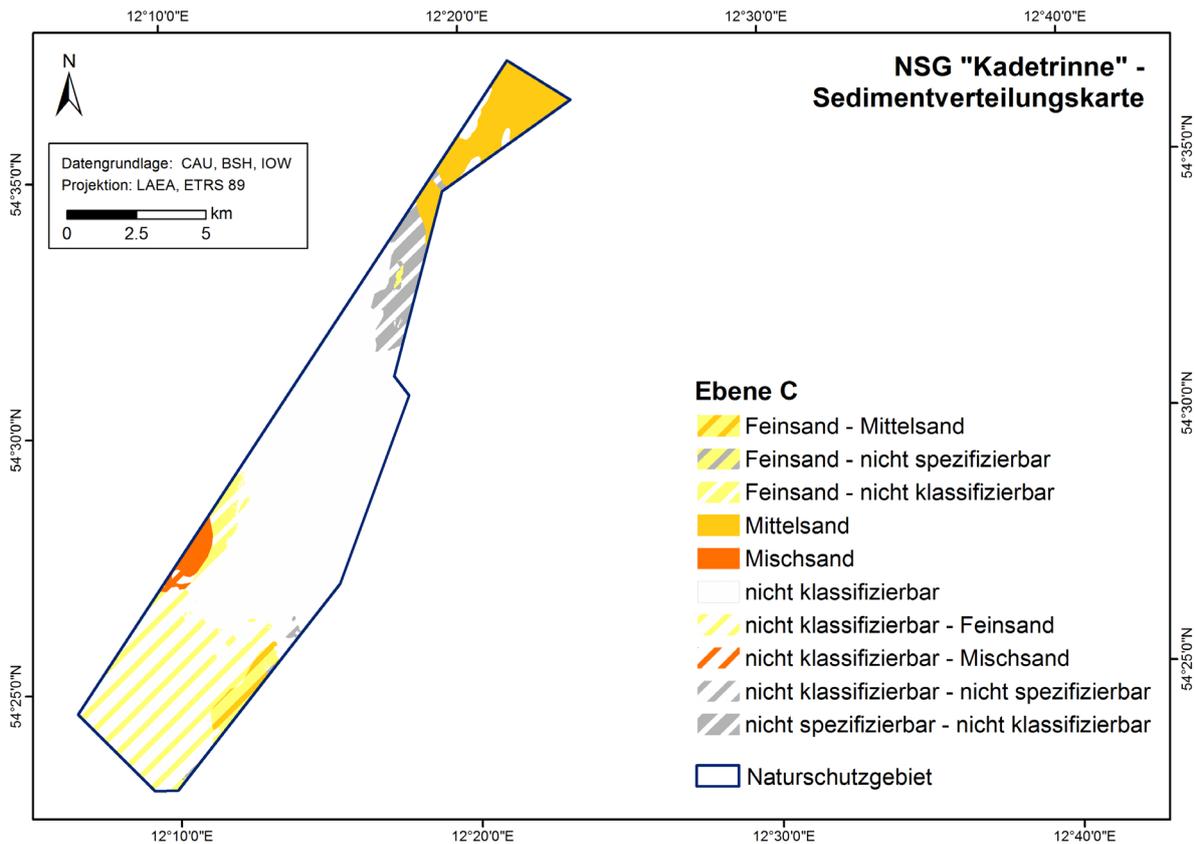


Abb. 9: Sedimentverteilungskarte des NSG „Kadetrinne“ (Richter et al. 2021). Dargestellt wird Ebene C (vgl. BSH 2016): Sandklasse nach Figge (1981).

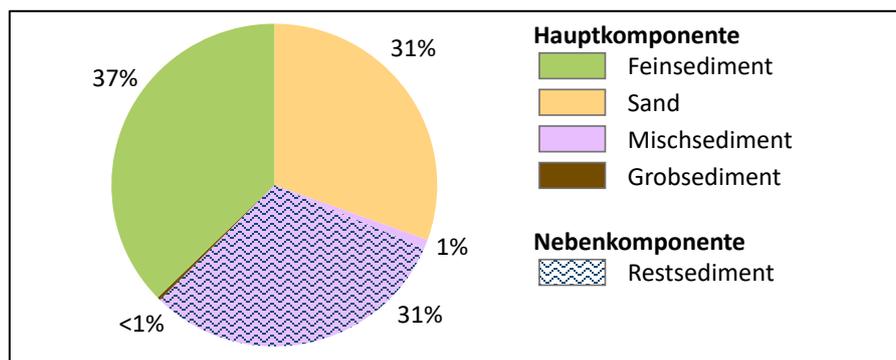


Abb. 10: Vereinfachte Darstellung der prozentualen Flächenanteile der Klassen auf Ebene A⁷

Für die Modellierung der Biotopklassen (vgl. Kapitel 3) wurde die Sedimentinformation aus allen drei Ebenen kombiniert (SVK Attribut „Summary“). Hierbei wird jeweils der höchst verfügbare Detaillierungsgrad der Sedimentklassen berücksichtigt, z.B.:

⁷ 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. Bei dem Legendeneintrag „Restsediment“ handelt es sich um die Klasse „Restsediment mit Steinen und Blöcken“.

- Ebene A:** Feinsediment + (**Grobsediment** – Sand)
Ebene B: **toniger/schluffiger Sand** + (nicht spezifizierbar – Sand)
Ebene C: nicht klassifizierbar + (nicht klassifizierbar – **Grobsand**)
Summary: **toniger/schluffiger Sand + (Grobsediment – Grobsand)**

„Nicht spezifizierbar“ bedeutet, dass die vorhandenen sedimentologischen Informationen nicht ausreichen, um den Sedimenttyp auf der Klassifizierungsebene zu bestimmen. Ist eine Klassifikation des Sedimenttyps in einer Ebene nicht vorgesehen, wird er als „nicht klassifizierbar“ angezeigt (bspw. wird in Ebene C nur Sand klassifiziert).

2.3 Blockverteilungskarte

2.3.1 Dateninterpretation

Für die Abgrenzung des Biotoptyps „Riff“ ist die Erfassung von Steinen und Blöcken essentiell. Der Sedimenttyp „Restsedimente mit Steinen und Blöcken“ der Kartenebene A gibt indirekt Aufschluss über das Vorkommen von Hartsubstraten. Eine detailliertere Kartierung von räumlicher Verteilung und Geometrie ist möglich mit hydroakustischen Messverfahren. Papenmeier et al. (2020) und von Rönn et al. (2019) geben einen Überblick über die Herausforderungen der Detektion von Hartsubstraten mit hydroakustischen Methoden. Um Objekte von einer ungefähren Größe von 50 cm mit hinreichender Sicherheit erkennen zu können, müssen die Rückstreumosaik eine räumliche Datenauflösung von mindestens 25 cm haben.

Für die Biotoptypenkartierung hat es sich bewährt, dass Hartsubstrate nicht als Einzelobjekte ausgewiesen werden, sondern dass 50 x 50 m Gitterzellen entsprechend der Steindichte kategorisiert werden. Dieses Vorgehen wurde in Forschungs Kooperationen mit dem BSH sowie den geowissenschaftlichen Instituten im Rahmen des durch das BfN co-finanzierten AWZ-Projektes 6 „Sediment“ entwickelt. Details sind in Heinicke et al. 2021 beschrieben und werden zukünftig auch in eine Fortschreibung der Kartieranleitung des BSH (2016) einfließen.

Für die Erstellung einer Blockverteilungskarte wird das 100 x 100 m Gitter der European Environment Agency (EEA Grid 7) in ein 50 x 50 m Rastergrid unterteilt und über die 25 cm Rückstreumosaik gelegt. 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) überprüfbar 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. Abb. 11 zeigt die Datengrundlage der Blockverteilungskarte (BVK) im NSG „Kadetrinne“.

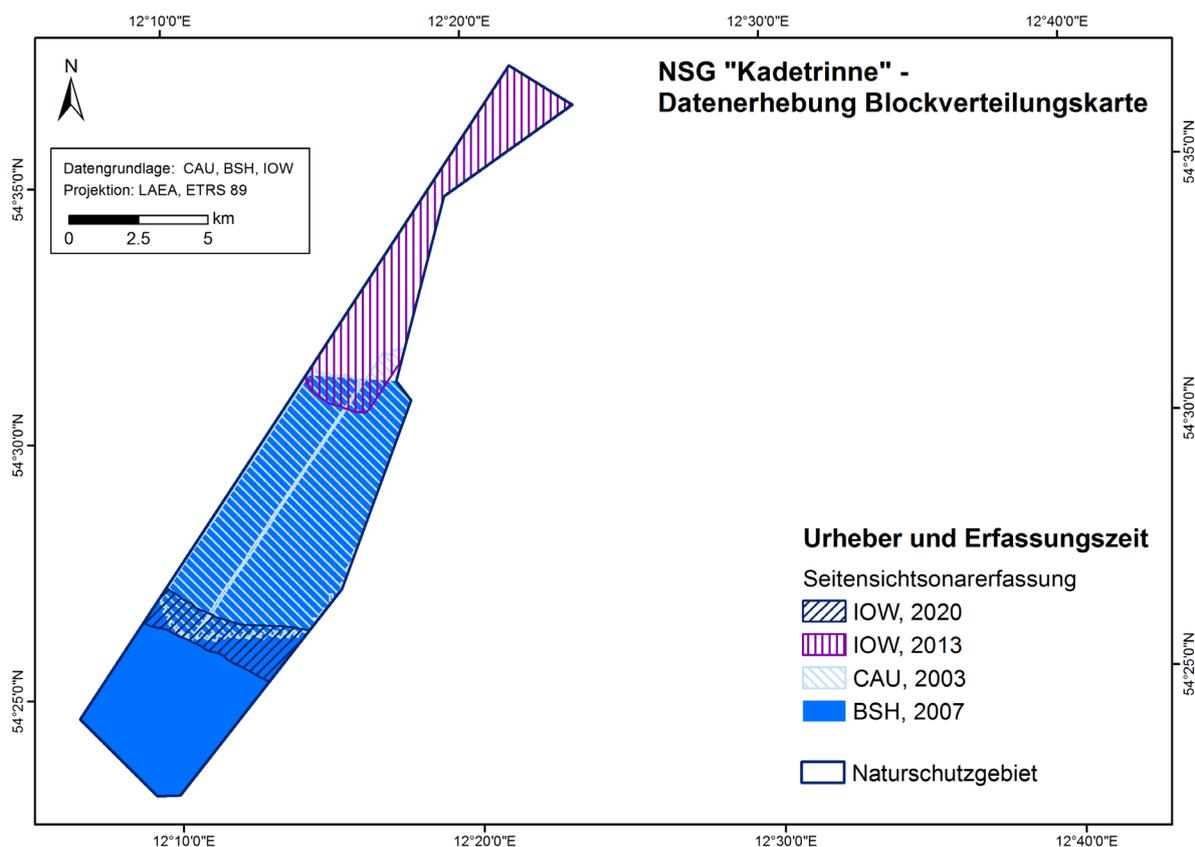


Abb. 11: Übersicht über die Datengrundlage für die Erstellung der Blockverteilungskarte des NSG „Kadetrinne“.

2.3.2 Ergebnisdarstellung

Die Blockauswertung (Papenmeier 2022) zeigt, dass 25 % der Zellen im NSG „Kadetrinne“ der Klasse „> 5 Blöcke“ zugeordnet sind und weitere 12 % der Zellen 1 – 5 Blöcke enthalten. Das Blockvorkommen geht einher mit den Bereichen, die als „Mischsedimente-Restsedimente“ klassifiziert wurden. Einige hydroakustische Profile im zentralen Bereich konnten nicht ausgewertet werden, da die Datenqualität nicht ausreichend für eine Blockauswertung ist. Folglich wurde 6 % aller Zellen als nicht auswertbar klassifiziert. Dennoch lässt sich das Gesamtbild des natürlichen Blockvorkommens gut erkennen (Abb. 12). Der nördliche und südliche Teil des NSG „Kadetrinne“ sind weitestgehend frei von Blöcken (56 %).

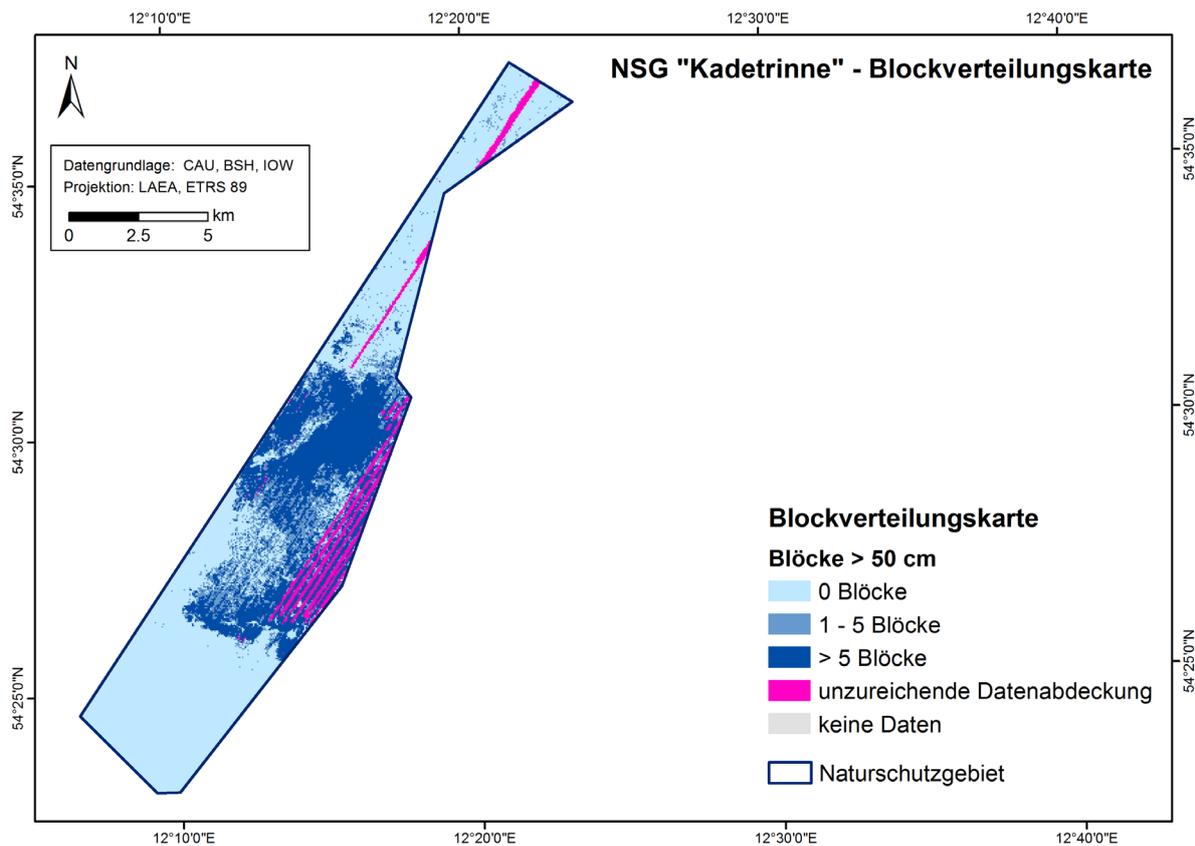


Abb. 12: Blockverteilungskarte für das NSG „Kadetrinne“ (Papenmeier 2022).

3 Biologischer Teil der Kartierung

3.1 Endobenthische Gemeinschaften der Weichböden

3.1.1 Datenerhebung und taxonomische Bearbeitung

Für die Aufnahme der endobenthischen Gemeinschaften (Abb. 14) war ein stratifiziert randomisiertes Erfassungsprogramm vorgesehen, d. h. die Lage der Stationen sollte sich primär an der Verteilung der Sedimentklassen orientieren. Die Probenzahl pro Sedimentklasse sollte sich nach dem jeweiligen Flächenanteil richten 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. 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 Unterproben 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 waren. Ein taxonomischer und methodischer Abgleich war nicht erforderlich, da der Datensatz ausschließlich Stationen umfasste, die in den Jahren 2010 bis 2021 durch das IOW genommen, bearbeitet und ausgewertet wurden. Insgesamt standen so Datensätze von 103 Stationen für die Analysen und die prädiktive Modellierung zur Verfügung.

(Lebens-) Gemeinschaft (aus Darr et al. 2022)

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 Allgemeiner Modellierungsansatz

Vor dem Start der prädiktiven Modellierung wurde der **Infauna**-Datensatz einer umfangreichen Prozessierung unterzogen. Da die Gemeinschafts- bzw. Biotopzuordnung in den Klassifikationssystemen der Standard-Biotoptypenliste und HELCOM HUB (2013b) 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, 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 mit dem Greifer direkt Hartsubstrat in Form von Kies und/oder kleineren Steinen bzw. größeren Schil-laggregationen beprobt worden war. 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.

Anschließend wurde den einzelnen Stationen die jeweilige Biotopklasse 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 codominant waren. Für diese Klassen gab es bislang keine genaue Definition bzw. Ableitungsregel auf Stationsbasis.

Daher wurden basierend auf Erfahrungswerten bei der Kartierung des Fehmarnbelts (Darr et al. 2022) Regeln festgesetzt, bei der folgende zwei Anwendung fanden:

- Brackwassermuschel-Gemeinschaft: Die Muschelarten *Cerastoderma glaucum*, *Cerastoderma edule*, *Macoma balthica*, *Mya arenaria*, *Astarte borealis* und *Arctica islandica* kommen häufig zusammen vor und bilden eine Gemeinschaft. Alle Arten stellen gemeinsam $\geq 50\%$, keine Art alleine mehr als 75% .
- Opportunistische Polychaeten: summierter Biomasseanteil der folgenden Arten $\geq 50\%$ - *Bylgides sarsi*, *Capitella capitata*, *Polydora ciliata*, *Heteromastus filiformis*, *Lagis koreni*, *Nephtys caeca*, *Nephtys ciliata*, *Nephtys hombergii*, *Neoamphitrite figulus*, *Scoloplos armiger*, *Halicryptus spinulosus* (Priapulida). Keine Art stellt alleine mehr als 75% .

Zugewiesen wurde zunächst auf HUB-Level 4-6 (Biotoplevel), das die Information über die Bedeckung und Dominanz der benthischen Gemeinschaft beinhaltet. Das Sediment (Level 1-3, Habitatlevel) wurde zunächst nicht berücksichtigt und nach der Modellierung wieder je nach Biotopklassifizierungssystem (HELCOM HUB, BHT gemäß EU-KOM-Beschluss 2017/848 zur MSRL, Standard-Biotoptypenliste) neu zugeordnet. Das Sediment aus der Sedimentverteilungskarte (SVK) richtet sich nach Folk (1954) und Figge (1981) und ist somit inkompatibel mit den drei Biotopklassifizierungssystemen, die ihrerseits die Substrattypen unterschiedlich definieren, sodass hier eine Anpassung erforderlich war (Kap. 6.1).

Random Forest

Die Modellierung erfolgte mithilfe von Random Forest - ein *machine learning* – Verfahren, das als Regressions- oder Klassifikationsmethode genutzt werden kann (nach Breiman 2001). Der Klassifikationswald besteht aus mehreren unabhängigen Entscheidungsbäumen, die jeder für sich eine Voraussage zu einer bestimmten Zielvariable (hier die Biotopklasse) treffen. Dazu erstellt jeder Baum eine Regel an jedem Entscheidungsknotenpunkt, welcher zufällig eingehende Prädiktor mit welchem Grenzwert für welche Zielvariable entscheidend ist und trifft damit eine Entscheidung für oder gegen eine bestimmte Biotopklasse. Somit wird ein hierarchisch strukturierter Entscheidungspfad durchlaufen. Durch sog. *Bootstrapping* der Entscheidungsbäume wird ein möglichst repräsentatives Ergebnis erzielt und das Modell entscheidet sich für die Zielvariable mit den meisten Stimmen. Durch Anpassung der Hyperparameter „Anzahl der Bäume“ und „Anzahl der Variablen“ an jedem Entscheidungsknotenpunkt kann das Modell verbessert werden. Um die Modell-Performance zu bewerten, wird u.a. der *out-of-bag error* hinzugezogen, also die Fehlklassifikationsrate des Teils des Trainingsdatensatzes, der zufällig nicht vorhergesagt wurde (Liaw & Wiener 2002). Um die Relevanz der eingehenden Variablen zu evaluieren, berechnet der Algorithmus die Verbesserung des Vorhersagefehlers an jedem Entscheidungsknotenpunkt jeder zufällig gezogenen Variable (Evans et al. 2011) und gibt hierzu Kennziffern, wie die Verringerung der Modellgenauigkeit oder den Gini Unreinheits-Index, aus.

Das Modell ist jedoch nur so gut wie sein Training: nur die Biotopklassen können vorausgesagt werden, die auch in das Modell mit eingehen bzw. können nur Biotope auf den Sedimenttypen vorausgesagt werden, zu denen auch Informationen vorliegen (sprich die Sedimenttypen, die durch ein Ground Truth biologisch beprobt wurden). Der Ausgangsdatensatz wurde in einen Trainings- (70 %) und einen Testdatensatz (30 %) geteilt. Anhand des Trainingsdatensatzes „lernte“ das Modell. Mit der Modellstatistik des Testdatensatzes wurde das Modell verifiziert und angepasst. Das finale Modell wurde dann genutzt, um das Gebiet anhand der Sedimentinformationen und anderen chemisch-physikalischen Parametern flächendeckend zu modellieren. Das Sediment wurde anschließend je nach Biotopklassifizierungssystem reklassifiziert (Kap. 6.1) und anhand der Vorhersagen eine flächendeckende Biotopkarte erstellt.

Ebenso wie bei der HUB-Zuweisung wurde nach Endobenthos (anhand des Weichbodenanteils) und nach Epibenthos (anhand des Hartbodenanteils) getrennt modelliert. Die zugewiesenen HUB-Kürzel (HUB Level 4-6) gingen dabei als Zielvariable in das Modell ein. Als Prädiktoren gingen neben dem Sedimenttyp aus der Sedimentverteilungskarte (SVK) und der Wassertiefe aus den bathymetrischen Daten von Tauber (2012), flächendeckende Griddaten aus dem ERGOM (*Ecological Regional Ocean Model*) – Modell und aus dem GETM (*General Estuarine Transport Model*) – Modell ein (Tab. 1 und Tab. 2). Diese beiden Modelle wurden am IOW entwickelt und lagen in einer Auflösung von 600 x 600 m vor. Das ERGOM-Modell ist ein speziell an die Ostsee angepasstes, biogeochemisches Modell (Leipe et al. 2017), dessen genutzte Parameter für einen Zeitraum zwischen 2010 und 2017 simuliert wurden. Das GETM-Modell ist ein hydrodynamisches Modell der Küstenmeere (Gräwe et al. 2015). Die hier benutzten Variablen stammen aus einem Modelllauf von 2010 – 2020.

Die Hangneigung ging nur in die Modellierung des Epibenthos ein und wurde anhand der bathymetrischen Karte von Tauber (2012) mithilfe des *Spatial Analyst*-Werkzeugs in ArcMap erstellt. Auch die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) und die photische Zonierung gingen lediglich in die Epibenthos-Modellierung ein. Das Polygon-Shapefile zur photischen Zonierung wurde im BfN-finanzierten CLUSTER-Projekt zur Biotopkartierung erstellt und beruht auf den Lichteindringtiefe (PAR)-Werten des ERGOM-Modelllaufs von 2000 - 2010 (Friedland et al. 2012). Zur Abtrennung der photischen und aphotischen Zone wurde die 1 %-ige Lichteindringtiefe (gemittelt über die Vegetationsperiode von März bis Oktober) mit der Bathymetrie gekoppelt.

Tab. 1: Prädiktoren, die für das Random Forest-Modell verwendet wurden, kamen bis auf den Sedimenttyp (SVK) und die Wassertiefe (Tauber 2012) aus dem ERGOM- und dem GETM-Modell.

Variable	Lageparameter	Abkürzung	Quelle	Auflösung
Sedimenttyp		Sediment	SVK (Kap. 2.2)	Polygone
Wassertiefe [m]		Tiefe	Bathymetrie Tauber (2012)	Grid 50 x 50 m
PAR [W/m ²]	Mittelwert	PAR	ERGOM-Modell, Leipe et al. 2017	Grid 600 x 600 m
Temperatur [°C]	Mittelwert, 10 %/90 % - Perzentil	temp_mean, temp_10_20, temp_90_20	GETM-Modell, Gräwe et al. 2015	Grid 600 x 600 m

Variable	Lageparameter	Abkürzung	Quelle	Auflösung
Salinität [g/kg]	Mittelwert, 10 %/90 % - Perzentil	salt_mean, salt_10_20, salt_90_20	GETM-Modell, Gräwe et al. 2015	Grid 600 x 600 m
Sauerstoffkonzentration [mg/l]	Mittelwert, 10 %/90 % - Perzentil	o2_avg_17, o2_10_17, o2_90_17	ERGOM-Modell, Leipe et al. 2017	Grid 600 x 600 m
Anzahl hypoxischer Tage (< 1 mg/l)		hypox_2017	ERGOM-Modell, Leipe et al. 2017	Grid 600 x 600 m
Strömungsgeschwindigkeit [m/s]	Mittelwert, 10 %/90 % - Perzentil	uv_mean_20, uv_10_2020, uv_90_2020	GETM-Modell, Gräwe et al. 2015	Grid 600 x 600 m
Strömungsgeschwindigkeit Nord/Süd [m/s]	Mittelwert, 10 %/90 % - Perzentil	vv_mean_20, vv_10_2020, vv_90_2020	GETM-Modell, Gräwe et al. 2015	Grid 600 x 600 m
Strömungsgeschwindigkeit Ost/West [m/s]	Mittelwert, 10 %/90 % - Perzentil	uu_mean_20, uu_10_2020, uu_90_2020	GETM-Modell, Gräwe et al. 2015	Grid 600 x 600 m
Bodenschubspannung [N/m ²]	Mittelwert, 10 %/90 % - Perzentil	taub_mean, taub_10_20, taub_90_20	GETM-Modell, Gräwe et al. 2015	Grid 600 x 600 m
DOC [mol/m ³]	Mittelwert, 10 %/90 % - Perzentil	DOC_avg_17, DOC_10_17, DOC_90_17	ERGOM-Modell, Leipe et al. 2017	Grid 600 x 600 m
Ammonium [mol/m ³]	Mittelwert	nh4_2017	ERGOM-Modell, Leipe et al. 2017	Grid 600 x 600 m
Nitrat [mol/m ³]	Mittelwert	no3_2017	ERGOM-Modell, Leipe et al. 2017	Grid 600 x 600 m
Phosphat [mol/m ³]	Mittelwert	po4_2017	ERGOM-Modell, Leipe et al. 2017	Grid 600 x 600 m
Photische Zone		Zonephotic	Basierend auf ERGOM-Modell, Leipe et al. 2017	Grid 600 x 600 m
Hangneigung [°]		Slope	Basierend auf Grundlage der Bathymetrie BSH (2012)	Grid 50 x 50 m

Tab. 2: Erläuterungen der einzelnen Sedimenttypen nach der Summary-Spalte (vgl. Kapitel 2.2) der Sedimentverteilungskarte (SVK), die als kategorielle Variable in das Model mit einging.

Sedimenttyp nach der SVK Summary	Erläuterung
((msG-gmS)-LagSed)+(sM-mS)	((toniger/schluffiger, sandiger Kies - kiesiger, toniger/schluffiger Sand) - Restsediment) + (sandiger Schluff - toniger/schluffiger Sand)
(msG-gmS)-LagSed	((toniger/schluffiger, sandiger Kies - kiesiger, toniger/schluffiger Sand) - Restsediment)
(msG-gmS)+(sM-mS)	(toniger/schluffiger, sandiger Kies - kiesiger, toniger/schluffiger Sand) + (sandiger Schluff - toniger/schluffiger Sand)
(sM-mS)+gS	(sandiger Schluff - toniger/schluffiger Sand) + kiesiger Sand
(sM-mS)+msG	(sandiger Schluff - toniger/schluffiger Sand) + toniger/schluffiger, sandiger Kies
(sM-mS)+(msG-gmS)	(sandiger Schluff - toniger/schluffiger Sand) + (toniger/schluffiger, sandiger Kies - kiesiger, toniger/schluffiger Sand)
(sM-mS)-(msG-gmS)	(sandiger Schluff - toniger/schluffiger Sand) - (toniger/schluffiger, sandiger Kies - kiesiger, toniger/schluffiger Sand)
fSa-mSa	Feinsand - Mittelsand
fSa-sM	Feinsand - sandiger Schluff
fSa-(sM-mS)	Feinsand - (sandiger Schluff - toniger/schluffiger Sand)
FSed+CSed	Feinsediment + Grobsediment
FSed-S	Feinsediment - Sand
gS-mxSa	kiesiger Sand - Mischsand
mS	toniger/schluffiger Sand
mSa	Mittelsand
mS-fSa	toniger/schluffiger Sand - Feinsand
msG-gmS	toniger/schluffiger, sandiger Kies - kiesiger, toniger/schluffiger Sand
mxSa	Mischsand
sM	sandiger Schluff
sM-mS	sandiger Schluff - toniger/schluffiger Sand
S	Sand
S-FSed	Sand - Feinsediment
S+(mS-M)	Sand + (toniger/schluffiger Sand - Schluff)

Sedimenttyp nach der SVK Summary	Erläuterung
S-mS-gS	Sand - toniger/schluffiger Sand - kiesiger Sand
S-(sM-mS)	Sand - (sandiger Schluff - toniger/schluffiger Sand)
MxSed	Mischsediment
1	nicht klassifizierbar

Treten Biotopklassen im Trainingsdatensatz häufiger als andere Biotopklassen auf und liegt demnach eine Ungleichverteilung der Zielvariablen vor, spricht man von einem unbalancierten Datensatz. In einem solchen Fall ist die Angabe der Modellgenauigkeit (*Accuracy*) unzuverlässig, da das Modell die Majoritätsklasse (die Biotopklasse, die überwiegend zugeordnet wurde) überschätzt. Möglichkeiten mit unbalancierten Daten umzugehen, sind folgende (Abb. 13):

- **Überbeprobung:** die Minoritätsklasse (die Klasse, die am wenigsten zugewiesen wurde) wird durch mehrmaliges Zurücklegen (Stichprobenwiederholung aus einer Grundmenge) solange wiederholt erfasst bis die Minoritätsklasse und die Majoritätsklasse gleich häufig sind.
- **Unterbeprobung:** einige Stationen der Majoritätsklasse werden zufällig nicht erfasst bis eine Parität zwischen dieser Klasse und der Minoritätsklasse entstanden ist.
- **SMOTE (*Synthetic Minority Oversampling TEchnique*):** Daten werden durch den k-nächsten Nachbarn synthetisiert und damit die Minoritätsklasse überbeprobt.

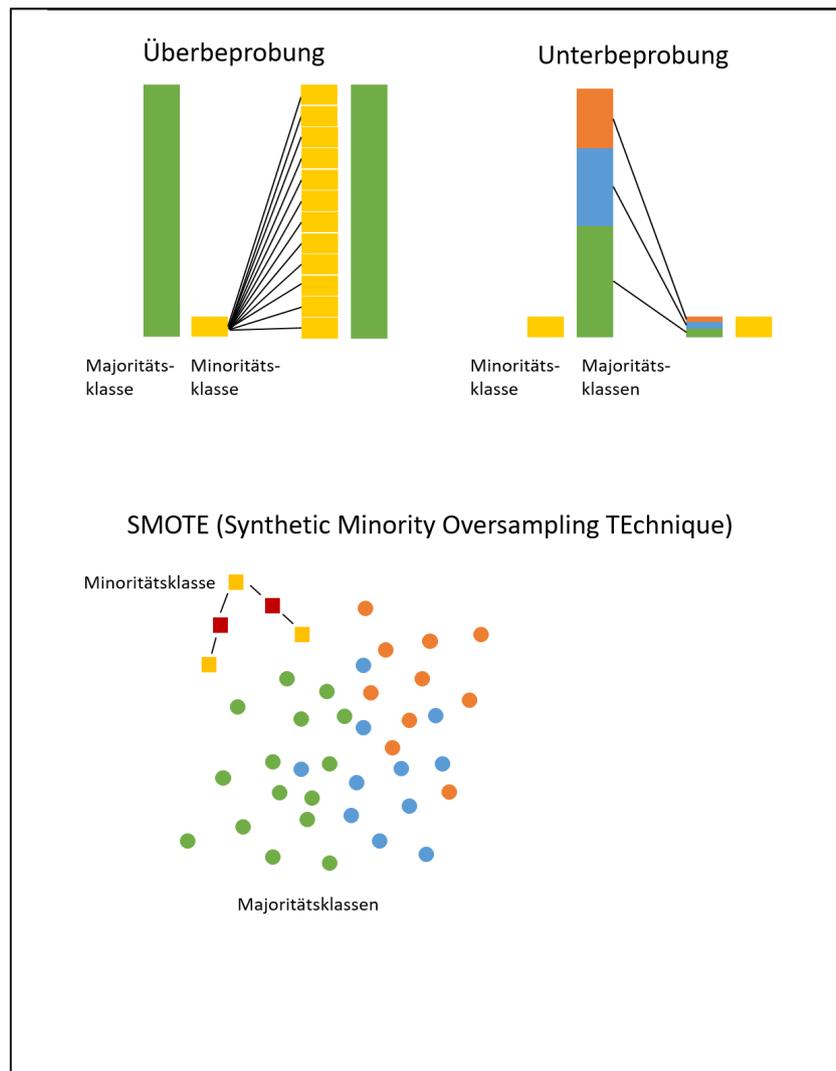


Abb. 13: Anpassungen an ein unbalanciertes Modell. Bei der Überbeprobung wird eine Minoritätsklasse (hier eine Biotopklasse, die am wenigsten zugeordnet wurde) solange (mit zurücklegen) gezogen bis sie gleichhäufig wie die höchste Majoritätsklasse (die Biotopklasse, denen die meisten Stationen zugeordnet wurden) auftritt. Bei der Unterbeprobung werden zufällig die Stationen (mit zurücklegen) entfernt bis eine Parität mit der Minoritätsklasse erreicht ist. Der SMOTE-Algorithmus ist eine Überbeprobungs-Methode, durch die neue Daten (rote Kästchen) synthetisiert werden.

Um bei der Unterbeprobung keinen Informationsverlust zu durchlaufen, wurde zusätzlich ein *balanced random forest*-Algorithmus angewandt, der auf einer geschichteten k-fachen Kreuzvalidierung beruht. Darin wird bei jeder Iteration die Beobachtung jeder Klasse mit zurücklegen unterbeprobte, bis dieselbe Anzahl der Minoritätsklasse erreicht ist (Chen, 2004). Das Verhältnis der Minoritätsklasse zu den Majoritätsklassen wird beibehalten, aber durch Bootstrapping unterbeprobte. Bei einer genügenden Anzahl an „Bäumen“ gehen damit alle Trainingsdaten in den „Wald“ ein.

Diese Methodiken werden in ihren Ergebnissen mit dem unbalancierten Modell (dem Originalmodell) vergleichend gegenübergestellt. Als Kennzahl wurde nun hauptsächlich der AUC (*area under the curve*, die Fläche unter der ROC (*receiver operating characteristics*)-Kurve) verwendet, da die Modellgenauigkeit (*Accuracy*) bei unbalancierten Daten fehlerhafte Werte ausgibt. Das heißt, dass dieser zu Gunsten der Majoritätsklasse einen zu optimistischen Wert

ausgibt (Chen et al., 2004). Der AUC kann einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen, wobei eine zufällige Klassifikation 0,5 entspricht (Janitzka et al. 2013). Je höher somit der Wert, umso besser kann das Modell zwischen den Biotopklassen unterscheiden und diese damit vorhersagen.

Für die prädiktive Modellierung wurde ein Grid mit einer Zellgröße von 50 x 50 m erzeugt. Das Grid basierte auf dem EU-Standardgrid und war damit deckungsgleich zum Grid der Blockverteilungskarte (vgl. Kap. 2.3).

Die Modellierung selbst erfolgte im Programm R (R Core Team 2019) unter Verwendung des Pakets "RandomForest" (Liaw & Wiener 2002). 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

3.1.3 Endobenthos-Modellierungsansatz im NSG „Kadetrinne“

Was das Modell nicht erfassen kann, ist der Übergang eines Sedimenttyps zu einem anderen. Beispielsweise treten Islandmuscheln (*Arctica islandica*) als dominante Art hauptsächlich im Süden des NSG „Kadetrinne“ auf und erstrecken sich in ihrem Vorkommen bis in die Restsedimentflächen nahe der Riffflächen, die von tonigem/schluffigem, sandigem Kies über kiesigem, tonigem/schluffigem Sand bis Restsediment ((msG-gmS)-LagSed) geprägt sind. An den Übergängen kommen noch Sand und Ton/Schluff vor, in die sich die Islandmuschel eingraben kann. In den Bereichen, in denen der Sedimenttyp einen höheren Grobsubstratanteil aufweist bzw. die von Riffen des Typs „Blockfeld der deutschen Ostsee“ oder des Typs „Restsediment mit vereinzelt Steinen und/oder Blöcken“ geprägt sind, dominieren andere Taxa, wie bspw. Miesmuscheln. Obwohl dominierende Taxa in bestimmten Bereichen vorkommen und grobe Muster erkennbar sind (siehe Abb. 14), können diese nicht vom Modell identifiziert werden. Das Modell erfasst starre Grenzen des Sedimenttyps und erkennt keine fließenden Übergänge. Dadurch werden natürliche Gegebenheiten nur eingeschränkt wiedergegeben. Weiterhin sind die Sedimenttypen in der „Kadetrinne“ sehr ähnlich und unterscheiden sich in manchen Bereichen nur geringfügig. Der Weichboden in der Nähe der Riffe ist bspw. durch einen sehr schlecht sortierten Ton/Schluff- bis Kiesanteil charakterisiert und wird in eigene Sedimenttypen, wie (sM-mS)+(msG-gmS), (sM-mS)-(msG-gmS), (msG-gmS)-LagSed und msG-gmS unterteilt (Tab. 2). Durch dieses sehr heterogene Material können sich, je nach lokal auftretend höherem Anteil einer bestimmten Korngrößenfraktion, bestimmte Taxa ansiedeln, die an sich verschiedene Bedingungen an ihre Umgebung stellen. Diese hohe Substratheterogenität mit sich schlecht voneinander abgrenzenden Sedimenttypen ermöglicht daher die teils fließend ineinander übergehende Besiedlung von *Arctica islandica* über die Brackwassermuschelgemeinschaft bis hin zu *Mytilus edulis*.

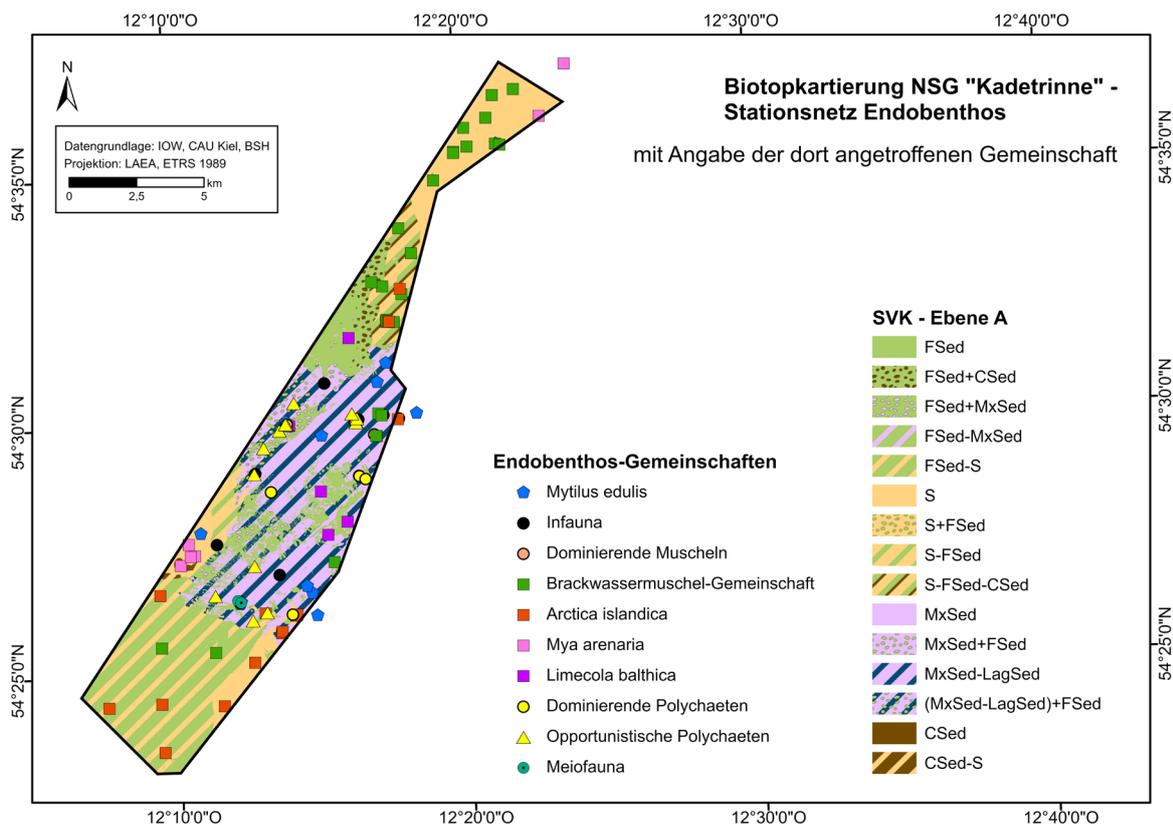


Abb. 14: Lage der Stationen zur Erfassung des Endobenthos mit Angabe der jeweils an der Station angetroffenen Gemeinschaft vor dem Hintergrund der Sedimentverteilungskarte (SVK), Ebene A. FSed = Feinsediment, CSed = Grobsediment, MxSed=Mischsediment, S = Sand, LagSed = Restsediment.

Vor diesem Hintergrund war es nicht möglich, trotz erkennbarer Muster in der Verteilung einzelne Muschelgemeinschaften, wie *Arctica islandica*, *Macoma balthica*, oder opportunistische Polychaeten, diese im Modell klar voneinander abzugrenzen und somit vorherzusagen. Die Muscheln wurden daher in die Brackwassermuschel-Gemeinschaft (HUB-Kürzel 3L9), die sich ohnehin durch die Gemeinschaft *Cerastoderma glaucum*, *Cerastoderma edule*, *Macoma balthica*, *Mya arenaria*, *Astarte borealis* und *Arctica islandica* auszeichnet, zusammengefasst. Dominierende Muscheln (3L), dominierende Polychaeten (3M), opportunistische Polychaeten (3M5) und Miesmuscheln (1E1) wurden der gemischten endobenthischen Gemeinschaft (3) zugeordnet (eine Erläuterung aller final modellierten Biotopklassen inklusive ihrer HUB-Codes befindet sich in Tab. 12). *Mytilus edulis* als typischerweise Hartsubstrat-assoziierte Art geht deshalb hier in die Endobenthos-Karte ein, da sie bei passenden Bedingungen (z. B. Lagestabilität des Sediments) auch Weichsubstrat besiedeln kann und im Gebiet die Greiferproben und damit die endobenthischen Gemeinschaften stellenweise durchaus dominierte. Bei zwei Probenahmen, die in den Jahren 2015 und 2017 an der Station KR214 erfolgten, dominierte *Tubificoides benedii* und es erfolgte eine Einordnung nach HUB-Klassifizierung als Meiofauna (4U1). In den Jahren zuvor (2012 und 2014) dominierten Miesmuscheln diese Station. Aus den Videoaufnahmen ist ersichtlich, dass ein Massenvorkommen an Seesternen in diesem Gebiet zur Dezimierung der *Mytilus*-Population führte und daher einen vermeintlich degradierten Zustand hinterließen. Dazwischen und in den Jahren danach dominierte keine endobenthische Art. Im Jahr 2018 wuchsen die Miesmuschelbestände erneut auf rund 98 % der Gesamtbio-

masse an der Station an. Da die Einordnung in die HUB-Klasse Meiofauna (4U1) diesem besonderen Umstand geschuldet ist und die Klasse weiterhin insgesamt nur zwei Mal im Schutzgebiet klassifiziert wurde, wurde sie als Ausreißer angesehen und aus dem Modelldatensatz gelöscht.

Die hohe Substratheterogenität spiegelt sich auch in der Dominanz einzelner Taxa je Einzelhol wider. Da nicht alle Stationen mit 3 Hols beprobt wurden, sondern z. T. auch nur mit 1 Hol bzw. es durch Fehlhol zu weniger als 3 Hols kam, stellt sich durchaus die Frage der Vergleichbarkeit ausgewerteter Stationen. Daher wurde im Vorfeld geprüft, ob bei Stationen, die mit 3 Hols beprobt wurden, jedes Einzelhol zu demselben Ergebnis der HUB-Klasse führte. Dies war nicht der Fall. Weiterhin liegen die Stationen mit weniger als 3 Hols meist auf sehr heterogenem Sediment ((msG-gmS)-LagSed, von Ersterem beeinflusster sM-mS sowie (msG-gmS)-LagSed)+(sM-mS)) (Tab. 2), was die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass sich die Einzelhols in ihrer Biomasseverteilung dominanter Taxa voneinander unterscheiden. Aus diesen Gründen wurden 6 von 103 Stationen, die sich im NSG befinden, gelöscht.

Da nicht alle Sedimenttypen beprobt wurden, gingen lediglich 15 von 25 Sedimenttypen in den Trainingsdatensatz ein. Die Sedimenttypen, die nicht modelliert werden konnten, bilden daher die Weißfläche in der Biotopkarte. Dies betrifft die Sedimenttypen (für nähere Erläuterungen siehe Tab. 2):

- (msG-gmS)+(sM-mS)
- (sM-mS)-(msG-gmS)
- (sM-mS)+msG
- fSa-sM
- FSed+CSed
- FSed-S
- mS
- msG-gmS
- sM
- 1

3.1.4 Ergebnis der Modellierung

Als Durchbruch der Darßer Schwelle bildet die Kadetrinne einen vertieften Kanal, in dem es insgesamt zu höheren Strömungsgeschwindigkeiten als im Umgebungsbereich kommt. Die unterschiedlichen bathymetrischen Verhältnisse innerhalb der Kadetrinne, die von Rinnen und Untiefen geprägt ist, führen jedoch zu einem verschiedenartigen Strömungsregime, das sich auch in der Verbreitung der benthischen Gemeinschaften widerspiegelt. Dadurch, dass die Variable „Strömungsgeschwindigkeit“ eine so hohe Gewichtung auf die Vorhersage der Biotope einnimmt (Abb. 15), richtet sich die modellierte Verbreitung der Gemeinschaften daher an den simulierten Werten aus dem Strömungsmodell, das im 600 x 600 m Grid aufgelöst ist. Die Verbreitung der Biotope richtet sich demnach nicht in erster Linie nach Sedimenttypgrenzen, sondern vorrangig nach diesem groben Grid (Abb. 16).

Das Modell erreicht eine Fehlklassifikationsrate von 19,7 % im Trainingsdatensatz und eine Modellgenauigkeit von 76 % im Testdatensatz. Die wichtigsten Variablen, und damit entscheidend für die Modellbildung, waren die Bodenschubspannung, die Strömungsgeschwindigkeit in Richtung Nord/Süd und die Strömungsgeschwindigkeit (ohne Richtungsangabe). Der linke Graph in Abb. 15 gibt dabei die mittlere Abnahme der Modellgenauigkeit der Vorhersagen bei den Out-of-Bag-Stichproben (die Stichproben, die zufälligerweise nicht in das Bootstrapping eingingen) an, wenn eine bestimmte Variable aus dem Modell ausgeschlossen wird. Anders ausgedrückt: wie schlecht würde das Modell ohne die jeweilige Variable laufen? Der rechte Graph gibt die mittlere Abnahme der sog. Gini-Impurity an. Die Gini-Impurity ist ein Maß, das darüber entscheidet, wie ein Entscheidungsbaum aufgebaut werden soll (welche Prädiktoren gehen an welchem Entscheidungsknotenpunkt ein und wie werden diese Knoten aufgespalten). Seine mittlere Abnahme wird bei jeder Entscheidung berechnet, bei der eine Variable einen Knoten teilt. Daraus ergibt sich, wie gut die Bäume die Trainingsdaten der Prädiktoren auftrennen und Entscheidungen gefällt werden. Die Strömungsparameter sind im NSG „Kadetrinne“ die Variablen, die für die Abgrenzung der Biotopklassen und für die Modellgenauigkeit ausschlaggebend sind. Aus diesem Modell ergab sich die Verteilung des Endobenthos im Naturschutzgebiet.

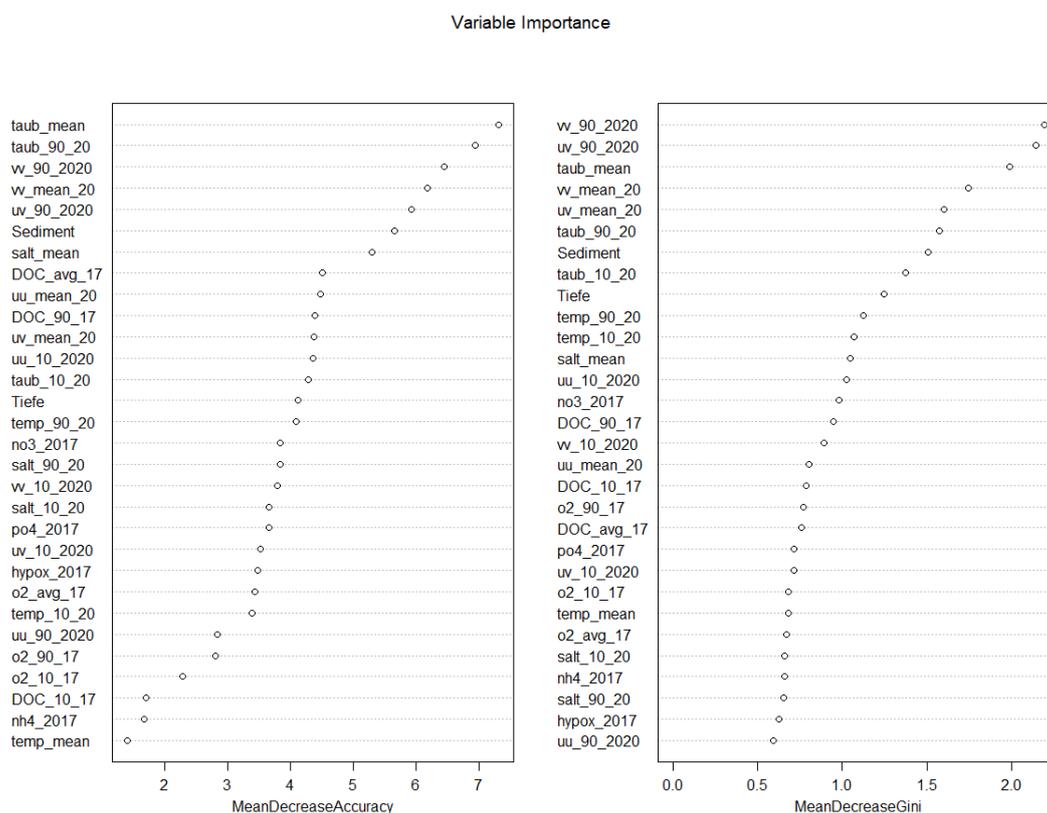


Abb. 15: Relevante Variablen für die Modellbildung der Endobenthosgemeinschaften im NSG „Kadetrinne“. Wichtigste Prädiktoren waren die Bodenschubspannung (taub) und die Strömungsgeschwindigkeit (in Richtung Nord/Süd, wv). Die Erläuterungen zu den Abkürzungen finden sich in Tab. 1.

Die Gemeinschaften, bis auf die *Mya arenaria*-Gemeinschaft, werden im Trainingsdatensatz zu über 75 % richtig vorhergesagt (Tab. 4). Die Biotopklasse der *Mya arenaria*-Gemeinschaft wurde in dem unbalancierten Datensatz als Minoritätsklasse mehreren Anpassungen unterzogen, jedoch ohne Informationsgewinn. Die Unterbeprobung des *balanced random forest* (BRF) – Modells zeigt zwar einen hohen AUC-Wert (und damit eine hohe Trennschärfe des Modells), aber auch eine niedrige Modellgenauigkeit im Testdatensatz und eine hohe Fehlklassifikationsrate im Trainingsdatensatz im Vergleich zum Originalmodell (das Random Forest – Modell ohne Anpassungen) und den anderen Anpassungen (Tab. 3). Das Originalmodell ist in seinen Ergebnissen aus dem Testdatensatz hingegen identisch zu der Überbeprobung und dem SMOTE-Algorithmus (vgl. Abb. 13). Neben dieser Gegenüberstellung der Modellperformance wurden außerdem die fünf resultierenden Endobenthos-Biotopkarten aller Modelle miteinander verglichen. Dadurch, dass das Originalmodell bereits eine gute Modellgenauigkeit mit allgemein hohen Konfidenzintervallen aufwies (Abb. 16) und sich die Biotopkarten der Modellanpassungen nur marginal vom Originalmodell unterschieden (hier nicht dargestellt), wurde sich für Letzteres entschieden.

Tab. 3: Vergleich der Performance des Originalmodells zu den Modellanpassungen des Endobenthos in der „Kadetrinne“. 95 %-CI = 95 % Konfidenzintervall, AUC = area under (ROC-) curve, BRF = Balanced Random Forest.

	Trainingsdatensatz		Testdatensatz	
	Fehlklassifikationsrate	AUC	Accuracy	95 % CI
Originalmodell	19,7 %	0,79	0,76	0,57 - 0,9
Unterbeprobung	33,33 %	0,73	0,52	0,33 - 0,71
Unterbeprobung BRF	66,67 %	0,85	0,62	0,42 - 0,79
Überbeprobung	14,14 %	0,79	0,76	0,57 - 0,9
SMOTE	15,48 %	0,79	0,76	0,57 - 0,9

Tab. 4: Fehlklassifikationsmatrix des RandomForest-Modells für die endobenthischen Gemeinschaften bzw. Biotopklassen im Trainingsdatensatz

Beobachtung \ Vorhersage	Infauna	Brackwassermuschel-Gemeinschaft	<i>Mya arenaria</i>	Fehlklassifikationsrate
	Infauna	27	7	0
Brackwassermuschel-Gemeinschaft	4	29	0	12,1 %
<i>Mya arenaria</i>	0	2	0	100 %

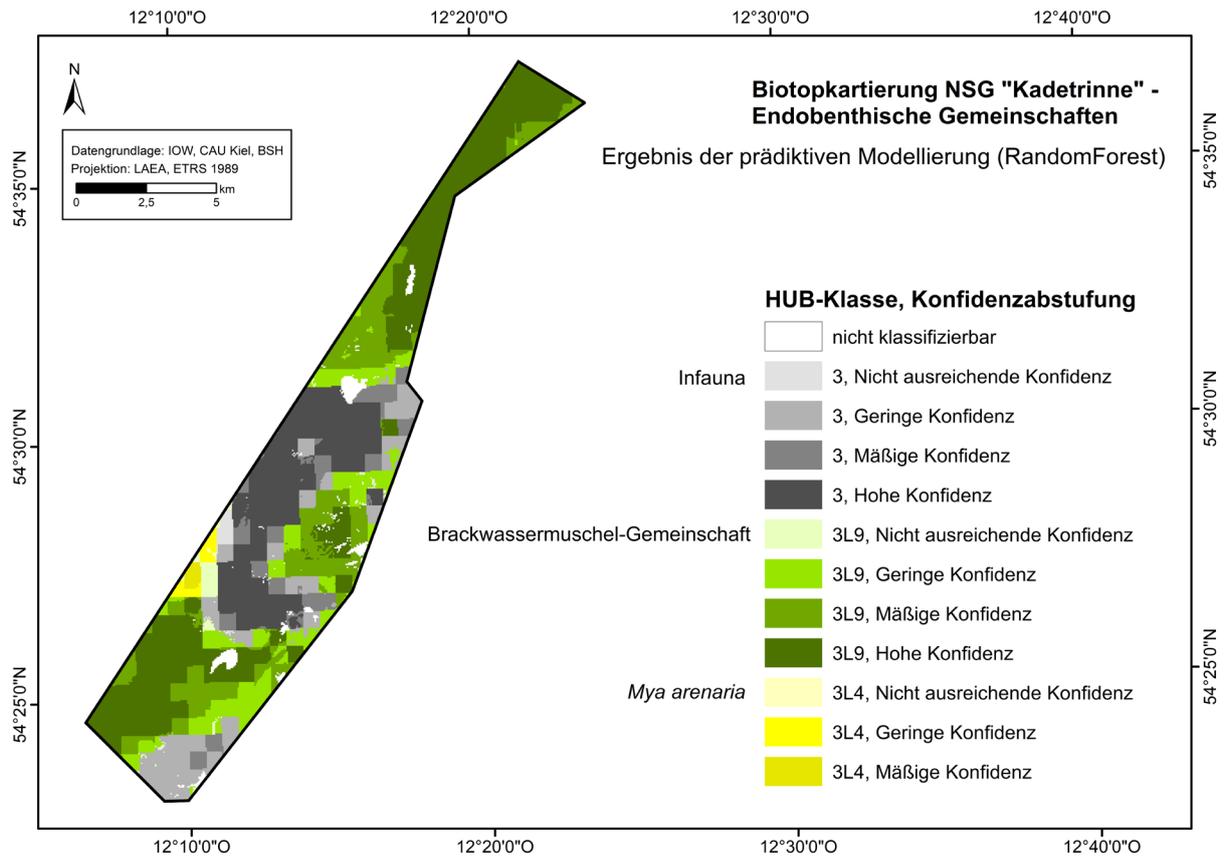


Abb. 16: Karte der Verbreitung der endobenthischen Gemeinschaften als Ergebnis der prädiktiven Modellierung mit Angabe der Konfidenz. Die in der Modellierung verwendeten HUB-Kürzel entsprechen dem HUB Level 4-6 (HELCOM 2013b), welches gleichbedeutend mit der Biotopstruktur ist. HUB-Code Level 4 (Gemeinschaftsstruktur): 3 = gemischte endobenthische Gemeinschaft (Infauna), Level 5 (Charakteristische Gemeinschaft): L = endobenthische Muscheln, Level 6 (Dominierende Taxa): 3L9 = Brackwassermuschel-Gemeinschaft, 3L4 = *Mya arenaria* – Gemeinschaft. Nähere Erläuterungen zu den Konfidenzabstufungen siehe Kap. 3.1.2.

Wassertiefe, Strömungsgeschwindigkeit und Sediment hängen direkt zusammen. Restsedimentflächen stehen in den flacheren Bereichen an, während sich in den Rinnen feineres Material ablagert. Auf diesen Feinsedimentflächen siedelt die Brackwassermuschel-Gemeinschaft, stellenweise mit Dominanzen einzelner Arten, wie *Arctica islandica* oder *Macoma balthica*. Sie ist gut abgrenzbar von den als Infauna zusammengefassten Gemeinschaften, die hauptsächlich im Bereich der Riffe auf den Restsedimentflächen vorhergesagt werden. Vor allem dort, wo eine starke Strömungsgeschwindigkeit simuliert wurde (Gräwe et al. 2015), wird diese Gemeinschaft vom RandomForest-Modell angegeben. Unter Infauna fallen hier sowohl Gemeinschaften ohne Dominanz endobenthischer Arten, als auch Gemeinschaften mit lokal auftretenden dominierenden Polychaeten oder Muscheln. Die *Mya arenaria*-Gemeinschaft kommt hauptsächlich lokal dominierend auf einer erhöhten Sandfläche (mxSa und gS-mxSa) im Westen des NSG vor. Dieser Bereich wurde im Rahmen dieser Arbeiten eindeutig als Sandbank identifiziert (vgl. Kap. 4.1).

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). Diese wurden durch optische Methoden erfasst. Zum einen kam ein am IOW entwickeltes Schleppkamarasystem (**BaSIS – Baltic Sea Imaging System**, Beisiegel et al. 2017) für die Aufnahme hochauflösender Unterwasser-Fotos (und –Videos) zum Einsatz. Dieses wurde mit ~0,5 kn hinter dem Schiff hergezogen. Mit diesem System wurden mittels einer senkrecht auf den Meeresboden ausgerichteten Kamera 4 Fotos pro Minute aufgenommen. Die Fotos wurden entlang von 0,5 – 2 m langen Transekten (entspricht ~1 – 4 Stunden) gewonnen. Das Konzept des Kamerasystems ermöglichte dabei eine quantitative Auswertung durch Erfassung des prozentualen epibenthischen Bedeckungsgrades.

Zusätzlich zum Einsatz von BaSIS kam ein vom BfN entwickeltes Unterwasser-Kamerasystem (**BfN-Drop-Kamera**) zum Einsatz. Hierbei handelt es sich um ein Absatzgestell, das mit einer senkrecht nach unten ausgerichteten Kamera ausgerüstet ist, mit der sowohl hochauflösende Videos, als auch qualitativ hochwertige Fotos aufgenommen werden können. Auf der 2019 durchgeführten Ausfahrt zur Methodenerprobung des Systems, wurden an mehreren Stationen 5- bis 10-minütige Videos unter Winddrift aufgenommen. Wie bei BaSIS ermöglicht die senkrecht auf den Meeresboden ausgerichtete Kamera durch die Aufnahme von Fotos eine quantitative Auswertung des epibenthischen Bedeckungsgrades.

Weiterhin wurden im Zuge des FFH-Monitorings sowie während anderer Kartierungsaufgaben, Videos an weiteren Stationen mittels eines kleinen Schleppkamarasystems (**SeaViewer**) für mindestens 5 Minuten (unter Winddrift) aufgenommen. Aufgrund der schräg nach vorne ausgerichteten Kamera, erfolgte die Auswertung der Aufnahmen dieses Systems semi-quantitativ anhand des geschätzten Bedeckungsgrads des Sediments und des Epibenthos.

Das Kamerasystem SeaViewer wird vom IOW standardmäßig zur Aufnahme von Stationsvideos eingesetzt, während das BaSIS-System transektweise gefahren wird. Das BfN-Drop-Kamera-System kam in lediglich einem Jahr (2019) zum Einsatz. Der im vorliegenden Bericht betrachtete Datensatz setzt sich daher aus Stationen und Transekten aus mehreren Messkampagnen mit unterschiedlichen Aufnahmesystemen von 2016 bis 2021 zusammen.

Die Auswertung aller durch die drei verschiedenen optischen Systeme gewonnenen Daten erfolgte zunächst nach der BfN-Kartieranleitung für Riffe (BfN 2018). Die daraus abgeleiteten Einstufungen in geogene/biogene Riffe dienen als Ausgangstabelle für die Zuordnung in die einzelnen HUB-Klassen nach HELCOM (2013b). Beim Epibenthos orientieren sich die Kriterien an einem Bedeckungsgrad von 10 % auf der Gesamtfläche bzw. 90 % auf Hartsubstrat, um als dominant zu gelten.

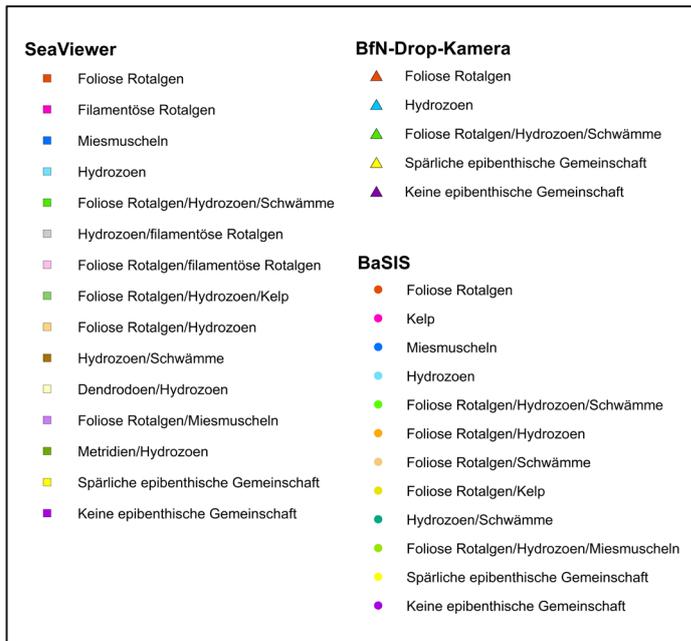
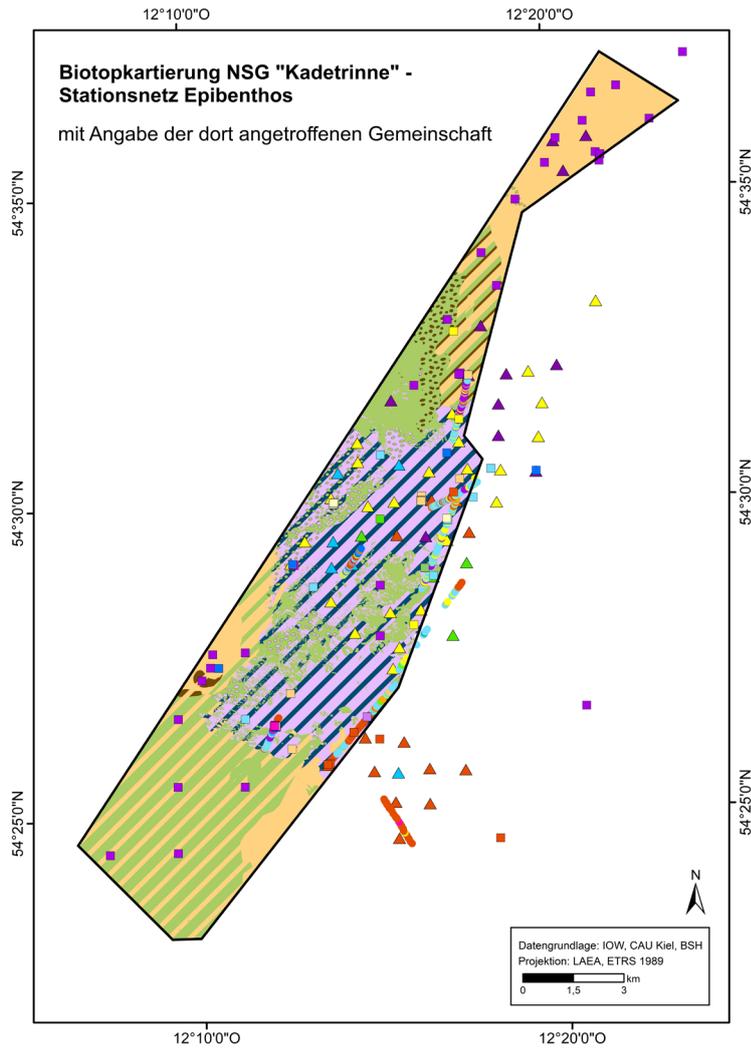


Abb. 17: Lage der Stationen und Transekte, an denen die Unterwasser-Videos (SeaViewer) und Unterwasser-Fotos (BfN-Drop-Kamera und BaSIS - Baltic Sea Imaging System) aufgenommen wurden sowie die jeweils aufgefundenen Gemeinschaften. Erläuterungen zu den Sedimenttypen auf Ebene A finden sich in Abb. 7.

Vor der Analyse erfolgte eine Vorsortierung der zuvor georeferenzierten Fotos. Bilder ohne Hartsubstrate wurden ebenso aussortiert wie unscharfe Fotos und solche, auf denen der Fokusbereich durch zum Beispiel aufgewirbeltes Sediment oder mitgeschleppte Algen beeinträchtigt war. Falls nötig, wurde ein Weißabgleich durchgeführt. Die Bildauswertung erfolgte für die quantitativ auswertbaren Fotos (BaSIS, BfN-Drop-Kamera) mit Hilfe der open-source Software CoralPhotoCount with Excel Extension (CPCe, Kohler & Gill 2006). Aufgrund des größeren Absatzrahmens konnte für das BaSIS-System pro Aufnahme eine Fläche von 0,4 m² ausgewertet werden, während die auswertbare Fläche des BfN-Drop-Kamera Systems pro Aufnahme 0,25 m² umfasste. Anschließend wurde über jedes Foto zunächst ein Raster gelegt (5 x 5 Zellen), in dem dann stratifiziert zufällig 50 Punkte verteilt wurden. 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 prozentuale Bedeckungsgrad berechnet und das dominante Taxon für jedes Foto bestimmt werden.

Die Auswertung der mittels SeaViewer aufgezeichneten Videos erfolgte pro Station anhand von jeweils 5-minütigen Aufnahmen. Dafür wurde die Häufigkeit aller im Video vorhandenen Taxa und Substrate nach der ACFOR-Skala (Abundant-Common-Frequent-Occasional-Rare-Skala) klassifiziert sowie über die geschätzten Bedeckungsgrade das dominante Taxon bestimmt.

Ein Methodenvergleich zur Erfassung der epibenthischen Lebensgemeinschaften auf Hartböden findet sich in Kap. 7. Darin werden die verschiedenen Kartierverfahren methodisch anwendungs- und analysebezogen sowie hinsichtlich der daraus modellierten Ergebnisse miteinander verglichen. Für die im folgenden beschriebene Modellierung wurden die Ergebnisse aus allen Kartiermethoden verwendet, um ein möglichst vollständiges Bild der räumlichen Verteilung epibenthischer Gemeinschaften zu erzielen.

3.2.2 Epibenthos-Modellierungsansatz

Der Modellierung des Epibenthos wurde der Blocklayer zugrunde gelegt, in dem die Datenlücken der Blockverteilungskarte (BVK) geschlossen wurden und der als ein Vorbereitungsschritt für die Abgrenzung der Riffkulisse diente (Abb. 20). Weiterhin wurden bestimmte Sedimenttypen aus der Sedimentverteilungskarte (SVK) im Vorfeld der Modellierung als Hartboden definiert. Dazu gehören

- toniger/schluffiger, sandiger Kies bis kiesiger, toniger/schluffiger Sand bis Restsediment ((msG-gmS)-LagSed),
- toniger/schluffiger, sandiger Kies bis kiesiger, toniger/schluffiger Sand bis Restsediment und sandiger Schluff bis toniger/schluffiger Sand ((msG-gmS)-LagSed)+(sM-mS)),

die im Bereich der Riffe anliegen. Flächen, die einen dieser Sedimenttypen und Blockklasse 1 bis 3 aufwiesen, gingen in die Epibenthos-Modellierung mit ein. Die Modellierung selbst verlief grundsätzlich 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. Epibenthos-relevante Informationen zur Struktur der Hartböden 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. Da die Hangneigung auf der Bathymetrie-Karte von Tauber (2012) basiert, die für die deutsche AWZ und die Küstengewässer erstellt wurde, konnten keine Einträge für die Zellen, die sich an der Grenze der AWZ befanden, erfasst werden. Mithilfe einer IDW (Inverse Distanzwichtungs-)Interpolation in Arc-Map wurden diese fehlenden Werte für die Wassertiefe und die Bathymetrie aufgefüllt. Die PAR wurde analog zum DOC aus dem ERGOM-Modell ermittelt (vgl. Tab. 1). Weiterhin ging die photische Zonierung als Prädiktor ein.

3.2.3 Ergebnis der Analysen und der Modellierung

Für die Epibenthosmodellierung wurden die Kartierergebnisse aller in den verschiedenen Untersuchungen eingesetzten UW-Kamerasysteme genutzt (siehe Kap. 3.2.1 und 7). Diese Ergebnisse wurden im Vorfeld der Modellierung sorgfältig geprüft. Kartierter Weichboden wurde demnach direkt ausgeschlossen, da er hinsichtlich epibenthischer Betrachtungen in Riff-Zönonen keine Rolle spielt. Mehrere Dateneinträge, die mittels BaSIS (Baltic Sea Imaging System) pro Minute erhoben worden waren, wurden zu einem Auswerteergebnis je Zelle zusammengefasst (für nähere Erläuterungen siehe Kap. 7.4.2). Kartierungen in Bereichen außerhalb der Schutzgebietsgrenze wurden nicht ausgeschlossen, sondern gingen in die Modellierung ein, da aufgrund des erhöhten Datensatzes das Training des Modells verbessert werden konnte.

HUB-Biotopklassen, die nur selten vorkamen (wie Kelp und filamentöse Algen), wurden gelöscht, da sie als Ausreißer galten. Aufgrund der schlechten Abgrenzbarkeit der Mischgemeinschaften zu reinen Gemeinschaften mit nur einem dominierenden Taxon, wurden diese Mischgemeinschaften jenen Taxa zugeordnet, die eine übergeordnete Rolle in der Biotopfunktion spielen (strukturegebend, langlebig, geografisch dominierend). So wurden bspw. die Mischgemeinschaften Foliose Rotalgen/Hydrozoen/Schwämme, Foliose Rotalgen/Hydrozoen, Foliose Rotalgen/Schwämme und Foliose Rotalgen/Kelp zur reinen Foliosen Rotalgen-Gemeinschaft gezählt.

Das Modell wurde durch den unbalancierten Datensatz verschiedenen Anpassungen unterzogen (Tab. 5). Ohne Anpassungen erreichte das Originalmodell im Trainingsdatensatz eine Missklassifikationsrate von 32,5 %. Die Miesmuschelgemeinschaft wurde zu 100 % richtig vorhergesagt (Tab. 6). Demgegenüber erreichte das mittels Überbeprobungs angepasste Modell im Trainingsdatensatz eine Missklassifikationsrate von 12,3 % und im Testdatensatz eine Modellgenauigkeit von 65,7 % ($Kappa = 0,485$, $AUC=0,7155$). Damit stach diese Anpassung in ihrer Modellperformance zwar nur in der geringen Missklassifikationsrate im Trainingsdatensatz heraus, überzeugte jedoch in den hohen Vorhersagewahrscheinlichkeiten der einzelnen Biotopklassen bei Erstellung der Biotopkarte (wird hier nicht dargestellt). Die Wassertiefe stellte sich als die wichtigste Variable bei Bildung des Epibenthosmodells heraus (siehe Anhang Abb. 42).

Tab. 5: Performance der einzelnen Modellanpassungen an dem unbalancierten Datensatz. BRF = Balanced random forest, AUC = Area under (ROC-) curve, CI = Konfidenzintervall.

Trainingsdatensatz		Testdatensatz		
	Fehlklassifikationsrate	AUC	Accuracy	95 % CI
Originalmodell	32,49 %	0,70	0,70	0,60 - 0,78
Unterbeprobung	45,00 %	0,71	0,50	0,40 - 0,60
Unterbeprobung BRF	32,49 %	0,76	0,66	0,56 - 0,75
Überbeprobung	12,26 %	0,72	0,66	0,56 - 0,75
SMOTE	31,17 %	0,72	0,72	0,62 - 0,80

Tab. 6: Fehlklassifikationsmatrix des RandomForest-Modells für die epibenthischen Gemeinschaften bzw. Biotopklassen im Trainingsdatensatz

Beobachtung \ Vorhersage	Vorhersage				Fehlklassifikationsrate
	Foliose Rotalgen	Miesmuscheln	Hydrozoen	Spärliche epibenthische Gemeinschaft	
Foliose Rotalgen	87	1	16	2	17,9 %
Miesmuscheln	0	106	0	0	0 %
Hydrozoen	10	3	77	16	27,4 %
Spärliche epibenthische Gemeinschaft	2	0	2	102	3,8 %

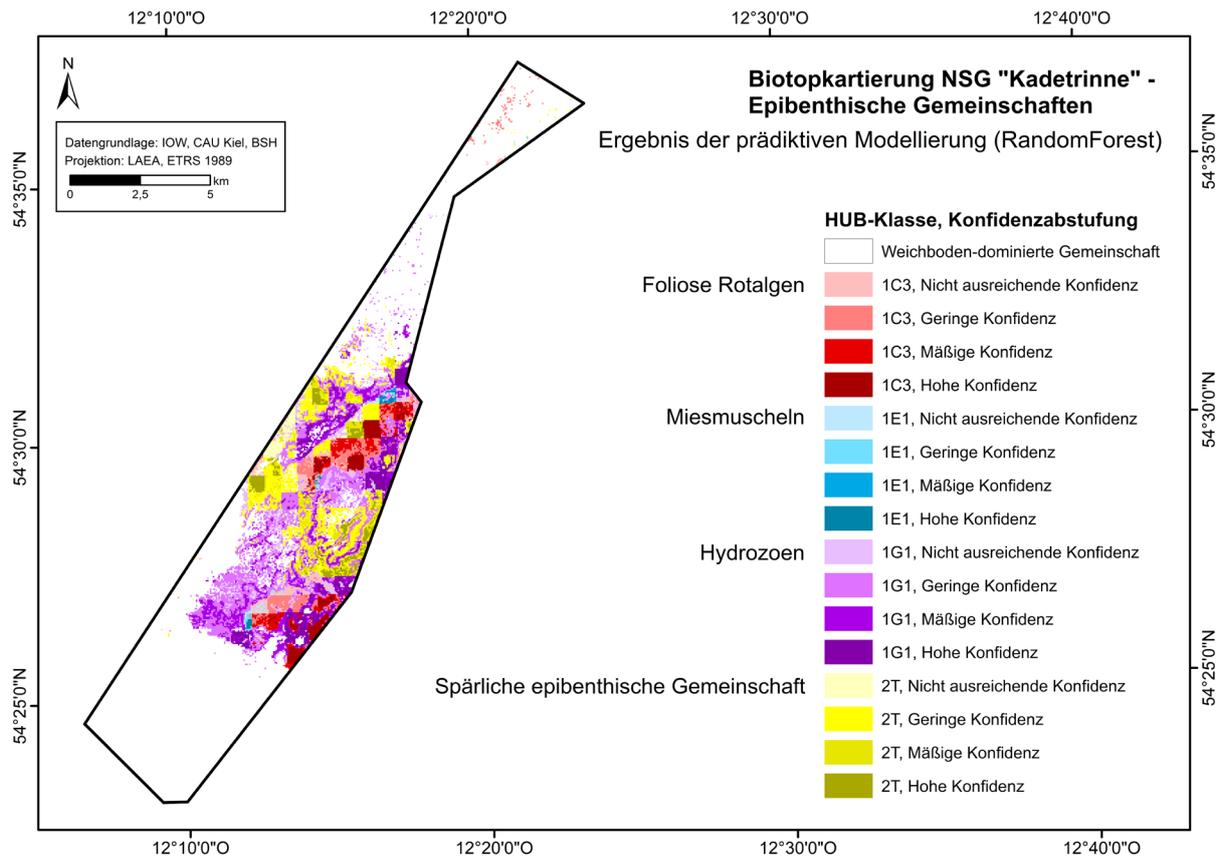


Abb. 18: Karte der Verbreitung der epibenthischen Gemeinschaften als Ergebnis der prädiktiven Modellierung mit Angabe der Konfidenz. Die in der Modellierung verwendeten HUB-Kürzel entsprechen dem HUB Level 4-6 (HELCOM 2013b), welches gleichbedeutend mit der Biotopstruktur ist. HUB-Code Level 4 (Gemeinschaftsstruktur): 1 = gemischte epibenthische Gemeinschaft, 2 = spärliche epibenthische Gemeinschaft, Level 5 (Charakteristische Gemeinschaft): C = mehrjährige Algen, E = epibenthische Muscheln, G = epibenthische Nesseltiere, T = spärliche epibenthische Gemeinschaft, Level 6 (Dominierende Taxa): 1C3 = foliose Rotalgen (wie *Coccolytus truncatus*, *Phyllophora* spp., *Delesseria sanguinea*), 1E1 = Mytilidae, 1G1 = Hydrozoa, 2T = spärliche epibenthische Gemeinschaft. Nähere Erläuterungen zu den Konfidenzabstufungen siehe Kap. 3.1.2.

Foliose Rotalgen finden sich in den Riffbereichen auf den Geschiebemergelrücken in bis zu 20 m Wassertiefe (Abb. 18). Die Rotalgengemeinschaft kann dabei mit Hydrozoen, Schwämmen, Miesmuscheln, Kelp und filamentösen Algen assoziiert sein. Vor allem im Nordosten des Riffs kommt ein engräumiger Wechsel von foliosen Rotalgen, Hydrozoen und Mischgemeinschaften beider Taxa vor. Miesmuscheln schließen sich stellenweise im Übergangsbereich an diese Mischgemeinschaften an. Großflächig betrachtet wird die Riffkulisse im NSG „Kadetrinne“ jedoch eher spärlich von foliosen Rotalgen (> 10 % Bedeckung) bzw. von Hydrozoen besiedelt und nur vereinzelte Riffbereiche sind reich an Taxa und Biomasse. Dieser Umstand deutet auf einen degradierten ökologischen Zustand der Riffe im NSG „Kadetrinne“ hin.

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

4.1 „Sandbänke“ (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 tiefer 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 „Kadetrinne“ kommt der LRT Sandbank (FFH-LRT 1110) in Form eines etwa 2 km² großen Riesenrippelfeldes in Wassertiefen zwischen 11 und 25 m vor (Abb. 19). Diese Sandbank wurde bereits von der Firma Argument (2003) unter dem Namen „Yder Knob“ beschrieben. Laut dieser Beschreibung fallen die Hänge von etwa 12 m auf bis zu 30 m nach Süden und Osten hin ab. Das Riesenrippelfeld ragt aus den Hoheitsgewässern Dänemarks in die deutsche AWZ hinein und schließt sich den Geschiebemergelrücken der Darßer Schwelle als Verlängerung an. Es weist Kammabstände um 400 m mit Kammhöhen bis zu 5 m auf (Schwarzer & Diesing 2006). Der Sandtransport verläuft dabei in Übereinstimmung mit der Strömungsrichtung des Rinnensystems aus der Darßer Schwelle in Richtung Nordost (Schwarzer & Diesing 2006). Dominierende Arten auf der Sandbank waren vor allem *Mya arenaria* und *Mytilus edulis*. Insgesamt kommen 46 % der Arten vor, die nach der entsprechenden Artenliste für diesen Lebensraumtyp als charakteristisch gelten (IOW 2009; Darr et al. 2022).

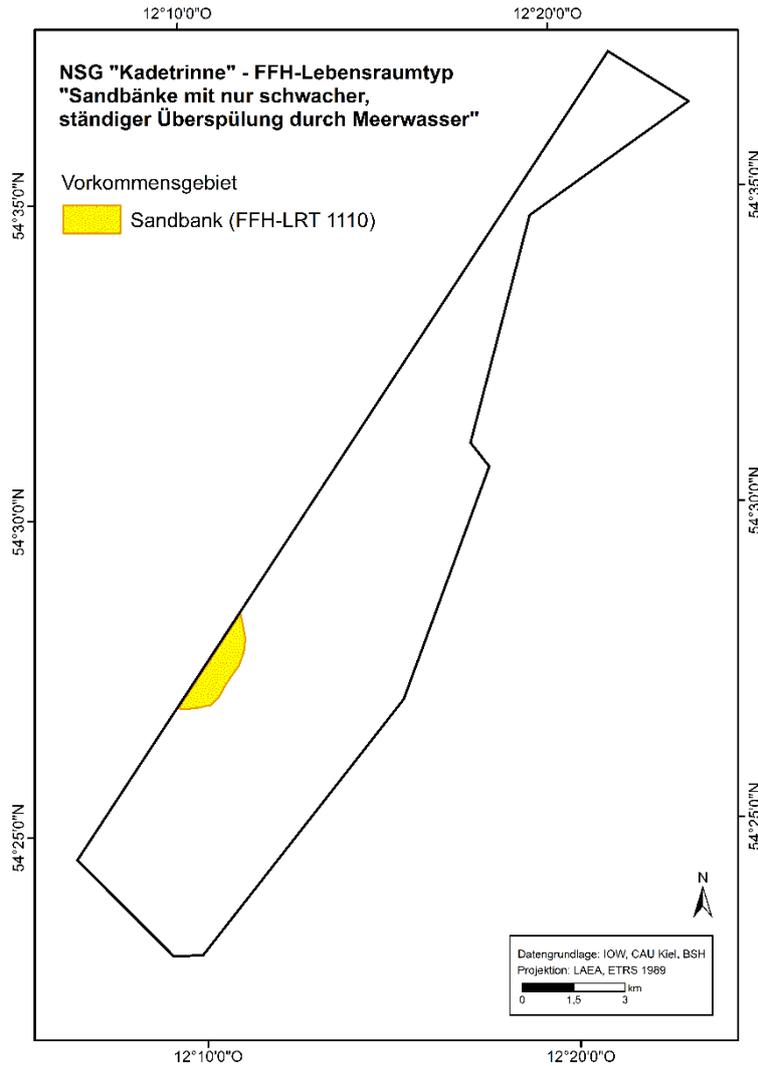


Abb. 19: Vorkommen des FFH-Lebensraumtyps „Sandbänke mit nur schwacher, ständiger Überspülung durch Meerwasser“ (EU Code 1110) im NSG „Kadetrinne“. Auf der Sandbank kommt größtenteils die *Mya arenaria* – Gemeinschaft vor, es finden sich aber auch stellenweise Miesmuschelkonglomerate, die im Norden an Dominanz gewinnen.

Auf der Sandbank wurden die in Tab. 7 dargestellten lebensraumtypischen Arten gefunden. Diese umfassen ca. die Hälfte des Arteninventars der in 2014 durch das IOW erstellten Charakterartenliste für Sandbänke.

Tab. 7: Vorkommen von lebensraumtypischen Arten im NSG „Kadetrinne“ (LRT-typische Arten nach IOW 2014)

LRT-typische Art	Vorkommen im NSG „Kadetrinne“	LRT-typische Art	Vorkommen im NSG „Kadetrinne“
<i>Abra alba</i>		<i>Nephtys caeca</i>	x
<i>Aricidea</i> spp.		<i>Ophelia</i> spp.	x
<i>Astarte borealis</i>		<i>Parvicardium pinnulatum</i>	x
<i>Bathyporeia</i> spp.	x	<i>Peringia (= Hydrobia) ulvae</i>	x

LRT-typische Art	Vorkommen im NSG „Kadetrinne“	LRT-typische Art	Vorkommen im NSG „Kadetrinne“
<i>Cerastoderma glaucum</i>	x	<i>Pholoe</i> spp.	
<i>Chaetozone setosa</i>		<i>Phoxocephalus holbolli</i>	
<i>Crassicorophium crassicorne</i>		<i>Polycirrus medusa</i>	
<i>Crangon crangon</i>	x	<i>Pygospio elegans</i>	x
<i>Dipolydora quadrilobata</i>	x	<i>Scoloplos armiger</i>	x
<i>Echinocyamus pusillus</i>		<i>Spio goniocephala</i>	x
<i>Ecrobia (=Hydrobia) ventrosa</i>		<i>Spisula subtruncata</i>	
<i>Eteone longa</i>		<i>Streblospio shrubsolii</i>	
<i>Exogone naidina</i>		<i>Tanaissus lilljeborgi</i>	
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	x	<i>Thracia phaseolina</i>	
<i>Kurtiella bidentata</i>	x	<i>Travisia forbesii</i>	x
<i>Marenzelleria</i> spp.	x		
<i>Mya arenaria</i>	x		

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, z. B. Miesmuschelbänke, kommen im NSG „Kadetrinne“ nicht vor.

Die Riffkulisse in der Biotopkarte für das NSG „Kadetrinne“ resultiert aus einer flächendeckenden SSS-basierten Sediment- und Blockkartierung, die vom BSH gemeinsam mit der CAU und dem IOW im Zuge des AWZ-Projekts 6 „Sediment“ des BfN und einer Zusammenarbeit 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 „Kadetrinne“ 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 sind⁸. „Marine Findlinge“ stellen in der deutschen AWZ der Ostsee ebenfalls einen eigenen Riffotyp dar, wurden aber in der großflächigen Kartierung des NSG „Kadetrinne“ nicht erfasst. Die Identifizierung solcher Einzelobjekte 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 „Kadetrinne“ wie auch in anderen Bereichen der Ostsee „Marine Findlinge“ erkennbar.

Wichtigste Grundlage und Ausgangsbasis der Riffabgrenzung innerhalb des NSG „Kadetrinne“ war die erstellte Blockverteilungskarte (BVK). Sie enthält vereinzelt auch Gridzellen, die aufgrund nicht auswertbarer, beziehungsweise fehlender Daten nicht klassifiziert werden konnten (vgl. Abb. 12 in Kap. 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 (Abb. 20).

⁸ die mit der verwendeten Technik detektierbare Größe beginnt bei einem Durchmesser der Steine von ca. 30 cm

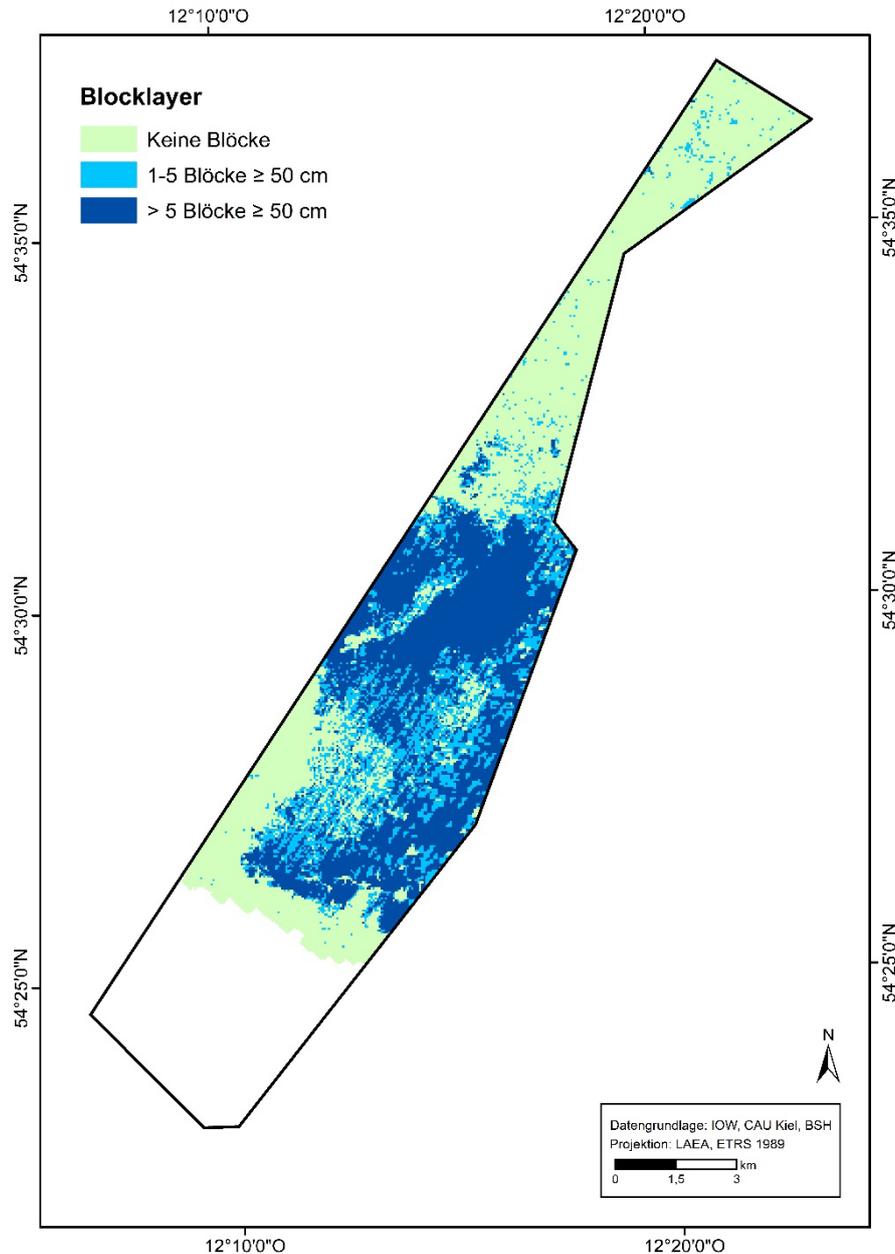


Abb. 20: Für die Riffabgrenzung verwendeter Blocklayer des NSG „Kadetrinne“ (nach Heinicke et al. 2021).

Die zweite wichtige Grundlage für die Riffabgrenzung bildete die Sedimentverteilungskarte (SVK). Darin finden sich die relevanten Informationen zur Verbreitung des Sedimenttyps „Restsediment“. Tab. 8 zeigt die Sedimenttypen, die für die Erstellung des „Restsedimentlayers“ des NSG „Kadetrinne“ herangezogen wurden. Aus der SVK, deren Geometrie die räumliche Abgrenzung von Sedimenttypen am Meeresboden als Polygon widerspiegelt, wurde für die Riffabgrenzung dann aus diesen zwei Sedimenttypen ein eigener, als „Restsedimentlayer“ bezeichneter Griddatensatz erzeugt (Abb. 21). Für die spätere Abgrenzung der Riffe waren dabei die Gridzellen relevant, die zu $>$ 50 % von Restsediment-relevanten Sedimenttypen (Tab. 8) bedeckt waren, sowie alle Randzellen mit $>$ 50 % Restsediment-relevanten Sedimenttypen.

Tab. 8: Klassifikation der zur Erstellung des Restsedimentlayers herangezogenen Sedimenttypen der SVK des NSG „Kadetrinne“ (Attribut „Summary“, vgl. 2.2; Tab. 2)

Summary	Erläuterungen
(msG-gmS)-LagSed	Schlecht sortiertes Sedimentgemisch (toniger/schluffiger, sandiger Kies bis kiesiger, toniger/schluffiger Sand) bis Restsediment; genauere Abgrenzung schwierig, Übergang zwischen den beiden Sedimenttypen ggf. fließend.
((msG-gmS)-LagSed)+(sM-mS)	Zusätzlich zu oben genanntem Sedimenttyp kommt, klar voneinander abgegrenzt aber in einem engräumigen Wechsel, ein feinerer Sedimenttyp (sandiger Schluff bis toniger/schluffiger Sand) vor. Ersterer, gröberer Sedimenttyp dominiert jedoch tendenziell.

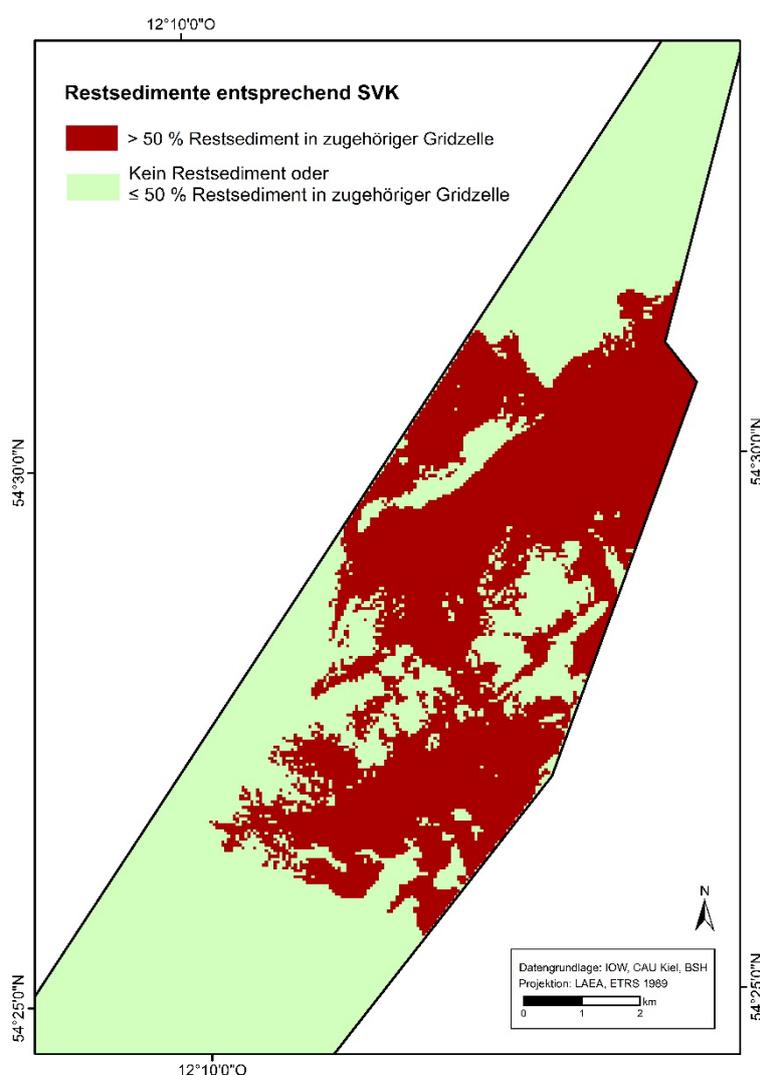


Abb. 21: Für die Riffabgrenzung verwendeter Restsedimentlayer des NSG „Kadetrinne“ (nach Heinicke et al. 2021). Restsediment bezieht sich hier auf Restsediment-relevante Sedimenttypen nach Tab. 8.

In Abb. 22 ist das Ergebnis der Riffabgrenzung dargestellt, das anhand der in Heinicke et al. (2021) beschriebenen Abgrenzungskriterien mit Hilfe des Blocklayers und Restsedimentlayers

erzeugt wurde. Demnach sind die im NSG „Kadetrinne“ vorkommenden Riffe größtenteils dem Riffotyp „Blockfeld der deutschen Ostsee“ zuzuordnen. Die abgegrenzten Kern- und Randbereiche bilden dabei die neue Kulisse, die als FFH-LRT „Riffe“ (EU-Code 1170) 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.

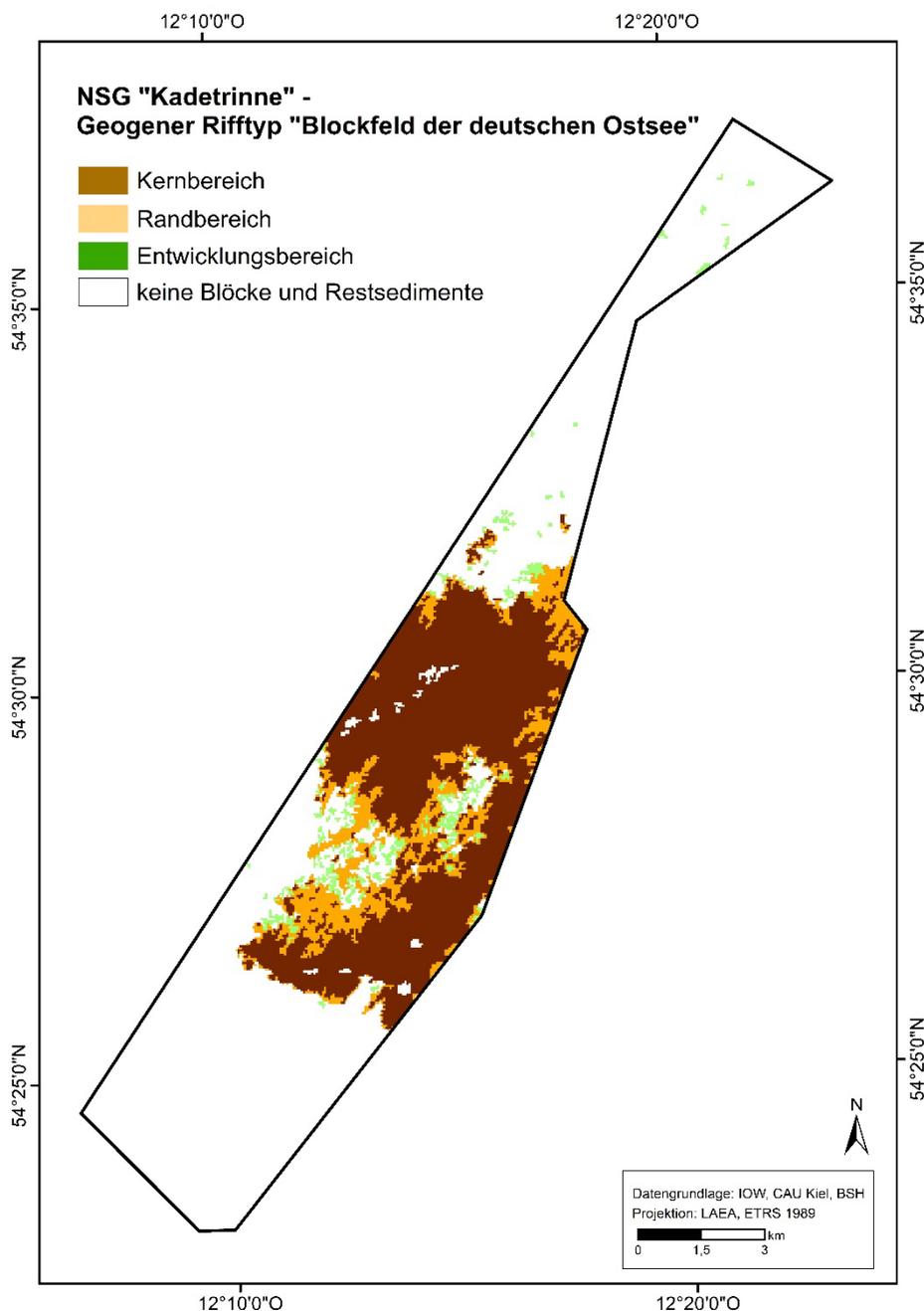


Abb. 22: Abgrenzung des geogenen Riffotyps „Blockfeld der deutschen Ostsee“ für das NSG „Kadetrinne“ mit seinen Kern- und Randbereichen sowie Entwicklungsbereichen (nach Heinicke et al. 2021); die Kern- und Randbereiche bilden zusammen den FFH-LRT „Riffe“ (EU-Code 1170) (Abb. 23).

Die in Abb. 23 dargestellte Riffkulisse ist mit 40,7 km² fast 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. Zukünftige 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 sogar zu einer noch größeren Riffkulisse führen. Der Entwicklungsbereich umfasst eine Fläche von 2,6 km².



Abb. 23: Vorkommen des FFH-Lebensraumtyps „Riffe“ (EU-Code 1170) im NSG „Kadetrinne“

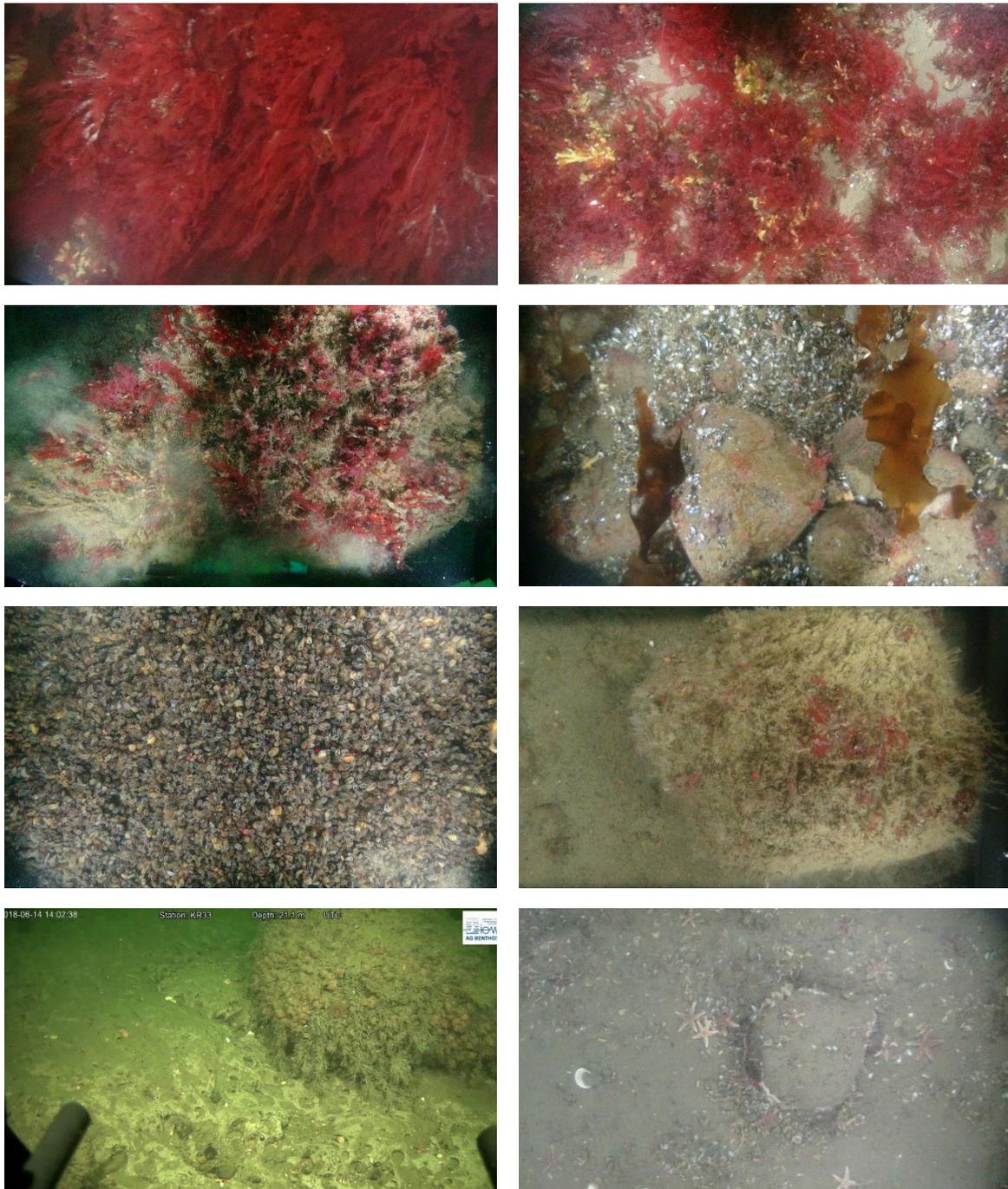


Abb. 24: Typische Strukturen und Gemeinschaften des FFH-LRT „Riffe“ im NSG „Kadetrinne“ (Fotos: IOW).

Von oben links nach unten rechts: Dichte Makrophytenwälder (vorwiegend *Delesseria sanguinea*) wechseln sich ab mit Mischgemeinschaften, in denen auch Schwämme (vorwiegend *Halichondria panicea*) bzw. Tangbeeren (*Dendrodoa grossularia*) und Hydrozoen vorkommen. Vereinzelt kann Zuckertang (*Laminaria saccharina*) auftreten (2. von oben, rechts). Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) können in teils sehr dichten Beständen vorkommen (2. von unten, links). Hydrozoenbestände können dicht (2. von unten, rechts) bis spärlich (unten rechts) auftreten, als dominierende Art oder auch vergesellschaftet mit bspw. Tangbeeren (unten links). Eine spärliche Besiedlung tritt vor allem in aphotischen Bereichen auf, in denen vermehrt organische Partikel sedimentieren (unten rechts).

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.

5.2 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 2022). Hieraus geht hervor, dass die im NSG verbreitet vorkommenden Arten *Saccharina latissima* (Zuckertang) sowie die foliosen Rotalgen *Delesseria sanguinea*, *Coccotylus truncatus*, *Phyllophora pseudoceranoides* sowie *Phycodrys rubens* kennzeichnende Arten für diesen Biotoptyp in seiner Ausprägung „Makroalgen auf Hartsubstrat“ sein können. Als Mindestfläche für diesen Biotoptyp werden 1.000 m² angegeben. Konkrete Angaben zur erforderlichen Bestandsdichte (Bedeckungsgrad) der Makroalgen werden in LLUR (2022) 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 natürlicherweise für diese Arten unzureichenden Lichtbedingungen ausgeschlossen werden.

Demnach könnte das Verbreitungsgebiet des nach § 30 BNatSchG geschützten Biotoptyps „Seegraswiesen und sonstige marine Makrophytenbestände“ als deckungsgleich mit dem modellierten Vorkommen des Biotoptyps „Sublitorales Mischsubstrat der Ostsee mit mehrjährigen blattförmigen Rotalgen“ (Code 05.02.06.01.02.04) nach der Standard-Biotoptypenliste (Abb. 25) angesehen werden. Als charakteristische Taxa gelten hier *Delesseria sanguinea*, *Coccotylus truncatus*, *Phyllophora pseudoceranoides*, *Phycodrys rubens* und *Membranoptera alata*. 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 Video- und Fotosurveys gezogen werden. Foliose Rotalgen dominieren an den Stationen, an denen eine

Bedeckung von $\geq 50\%$ vorliegt. Bei einem Bedeckungsgrad von $\geq 10\%$ treten sie innerhalb von Mischgemeinschaften mit anderen Taxa auf (Abb. 25). Laut Modell erstreckt sich die Verbreitung der foliosen Rotalgen im NSG über eine Gesamtfläche von 759,5 ha, wovon 190,9 ha mit einer hohen Wahrscheinlichkeit (= Konfidenz $\geq 80\%$) vorhergesagt werden. Besonders hohe Bedeckungsgrade werden im Südosten und Norden (hier teilweise mit Hydrozoen vergesellschaftet) der Rifffläche und davon größtenteils innerhalb der Kernbereiche des FFH-LRT „Riffe“ erreicht. Im Nordosten und Südosten kommen sie jedoch stellenweise auch in den Randbereichen vor (vgl. Kap. 4.2). Flächen mit marinen Makrophytenbeständen, die den „Riffen“ zugeordnet sind, können nicht gleichzeitig dem FFH-LRT und dem § 30-Biototyp zugeordnet werden. Sie sollten jedoch, wenn möglich, als besonders wertvolle Bereiche innerhalb der Riffe ausgewiesen werden.

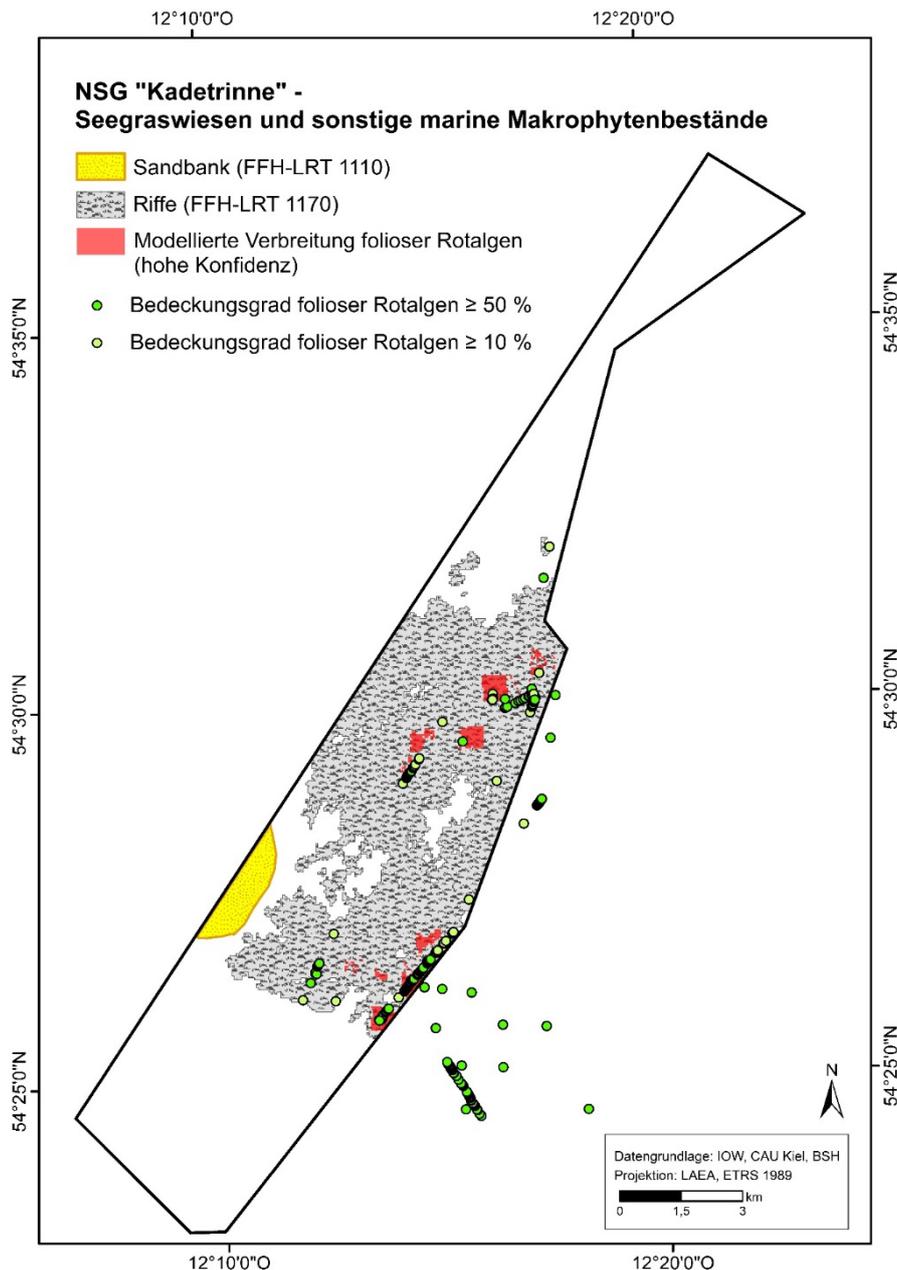


Abb. 25: Vorkommen von Makroalgen-Beständen als potenzielle Verbreitung des § 30 BNatSchG Biototyps „Seegraswiesen und sonstige marine Makrophytenbestände“ im NSG „Kadetrinne“.

6 Biotoptypen auf Grundlage hierarchischer Klassifikationssysteme

6.1 Vergleich der Klassifikationssysteme

Bei der Kartierung des NSG „Kadetrinne“ wurden die drei folgenden, hierarchischen Klassifikationssysteme berücksichtigt:

- die benthischen Biotopklassen (Broad habitat types, BHTs) im Sinne der MSRL, die auf dem europäischen European Nature Information System (EUNIS, Davies & Moss 2004, EEA 2022) beruhen,
- das HELCOM Underwater Biotope and Habitat Classification System (HELCOM HUB) auf Ostsee-Ebene (HELCOM 2013b) sowie
- die nationale Standard-Biotoptypenliste Deutschlands (Fürhaupter et al. 2015, Finck et al. 2017).

Alle drei Systeme sind hinsichtlich ihrer Grundstruktur ähnlich aufgebaut. Zunächst berücksichtigen sie in den basalen Ebenen vor allem die Tiefenzonierung und das Substrat und integrieren dann in den höheren Ebenen Informationen zur Biologie. 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 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 als Grundlage ausreichend ist. In der vorliegenden BfN-Schrift wird von erstgenanntem Fall ausgegangen und die Biotope im NSG „Kadetrinne“ werden nicht in eine weitere Tiefenstufe unterteilt. Nach der Standard-Biotoptypenliste Deutschlands wird lediglich in Sublitoral und Hydrolitoral unterschieden, so dass nach diesem Klassifikationssystem nur eine einzige Tiefenzone im NSG vorkommt.

Der zweite wichtige Umweltparameter ist das Substrat, das in 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 (Standard-Biotoptypenliste) 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 feststellen. Da sich aus den Videoaufnahmen für die Gridzellen keine verlässlichen Informationen zu einer entsprechend hohen Hartbodenbedeckung ableiten lassen, wurde diese Substratkategorie im NSG „Kadetrinne“ nicht belegt. Es ist aber nicht auszuschließen, dass sie

in den Kernzonen der Riffe lokal vorkommt. Die Hartsubstrate werden im NSG „Kadetrinne“ in der Sedimentklasse „Mischsediment“ zusammengefasst, die in beiden Klassifikationssystemen die Bereiche mit einem Hartbodenanteil von 10 – 90 % subsummiert. Seit der Angleichung des EUNIS-Systems an HELCOM HUB wird nun „Mischsediment“ in EUNIS ebenfalls als Weich- und Hartboden mit einem jeweiligen Anteil von 10 - 90 % definiert. Um jedoch Verwechslungen mit dem vormals als Mischsediment klassifizierten Weichbodengemisch zu vermeiden, wird in diesem Bericht der Begriff „Hartboden“ hintenangestellt, sodass der BHT für den Hartbodenbereich als „Mischsediment/Hartboden“ angegeben wird. 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 „Restsedimenten“ zugeordnet werden.

Die „Weichsubstrate“ werden in allen 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 (Tab. 10). So wird in der Standard-Biotoptypenliste zunächst nach dem Grobkorn-Anteil im Sediment getrennt. Beträgt der Kiesanteil (> 2 mm) wenigstens 20 % oder der Kies- und Grobsandanteil (> 500 µm) wenigstens 50 %, wird das Sediment dem „Grobsediment“ zugeordnet. Im zweiten Schritt wird nach dem Anteil an Schluff und Ton unterteilt: Beträgt dieser mindestens 20 %, liegt ein „Schlickgrund“ vor, ansonsten wird das Substrat als „Sand“ klassifiziert. Im HELCOM HUB-System wird dagegen zunächst der Anteil an Schluff und Ton abgefragt. Auch hier liegt die Schwelle für „muddy substrate“ bei 20 %. Da jedoch zunächst nach dem Schluff-/Tonanteil gefragt wird, werden im HELCOM HUB-System Mischsedimente (im Sinne der Folk-Klassifikation) aus Schluff/Ton, 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.

Wie bereits beschrieben, richtet sich das Sediment aus der Sedimentverteilungskarte (SVK) nach Folk (1954) und Figge (1981) und ist somit inkompatibel mit den drei Biotopklassifizierungssystemen, die ihrerseits die Substrattypen unterschiedlich definieren, sodass hier eine Anpassung erforderlich war (Tab. 11). 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. Die Restsedimentkategorien (msG-gmS)-LagSed und ((msG-gmS)-LagSed)+(sM-mS) aus Tab. 8 wurden hierbei einem Mischsediment/Hartboden zugeordnet, da sich aus den Foto-/Videosurveys zeigte, dass dieses Substrat, trotz teilweise hoher Detritusschicht, von (niedrigwüchsigen) Hydrozoen und Seeanemonen besiedelt wird. Auf einem Weichboden wäre dies nicht möglich, da dort Umlagerungsprozesse eine dauerhafte Besiedlung durch solche Artengruppen verhindern.

In allen 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 „Kadetrinne“ nicht in der erforderlichen Mindestausdehnung (eine Gridzelle 50 x 50 m) vor. Das EUNIS 2022-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 (Tab. 9). Das System ist in diesem Fall folglich nicht streng hierarchisch.

Bisher definierte das EUNIS-System, anders als die Standard-Biotoptypenliste und HELCOM HUB, die Substrat-Klasse „mixed sediment“ als Weichbodengemisch aus Sanden, Schluff/Ton und Kies, entsprechend der Folk-Sedimentklassifikation und separierte sich damit von den Substratklassen der gut sortierten Schlicke und Sande. Seit 2022 wird „mixed sediment“ dem „mixed substrate“ (Mischung aus Hart- und Weichböden) aus dem HELCOM HUB-System gleichgesetzt. Für die Darstellung der BHT im Bericht zum NSG „Fehmarnbelt“ (Darr et al. 2022) wurde jedoch die ursprüngliche Definition verwendet. Infolgedessen unterscheidet sich das „mixed sediment“ im Fehmarnbelt (Weichbodengemisch) vom „mixed sediment“ in diesem Bericht (Hart- und Weichboden).

Analyseschritte bei der Biotopklassifikation (aus Darr et al. 2022)

1. **Tiefenzone:** Verschneiden des Grids mit dem Polygon-Layer „Photische Zone“ (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“ (Standard-Biotoptypenliste), „mixed substrate“ (HELCOM HUB) bzw. „Mischsediment/Hartboden“ (BHT) zugeordnet.
 - 2.3. Zuordnung der Substratklassen in den verbleibenden Grid-Zellen entsprechend der Vorgaben in Tab. 10 und Tab. 11. 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 gebietspezifisch und kann zwischen den NSG variieren. Die Zuordnung ist daher zu dokumentieren.
3. **Biologie:** Die im Schritt 2.2. als „Mischsubstrat“ identifizierten Grid-Zellen werden als „Hartboden-dominiert“ interpretiert. Für sie gelten daher die epibenthischen Aufwuchs-Gemeinschaften als charakteristisch. Dementsprechend werden für die Hierarchie-Ebenen 4-6 die Ergebnisse der Modellierung aus Kap. 3.2 eingesetzt (siehe Tab. 12). Alle weiteren nach Schritt 2.3 differenzierten Zellen werden dagegen durch die endobenthischen Gemeinschaften charakterisiert (Ergebnis der Modellierung im Kap. 3.1, siehe Tab. 12).

Tab. 9: Gegenüberstellung der hierarchischen Ebenen der drei berücksichtigten Klassifikationssysteme

Ebene	EUNIS 2022	HELCOM HUB	Standard-Biotoptypenliste
1	Stratum M – marine	Ökoregion A – Ostsee	Stratum 05. Benthal der Ostsee
2	Tiefenzone B – Infralitoral C – Circalitoral (D – Offshore Circalitoral) UND Substrat Siehe Tab. 10	Tiefenzone A – photisch B – aphotisch	Tiefenzone 02. Sublitoral
3	Ökoregion 3 – Baltic	Substrat Siehe Tab. 10	Substrat Siehe Tab. 10
4	Sondersubstrate und höhere tax. Gruppen entsprechend HELCOM HUB & Standard-Biotoptypenliste Ebene 5 Sondersubstrate <i>Unter „rock“: hard clay, marl, ferromanganese concretion, anthropogenic created substrates</i> <i>Unter „biogenic substrates“: mussel bed, shell gravel, peat</i>	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)
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

Tab. 10: Überblick zu den Substratdefinitionen in den drei berücksichtigten Klassifikationssystemen

Substrattyp	EUNIS 2022	HELCOM HUB	Standard-Biotoptypenliste
Hartsubstrate	rock ≥ 90 % Bedeckung mit rock, boulder, cobbles (> 64 mm)	A – „rock and boulders“ > 90 % Bedeckung mit rock and boulders (evtl. inklusive cobbles) ⁹	Fels- oder Steingrund ≥ 90 % Bedeckung mit Felsen- und Steingründe, Geschiebemergel, Klei-, Torf- und Schillgrund
Mischbereiche aus Hart- und Weichsubstrate	Mixed sediment 10 - 90 % coverage of hard (rock/boulders/stone) and soft substrata (e.g. muddy/coarse sediment/sand) each	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			
Kiese (z. T. mit Grobsand)	Coarse sediment gravel and pebbles (2 – 63 mm) > 30 % of the combined gravel and sand fraction	I – Coarse sediment (2) Gravel and pebbles (2 – 63 mm) ≥ 30 %	ebenes Grobsubstrat (1) ≥ 50 % Grobsand und Kies ODER ≥ 20 % Kies Sondertyp: Grobsedimentbank , wenn auf FFH-LRT 1110
Schlickige Substrate	Mud ≥ 20 % mud, silt or clay (< 63 µm)	H – Muddy sediment (1) Mud ≥ 20 %	Schlickgrund (2) Schlufffraktion ≥ 20 %
Sand	Sand	J – sand (3)	ebener Sandgrund (3) 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

⁹ Cobbles werden im technischen Bericht zum HELCOM HUB (HELCOM 2013b) nicht explizit zu dieser Klasse gezählt. Jedoch beinhaltet die nächst feinere Substratfraktion „coarse sediment“ Korngrößenfraktionen ab 64 mm abwärts (pebbles, gravel).

Substrattyp	EUNIS 2022	HELCOM HUB	Standard-Biotoptypenliste
			Sublitorale Sandbank
anthropogen	anthropogenically created (hard substrate)	anthropogenically created (hard substrate)	Nicht vorhanden

Tab. 11: Interpretation der Substrattypen nach der Sedimentverteilungskarte (SVK) für die drei Biotoptypklassifikationssysteme HELCOM HUB, die deutsche Standard-Biotoptypenliste und EUNIS 2022 (gleichzusetzen mit den BHT im Sinne der MSRL).

SVK Summary	HELCOM-HUB	Standard-Biotoptypenliste	EUNIS 2022
((msG-gmS)-LagSed)+(sM-mS)	mixed substrate	Mischsubstrat	Mischsediment/Hartboden
(msG-gmS)-LagSed	mixed substrate	Mischsubstrat	Mischsediment/Hartboden
(msG-gmS)+(sM-mS)	coarse sediment	Grobsediment	Grobsediment
(sM-mS)+gS	mud	Schlickgrund	Schlickböden
(sM-mS)+msG	mud	Schlickgrund	Schlickböden
(sM-mS)+(msG-gmS)	mud	Schlickgrund	Schlickböden
(sM-mS)+(msG-gmS)	mud	Schlickgrund	Schlickböden
(sM-mS)-(msG-gmS)	mud	Schlickgrund	Schlickböden
fSa-mSa	sand	Sandgrund	Sandböden
fSa-sM	sand	Sandgrund	Sandböden
fSa-(sM-mS)	sand	Sandgrund	Sandböden
FSed+CSed	mud	Schlickgrund	Schlickböden
FSed-S	mud	Schlickgrund	Schlickböden
gS-mxSa	sand	Sandgrund	Sandböden
mS	mud	Schlickgrund	Schlickböden
mSa	sand	Sandgrund	Sandböden
mS-fSa	mud	Schlickgrund	Schlickböden
msG-gmS	coarse sediment	Grobsediment	Grobsediment
mxSa	sand	Sandgrund	Sandböden
MxSed (nur Ebene A)	sand	Sandgrund	Sandböden
sM	mud	Schlickgrund	Schlickböden
sM-mS	mud	Schlickgrund	Schlickböden

SVK Summary	HELCOM-HUB	Standard-Bio- toptypenliste	EUNIS 2022
S	sand	Sandgrund	Sandböden
S-FSed	sand	Sandgrund	Sandböden
S+(mS-M)	sand	Sandgrund	Sandböden
S-mS-gS	sand	Sandgrund	Sandböden
S-(sM-mS)	sand	Sandgrund	Sandböden
1 (Fsed)	mud	Schlickgrund	Schlickböden

Tab. 12: Zuordnung der Gemeinschaften zu den drei Klassifikationssystemen. Die mit * gekennzeichneten Codes wurden hier neu eingeführt, da sie bisher nicht in den Biotopklassifizierungssystemen vorkommen.

Erklärung	HUB - Code	Standard-Biotopy- penliste - Code	EUNIS 2022
Hydrozoen auf Mischsediment/Hartboden im Infralitoral	AA.M1G1	05.02.06.01.06.02	Mischsediment/Hartboden des Infralitorals
Hydrozoen auf Mischsediment/Hartboden im Circalitoral	AB.M1G1	05.02.06.01.06.02	Mischsediment/Hartboden des Circalitorals
Foliose Rotalgen auf Mischsediment/Hartboden im Infralitoral	AA.M1C3	05.02.06.01.02.04	Mischsediment/Hartboden des Infralitorals
Miesmuscheln auf Mischsediment/Hartboden im Infralitoral	AA.M1E1	05.02.06.01.04.01	Mischsediment/Hartboden des Infralitorals
Miesmuscheln auf Mischsediment/Hartboden im Circalitoral	AB.M1E1	05.02.06.01.04.01	Mischsediment/Hartboden des Circalitorals
Spärliche epibenthische Besiedlung auf Mischsediment/Hartboden im Infralitoral	AA.M2T	05.02.06.02	Mischsediment/Hartboden des Infralitorals
Spärliche epibenthische Besiedlung auf Mischsediment/Hartboden im Circalitoral	AB.M2T	05.02.06.02	Mischsediment/Hartboden des Circalitorals
Gemischte endobenthische Gemeinschaft auf Grobsediment im Infralitoral	AA.I3	05.02.08.02.05	Grobsediment des Infralitorals
Gemischte endobenthische Gemeinschaft auf Grobsediment im Circalitoral	AB.I3	05.02.08.02.05	Grobsediment des Circalitorals
Gemischte endobenthische Gemeinschaft auf Sandböden im Infralitoral	AA.J3	05.02.10.02.09	Sandböden des Infralitorals
Gemischte endobenthische Gemeinschaft auf Sandböden im Circalitoral	AB.J3	05.02.10.02.09	Sandböden des Circalitorals
Gemischte endobenthische Gemeinschaft auf Schlickböden im Circalitoral	AB.H3	05.02.11.02.07	Schlickböden des Circalitorals
<i>Mya arenaria</i> auf Sandböden im Infralitoral	AA.J3L4	05.02.10.02.05.06	Sandböden des Infralitorals

Erklärung	HUB - Code	Standard-Biotoptypenliste - Code	EUNIS 2022
<i>Mya arenaria</i> auf Sandböden im Circalitoral	AB.J3L4	05.02.10.02.05.06	Sandböden des Circalitorals
<i>Mya arenaria</i> auf Schlickböden im Infralitoral	AA.H3L4	05.02.11.02.03.07	Schlickböden des Infralitorals
<i>Mya arenaria</i> auf Schlickböden im Circalitoral	AB.H3L4	05.02.11.02.03.07	Schlickböden des Circalitorals
Brackwassermuschel-Gemeinschaft auf Grobsediment im Infralitoral	AA.I3L9*	05.02.08.02.06*	Grobsediment des Infralitorals
Brackwassermuschel-Gemeinschaft auf Grobsediment im Circalitoral	AB.I3L9*	05.02.08.02.06*	Grobsediment des Circalitorals
Brackwassermuschel-Gemeinschaft auf Sandböden im Infralitoral	AA.J3L9	05.02.10.02.01	Sandböden des Infralitorals
Brackwassermuschel-Gemeinschaft auf Sandböden im Circalitoral	AB.J3L9	05.02.10.02.01	Sandböden des Circalitorals
Brackwassermuschel-Gemeinschaft auf Schlickböden im Infralitoral	AA.H3L9*	05.02.11.02.01	Schlickböden des Infralitorals
Brackwassermuschel-Gemeinschaft auf Schlickböden im Circalitoral	AB.H3L9*	05.02.11.02.01	Schlickböden des Circalitorals

6.2 Ergebnisse

6.2.1 Benthische Biotopklassen und andere Lebensraumtypen (EU-KOM 2017/848) 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 anderen Lebensraumtypen (Other Habitat Types, OHT) gemäß EU-KOM-Beschluss 2017/848. Die benthischen Biotopklassen basieren EU-weit auf den Ebenen 2 und 3 der EUNIS Klassifikation und repräsentieren damit die flächenmäßig größten marinen Habitate. Die sog. anderen Lebensraumtypen umfassen in der deutschen AWZ der Ostsee die natürlichen FFH-Lebensraumtypen Sandbänke (EU-Code 1110) und Riffe (EU-Code 1170) sowie die beiden nach § 30 BNatSchG geschützten Biotope „Seegraswiesen und sonstige marine Makrophytenbestände“ und „Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe“ (BMU 2018). Letzterer Biotoptyp konnte jedoch im NSG „Kadetrinne“ nicht nachgewiesen werden.

Mit den in Abb. 26 dargestellten Ergebnissen der Biotopkartierung im NSG „Kadetrinne“ verändert sich die Kulisse der benthischen Biotopklassen und anderen Lebensraumtypen gegenüber den Ergebnissen in BMU (2018). Hinsichtlich der BHT stellen die „Schlickböden des Circalitorals“ (3.896,5 ha) den flächenmäßig insgesamt größten MSRL-relevanten Lebensraum dar, gefolgt vom „Mischsediment/Hartboden des Circalitorals“ (2.934,8 ha) (Tab. 13) und den Sandböden (745,8 ha im Infralitoral und 1.546,8 ha im Circalitoral).

Die übrigen BHT „Schlickböden des Infralitorals“ sowie „Grobsediment des Infra- und Circalitorals“ sind in ihrer Verbreitung vergleichsweise gering. Hinsichtlich der OHT nimmt die Sandbank 203,6 ha von den bereits genannten Sandböden (BHT) ein. Daneben gehört auch die Rifffläche zu den OHT (4.074,1 ha). Diese hat sich zum Vergleich mit BMU (2018) deutlich vergrößert (vormals ca. 2.344,4 ha).

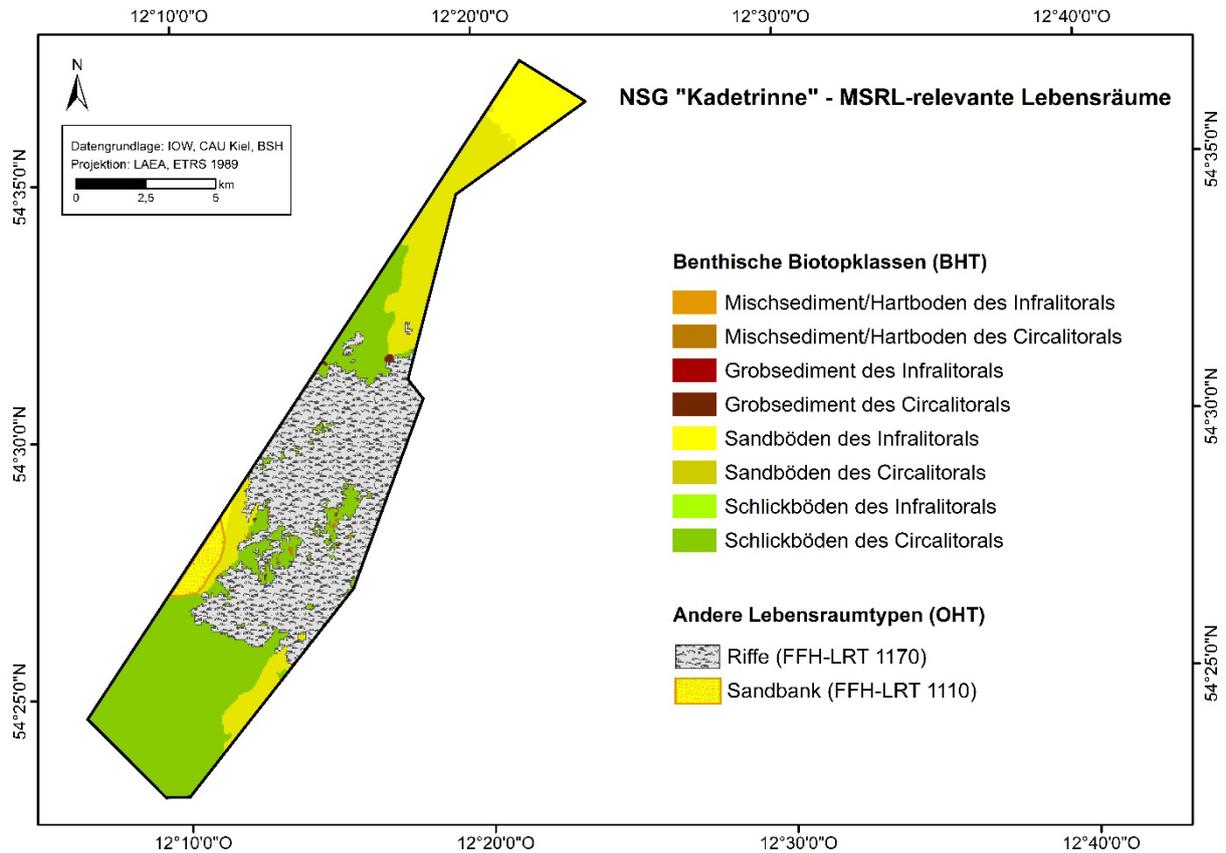


Abb. 26: Karte der MSRL-relevanten benthischen Biotopklassen (BHT) und anderen Lebensraumtypen (OHT) gem. EU-KOM 2017/848.

Tab. 13: Fläche der kartierten benthischen Lebensräume im Sinne der MSRL

	Lebensraum	Fläche [ha]
BHT	Mischsediment/Hartboden des Infralitorals	799,0
	Mischsediment/Hartboden des Circalitorals	2.934,8
	Grobsediment des Infralitorals	1,5
	Grobsediment des Circalitorals	119,7
	Sandböden des Infralitorals	745,8
	Sandböden des Circalitorals	1.546,8
	Schlickböden des Infralitorals	1,2
	Schlickböden des Circalitorals	3.896,5
	OHT	Sandbank (1110)
Riffe (1170)		4.074,10

6.2.2 HELCOM Underwater Habitat and Biotope Classification System (HUB)

HELCOM HUB betrachtet 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 und einen natürlichen Salzgehaltsgradienten von Südwest nach Nordost auf. Aufgrund der morphologischen Gegebenheiten kann sich auch eine zum Teil stark ausgeprägte vertikale Salinitäts- und Temperaturschichtung ausbilden.

HUB stellt erstmals ein an EUNIS orientiertes, aber an die Ostsee-spezifischen 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 aller Ostseeanrainerstaaten entwickelt. Diese Zusammensetzung ermöglichte es dem Team, auch bereits existierende nationale Klassifikationssysteme zu berücksichtigen. Im Ergebnis umfasst HUB 328 pelagische und benthische Biotoptypen und darüber hinaus 10 Biotopkomplexe, wobei letztere den in der Ostsee vorkommenden natürlichen Lebensraumtypen gem. Anhang I FFH-RL entsprechen (HELCOM 2013b). Auf Grundlage von HUB wurde auch die HELCOM Rote Liste der Biotope (HELCOM 2013a) erarbeitet.

Da auf die Trennregeln im HUB-System und deren Spezifika für die Biotopklassifizierung bereits in Kap. 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 (2013b) verwiesen. Die nachfolgende Tab. 14 enthält die im Zuge der Biotopkartierung im NSG „Kadetrinne“ kartierten HUB-Biotope und Abb. 27 deren kartographische Darstellung.

Insgesamt wurden 22 Biotope kartiert, deren Ableitung und Charakterisierung weitgehend denen der deutschen Standard-Biotoptypenliste entspricht. Da im HUB-System zusätzlich zwischen photischer und aphotischer Zone unterschieden wird, ist die Anzahl an Biotoptypen höher, die Menge ihrer jeweiligen Einzelflächen ist jedoch geringer als nach der Standard-Biotoptypenliste. Alle 22 kartierten Biotope sind laut Roter Liste der Biotope (HELCOM 2013a) ungefährdet. Einzig die Gemeinschaft aus foliosen Rotalgen, die auf Mischsubstrat dominiert (HUB-Code: AA.M1C3), ist nach § 30 BNatSchG als Bestandteil der „Seegraswiesen und sonstigen marinen Makrophytenbeständen“ gesetzlich geschützt (vgl. Kap. 5.2).

Für eine Fläche, die nach Leipe et al. (2017) zum aphotischen Bereich zählt, wurde eine Gemeinschaft aus foliosen Rotalgen modelliert. Da diese jedoch nur in lichtdurchfluteten Bereichen vorkommen, wurde sie der photischen Zone zugeordnet. Auch im Rahmen des Ground Truth konnten dort foliose Rotalgen vorgefunden werden, wo nach Leipe et al. (2017) bereits aphotische Bedingungen herrschen. Diese Tatsache lässt vermuten, dass sich die photischen Bereiche im Laufe der Zeit verschieben. Die Ursache dafür kann ein veränderter Eintrag von organischem Material und Nährstoffen und eine damit einhergehende Veränderung der Wassertrübung und Lichteindringtiefe sein. Foliose Rotalgen könnten demnach ein Indikator für die Ausdehnung dieser Bereiche sein.

In HELCOM HUB (2013b) gibt es bisher keine Codierung für Brackwassermuschel-Gemeinschaften auf Schlickböden. Schlickböden definieren sich nach allen drei Biotopklassifikationssystemen (Standard-Biotoptypenliste, HELCOM HUB, EUNIS) durch mindestens 20 % Anteil an Schluff und Ton. Das heißt, Brackwassermuschel-Gemeinschaften können auch auf einem Habitat vorkommen, das formal den Schlickböden zugeordnet wird, aber z. B. zu 80 % aus Sand bestehen kann. Weiterhin sind *Arctica islandica* und *Macoma balthica* Bestandteil dieser Gemeinschaft und kommen auch auf sandigen Schlick bis Schlick vor (Zettler & Röhner 2004). Die Taxa, die die Brackwassermuschel-Gemeinschaft bilden, präferieren damit nicht nur Sand als Substrat, sondern ihr Vorkommen kann sich bis auf schlickigere Bereiche erstrecken. Daher wird die Brackwassermuschelgemeinschaft auf (a)photischen Schlickböden (HUB Code: AA.H3L9/AB.H3L9) hier neu eingeführt. In der Standard-Biotoptypenliste taucht diese Gemeinschaft bereits auf (Standard-Biotoptypenliste Code: 05.02.11.02.01), in HELCOM HUB ist sie jedoch noch nicht integriert worden.

Derselbe Sachverhalt gilt für die Brackwassermuschel-Gemeinschaft auf Grobsediment, deren HUB-Code AA.I3L9 bzw. AB.I3L9 hier ebenfalls neu eingeführt wird. Laut HUB handelt es sich um Grobsediment, sobald der Kiesanteil mindestens 30 % beträgt. Für die Standard-Biotoptypenliste wurde analog der neue Code 05.02.08.02.06 eingeführt (Kapitel 6.2.3).

Tab. 14: Fläche der kartierten Biotoptypen nach HUB 2013 mit Angabe der Gefährdungskategorie nach HELCOM Roter Liste (RL, HELCOM 2013a), LC = least concern, NE = not evaluated. Die mit * versehenen Codes wurden als neue Biotopklasse eingeführt.

Code	Name	RL Kategorie	Fläche [in ha]
AA.H3L4	Baltic photic muddy sediment dominated by sand gaper (<i>Mya arenaria</i>)		0,1
AA.H3L9*	Baltic photic muddy sediment dominated by multiple infaunal bivalve species: <i>Cerastoderma</i> spp., <i>Mya arenaria</i> , <i>Astarte borealis</i> , <i>Arctica islandica</i> , <i>Macoma balthica</i>		1,2

Code	Name	RL Ka- tegorie	Fläche [in ha]
AA.I3	Baltic photic coarse sediment characterized by macroscopic infaunal biotic structures		2,8
AA.I3L9*	Baltic photic coarse sediment dominated by multiple infaunal bivalve species: <i>Cerastoderma</i> spp., <i>Mya arenaria</i> , <i>Astarte borealis</i> , <i>Arctica islandica</i> , <i>Macoma balthica</i>		1,5
AA.J3	Baltic photic sand characterized by macroscopic infaunal biotic structures		37,5
AA.J3L4	Baltic photic sand dominated by sand gaper (<i>Mya arenaria</i>)	LC	130,1
AA.J3L9	Baltic photic sand dominated by multiple infaunal bivalve species: <i>Cerastoderma</i> spp., <i>Mya arenaria</i> , <i>Astarte borealis</i> , <i>Arctica islandica</i> , <i>Macoma balthica</i>	LC	576,7
AA.M1C3	Baltic photic mixed substrate dominated by foliose red algae	LC	759,5
AA.M1G1	Baltic photic mixed substrate dominated by hydroids (Hydrozoa)	LC	3,3
AA.M1E1	Baltic photic mixed substrate dominated by <i>Mytilidae</i>	LC	22,8
AA.M2T	Baltic photic mixed substrate characterized by sparse epibenthic macrocommunity		23,8
AB.H3	Baltic aphotic muddy sediment characterized by macroscopic infaunal biotic structures		872,7
AB.H3L4	Baltic aphotic muddy sediment dominated by sand gaper (<i>Mya arenaria</i>)		0,5
AB.H3L9*	Baltic aphotic muddy substrate dominated by multiple infaunal bivalve species: <i>Cerastoderma</i> spp., <i>Mya arenaria</i> , <i>Astarte borealis</i> , <i>Arctica islandica</i> , <i>Macoma balthica</i>		2.958,0
AB.I3	Baltic aphotic coarse sediment characterized by macroscopic infaunal biotic structures		149,2
AB.I3L9*	Baltic aphotic coarse sediment dominated by multiple infaunal bivalve species: <i>Cerastoderma</i> spp., <i>Mya arenaria</i> , <i>Astarte borealis</i> , <i>Arctica islandica</i> , <i>Macoma balthica</i>		60,9
AB.J3	Baltic aphotic sand characterized by macroscopic infaunal biotic structures		258,9
AB.J3L4	Baltic aphotic sand dominated by sand gaper (<i>Mya arenaria</i>)	LC	14,5
AB.J3L9	Baltic aphotic sand dominated by multiple infaunal bivalve species: <i>Cerastoderma</i> spp., <i>Mya arenaria</i> , <i>Astarte borealis</i> , <i>Arctica islandica</i> , <i>Macoma balthica</i>	NE	1.237,5
AB.M1E1	Baltic aphotic mixed substrate dominated by <i>Mytilidae</i>	LC	42,5
AB.M1G1	Baltic aphotic mixed substrate dominated by hydroids (Hydrozoa)	LC	1.767,0
AB.M2T	Baltic aphotic mixed substrate characterized by sparse epibenthic macrocommunity		977,6

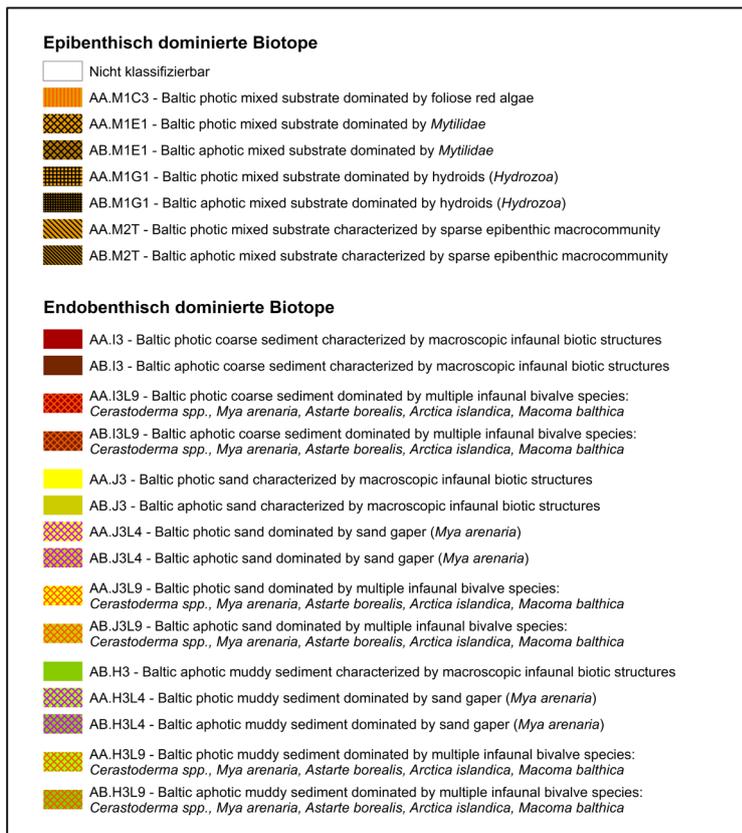
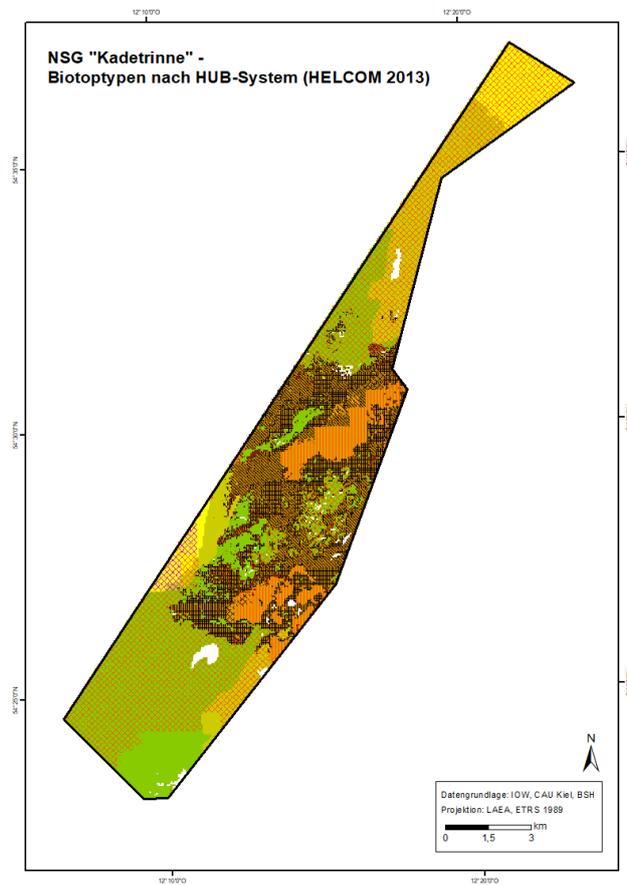


Abb. 27: Karte der Biotoptypen entsprechend des Klassifikationssystems HELCOM HUB im NSG „Kadetrinne“. Die HUB-Klassen AA.H3L9/AB.H3L9 sowie AA.I3L9/AB.I3L9 werden hier neu eingeführt.

Neben den auskartierten Biotoptypen gibt es auch für das HUB-System Hinweise auf das Vorkommen weiterer Biotoptypen, deren Gesamtfläche möglicherweise 1 ha übersteigt, die aber mit den hier angewandten Methoden nicht ausreichend erfasst werden konnten. Dabei handelt es sich um analoge Biotope zu den im nachfolgenden Kap. 6.2.3 beschriebenen Typen:

- AA.A/AB.A photic/aphotic rock and boulders (und Untertypen)
- AA.B/AB.B photic/aphotic hard clay
- AA.E/AB.E. photic/aphotic shell gravel (und Untertypen)
- AA.M1C4 photic mixed substrate dominated by kelp
- AA.M1S1 photic mixed substrate dominated by filamentous annual algae.
- AB.H3L3 & AB.J3L3 aphotic muddy sediment and sand dominated by ocean quahog (*Arctica islandica*)
- AB.H3L1 aphotic muddy sediment dominated by Baltic tellin (*Macoma balthica*)
- AB.H3M5 aphotic muddy sediment dominated by various opportunistic polychaetes

6.2.3 Deutsche Standard-Biotoptypenliste

Insgesamt wurden im NSG „Kadetrinne“ 12 Biotoptypen nach der deutschen Standard-Biotoptypenliste kartiert (Tab. 15). Die gegenüber der HUB-Klassifikation (vgl. Kap. 6.2.2) deutlich geringere Typenzahl liegt in der fehlenden Tiefenabstufung begründet. Die Standard-Biotoptypenliste unterscheidet, im Gegensatz zum HELCOM HUB-System, nicht nach photischem und aphotischem Bereich.

Von den 12 Biotoptypen sind 4 auf der Deutschen Roten Liste (die der Standard-Biotoptypenliste entspricht) mit einer Gefährdungskategorie versehen. Auf der Vorwarnliste (V) und auf der akuten Vorwarnliste (3-V) stehen demnach jeweils 2 Biotoptypen. Der flächenmäßig größte davon ist im NSG „Kadetrinne“ das „sublitorale Mischsubstrat der Ostsee mit Hydroidpolyphen“ (V) mit 17,7 km², gefolgt vom „sublitoralen Mischsubstrat der Ostsee mit mehrjährigen, blattförmigen Rotalgen“ (3-V) mit 7,6 km². Das „sublitorale, ebene Grobsediment der Ostsee ohne Charakterarten oder der Dominanz von spezifischen funktionalen/taxonomischen Gruppen der Infauna“ (3-V) und das „sublitorale Mischsubstrat der Ostsee mit Miesmuscheln“ (V) folgen mit 1,5 bzw. 0,7 km². Diese 4 Biotoptypen machen insgesamt ca. 74 % der Hartbodenfläche bzw. ca. 67 % der gesamten Rifffkulisse im NSG aus.

Der Biotoptyp „Sublitoraler Schlickgrund der Ostsee mit Islandmuscheln (*Arctica islandica*)“ (Kategorie 2-3, gefährdet bis stark gefährdet) konnte im NSG weder in seiner typischen Ausprägung nachgewiesen noch modelliert werden, da er sich nicht von den umliegenden dominierenden Brackwassermuschel-Gemeinschaften bzw. *Macoma balthica* – Gemeinschaften abtrennen ließ. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass dieser Biotoptyp potenziell im Süden des NSG vorkommt (siehe Fläche mit Biotoptyp 05.02.11.02.01 in Abb. 28; Abb. 14).

Die Verteilung der Biotoptypen nach der Standard-Biotoptypenliste ist in Abb. 28 dargestellt. Nicht auf jedem Sedimenttyp konnte ein biologisches Ground Truth durchgeführt werden, da die geologische und die biologische Kartierung zeitgleich verliefen und Stationen nicht anhand einer bestehenden Sedimentverteilungskarte festgelegt werden konnten. Sedimenttypen, auf denen eine solche Benthosbeprobung fehlt, konnten nicht im Rahmen der Modellierung bearbeitet werden. Daher werden diese Bereiche als Weißflächen in der Karte dargestellt.

Tab. 15: Flächen der kartierten Biotoptypen nach der Standard-Biotoptypenliste mit der jeweiligen Gefährdungseinstufung nach Deutscher Roter Liste (RL). Die mit * versehenen Codes wurden hier neu eingeführt, da sie bisher nicht im Klassifizierungssystem vorkommen.

Code	Name	RL Kategorie	Fläche [in ha]
05.02.06.01.02.04	Sublitorales Mischsubstrat der Ostsee mit mehrjährigen, blattförmigen Rotalgen (<i>Coccotylus/Delesseria/Phyllophora/Phycodrys</i>)	3-V	759,5
05.02.06.01.04.01	Sublitorales Mischsubstrat der Ostsee mit Miesmuscheln (<i>Mytilus</i>)	V	65,3
05.02.06.01.06.02	Sublitorales Mischsubstrat der Ostsee mit Hydroidpolypen (Hydrozoa)	V	1.770,3
05.02.06.02	Sublitorales Mischsubstrat der Ostsee mit vereinzelt Epibenthos, Weidegängern oder ohne epibenthische Makroflora oder -fauna	*	1.001,4
05.02.08.02.05	Sublitorales, ebenes Grobsediment der Ostsee ohne Charakterarten oder der Dominanz von spezifischen funktionalen/taxonomischen Gruppen der Infauna	3-V	152,0
05.02.08.02.06*	Sublitorales, ebenes Grobsediment der Ostsee mit Brackwassermuschel-Gemeinschaft (<i>Cerastoderma glaucum, Macoma balthica, Mya arenaria</i>)		62,4
05.02.10.02.01	Sublitoraler, ebener Sandboden der Ostsee mit Brackwassermuschel-Gemeinschaft (<i>Cerastoderma glaucum, Macoma balthica, Mya arenaria</i>)	*	1.814,2
05.02.10.02.05.06	Sublitoraler, ebener Sandboden der Ostsee mit Sandklaffmuscheln (<i>Mya arenaria</i>)	#	144,6
05.02.10.02.09	Sublitoraler, ebener Sandboden der Ostsee ohne Charakterarten oder der Dominanz von spezifischen funktionalen/taxonomischen Gruppen der Infauna	*	296,4
05.02.11.02.01	Sublitoraler Schlickgrund der Ostsee mit Brackwassermuschel-Gemeinschaft (<i>Cerastoderma glaucum, Macoma balthica, Mya arenaria</i>)	*	2.959,2
05.02.11.02.03.07	Sublitoraler Schlickgrund der Ostsee mit Sandklaffmuscheln (<i>Mya arenaria</i>)	#	0,5
05.02.11.02.07	Sublitoraler Schlickgrund der Ostsee ohne Charakterarten oder der Dominanz von spezifischen funktionalen/taxonomischen Gruppen der Infauna	*	872,7

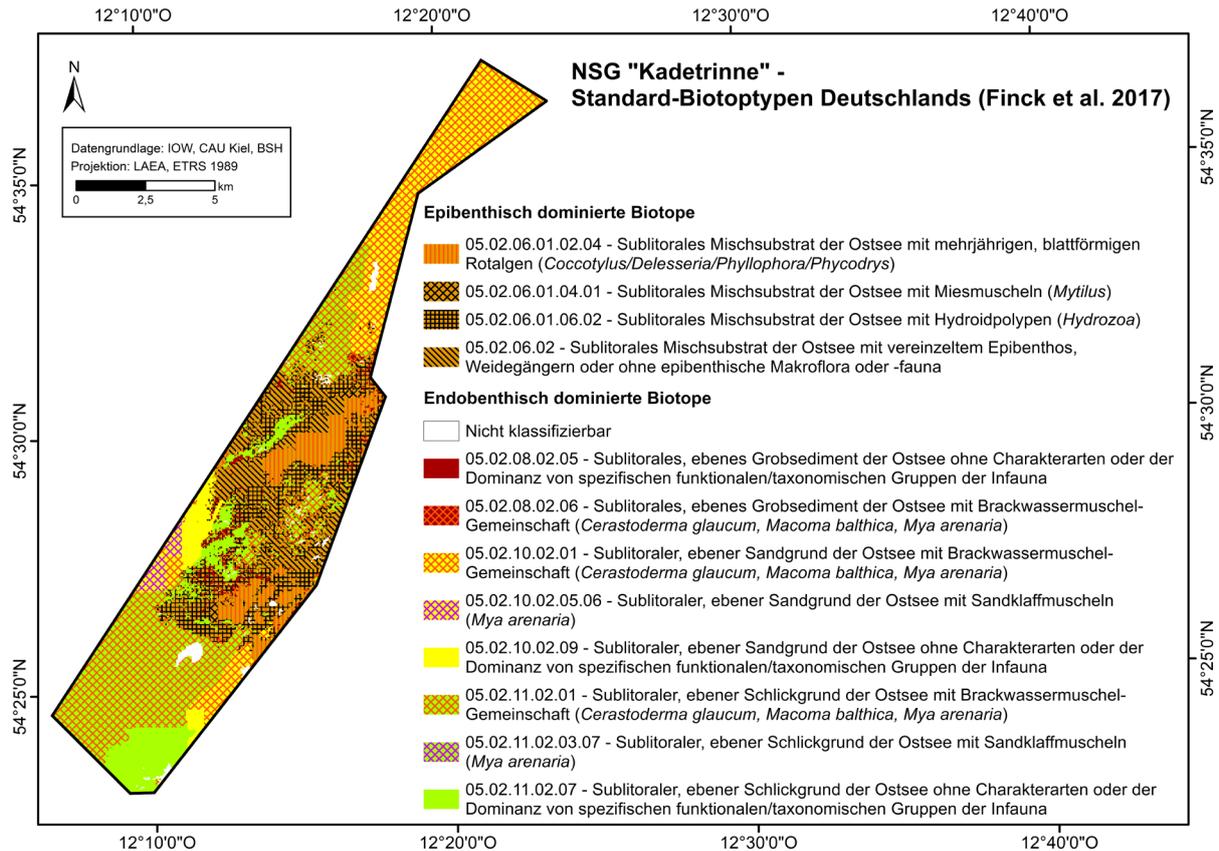


Abb. 28: Karte der Standard-Biotoptypen Deutschlands im NSG „Kadetrinne“.

Neben den auskartierten Biotoptypen gibt es aus den Datenerhebungen Hinweise auf das Vorkommen weiterer Biotoptypen, die aber mit den hier angewandten Methoden nicht ausreichend erfasst werden konnten. Dazu zählen:

- **05.02.01 Sublitoraler Felsen- und Steingrund der Ostsee** (und Untertypen). Die Blockdichte kann zurzeit technisch noch nicht erfasst werden und ist Gegenstand zukünftiger Methodenentwicklung. Es ist nicht auszuschließen, dass die Hartbodenbedeckung lokal 90 % übersteigt.
- **05.02.03 Sublitoraler, ebener Geschiebemergelgrund der Ostsee**. Stellenweise werden Kleigründe sichtbar, die von größerem Material überdeckt werden und von *Barnea candida* – Spuren durchzogen sind (Abb. 29).
- **05.02.04 Sublitoraler Schillgrund der Ostsee**. Schillagerstätten konnten bei der verwendeten Kartierungsaufösung nicht flächendeckend erfasst werden. Videountersuchungen zeigen jedoch gelegentliche Vorkommen von *Arctica*- bzw. *Mytilus*-Schill, die aber als Einzelvorkommen eine Flächengröße von 100 m² kaum übersteigen.
- **05.02.06.01.02.03 Sublitorales Mischsubstrat mit Laminaria/Saccharina**. Einzelbestände kommen räumlich sehr begrenzt auf den Riffflächen vor. Noch formen die Bestände jedoch kein eigenes Biotop, da nur vereinzelte Thalli auftreten. Erst wenn die Bestandsdichte einen Bedeckungsgrad von > 10 % aufweist und das an mehreren Stationen bzw. flächig, könnte eine Modellierung durchgeführt und ein eigenes Biotop ausgewiesen werden.

- **05.02.06.01.10 Sublitorales Mischsubstrat mit einjährigen (festsitzenden) Makroalgen.** Vorgefunden in den flacheren Bereichen von Riffen. Aufgrund geringer Vorkommen mit nur kleinräumig dominanter Besiedlung nicht modellierbar. Einjährige Makroalgen treten nur saisonal mit weiteren epibenthischen Besiedlern auf, die ausdauernd vorkommen. Flächen, auf denen sie mit > 50 % Bedeckungsgrad auftraten, waren so gering, dass diese nicht mit einer hohen Konfidenz vorhergesagt werden konnten.
- **05.02.11.02.03.05 Sublitoraler Schlickgrund mit Islandmuscheln (*Arctica islandica*) und 05.02.10.02.05.05 Sublitoraler, ebener Sandgrund mit Islandmuscheln (*Arctica islandica*).** Vorgefunden im Süden und Norden des NSG, teilweise bis in die Riffflächen im Süden hineinragend. Die *Arctica islandica*-Gemeinschaft war jedoch nicht eindeutig abgrenzbar von der Brackwassermuschel-Gemeinschaft, da die Übergänge zwischen beiden Typen fließend sind und im Rahmen der Modellierung anhand der verfügbaren Umweltparameter keine klare räumliche Trennung vollzogen werden konnte.
- **05.02.11.02.03.02 Sublitoraler Schlickgrund mit Baltischen Plattmuscheln (*Macoma balthica*).** Kleinräumige Vorkommen wurden nördlich und innerhalb der Riffkulisse auf Schlick bzw. den wahrscheinlich schlickigen/sandigen Bereichen zwischen den Restsedimenten vorgefunden. Auch diese Gemeinschaft konnte nicht klar von der Brackwassermuschel-Gemeinschaft abgegrenzt werden und war daher nicht modellierbar (s.o.).
- **05.02.11.02.05 Sublitoraler Schlickgrund mit endobenthischen Vielborstern (*Polychaeta*).** Polychaeten bzw. die Gemeinschaft der opportunistischen Polychaeten kommt auf Schlick bzw. den wahrscheinlich schlickigen Bereichen zwischen den Restsedimenten vornehmlich innerhalb der Riffe vor. Da sie sich in ihrer Gemeinschaftszusammensetzung nicht klar von anderen Gemeinschaften abgrenzen ließ, konnte keine Modellierung dieses Biotops erfolgen. Eine weitere Ursache waren die teils fließenden Übergängen von Gemeinschaften, welche mitunter bedingt sind durch die hohe Substratheterogenität im NSG. Außerdem wird diese Gemeinschaft von keinem bestimmten Taxon dominiert, was die Abgrenzung zu anderen Gemeinschaften ebenfalls erschwert.

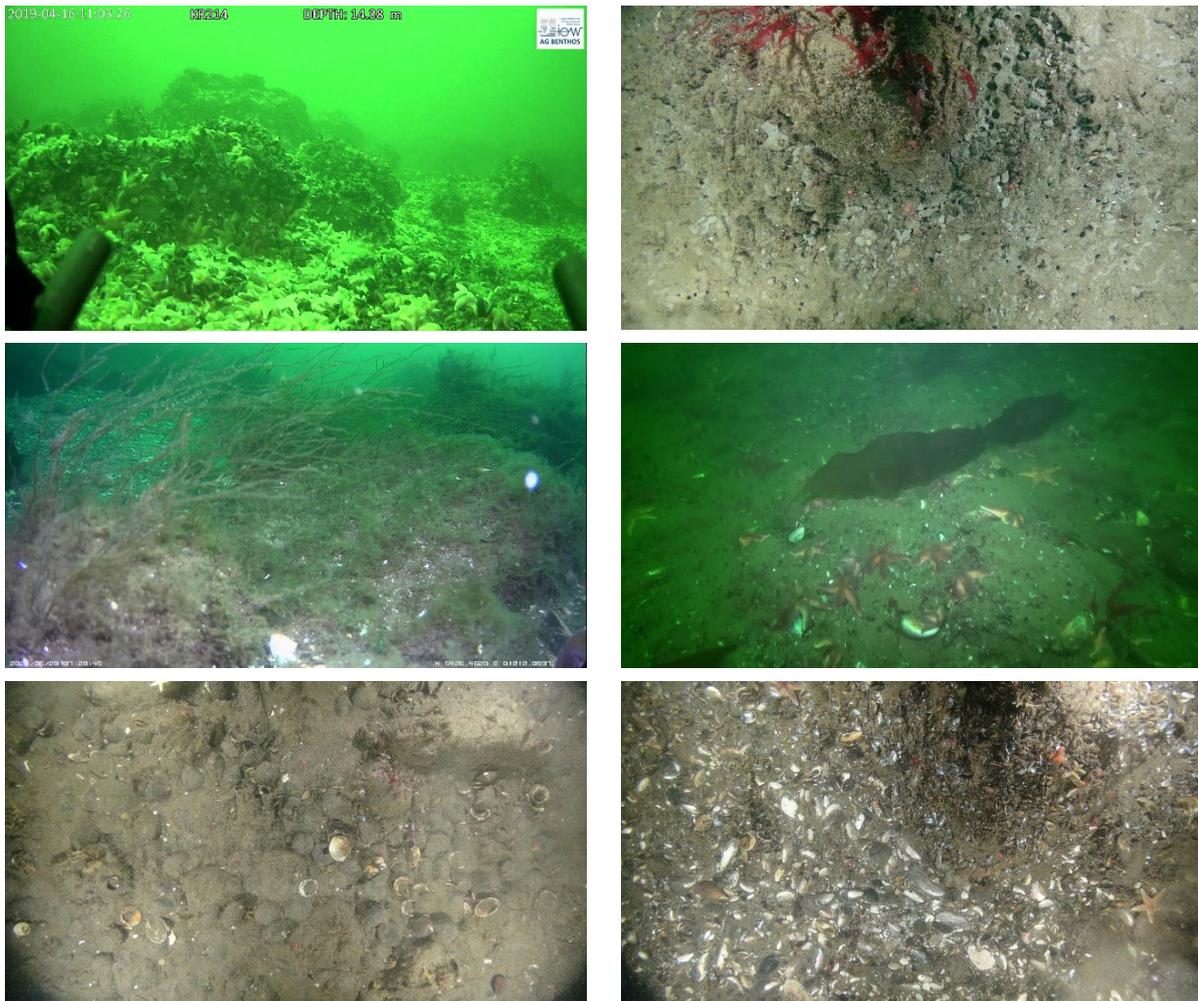


Abb. 29: Weitere charakteristische Strukturen und Gemeinschaften im NSG „Kadetrinne“ (Fotos: IOW).

Der Riffbereich wird als Mischsubstrat definiert. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass sich das Habitat aus einem Felsen- und Steingrund zusammensetzen kann, wie hier bei Dauerstation KR214 (links oben). Stellenweise kommen Kleiflächen vor, die von *Barnea candida* besiedelt werden (rechts oben, KR2021). Filamentöse Algen dominieren die Station KR214 in bestimmten Jahren (Mitte links). Vereinzelter Zuckertang auf Mischsubstrat (Mitte rechts, KR214). Schill kommt nur sehr punktuell vor (unten links und rechts, KR2019) und formt bisher noch keinen Schillgrund.

7 Eignung verschiedener Kamerasysteme zur Erstellung von Biotopkarten

7.1 Hintergrund

Die Aufnahme benthischer Habitatstrukturen mit optischen Geräten in Form von Unterwasser-Fotografie und –Video, hat eine lange Tradition in der marinen Benthosforschung. Trotzdem gibt es bislang im küstenfernen Sublitoral keine Standardprozedur zur Kartierung von Hartbodengemeinschaften. Die kleinräumige Erfassung der strukturellen und funktionellen Vielfalt benthischer Lebensräume und Gemeinschaften durch optische Methoden ist mit den heutzutage zur Verfügung stehenden technischen Mitteln gut möglich. Nun gilt es, diese Systeme und Methoden soweit zu erproben, dass ein Standard abgeleitet werden kann. So könnten beispielsweise Auflösung, Blickrichtung, Transektdauer und Verteilung des Aufwands im Untersuchungsgebiet deutlichen Einfluss auf die resultierende Biotopkarte haben. Um diese Unterschiede herauszufinden, wurden drei Kamerasysteme und ihre derzeitige Einsatzmethodik (Erfassung eines Transekts oder einer Station, Aufnahme von Videos/Fotos, etc) hinsichtlich ihrer Eignung und Effektivität genauer betrachtet und verglichen (Abb. 30). Dabei handelte es sich um:

1. die Schleppkamera „SeaViewer“: Kamerablickrichtung voraus, Videos, Aufnahmedauer 5-10 min (Stationserfassung)
2. die BfN-Drop-Kamera: Kamerablickrichtung nach unten, 10 – 15 Fotos/Station (je 0,25 m²), Aufnahmedauer von 5-10 min (Stationserfassung)
3. BaSIS (Baltic Sea Imaging System): Kamerablickrichtung nach unten, 60-120 Fotos/Stunde (je 0,4 m²), Transektdauer von 1-4 Stunden (Transekterfassung)

Als Untersuchungsgebiet wurde das NSG „Kadetrinne“ ausgewählt, da in diesem NSG die größte Dichte an Foto- und Videodaten der drei verschiedenen Systeme vorlag. Außerdem konnten so Synergien mit der zeitgleich durchgeführten Biotopmodellierung hergestellt werden. Für alle drei Kamerasysteme wurden außerdem Stationen, die sich außerhalb des Schutzgebiets befanden, in den Datensatz mit aufgenommen, um den Datenumfang zu vergrößern und somit die Modellgenauigkeit zu erhöhen. Dieses Vorgehen wurde für alle drei Systeme angewandt. Dadurch lagen keine Sediment- bzw. Blockinformationen für die Stationen außerhalb des NSG vor und gingen somit nicht als Prädiktoren in das Modell mit ein. Für die Epibenthos-Modellierung ist jedoch die Blockdichte kein entscheidender Faktor, sondern lediglich das prinzipielle Vorkommen von Hartboden.

Im Zuge des FFH-Monitorings (gemäß Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie 92/43/EWG) werden bereits seit 2012 jährlich Stationsvideos mit dem SeaViewer-System sowie seit 2016 Transekte mit BaSIS im NSG „Kadetrinne“ aufgenommen. Für die Bewertung dieser beiden Erfassungssysteme lagen somit Daten aus mehreren Jahren vor, während die Aufnahmen der BfN-Drop-Kamera von einer Ausfahrt aus dem Jahr 2019 stammen.

Diese unterschiedlichen Ausschnitte zeitlicher und räumlicher Art können nur schwer direkt miteinander verglichen werden. Mitunter erlauben sie keine direkten Rückschlüsse auf den tatsächlichen Zustand der Biotope. Bei der Auswertung der Daten aus den unterschiedlichen Systemen hat sich gezeigt, dass die Momentaufnahmen mancherorts den tatsächlichen Dauerzustand der Biotope widerspiegeln und mancherorts nicht. Besonders deutlich wurde dies

bei der Auswertung der jährlichen Aufnahmen an den Dauer-Monitoringstationen mittels SeaViewer. An einigen dieser Stationen ließ sich eine große zeitliche Variabilität der epibenthischen Gemeinschaften feststellen. Alle ein bis zwei Jahre zeigt sich dort ein Wechsel der dominanten Taxa (vgl. Kap. 3.1.3). An einer anderen Dauermonitoringstation hingegen (KR33) im Nordwesten des Riffs zeigte sich ein ganz anderes Bild. Die Auswertung der Stationsvideos aus dem Zeitraum 2013 und 2021 (mit Ausnahme von 2015-2017) ergab hier über alle untersuchten Jahre hinweg das gleiche Bild: ein spärlicher Bewuchs des Hartsubstrats mit Hydrozoen und viel sedimentiertes Material, das die Steine und Blöcke bedeckte. Neben der Betrachtung der Aussagekraft von Momentaufnahmen zeigt sich an diesem Beispiel deutlich, dass nur anhand von Langzeitbeobachtungen Biotope korrekt erfasst und verstanden werden können.

Bei der Erstellung der Biotopkarten konnte die zeitliche Variabilität, die mit der Integration von Aufnahmen aus verschiedenen Jahren einhergeht, nicht berücksichtigt werden. Trotz möglicher interannueller Unterschiede in den Gemeinschaften, wird vielmehr die räumliche Variabilität in der Gemeinschaftsausprägung als entscheidender Faktor angesehen. Lagen mehrere Stationen in einer (50 x 50 m-) Zelle, wurde nur eine Station und damit HUB-Klasse ausgewählt, die stellvertretend für diese Zelle stand. Dies richtete sich nach Aktualität des Probenahmezeitpunkts bzw. nach der Häufigkeit einer HUB-Klasse innerhalb einer Zelle sowie nach „Expert Judgement“.

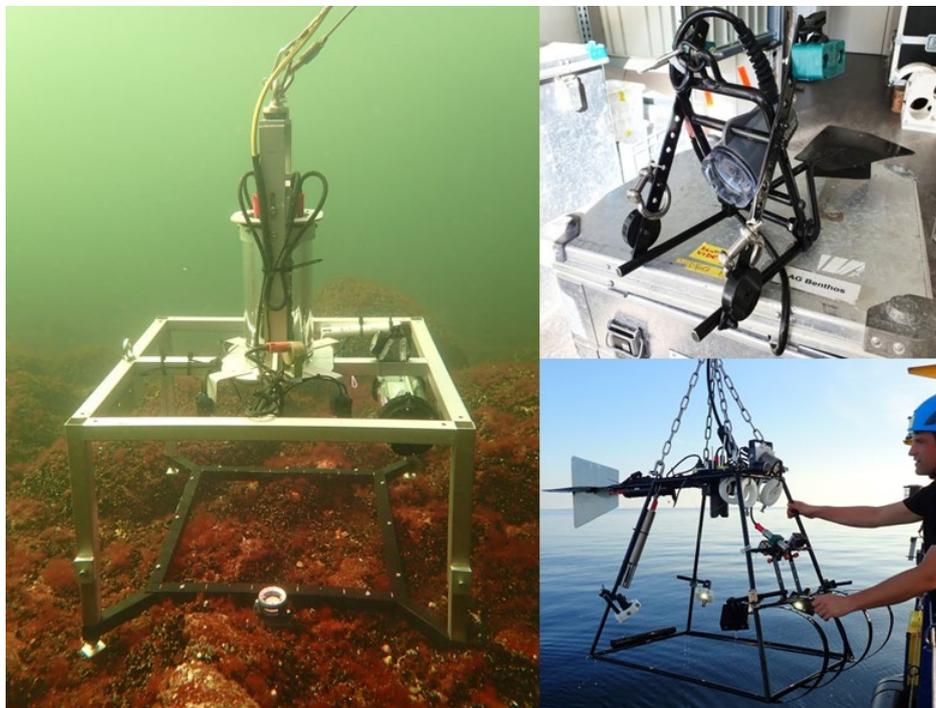


Abb. 30: Überblick über die verwendeten Kamerasysteme: SeaViewer (rechts oben), BfN-Drop-Kamera (links) und BaSIS (rechts unten). (Fotos: K. Romoth, IOW)

Tab. 16: Vergleich der technischen Merkmale der drei getesteten Kamerasysteme.

	SeaViewer	BfN-Drop-Kamera	BaSIS
Volle Bezeichnung	SeaViewer Sea Drop 6000 HD; SeaViewer Cameras Inc, USA	BfN-Absatzkameragestell	Baltic Sea Imaging System
Einsatz	Stationserfassung	Stationserfassung	Transekterfassung
Erwerb	kommerziell	Selbstbau	Selbstbau
Gewicht	~5kg	~50 kg	~50 kg
Optische Erfassung	Video	Fotos + Video	Fotos + Video
Auswertung von	Videos	Fotos	Fotos
Verwendete Auflösung	1920 × 1080 Pixel (Full HD)	1920 × 1080 Pixeln (FullHD); 12MPix	1920 × 1080 Pixeln (FullHD); (24 MPix)
Mögliche Höchstauf- lösung	Full HD/4K (je nach GoPro-Modell)	Full HD	Full HD
Georeferenzierung	GPS-Antenne in Kombination mit einem GPS-Rekorder (SeaViewer HD Recorder with GPS“; SeaViewer Cameras Inc, USA)	USBL (Easytrack)	USBL (Evologics)
Beleuchtung	1 interne LED, 2 externe Lampen	4 integrierte Lampen	4 externe Lampen
Kamerablickrichtung	Schräg-unten	unten	unten
Max. Einsatztiefe	300 m	~100 m	80 m
Live-Bild	Ja	Ja	ja

7.2 SeaViewer–System

7.2.1 Einsatz und Aufwand: SeaViewer

Für das SeaViewer-System (im Folgenden kurz SeaViewer) wurde eine kommerziell erworbene Schlepp- und Absatzkamera (Technische Daten siehe Tab. 16) in einem selbstentworfenen Stahlgestell verbaut. Die Blickrichtung der Kamera ist nach schräg-unten ausgerichtet, um sowohl die Erfassung der Strukturen von Organismen, als auch des Meeresbodens zu gewährleisten. Der SeaViewer stellt das kleinste der getesteten Systeme dar und liefert Videoaufnahmen in voller Hochauflösung, die als Live-Bild an Bord verfolgt werden können. Die maximale Einsatztiefe der Kamera liegt bei 300 m, ist aber bei der hier getesteten Variante durch die Kabellänge auf eine Wassertiefe von etwa 80 m beschränkt. Das System ist somit auf die Einsatzbedingungen in der deutschen Ostsee angepasst.

Eine Georeferenzierung der Videos erfolgt mithilfe eines GPS-Overlay-Rekorders, an den ein externes GPS-Signal (z. B. GPS-Antenne, Schiffsposition) angeschlossen wird. Die mit den Koordinaten verschnittenen Videodaten werden von dem Rekorder intern auf einer SD-Karte gespeichert. Durch die geringe Größe des Systems sowie die einfache Bedienung, ist das System sehr gut an Bord händelbar und kann sowohl über eine Winde gefahren, als auch händisch leicht über ein Seil geführt werden. Durch seine Einfachheit ist das System zudem nicht sonderlich anfällig für Störungen.

Die Beleuchtung der SeaViewer-Aufnahmen erfolgte mittels einer internen LED sowie über ein bis zwei weitere extern befestigte Lampen. Die Helligkeit kann somit an die Lichtbedingungen unter Wasser angepasst werden. In heterogenen Gebieten wie der Kadetrinne ist eine Live-Bild-Übertragung der Aufnahme unerlässlich. Nur durch eine präzise Steuerung der Kamera kann das Aufwirbeln von Sediment beim Absetzen vermieden und somit klare Aufnahmen sichergestellt werden. Auch die gezielte Aufnahme von bestimmten Strukturen ist dadurch möglich. Im Zeitraum 2012 bis 2021 wurden im NSG „Kadetrinne“ 89 Stationsvideos mit dem SeaViewer aufgenommen. Die Qualität der Videos wurde weniger durch die Auflösung der Kamera bestimmt, sondern vielmehr durch die Aufnahmebedingungen im Wasser. Zu einer Beeinträchtigung der Auswertbarkeit der Videos kam es hauptsächlich durch eine hohe Dichte an Partikeln in der Wassersäule (marine snow), dem massenhaften Auftreten von Driftalgen und aufgewirbeltem Sediment.

7.2.2 Ergebnis der Modellanalysen und Kartierung

Die Kartierungsergebnisse auf Grundlage der mit dem SeaViewer erhobenen Daten zeigen an einem Großteil der Stationen vermehrt Hydrozoenbestände an. Diese Bestände sind teilweise auch mit anderen dominanten Taxa, z.B. foliosen Rotalgen (v.a. *Delesseria sanguinea*), Schwämmen (*Halichondria panicea*, *Haliclona oculata*), der Seescheide *Dendrodoa grossularia* oder der Seeanemone *Metridium senile* vergesellschaftet. Der hohe Anteil an Hydrozoengemeinschaften kann u.a. auf einen degradierten Zustand des Riffs hinweisen. Hydrozoen werden am effektivsten von einer nach vorne ausgerichteten Kamera wie der des SeaViewers erfasst, insbesondere dann, wenn sie nur spärlich ausgeprägt sind. Der hohe Anteil an Hydrozoengemeinschaften in der Biotopkarte lässt sich jedoch vielmehr auf die geographische Lage dieser Stationen zurückführen.

Im Südosten und im Norden des Riffs wurden eher foliose Rotalgen lokalisiert bzw. gemischte epibenthische Gemeinschaften, wie foliose Rotalgen/Hydrozoen/Schwämme oder foliose Rotalgen/Hydrozoen/Kelp vereinzelt in der Mitte bzw. im Osten des Riffs (Abb. 31). Miesmuschelgemeinschaften wurden bspw. im Norden bzw. Westen des Riffs erfasst.

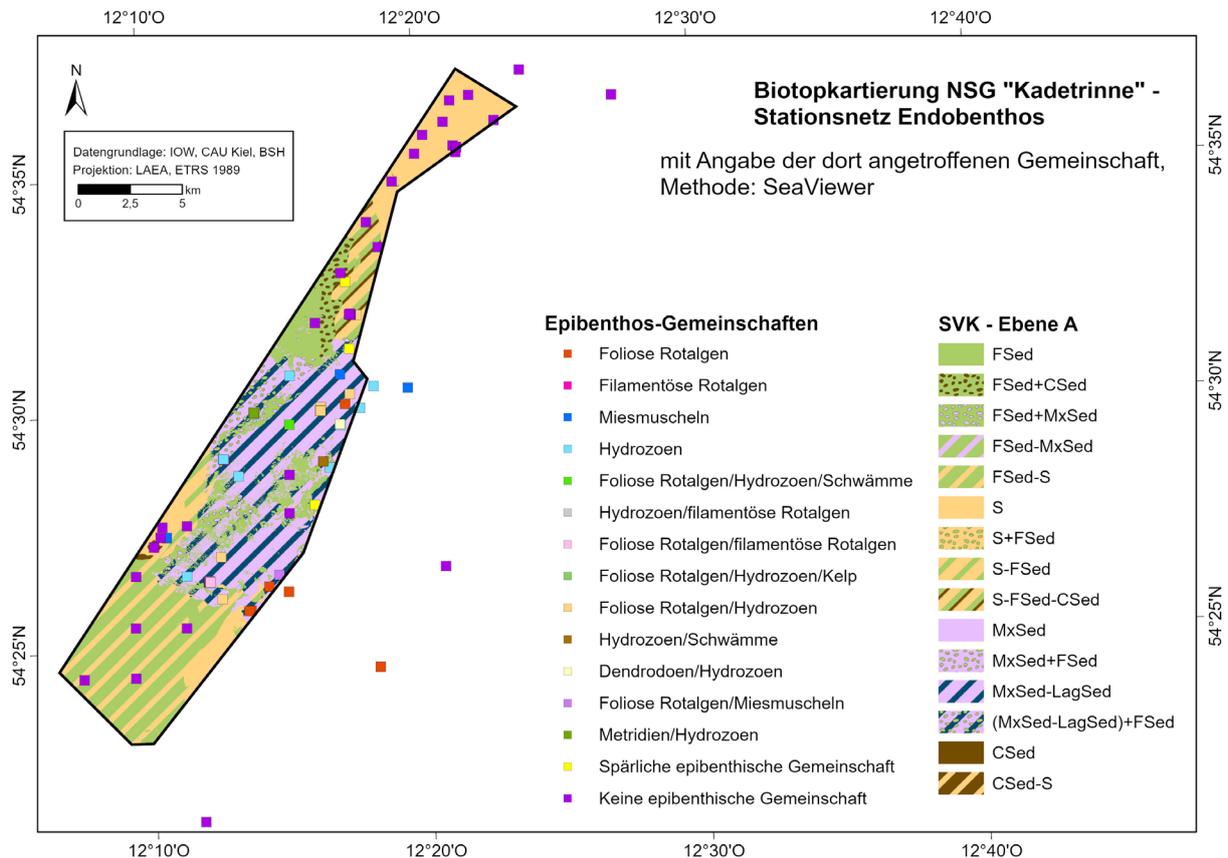


Abb. 31: Lage der Stationen zur Erfassung des Epibenthos mithilfe des SeaViewers und Angabe der jeweils an der Station angetroffenen Gemeinschaft vor dem Hintergrund der Sedimentverteilungskarte (SVK), Ebene A. Hartboden entspricht der lila/blau schraffierten Fläche.

Für die Modellierung der Biotope aus den SeaViewer-Stationsvideos wurden gepoolte Stationen für den Trainingsdatensatz genutzt. Einmalig vorkommende, gemischte Gemeinschaften, die als Ausreißer gelten, wurden den umgebenden dominierenden Taxa zugeordnet. Trotz dieses Schritts kamen Mischgemeinschaften im Schutzgebiet vor, die für das Modell nur schwer abgrenzbar waren. Diese stellen zum Teil Übergangsgemeinschaften dar, in denen bspw. foliose Rotalgen und Hydrozoen gleichermaßen dominieren. So eine Gemeinschaft ist für das Modell nicht von reinen foliosen Rotalgen- bzw. reinen Hydrozoenbeständen zu unterscheiden. Daher wurden diese Mischgemeinschaften angepasst, um die Modelleistungsfähigkeit zu verbessern. Eine Mischgemeinschaft aus foliosen Rotalgen und Hydrozoen wurden demnach zur Gruppe der foliosen Rotalgen hinzugezählt. Dies lässt sich damit begründen, dass foliose Rotalgen durch ihre Funktion als mehrjährige Strukturbildner, die Gemeinschaft stärker prägen als vergleichsweise Hydrozoen. Aufgrund ihres saisonalen Auftretens wurden annuelle filamentöse Algen nicht berücksichtigt. Eine Mischgemeinschaft aus Dendrodoen und Hydrozoen befand sich lediglich lokal sehr begrenzt im Norden des Riffs und wurde daher zur Hydrozoen-Gemeinschaft gezählt. Obwohl Schwämme häufig im NSG „Kadetrinne“ auftreten, reicht ihr

Bedeckungsgrad nur äußerst selten aus, um eine Gemeinschaft zu dominieren bzw. um überhaupt als charakteristisch für eine Mischgemeinschaft zu gelten. Mischgemeinschaften, die mit Schwämmen assoziiert sind, kamen insgesamt nur an zwei Stationen vor und wurden dem jeweils anderen dominierenden Taxon zugeordnet. Schließlich wurden Stationen, die auf Weichboden lagen, ebenfalls nicht berücksichtigt.

Nach diesem zweiten vorbereitenden Schritt bildete die spärliche epibenthische Gemeinschaft die Minoritätsklasse und es bedurfte einer Modellanpassung, um den Datensatz zu balancieren (Kapitel 3.1.2; Tab. 17). Dabei schnitt die Überbeprobung am besten ab und wurde daher für die Epibenthokarte ausgewählt. Die wichtigsten Prädiktoren waren in diesem Modelllauf die Wassertiefe und die mittlere Wassertemperatur (siehe Anhang Abb. 43).

Die Daten aus dem SeaViewer-Einsatz führte zu einer Biotopkarte (Abb. 32), laut der die Hydrozoen die größte Fläche des Riffs einnehmen. Vor allem im Norden bzw. im Osten des Riffs lag dabei der Bedeckungsgrad unter 10 % (spärliche epibenthische Gemeinschaft, gelb in Abb. 32). In den photischen Bereichen im Nordosten und Südosten des Riffs traten foliose Rotalgen auf, die stellenweise mit Miesmuscheln, Hydrozoen und/oder mit Schwämmen assoziiert waren. Mischgemeinschaften wurden mit dem zugrundeliegenden Datensatz zu selten festgestellt, als dass sie in das Modell mit eingehen konnten. Dies liegt aber vermutlich nicht an der Aufnahmetechnik, sondern an den Ausprägungen der Lebensgemeinschaften an den Stationen selbst. Es ist nicht anzunehmen, dass mit einem anderen Kamerasystem andere Gemeinschaften detektiert worden wären. Neben den Rotalgenbeständen fanden sich zudem Miesmuscheln in nahegelegenen Bereichen, die durch die Ausrichtung der Kamera im SeaViewer-System am verlässlichsten flächendeckend erfasst wurden.

Im Ergebnis wird deutlich, dass die Biotopkarte in erster Linie von der Lage der Stationen und der Beschaffenheit der dortigen Lebensgemeinschaften abhängt und die Art der Aufnahme nur geringen Einfluss auf das Ergebnis hat. Eine nach vorne ausgerichtete Kamera kann jedoch Vorteile bei der Aufnahme bestimmter Gemeinschaften haben. Beispielaufnahmen des SeaViewers sind in Abb. 33 aufgezeigt.

Tab. 17: Leistungsfähigkeit der verschiedenen Modellanpassungen für die Auswertung der Stationsvideos mit dem SeaViewer. BRF = Balanced random forest, AUC = Area under (ROC-) curve, CI = Konfidenzintervall.

	Trainingsdatensatz	Testdatensatz		
	Fehlklassifikationsrate	AUC	Accuracy	95 % CI
Originalmodell	42,31 %	0,73	0,64	0,31 - 0,89
Unterbeprobung	87,50 %	0,77	0,45	0,17 - 0,77
Unterbeprobung BRF	38,46 %	0,73	0,55	0,24 - 0,84
Überbeprobung	12,50 %	0,76	0,73	0,39 - 0,94
SMOTE	39,29 %	0,73	0,64	0,31 - 0,90

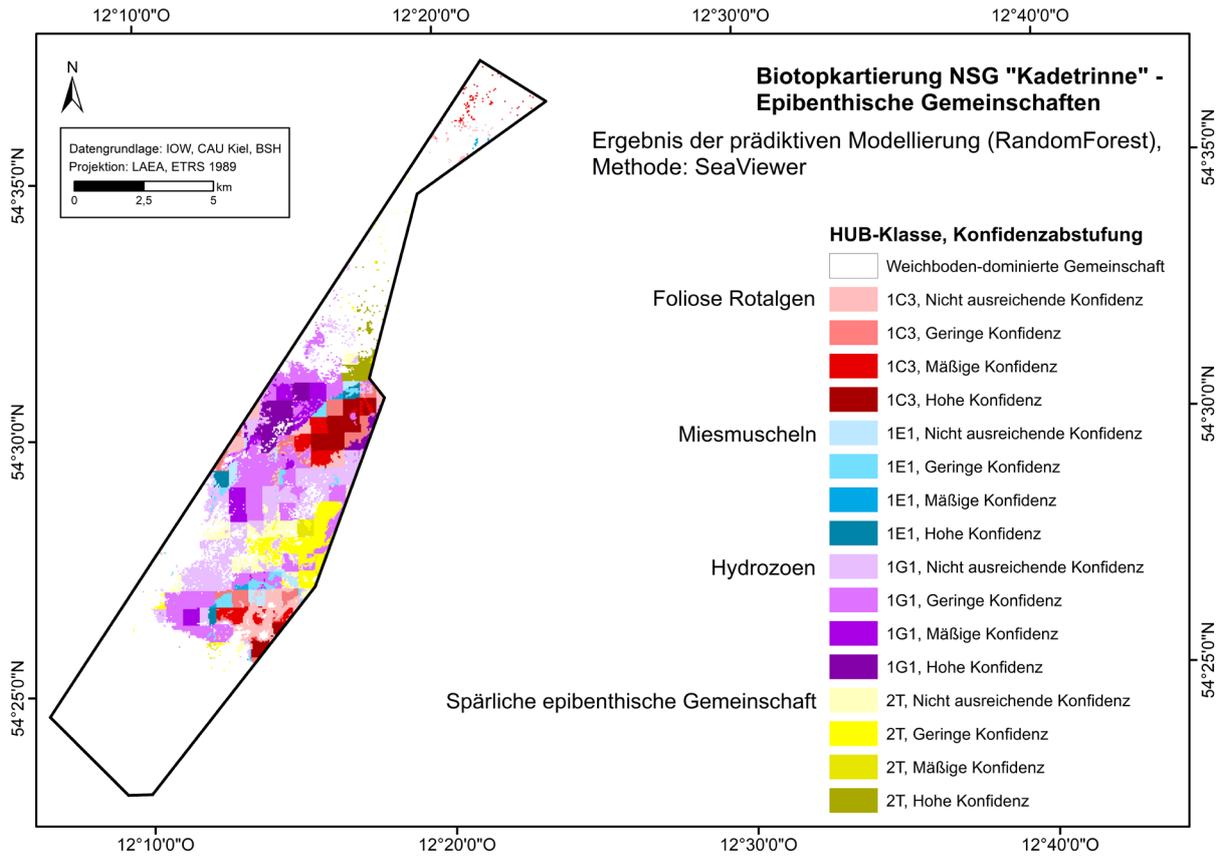


Abb. 32: Biotopkarte des Epibenthos basierend auf den Ergebnissen der Stationsvideos aus der SeaViewer-Kartierung. Die in der Modellierung verwendeten HUB-Kürzel entsprechen dem HUB Level 4-6 (HELCOM 2013b), welches gleichbedeutend mit der Biotopstruktur ist. HUB-Code Level 4 (Gemeinschaftsstruktur): 1 = gemischte epibenthische Gemeinschaft, 2 = spärliche epibenthische Gemeinschaft, Level 5 (Charakteristische Gemeinschaft): C = mehrjährige Algen, E = epibenthische Muscheln, G = epibenthische Nesseltiere, T = spärliche epibenthische Gemeinschaft, Level 6 (Dominierende Taxa): 1C3 = foliose Rotalgen (wie *Coccotylus truncatus*, *Phyllophora* spp., *Delesseria sanguinea*), 1E1 = Mytilidae, 1G1 = Hydrozoa, 2T = spärliche epibenthische Gemeinschaft. Nähere Erläuterungen zu den Konfidenzabstufungen siehe Kap. 3.1.2

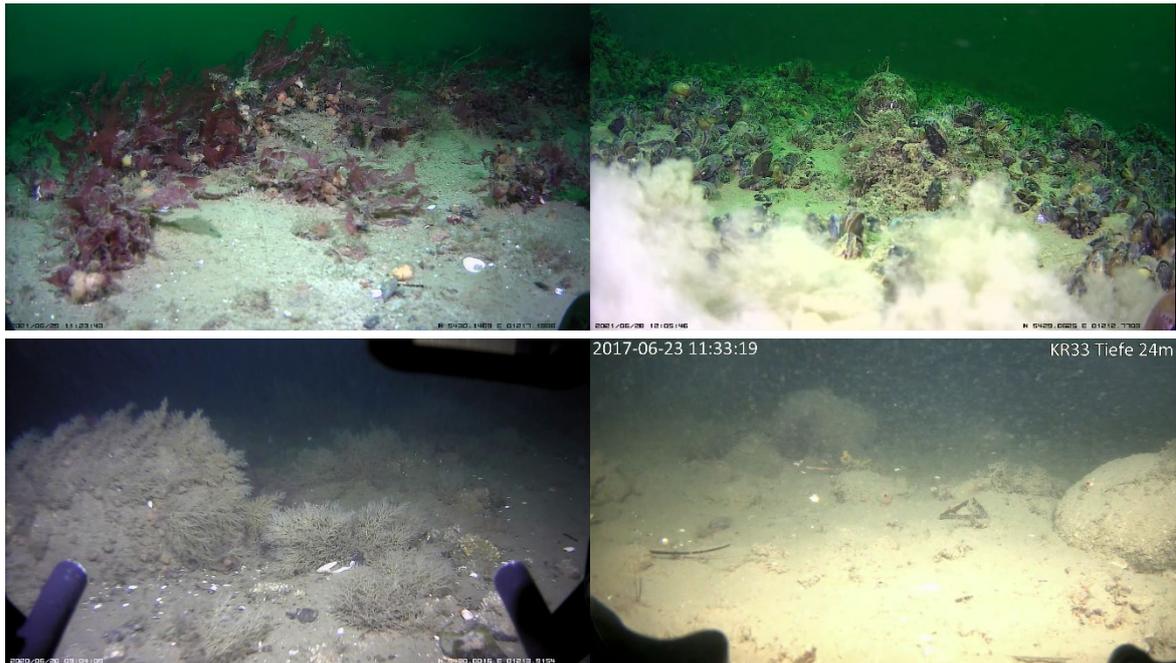


Abb. 33: Standbilder aus den Videoaufnahmen, die mit dem SeaViewer entstanden sind. Beispielformhaft werden hier die angetroffenen und per Video bestimmbaren Gemeinschaften gezeigt: foliose Rotalgen mit Tangbeeren und Hydrozoen als Begleitfauna (links oben), Miesmuscheln (rechts oben), dichte Hydrozoenwälder (links unten) bis spärliche epibenthische Gemeinschaft (rechts unten). Durch die Blickrichtung der Kamera nach schräg-vorne lassen sich v.a. aufragende Strukturen sowie spärliche Besiedlungen besonders gut erfassen. Bei hoher Sonneneinstrahlung tritt in den Sommermonaten an flachen Stationen (< 15 m) als Artefakt die typische Grünfärbung des Ostseewassers auf (oben rechts). (Fotos: K. Romoth, IOW)

7.3 BfN-Drop-Kamera-System

7.3.1 Einsatz und Aufwand: BfN-Drop-Kamera

Bei dem BfN-Drop-Kamera-System handelt es sich um ein vom BfN selbst konzipiertes und gebautes Kamera-Absatzgestell. Das System ist hauptsächlich zur Aufnahme von Stationsvideos vorgesehen und ist nicht zum Schleppen gedacht. Um eine quantitative Auswertung zu ermöglichen, verfügt das Absatzgestell über einen 50 cm x 50 cm großen Absatzrahmen (0,25 m²). Die Video- und Fotoaufnahmen erfolgen mit einer GoPro-Kamera (HERO4 Black; Hersteller GoPro, Inc.), die in ein selbstgebautes UW-Gehäuse aus Plexiglas verbaut wurde und dort von einem externen Akku mit Strom versorgt wird. Durch ein Ändern der Steckverbindung zum Akku kann aber auch mit wenig Aufwand ein anderes GoPro-Modell angeschlossen werden. Da es bei manchen GoPro-Modellen bei langen Laufzeiten mit hoch eingestellten Auflösungen in dem Plexiglasgehäuse zu einer Überhitzung kam, wurde ein kleiner Ventilator zur Kühlung nachgerüstet. Das Video wird live über ein Kabel an Bord übermittelt und mit einem Feldrekorder aufgezeichnet. Dies ermöglicht ein zielgerichtetes Manövrieren des Gestells Unterwasser. Gleichzeitig nimmt die Kamera automatisiert alle

5 Sek. ein Bild auf, das intern auf der SD-Karte gespeichert wird. Die GoPro liefert Videoaufnahmen in voller Hochauflösung (optional auch 2K und mehr). Sie ist senkrecht nach unten ausgerichtet, kann aber nach vorne geschwenkt werden. Die Wassertiefe der Aufnahme wird über einen im Bild eingeblendeten Tauchcomputer angezeigt. Auch ein Vergrößern des Bildausschnitts (Zoomen) ist möglich. Die maximale Einsatztiefe des Systems liegt nach Einschätzung der Erbauer bei etwa 100 m. Das Kamerasystem ist durch seine Größe und sein Gewicht von etwa 50 kg unter Einsatz von Winden noch gut händelbar. Die Beleuchtung erfolgt über vier Lampen, die den Vorteil bieten, dass sie von Bord aus ansteuerbar und dimmbar sind, sodass bei den Aufnahmen die Ausleuchtung sofort an die Umgebungsbedingungen angepasst werden kann. Das System ist zudem zur Größenreferenzierung mit zwei Lasern ausgestattet, über deren Abstand im Foto Bedeckungsgrade errechnet werden können. Eine Georeferenzierung erfolgt über ein Ultra Short Baseline-System (USBL; Easytrack, aae technologies, UK), welches über die Laufzeiten von Ultraschall zwischen dem Kameragestell und Bezugspunkten, die Position Unterwasser bestimmen kann. Dieses System befand sich zum Zeitpunkt der Beprobung in der Kadetrinne in der Erprobung und war noch nicht einsatzbereit, weshalb bei der Auswertung dieser Ausfahrt alle Fotos einer Station zu einer Fläche zusammengefasst und den Koordinaten der Station zugeordnet wurden. Mittlerweile werden bei dem BfN-Drop-Kamera-System die mit dem USBL bestimmten Koordinaten über einen Feldrecorder in das Video geschrieben. Die Georeferenzierung der Fotos ist jedoch zurzeit noch sehr aufwändig. Wenn die vom USBL bestimmten Koordinaten nicht separat mit Zeitstempel protokolliert werden können, müssen die Koordinaten mittels einer Software aus dem Video optisch ausgelesen und dann den Bildern zugeordnet werden, was fehleranfällig und zeitaufwändig ist.

Die Datenerfassung erfolgte im NSG „Kadetrinne“ innerhalb einer dreitägigen Ausfahrt 2019 mit dem Schiff „Fortuna Kingfisher“ (Reederei O.S. Energy). Im Rahmen der Ausfahrt konnten rund 70 Stationen mit der BfN-Drop-Kamera aufgenommen werden. Aufgrund eines technischen Defekts am Speichermedium waren jedoch 11 der erhobenen Videos und Fotos nicht lesbar und damit auch nicht auswertbar. Somit standen Fotodaten für 59 Stationen (mit jeweils 2-16 auswertbaren Bildern) zur Verfügung. Die große Spanne in der Anzahl der auswertbaren Bilder liegt darin begründet, dass die Kamera automatisch alle 5 Sek. ein Foto aufnimmt. Auswertbare (scharfe) Aufnahmen entstehen i.d.R. nur, wenn das Absatzgestell auf dem Meeresboden steht bzw. sich nicht bewegt. Durch Wellengang und Schiffsbewegung steht das Kamerasystem nur eine kurze Zeit still bevor es mit der nächsten Welle wieder angehoben und versetzt wird. Durch ein zusätzliches Nachgeben von Windeuseil muss der Zeitraum des Absetzens des Kameragestells so angepasst werden, dass scharfe Bilder aufgenommen werden können. Optional kann zwar das Aufnahmeintervall verkürzt werden, dies erhöht aber auch deutlich den Nachbereitungsaufwand (Aussortieren von nicht auswertbaren sowie nicht benötigten Aufnahmen). Durch aufwirbelndes Sediment beim Absetzen des Gestells, war in der Regel nur eine Fläche von 45 cm x 45 cm auswertbar. Die verbleibenden Aufnahmen wiesen eine sehr gute Qualität auf.

7.3.2 Ergebnis der Modellanalysen und Kartierung

Die Fotoauswertung des BfN-Drop-Kamera-Systems ergab an 24 Stationen eine spärliche epibenthische Besiedlung, an 4 Stationen eine gemischte Gemeinschaft, bestehend aus foliosen Rotalgen, Hydrozoen und Schwämmen, an 13 Stationen dominierende foliose Rotalgen und an 6 Stationen dominierende Hydrozoen (Abb. 35). An 12 Stationen trat keine epibenthische Besiedlung auf (Abb. 34).

Lagen die Stationen auf Blockklasse 1 (keine Steine und Blöcke), wurden diese aus dem Trainingsdatensatz entfernt. Da der Datensatz ohne die Stationen außerhalb des Schutzgebiets nicht ausreichend für eine verlässliche Modellbildung war, wurden alle aufgenommenen Stationen in den Trainingsdatensatz mit aufgenommen.

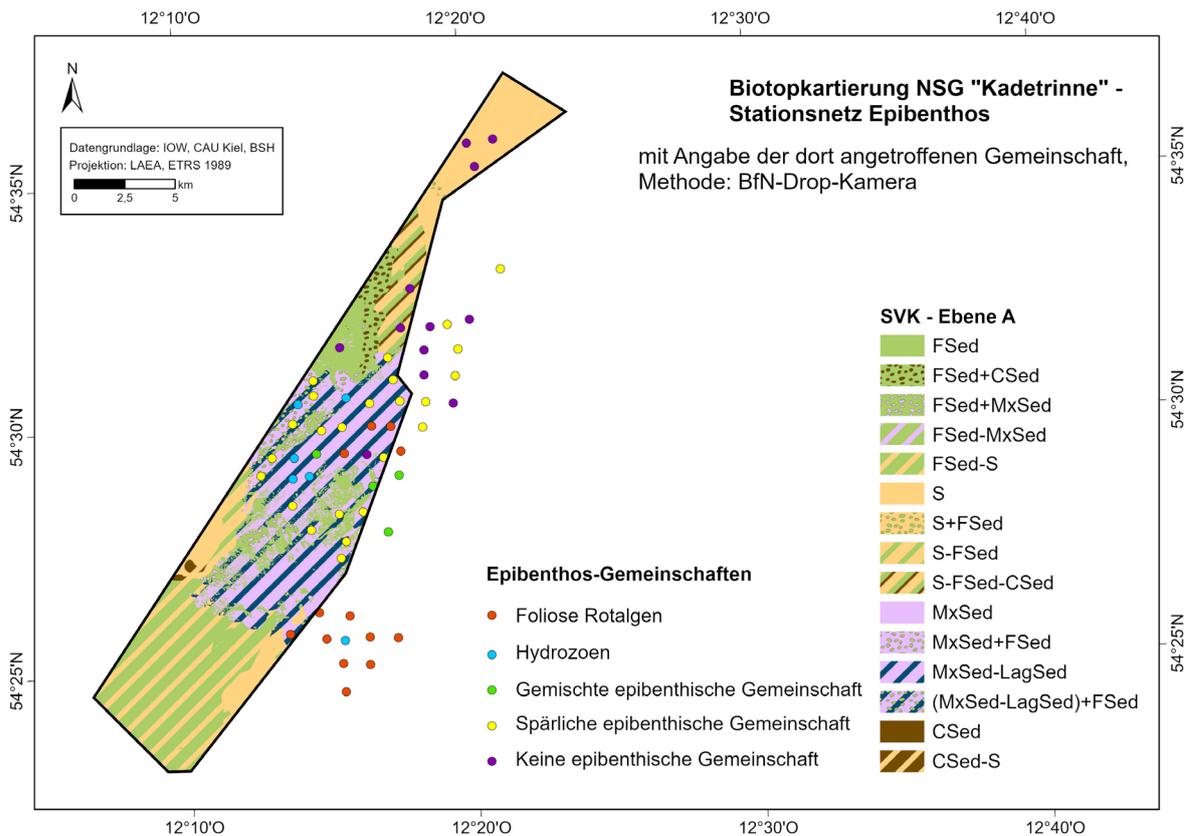


Abb. 34: Lage der Stationen zur Erfassung des Epibenthos mithilfe des BfN-Drop-Kamera – Systems und Angabe der jeweils an der Station angetroffenen Gemeinschaft vor dem Hintergrund der Sedimentverteilungskarte (SVK), Ebene A. Hartboden entspricht der lila/blau schraffierten Fläche.

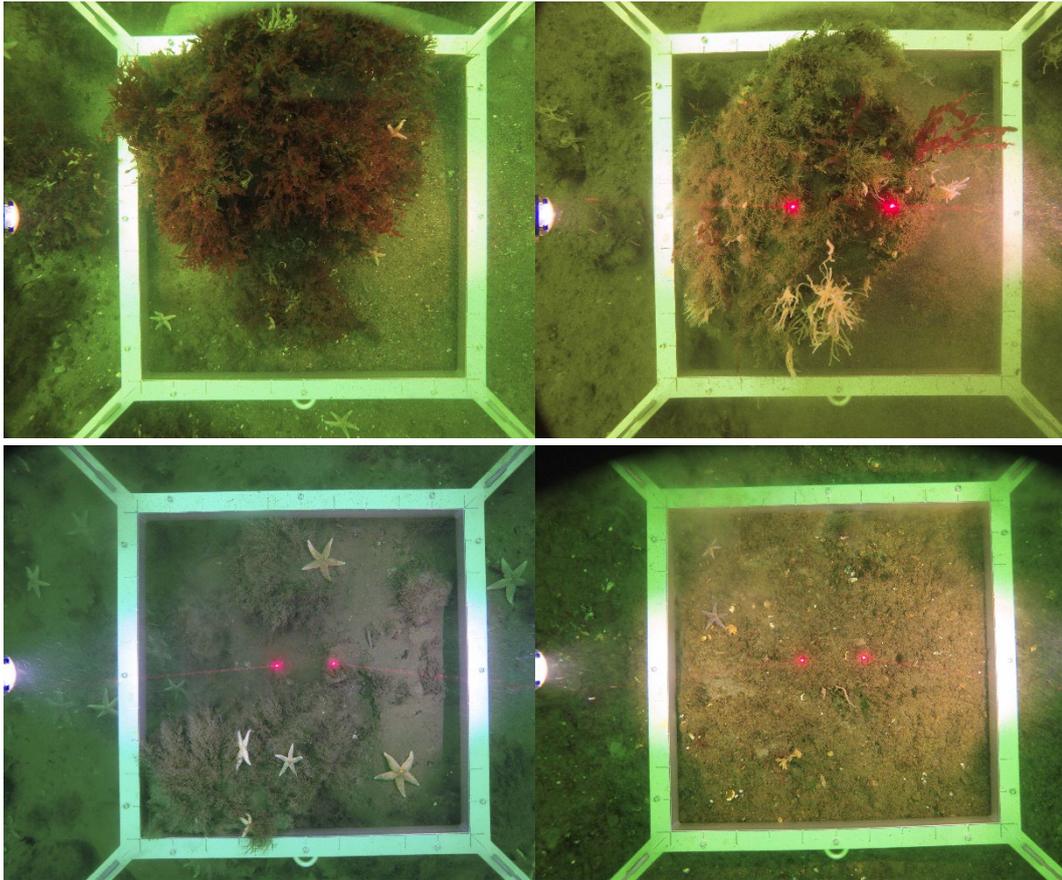


Abb. 35: Beispiele für Aufnahmen der BfN-Drop-Kamera von typischen Gemeinschaften im NSG „Kadetrinne“. Die Bilder zeigen die gute Qualität der Aufnahmen. Oben links: foliose Rotalgen (DK 37), oben rechts: gemischte epibenthische Besiedlung (DK 64), unten links: Hydrozoen (DK 57) und unten rechts: spärliche Besiedlung (DS 44). (Fotos: A. Darr, IOW)

Stationen mit keiner epibenthischen Besiedlung (HUB-Klasse 4U) kamen nach Ausschluss der Weichboden-Stationen lediglich zwei Mal vor. Angesichts der Tatsache, dass diese Stationen Ausreißer darstellen und im NSG mindestens eine spärliche Besiedlung vorkommt, wurden diese beiden Stationen aus dem Trainingsdatensatz gelöscht. Dennoch war der Trainingsdatensatz tendenziell unbalanciert (24 Stationen spärliche epibenthische Besiedlung, 13 Stationen foliose Rotalgen, 6 Stationen Hydrozoen und 4 Stationen gemischte epibenthische Besiedlung) und wurde durch verschiedene Verfahren angepasst (vgl. Kapitel 3.1.2; Tab. 18). Die Überbeprobung schnitt dabei am besten ab und ergab die höchsten Vorhersagekonfidenzen. Daher fiel die Wahl auf dieses Modell. Die wichtigsten Prädiktoren, die für die Modellbildung auf Datengrundlage des BfN-Drop-Kamera-Systems entscheidend waren, waren der gelöste organische Kohlenstoff, die Bodenschubspannung und der Sauerstoffgehalt (siehe Anhang, Abb. 44).

Tab. 18: Modellanpassungen für die Epibenthosmodellierung des BfN-Drop-Kamera-Systems. BRF = Balanced random forest, AUC = Area under (ROC-) curve, CI = Konfidenzintervall.

	Trainingsdatensatz	Testdatensatz		
	Fehlklassifikationsrate	AUC	Accuracy	95 % CI
Originalmodell	60,61 %	0,66	0,64	0,35 - 0,87
Unterbeprobung	58,33 %	0,83	0,43	0,18 - 0,71
Unterbeprobung BRF	75,76 %	0,79	0,29	0,08 - 0,58
Überbeprobung	41,06 %	0,75	0,57	0,29 - 0,82
SMOTE	47,22 %	0,64	0,57	0,29 - 0,82

Die BfN-Drop-Kamera ermöglicht eine quantitative Auswertung des Epibenthos über Einzelbilder. Insgesamt wurden mittels der Aufnahmen der BfN-Drop-Kamera ca. 20 Taxa identifiziert. Darunter befanden sich überwiegend sessile Epifauna-Arten oder Makroalgen, die auch für die HUB-Klassifikation herangezogen wurden. Aus dem Bedeckungsgrad der einzelnen Taxa ließen sich für jedes Bild die HUB-Klassen zuweisen: Schwämme, foliose Rotalgen, Zuckertang (Kelp), Hydrozoen, Mischgemeinschaften und Stationen mit einer spärlichen epibenthischen Besiedlung (Abb. 36). Foliose Rotalgen und Hydrozoen stellten dabei prozentual den größten Anteil. Da bei der Ausfahrt mit dem BfN-Kamera-System das USBL-System ausgefallen war und somit eine Georeferenzierung der Einzelbilder nicht möglich war, musste die Auswertung stationsweise vorgenommen werden. Durch die Zusammenfassung der Aufnahmen an einer Station, ergab sich ein etwas anderes Bild. Schwämme und Zuckertang tauchten nicht mehr als eigenständige HUB-Klassen auf und der Anteil mit spärlicher epibenthischer Besiedlung stieg deutlich an (Abb. 36). Allerdings ergibt sich dieser gestiegene Anteil vor allem aus der Klasse „keine epibenthische Gemeinschaft“, die in den Bildern häufig in Bereichen mit sehr geringem Hartbodenanteil zu finden ist.

Somit wurde auf Stationsebene größtenteils eine spärliche epibenthische Gemeinschaft (Bedeckungsgrad < 10 %) festgestellt, die damit auch die Mehrheit der Hartbodenflächen innerhalb der Riffkulisse in der Biotopkarte (Abb. 37) ausmachte. An beiden Flanken der tiefen Rinne im Nordwesten des Riffes werden mit teilweise hohen Konfidenzen (> 80 %) Hydrozoen vorhergesagt. Reine foliose Rotalgenbestände hingegen werden nur an den Ost-rändern des Schutzgebiets vorhergesagt sowie auf den vereinzelt Steinen und Blöcken auf den weiten Sandflächen im Norden. Gemischte epibenthische Gemeinschaften (foliose Rotalgen, Hydrozoen, Schwämme) wurden hingegen nur mittig und im Osten der Riffkulisse nachgewiesen und daher auch nur wenig vom Modell vorhergesagt.

Insgesamt zeigt sich auch bei dem BfN-Drop-Kamera-System eine generelle Eignung für die Zielstellung der Arbeiten. Die hohe Auflösung und der Rahmen zur quantitativen Auswertung sind dabei besonders von Vorteil und bieten im Vergleich zur rein qualitativen Erfassung erweiterte Aussagekraft. Die notwendige Nachbereitung und Prozessierung der Aufnahmen, insbesondere hinsichtlich der Georeferenzierung, macht das System hinsichtlich der Datenauswertung allerdings etwas aufwändiger. Insgesamt wurde hier auch besonders

deutlich, dass die Betrachtung von Einzelaufnahmen im Vergleich zur stationsweisen Aggregation der Bilder einen deutlichen Unterschied in der Auswertung mit sich bringt (Abb. 36). Dies gilt es stets bei der Durchführung von Kartierungsarbeiten mittels Unterwasservideotechnik zu beachten.

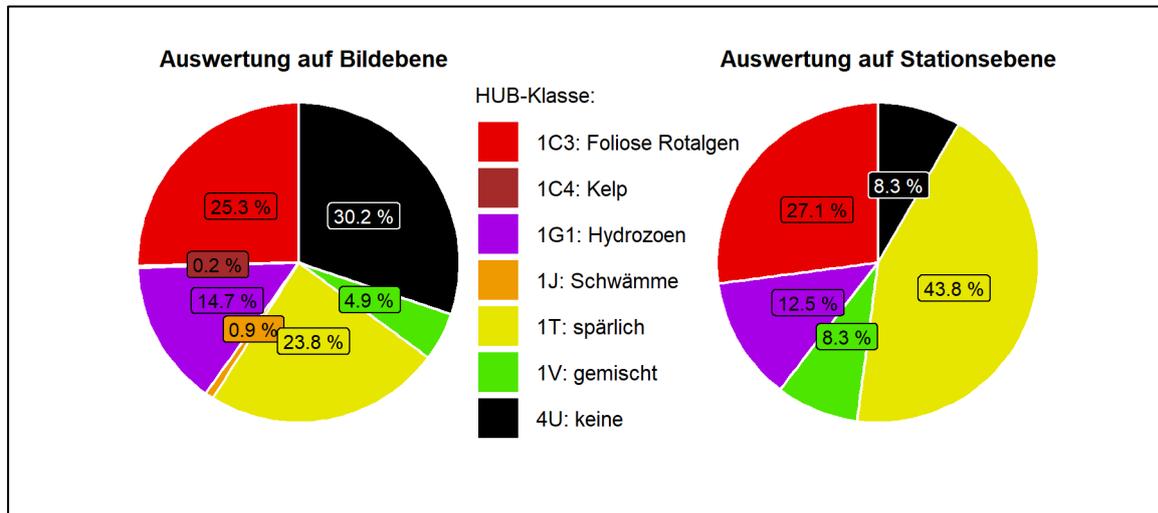


Abb. 36: Gegenüberstellung der Häufigkeitsverteilung der HUB-Klassen bei Auswertung auf Bildebene und auf Stationsebene.

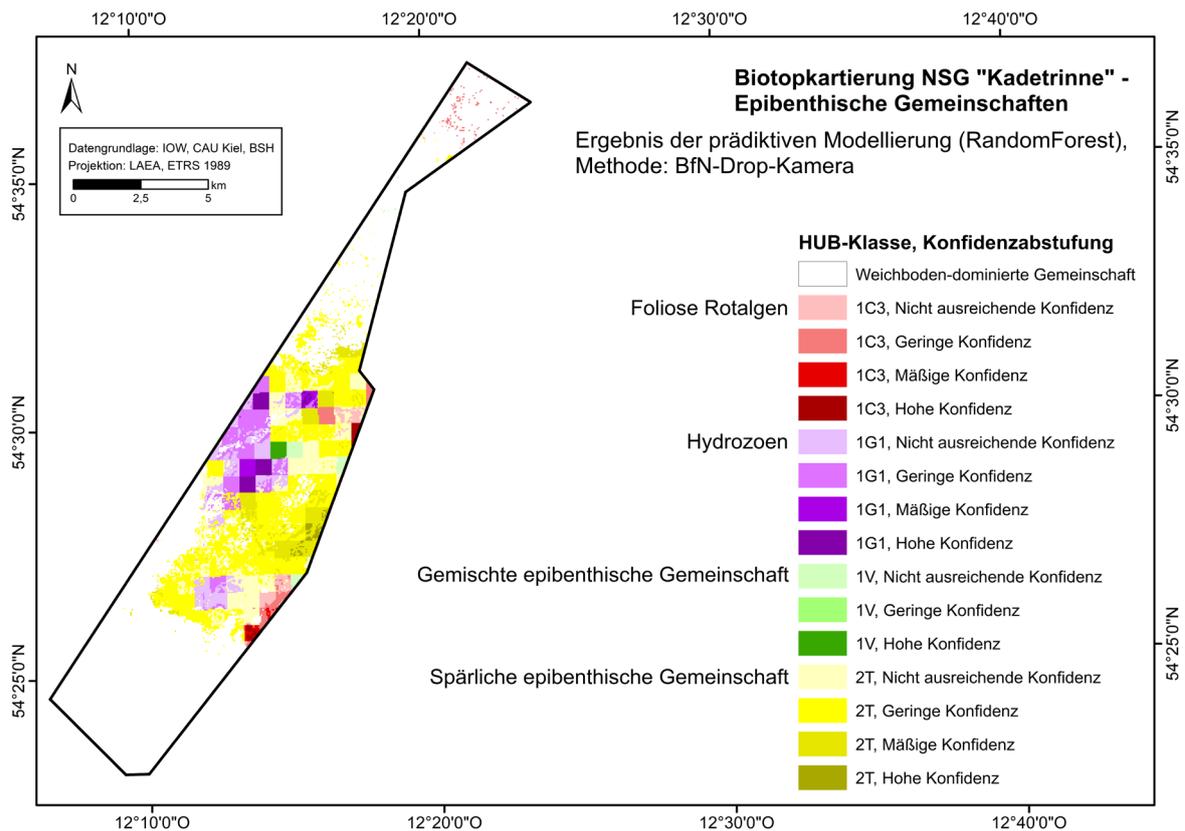


Abb. 37: Biotopkarte des Epibenthos, wie sie sich aus den Aufnahmen mit der BfN-Drop-Kamera ergibt. Die gemischte epibenthische Gemeinschaft steht für foliose Rotalgen, Hydrozoen und Schwämme. Die spärliche epibenthische Gemeinschaft weist einen Bedeckungsgrad von < 10 % auf. Die in der Modellierung verwendeten HUB-Kürzel entsprechen dem HUB Level 4-6 (HELCOM 2013b), welches gleichbedeutend mit der Biotopstruktur ist. HUB-Code Level 4 (Gemeinschaftsstruktur): 1 = gemischte epibenthische Gemeinschaft, 2 = spärliche epibenthische Gemeinschaft, Level 5 (Charakteristische Gemeinschaft): C = mehrjährige Algen, G = epibenthische Nesseltiere, V = gemischte epibenthische Gemeinschaft, T = spärliche epibenthische Gemeinschaft, Level 6 (Dominierende Taxa): 1C3 = foliose Rotalgen (wie *Coccotylus truncatus*, *Phyllophora* spp., *Delesseria sanguinea*), 1G1 = Hydrozoa, 1V = gemischte epibenthische Gemeinschaft, 2T = spärliche epibenthische Gemeinschaft. Nähere Erläuterungen zu den Konfidenzabstufungen siehe Kap. 3.1.2.

7.4 BaSIS (Baltic Sea Imaging System)

7.4.1 Einsatz und Aufwand: BaSIS

Bei dem BaSIS-System (Baltic Sea Imaging System) handelt es sich um ein vom IOW konzipiertes und ebenfalls selbstgebautes Kamera-Schleppsystem. Ausgestattet ist es mit zwei kommerziell erworbenen Kameras (1cam, USA), von denen eine senkrecht nach unten und die zweite nach schräg-unten ausgerichtet ist. Das Livebild wird über ein Kabel an Bord übermittelt. Die senkrecht nach unten ausgerichtete Kamera nimmt sowohl Videos in voller Hochauflösung, als auch hochauflösende Fotos auf. Die nach schräg-unten ausgerichtete Kamera ermöglicht die Navigation des Videoschlittens, bzw. das Ausweichen vor großen Objekten. Durch den Anschluss des Systems an eine Seegangkompensations-Winde lässt sich das Gestell über eine Fernbedienung in seinem Abstand zum Meeresboden sowie zum

Absetzen für „Stills“ (Fotos aus dem Stillstand) dezimetergenau steuern. Solche Fotos werden etwa alle 15 Sek. aufgenommen. Dies kann manuell über einen Auslöser an Bord oder automatisch erfolgen. Fotos und Videos werden von der Kamera intern gespeichert. Die Georeferenzierung erfolgt seit 2021 über ein USBL-System bzw. über eine Koordinatenversatzberechnung bei älteren Transekten. BaSIS ist auf eine quantitative Auswertung des Bedeckungsgrads des Epibenthos der generierten Fotodaten ausgerichtet. Der Absatzrahmen umfasst 110 cm x 70 cm und bietet in der Regel eine auswertbare Fläche von 80 x 50 cm (0,4 m²). Eine Größenreferenzierung erfolgt über vier Laser. Die Beleuchtung erfolgt bei BaSIS über vier externe, seitlich angebrachte Lampen. Da diese Lampen nicht in das Kamerasystem integriert sind, können sie nicht während des Einsatzes geregelt werden und müssen deshalb vor dem Abtauchen an- und eingestellt werden.

Der Aufwand ist beim Einsatz von BaSIS relativ hoch und setzt den gleichzeitigen Einsatz einer vom IOW entwickelten Seegangkompensations-Winde voraus, die nicht mit allen Schiffen kompatibel ist. Auf dem Schiff muss ein A-Mast vorhanden sein, an den ein Block für die Führung des Windenkabels angebracht werden muss. Für das Ein- und Aussetzen des Gestells werden mindestens drei Personen benötigt. Somit ist vor allem dieser Arbeitsschritt vergleichsweise zeitintensiv. Aus diesem Grund wird BaSIS entlang längerer Transekten von 0,5 – 2 sm Länge (entspricht 1 – 4 Stunden Aufnahmezeit) und nicht stationsweise eingesetzt. Lage und Länge der Transekte ergeben sich aus den aktuellen Wind- und Strömungsbedingungen, der Kenntnis zur Lage der Hartböden sowie aus den Anforderungen des FFH-Monitorings für den LRT „Riffe“.

Für die Biotopmodellierung lagen insgesamt 8 Transekte des FFH-Monitorings aus dem Zeitraum von 2016 bis 2021 vor. Wie auch bei den anderen Systemen hing die Qualität der Aufnahmen stark von den Bedingungen unter Wasser ab. Durch die Seegangkompensation und der Möglichkeit die Fotoaufnahme von Bord aus auszulösen, ist die Rate der auswertbaren Bilder vergleichsweise hoch. Doch auch bei diesem System kommt es schnell durch Sedimentaufwirbelung und „mitgeschleppte“ Driftalgen beim Absetzen des Gestells zu Beeinträchtigungen der Aufnahmen.

7.4.2 Ergebnis der Modellanalysen und Kartierung

Im Gegensatz zum SeaViewer- und BfN-Drop-Kamera-System wurden mit dem BaSIS -System keine Stationen aufgenommen, sondern Transekte, die sich teilweise bis hin zu einer Länge von 1,6 sm erstreckten. Wie auch bei der SeaViewer-Auswertung, soll auch an dieser Stelle die zeitliche Variabilität der unterschiedlichen Aufnahmejahre der Transekte vernachlässigt werden. Das Vorgehen lässt sich ansatzweise mit dem in Kap. 7.2.2 beschriebenen Vorgehen vergleichen: lagen mehrere Transektabschnitte in einer Zelle, wurden diese zu einem Transektabschnitt und somit zu einer HUB-Klasse zusammengefasst. Dies richtete sich nach „Expert Judgement“ bzw. nach der Häufigkeit einer HUB-Klasse innerhalb einer Zelle. Diese gepoolten Transektabschnitte sind in Abb. 38 dargestellt. Die mit BaSIS erhobenen Daten zeigen die dichten foliosen Rotalgenbestände vor allem im Südosten der Riffkulisse. Ab ca. 20 m wechseln sich diese mit Hydrozoenbeständen ab. Punktuell kommen zwischen diesen beiden dominanten Taxa gemischte Gemeinschaften, bestehend aus foliosen Rotalgen und Hydrozoen vor. Vereinzelt finden sich aber auch weitere, mit Schwämmen assoziierte Mischgemeinschaften sowie Zuckertang (*Saccharina latissima*).

Dieser tritt entweder allein dominierend auf oder zusammen mit foliosen Rotalgen. Entlang von zwei Transekten in der Mitte der Riffkulisse wechseln sich foliose Rotalgen mit Miesmuscheln ab, bevor die Gemeinschaft graduell zu einer reinen Hydrozoengemeinschaft übergeht. Vor allem in den tiefen Bereichen wechseln sich Hydrozoen mit Gemeinschaften ab, die nur noch spärliche Bedeckungsgrade (< 10 %) aufweisen.

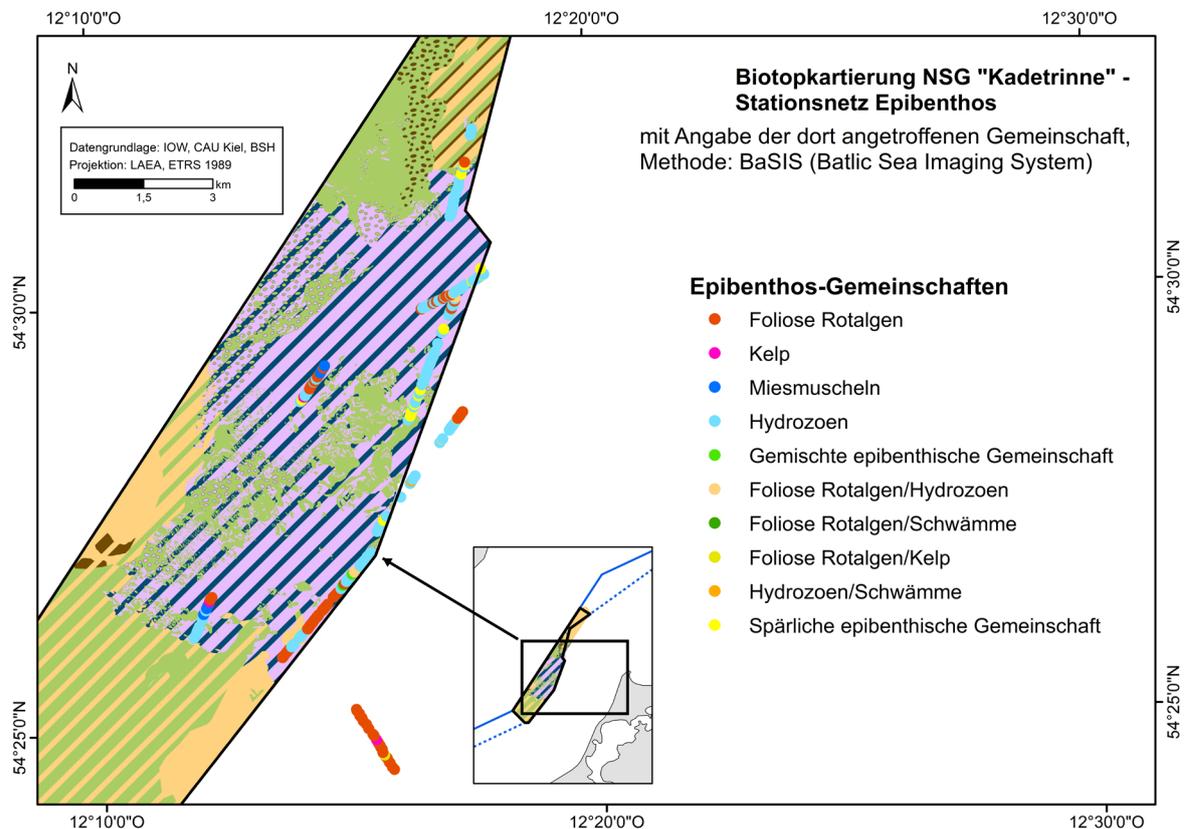


Abb. 38: Lage der Transekte zur Erfassung des Epibenthos mithilfe von BaSIS (Baltic Sea Imaging System) und Angabe der jeweils an dem Transektabschnitt angetroffenen Gemeinschaft vor dem Hintergrund der Sedimentverteilungskarte (SVK), Ebene A. Hartboden entspricht der lila/blau schraffierten Fläche (vgl. Abb. 7). Die gemischte epibenthische Gemeinschaft beinhaltet foliose Rotalgen, Hydrozoen und Schwämme. Die spärliche epibenthische Gemeinschaft weist einen Bedeckungsgrad von < 10 % auf.

Ebenso wie beim Vorgehen für die Modellierung der beiden oben beschriebenen Systeme, wurden auch hier Transektabschnitte, die sich außerhalb des Schutzgebiets befanden, in den Trainingsdatensatz aufgenommen. Dabei wurden die gepoolten Transektabschnitte in die Modellierung aufgenommen und in einem weiteren Schritt angepasst. Es wurden nur vereinzelte Individuen von *S. latissima* im NSG „Kadetrinne“ gefunden (an 2 Stationen). Daher wurde diese Gemeinschaft aus dem Trainingsdatensatz gelöscht. Eine Station, an der sowohl *S. latissima*, als auch foliose Rotalgen vorkamen, wurde zu den foliosen Rotalgen für die Modellierung hinzugezählt. Auch die Übergangsgemeinschaft foliose Rotalgen/Hydrozoen, die vereinzelt auf Transektabschnitten auftritt, an denen sich foliose Rotalgen mit Hydrozoen (je nach Tiefenstufen) abwechseln, wurde herausgelöscht. Gemeinschaften, in

denen Schwämme vorkamen (foliose Rotalgen/Hydrozoen/Schwämme, foliose Rotalgen/Schwämme, Hydrozoen/Schwämme), wurden zusammengefasst und als gemischte epibenthische Gemeinschaften deklariert.

Sowohl die gemischte Schwammgemeinschaft, als auch die Miesmuschelgemeinschaft bildeten die Minoritätsklassen, weshalb das Modell angepasst werden musste, um den Datensatz zu balancieren (vgl. Kapitel 3.1.2). In Tab. 19 sind die Ergebnisse dieser Modellanpassungen dargestellt. Die Überbeprobung erzielte eine realistische Biotopkarte, die sich auch mit den Beobachtungen der anderen Kartiermethodiken deckte (Abb. 39). Bspw. wurden mehr spärliche Gemeinschaften in der Überbeprobung vorausgesagt, als im Originalmodell, das über sehr weite Teile der Riffkulisse Hydrozoen als dominierende Taxa ausgab. Dies deckt sich mit den Beobachtungen der BfN-Drop-Kamera. Außerdem werden im Westen der Riffkulisse mit dem Überbeprobungs-Modell Miesmuscheln vorausgesagt, die mit dem SeaViewer nachgewiesen wurden. Obwohl also die Beobachtungen der BfN-Drop-Kamera und des SeaViewers hier nicht in den Trainingsdatensatz eingingen, konnten die Beobachtungen dieser beiden Systeme trotzdem durch das gewählte Modell vorausgesagt werden. Der mit Abstand wichtigste Prädiktor war die Wassertiefe (siehe Anhang Abb. 45). Beispiele für Unterwasseraufnahmen im Rahmen der Kartierung mit BaSIS sind in Abb. 40 zu sehen.

Tab. 19: Leistungsfähigkeit der verschiedenen Modellanpassungen. Der SMOTE-Algorithmus konnte hier nicht angewandt werden, da es mehrere Minoritätsklassen gibt. BRF = Balanced random forest, AUC = Area under (ROC-) curve, CI = Konfidenzintervall.

	Trainingsdatensatz	Testdatensatz		
	Fehlklassifikationsrate	AUC	Accuracy	95% CI
Originalmodell	24,14 %	0,81	0,78	0,67 - 0,87
Unterbeprobung	66,67 %	0,71	0,38	0,27 - 0,50
Unterbeprobung BRF	45,40 %	0,85	0,53	0,41 - 0,64
Überbeprobung	6,67 %	0,81	0,77	0,66 - 0,86

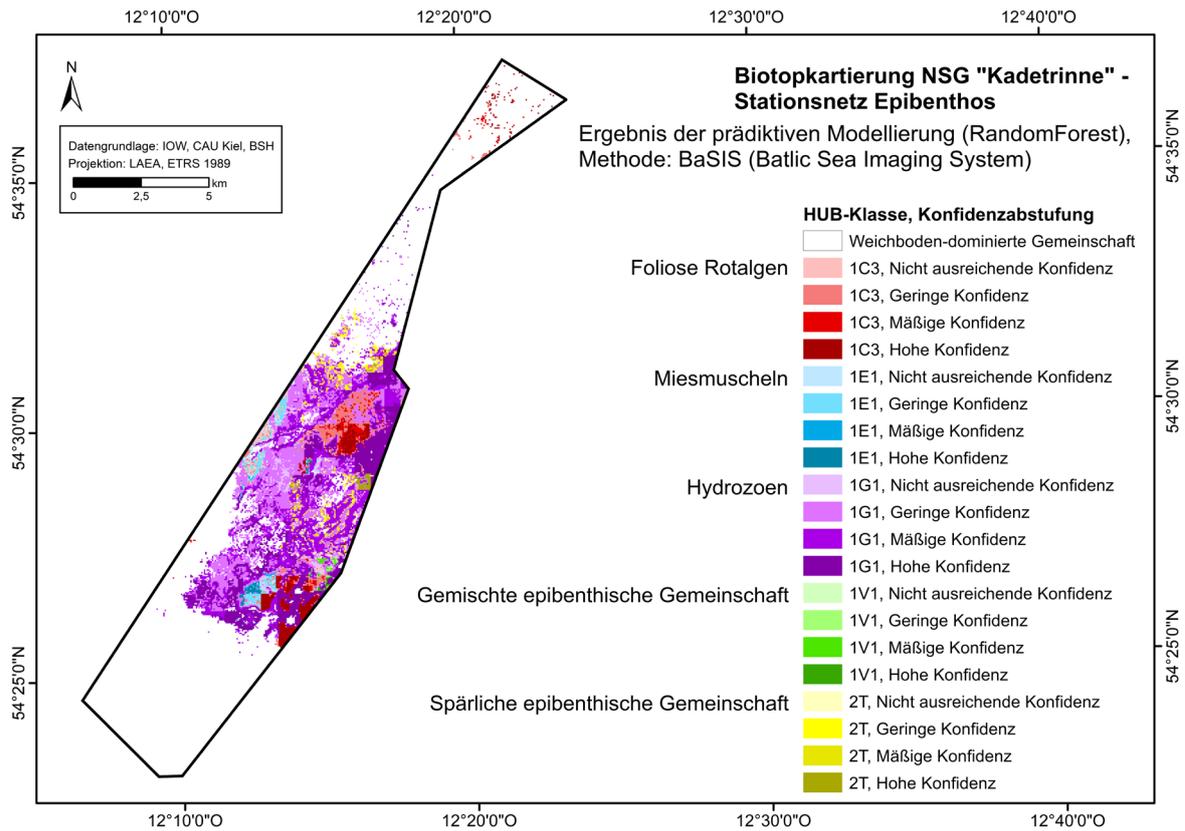


Abb. 39: Biotopkarte des Epibenthos, basierend auf den Transektaufnahmen mittels BaSIS (Baltic Sea Imaging System). Schwämme können in verschiedenen Konstellationen mit anderen dominanten Taxa vorkommen (z. B. foliose Rotalgen/Hydrozoen/Schwämme, foliose Rotalgen/Schwämme, Hydrozoen/Schwämme) und werden als gemischte epibenthische Gemeinschaft benannt. Die in der Modellierung verwendeten HUB-Kürzel entsprechen dem HUB Level 4-6 (HELCOM 2013b), welches gleichbedeutend mit der Biotopstruktur ist. HUB-Code Level 4 (Gemeinschaftsstruktur): 1 = gemischte epibenthische Gemeinschaft, 2 = spärliche epibenthische Gemeinschaft, Level 5 (Charakteristische Gemeinschaft): C = mehrjährige Algen, E = epibenthische Muscheln, G = epibenthische Nesseltiere, V = gemischte epibenthische Gemeinschaft, T = spärliche epibenthische Gemeinschaft, Level 6 (Dominierende Taxa): 1C3 = foliose Rotalgen (wie *Coccotylus truncatus*, *Phyllophora* spp., *Delesseria sanguinea*), 1E1 = Mytilidae, 1G1 = Hydrozoa, 1V1 = gemischte epibenthische Gemeinschaft, 2T = spärliche epibenthische Gemeinschaft. Nähere Erläuterungen zu den Konfidenzabstufungen siehe Kap. 3.1.2.



Abb. 40: Beispiele für Unterwasseraufnahmen der im NSG „Kadetrinne“ vorkommenden Gemeinschaften mit BaSIS (Baltic Sea Imaging System). Foliose Rotalgen (links oben) wechseln sich stellenweise mit Miesmuscheln (rechts oben) ab und gehen in tiefer gelegene Hydrozoengemeinschaften (Mitte links) über. Im Osten des Gebietes kommen Mischgemeinschaften hinzu, die sich vor allem durch das vermehrte Vorkommen von Schwämmen auszeichnen (hier foliose Rotalgen und Schwämme, Mitte rechts). Neben Hydrozoen, dominiert eine spärliche epibenthische Besiedlung (unten) das Riff im NSG „Kadetrinne“. (Fotos: IOW)

7.5 Vergleich der Ergebnisse

7.5.1 Vergleich der Biotopkarten

Trotz der verschiedenen Kamerasysteme und den damit einhergehenden Unterschieden in der methodischen Herangehensweise (Stations-/Transektuntersuchungen), unterscheiden sich die auf der Datengrundlage der einzelnen Kamerasysteme erstellten Biotopkarten nicht grundlegend voneinander. Besonders die Biotopkarten auf der Datengrundlage des SeaViewers und BaSIS wiesen eine große Ähnlichkeit auf. Die Übereinstimmung in der Vorhersage der Verteilung der Gemeinschaften ist, wie bereits beschrieben, nicht auf die Art der Aufnahme bzw. die Kamerasysteme zurückzuführen, sondern auf die Anzahl der Datenpunkte und auf deren räumliche und zeitliche Überschneidung.

Basierend auf den Aufnahmen aller drei Systeme wurde die Gemeinschaft der foliosen Rotalgen im Nordosten und Südosten des Riffs korrekt vorausgesagt. Die Ergebnisse von BaSIS und der BfN-Drop-Kamera lieferten dazu mehr oder weniger angrenzende Mischgemeinschaften mit Hydrozoen und Schwämmen. Miesmuscheln wurden durch das Modell basierend auf den Aufnahmen mittels Seaviewer und BaSIS in ähnlichen Gebieten vorausgesagt, nämlich in geografischer Nähe zu den Rotalgenbeständen. Die Nachweise wurden im Norden bzw. Westen des Riffkomplexes mittels SeaViewer erbracht und von Bereichen mit einer hohen Miesmuschel-Abundanz lagen Aufnahmen von BaSIS vor. Mit der BfN-Drop-Kamera konnte diese Gemeinschaft nicht erfasst werden und wurde folglich auch nicht durch das entsprechende Modell vorhergesagt. Eine offensichtliche mögliche Erklärung hierfür ist die unterschiedliche räumliche Lage der aufgenommenen Stationen. Es ist jedoch auch möglich, dass hier ein zeitlicher Versatz der Aufnahmen zum Tragen kam. So wurden an zwei nah beieinanderliegenden SeaViewer-Stationen, die 2013 und 2021 befahren wurden, jeweils eine domierende Miesmuschelgemeinschaft aufgenommen, während 2019 in diesem Gebiet mit der BfN-Drop-Kamera eine andere vorherrschende Gemeinschaft nachgewiesen wurde. Dies lässt darauf schließen, dass es zum Zeitpunkt der Aufnahmen der BfN-Drop-Kamera in diesem Bereich keine von Miesmuscheln dominierte Gemeinschaft gab. Diese interannuellen Unterschiede liegen im NSG „Kadetrinne“ auch in den starken Schwankungen der Umweltparameter begründet. Diese wirken sowohl habitat- als auch gemeinschaftsbildend. Natürlich lassen die Habitate im NSG nur bestimmte Besiedlungen zu, sodass es zu sich wiederholenden Besiedlungsmustern kommt. Für die Kartierung eines Gebiets wie der Kadetrinne wäre es demnach sinnvoll, die Biotoperfassung innerhalb eines Jahres durchzuführen. Dies ist jedoch aufgrund des immensen Aufwands kaum machbar. Gleichzeitig hat sich gezeigt, dass auch mit der Integration von Aufnahmen aus mehreren Jahren sehr gute Ergebnisse erzielt werden können. Das Zusammenführen von Stationen und Transektabschnitten (Poolen) ist dabei sicherlich der entscheidende Schritt.

Neben zeitlichen Unterschieden spiegeln auch die kleinräumigen Unterschiede in den Gemeinschaften die große Substratheterogenität des Untersuchungsgebiets wider und begründen die Abweichungen zwischen den Biotopkarten der drei getesteten Systeme. Es wurden beispielsweise Gemeinschaften mit dem SeaViewer erfasst, die zu über 50 % aus filamentösen Algen bestanden. Im gleichen Jahr, während derselben Ausfahrt, wurde auch ein BaSIS-Transekt in etwa 1 m Entfernung gefahren, in welchem trotz hoher räumlicher Auflösung in den epibenthischen Bedeckungsgraden keine Dominanz ephemerer Algen auftrat.

Insgesamt zeigte die Biotopkarte auf Datengrundlage der BfN-Drop-Kamera verglichen mit den Karten der anderen beiden Systeme die größten Abweichungen. Die spärliche epibenthische Besiedlung nahm hier in der Biotopkarte den größten Anteil des Riffs ein, während in den anderen Biotopkarten weitgehend Hydrozoen dominierten. Mit der BfN-Drop-Kamera wurden 59 Stationen aufgenommen. Im Vergleich zu den 89 SeaViewer-Stationen, mit jeweils mindestens 5 min Aufnahmezeit, bzw. den insgesamt 607 ausgewerteten Transektabschnitten aus der Befahrung mit BaSIS, ist dies ein eher geringer Aufwand. Je weniger Aufnahmen, desto ungenauer wird die Biotopkarte und damit das allgemeine Bild der Riffkulisse im NSG „Kadetrinne“. Ein weiterer Grund für das vermehrte Vorkommen von epibenthischen Bedeckungsgraden $< 10\%$ in der BfN-Drop-Kamera-Karte, wurde methodisch durch das Zusammenfassen der Bedeckungsgrade der Einzelbilder zum Gesamtbedeckungsgrad der Station verursacht. Darüber hinaus sorgten lokal heterogen bewachsene Bestände schnell für unklare Ergebnisse. Vorwiegend sind die Stein- und Blockfeldriffe von Hydrozoen besiedelt, jedoch ging der Bedeckungsgrad stellenweise nicht über 10% hinaus.

7.5.2 Eignung der Kamerasysteme und Einsatzmöglichkeiten

Für die Erstellung der epibenthischen Biotopkarte wurden die Ergebnisse aller drei Methoden verwendet und damit das umfassendste Ergebnis erzielt. Hier war die größere Datengrundlage entscheidender als die methodischen Unterschiede. Eine Analyse des Mindestaufwands für die Kartierung des NSGs war insofern nicht möglich, da erst die Zusammenführung aller erhobenen Daten aus allen drei Systemen zu einem Modell mit ausreichend guter Vorhersagequalität führte. Dies ist auf die in der Kadetrinne vorherrschenden kleinräumigen Unterschiede in der Substratbeschaffenheit sowie die allgemein große Substratheterogenität des Untersuchungsgebiets zurückzuführen. Insgesamt erwiesen sich alle drei Systeme, unter Berücksichtigung der Generierung einer ausreichenden Datenmenge, als prinzipiell geeignet, um für die Biotopkartierung eingesetzt zu werden. Jedes System bietet dabei systemspezifische Vor- und Nachteile.

Der Aufwand für den Einsatz an Bord, als auch für die Auswertung ist für eine kleine Schleppkamera, die Stationsvideos produziert (wie dem SeaViewer) sehr gering. Die Blickrichtung der Kamera nach schräg-unten brachte den Vorteil, dass höher aufwachsende Organismen und Strukturen besser identifiziert werden konnten, als bei Aufsicht von oben. Zudem gibt diese Kameraausrichtung in kurzer Zeit einen vergleichsweise weiträumigen Überblick über die Flächenausdehnung von Gemeinschaften sowie die Substratheterogenität der Station. Auch die Erfassung und Identifikation von spärlich ausgeprägten Hydrozoengemeinschaften, die sich optisch oft kaum vom Untergrund abheben, wird durch den Kamerawinkel stark begünstigt. Auch vagile Epifauna und Fische werden mit der nach vorne ausgerichteten Blickrichtung besser erfasst (obwohl bei allen drei Systemen eine Scheuchwirkung besteht). Wie auch bei den anderen Kamerasystemen werden die Aufnahmen begünstigt, wenn sie abends/nachts und damit bei Dunkelheit aufgenommen werden, da dann weniger gestreutes Tageslicht in der Wassersäule vorhanden ist. Dieses kann in der Ostsee für einen Grünschleier sorgen und mindert damit die Qualität der Aufnahmen. Dementsprechend wirkten sich auch höhere Wassertiefen von mehr als 20 m mit der einhergehenden Dunkelheit positiv auf Foto- und Videoaufnahmen aus. Bei viel Tageslicht hatte das SeaViewer-System insbesondere an flachen Stationen bei hohen Lichtintensitäten bisweilen Probleme mit dem internen, automatischen Weißabgleich (AWB). Dies führte zu einer leichten Fehlfarbe auf weißen Flächen. Als nachteilig wird zudem die nur mögliche semi-quantitative Auswertung beurteilt, bei der Bedeckungsgrade nur abgeschätzt werden können. Dies bedeutet, dass im Video erkennbare Taxa gezählt und

Häufigkeitsklassen (bei flächig wachsenden Organismen wie Hydrozoen und Algen prozentuale Bedeckungsklassen) zugeordnet werden. Dadurch sind die Ergebnisse des SeaViewers im Vergleich zu den beiden anderen Kamerasystemen (mit prozentual genau bestimmbareren Bedeckungsgraden) zwar deutlich schneller, aber weniger exakt. Für viele wissenschaftliche Fragestellungen ist aber oftmals eine präzise quantitative Erfassung nötig. Für diese ist das System nicht geeignet. Für den Einsatz bei reinen Kartierungsarbeiten und die HUB-Klassifizierung anhand von Stationsvideos wird die Einsetzbarkeit des SeaViewers dennoch als sehr gut bewertet. Zudem bietet das System eine schnelle Methode für ein „Ground Truth“, also die Verifizierung von Habitatstrukturen, oder die Exploration von Riffstrukturen. Allgemein könnte der SeaViewer durch Nachrüsten von Lasern zur Größenreferenzierung und einem externen Rot- bzw. Magentafilter optimiert werden. So könnte man die Qualität der Aufnahmen an flachen Stationen bei viel Streulicht in der Wassersäule deutlich verbessern.

Die BfN-Drop-Kamera ist ebenfalls für die Aufnahme von Stationen entwickelt worden und liefert die Möglichkeit der quantitativen Auswertung der epibenthischen Bedeckungsgrade anhand von Fotos. Anhand der parallelen Videoaufnahmen, kann trotz Aufsicht, ein guter Überblick über die jeweilige Station gewonnen werden. Das System ist seit dem Einsatz im NSG „Kadetrinne“ weiterentwickelt worden. Nun ist auch eine Georeferenzierung der Einzelbilder möglich und auch die Ausleuchtung des Absatzrahmens wurde verbessert. Insgesamt war die Qualität der Videos (und Fotos) etwas hochwertiger als die des Seaviewers, obwohl beide die gleichen Auflösungseinstellungen aufwiesen (Full HD). Dies liegt vermutlich an dem überlegenen Linsensystem sowie dem besseren Kamerasensor mit größerem Dynamikumfang der GoPro. Dahingegen gestaltet sich der Aufwand an Bord zum Einsatz des BfN-Absatzgestells als deutlich höher. Wie auch bei BaSIS, muss für eine Fotoaufnahme unter Wasser das Gestell abgesetzt werden und stillstehen, damit eine ausreichende Anzahl an auswertbaren Fotos gewonnen werden kann. Insgesamt waren für die Kartierung des NSG „Kadetrinne“ 59 Stationen nicht ausreichend, um eine Biotopkarte mit guten Konfidenzen zu modellieren. Dennoch eignet sich das BfN-Drop-Kamera-System insgesamt ebenfalls gut für Kartierungsarbeiten. Optimierungsbedarf besteht weiterhin an der Georeferenzierung der Fotos für die quantitative Auswertung.

Der Einsatz von BaSIS an Bord ist am aufwändigsten und bietet sich aus diesem Grund nicht für die Erfassung von einzelnen Stationen an. Durch die Aufnahme von quantitativ auswertbaren Transekten bietet dieses System jedoch die höchste räumliche Auflösung. Bei einer Beprobung von vielen kurzen Transekten, die gleichmäßig über das Untersuchungsgebiet verteilt sind, würde sich auch BaSIS für Kartierarbeiten eignen. Angesichts des Aufwands wird jedoch davon abgeraten, da die gleichen Ergebnisse mit den kleineren Systemen effizienter und auf gleichem Qualitätsniveau erzielt werden können. Für die klein-skalige Erfassung von Gradienten, wie dem Tiefengradienten (z. B. der unteren Verbreitungsgrenze von Makrophyten), den Übergängen von Gemeinschaften oder zeitlichen Veränderungen ist BaSIS jedoch am besten geeignet. Um die Veränderungen von Biotopen, beispielsweise im Zuge des FFH-Monitorings, aufzunehmen bietet sich die Festlegung von Dauer-Transekten in den Riffen aller Natura2000-Gebiete an, die ein- oder zweijährig angefahren werden und somit einen Langzeitdatensatz schaffen, der die Vergleichbarkeit sicherstellt.

Bei allen drei Systemen wird eine weitere Anpassung der Georeferenzierung empfohlen. Optimal wäre hier eine Integration der Koordinaten direkt als Metadaten in die Bilddatei zur direkten Auswertung mit einem Geoinformationssystem.

Die Identifizierung von Taxa auf Artniveau bleibt auch bei höchster Bildqualität nach wie vor eine der größten Herausforderungen optischer Erfassungsmethoden. Da die taxonomischen Bestimmungsmerkmale oft nur mit Hilfe eines Binokulars oder Mikroskops erkennbar sind, können die im Video sichtbaren Organismen oftmals nur auf Gattungsebene bestimmt oder morphologisch ähnlichen Gruppen zugeordnet werden. Bei den hier getesteten Kamerasystemen und Methoden wurde anhand der verschiedenen Aufnahmen in etwa die gleiche Anzahl an Taxa bzw. Gruppen (~20) identifiziert und somit bewies keins der Systeme eine bessere „Erkennbarkeit“ von Arten.

Für die Weiterentwicklung der Systeme wird noch Potential bei der Ausführung von Nahaufnahmen gesehen. Dies ist jedoch für Schleppkamerasysteme mit Bewegtbildern und den herrschenden Lichtbedingungen Unterwasser schwierig und ohne den Einsatz von Tauchern noch nicht umsetzbar. Gerade die jüngsten Entwicklungen im Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI) und Maschinellen Lernens motivieren außerdem zu einer Prüfung, wie die automatisierte Erkennung von Taxa und Bedeckungsgraden bzw. Segmentierung und Klassifizierung in die Analyse integriert werden kann.

Die Modellierung von Biotopkarten auf Grundlage von drei verschiedenen Kamerasystemen hat gezeigt, dass die Menge der aufgenommenen Datenpunkte für das NSG „Kadetrinne“ wichtiger für ein robustes Modell war, als die angewandten Systeme, die trotz ihrer Unterschiede alle für die Kartierungsarbeiten grundsätzlich geeignet sind. Aus den Erfahrungen mit den getesteten Systemen können folgende Mindestvoraussetzungen für optische Kartierungsarbeiten abgeleitet werden:

- Gleichmäßig über das Gebiet verteilte sowie auf die Substratheterogenität des Untersuchungsgebiets angepasste Stationsbeprobung mittels Video mit dem SeaViewer, der BfN-Drop-Kamera oder einem vergleichbaren System
- Groundtruth und Bestimmung der dominanten Epibenthosgemeinschaft über Stationsvideos von min. 5-10 min
- Live-Bild-Übertragung zum exakten Manövrieren und Qualitätskontrolle
- Laserpunkte zu Größenreferenzierung
- Georeferenzierung von Videos und Fotos
- Mindestauflösung für Videos und Fotos: Full HD

8 Fazit und Ausblick

Nach der Veröffentlichung der Biotopkarten für das NSG „Fehmarnbelt“ (Darr et al. 2022) können nun auch für das NSG „Kadetrinne“ zum ersten Mal detaillierte flächendeckende Karten der Sediment- und Blockverteilung sowie der Meeresbodenbiotope im Maßstab 1 : 10.000 als Ergebnis zweier BfN-finanzierter Forschungs- und Entwicklungsprojekte vorgelegt werden. Die Gesamtkonzeption 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 der einzelnen Projekte erzielt wurden, und tragen zur Erweiterung und Verbesserung dieser Vorgehensweisen in hohem Maße bei.

Hervorzuheben ist die erstmalig vollständige und standardisierte hydroakustische Kartierung der Sediment- und Blockverteilung im NSG „Kadetrinne“, welche als Grundlage zur großräumigen Riffabgrenzung und zur Biotopmodellierung herangezogen wurde.

Die Darstellung von epibenthischen Aufwuchs-Gemeinschaften auf Hartsubstraten sowie die flächenhafte Darstellung der daraus abgeleiteten Biotoptypen basiert auf den Erhebungen dreier Unterwasserkamerasysteme. Im Rahmen des Methodenvergleichs waren im Ergebnis alle drei Systeme für die Biotopkartierung geeignet. Da die Größe der Datengrundlage, d.h. die Anzahl der räumlichen Stichproben bei hoher kleinräumiger Substratheterogenität von entscheidender Bedeutung ist, optimiert eine stationsbasierte optische Erfassung das Verhältnis von Aufwand und Nutzen. Mit Kamerasystemen wie der BfN-Drop-Kamera, dem SeaViewer oder einem vergleichbaren System ist es möglich, effizient die für die Biotopkartierung benötigten Parameter zu erfassen und eine hohe Anzahl an Stationen und deren gleichmäßige Verteilung über das Untersuchungsgebiet zu realisieren. Die Erfassung von Videotransekten war mit dem getesteten System (BaSIS) im Vergleich aufwändiger und der Einsatz in der Biotopkartierung wird eher als Ergänzung zu Stationsvideos empfohlen.

Die hier vorliegenden Epibenthoskarten zeigen aufgrund der vorhandenen Auswertungsmethodiken in Teilen eine epibenthische Besiedlung, die nicht zwangsweise der wirklichen natürlichen Ausprägung entspricht. Dies liegt darin begründet, dass bei der Auswertung über den prozentualen Bedeckungsgrad von epibenthischen Taxa keine direkten Schlüsse auf ihren Zustand im Sinne von Dichte und Größe der Organismen gezogen werden können. Entlang vieler Transekte fällt im Gesamtüberblick ein höchst degradierter Zustand der Riffe auf. Dieser resultiert vor allem aus der Sedimentation von partikulärem organischem Material, das sich insbesondere in tieferen Bereichen im NSG als teils dicke Auflage über die Riffe legt. Aufgrund der erhöhten Wassertrübung und der steigenden Sauerstoffzehrung als Resultat der Zersetzungsprozesse dieses Materials, wird die epibenthische Besiedlung stark beeinträchtigt. Dadurch sind weite Teile der Riffkulisse nur spärlich besiedelt. Insbesondere Hydrozoen als Pionierarten sind auf den Blöcken und Steinen zu finden. Sie sind allerdings aufgrund der Gegebenheiten in ihrem Wachstum limitiert und bilden größtenteils lediglich lückenhafte, niedrigwüchsige Matten, die optisch schwer erkennbar sind. Je nach Kameraeinstellung kann dies als spärliche Besiedlung bzw. als Hydrozoen-dominiert ausgewertet werden. Natürliche und gesunde Bestände hingegen bilden regelrechte Wälder aus und fungieren mit ihrem erhöhten Biovolumen als Habitatbildner für viele weitere Arten (Abb. 41). Im Rahmen der Modellierung kann dieser Unterschied jedoch bislang nicht abgebildet werden und die fertige Karte suggeriert durch das Vorkommen der Hydrozoen-assoziierten Biotoptypen einen vermeintlich guten

Zustand der Riffe. Daher wird für die Zukunft eine Differenzierung der Wuchshöhe der Hydrozoen als Kriterium bei der Epibenthos-Auswertung vorgeschlagen, um den Unterschied zwischen degradierten und natürlichen Riffen besser ableiten und darstellen zu können. Besonders bei der zukünftigen Erarbeitung einer aktuellen Riffbewertung im Rahmen der FFH-Berichtspflicht könnte diese Unterscheidung dazu beitragen, dass der Zustand der epibenthischen Hydrozoengemeinschaft mitberücksichtigt werden kann.



Abb. 41: Bei der Aufnahme von Hydrozoen wird empfohlen, zukünftig nach strukturbildenden, aufrechten Hydrozoen (links) und dichten, kleinwüchsigen Hydrozoen-Matten (rechts) zu differenzieren, um die Unterschiede zwischen einem natürlichen und einem degradierten Zustand eines Riffs bereits bei der Modellierung darstellen zu können. (Fotos: IOW)

Im NSG „Kadetrinne“ sind gewisse menschliche Aktivitäten aufgrund des vorhandenen Schutzstatus (BNatSchG, NSGKdrV) verboten oder teilweise eingeschränkt. Eine Nutzung durch die Berufs- und Freizeitschifffahrt sowie die Berufsfischerei ist jedoch nicht verboten. Auch die Energieerzeugung aus Wind, die wissenschaftliche Meeresforschung, die Verlegung und der Betrieb von Kabeln und Rohrleitungen, militärische Aktivitäten und die Beseitigung militärischer Altlasten sind grundsätzlich erlaubt (BfN 2020).

Dabei ist der Schiffsverkehr im NSG „Kadetrinne“ räumlich besonders stark konzentriert, da sich das Gebiet in einem Verkehrstrennungsgebiet befindet. Die Schifffahrt wirkt unter anderem durch Sedimentaufwirbelungen und -umlagerungen, die Freisetzung von Schadstoffen und Vermüllung auf die benthischen Habitate ein (BfN 2020) und stellt damit insgesamt eine hohe Belastung im NSG dar (HELCOM 2021, BfN 2021). Als stärkste Belastung der Lebensraumtypen im NSG wird jedoch die Eutrophierung angesehen (BfN 2020).

Der LRT „Riffe“ befindet sich laut Gebietsmanagementplan (BfN 2020) in einem mittleren bis schlechten Erhaltungszustand. Im Rahmen der durchgeführten Kartierarbeiten und der damit einhergehenden Beobachtungen im Feld kann dies bestätigt werden. Da der Belastungsdruck außerhalb der Schutzgebietsgrenzen weiter zunimmt (Aufsuchung von Rohstoffen, militärische Aktivitäten, Infrastrukturprojekte; BfN 2021) und die Kadetrinne hauptsächlich durch einen hohen Nährstoffeintrag belastet wird, ist davon auszugehen, dass nur innerhalb der Schutzgebietszone veranlasste Maßnahmen nicht ausreichen werden, um einen guten Zustand der Riffe wiederherstellen zu können.

Die neuen Biotopkarten stellen mit ihren ergänzenden Informationen im NSG „Kadetrinne“ 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 sowie die anderen Lebensraumtypen gemäß EU-Kommissionsbeschluss 2017/84 dienen der Umsetzung von Maßnahmen aus der MSRL.

Ein Benthosmonitoring muss weiterhin regelmäßig durchgeführt werden, nicht nur um weitere räumliche Strukturen erfassen bzw. validieren, sondern auch zeitliche Dynamiken beobachten zu können. Auf Grundlage der hier erstellten Karten sind Zustandserfassungen der Lebensraumtypen und Biotope sowie Maßnahmenplanungen für das Schutzgebietsmanagement umsetzbar.

Wie in den anderen Schutzgebieten in der AWZ der Ostsee, besteht auch im NSG „Kadetrinne“ noch weiterer Bedarf, die zeitliche und räumliche Struktur, Dynamik, Stabilität und Elastizität einzelner Biotope und die damit einhergehenden Ökosystemfunktionen zu erforschen. Hier ist besonders die Untersuchung und Erfassung von anthropogenen Einflüssen von Bedeutung. Es ist daher unerlässlich, ein repräsentatives Benthosmonitoring in allen Schutzgebieten durchzuführen, um die räumliche und zeitliche Dynamik der Prozesse am Meeresboden zu beobachten und dadurch auch die Qualität der Lebensraumtypen und Biotope bewerten zu können, insbesondere in Bezug auf die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten und Eingriffe (Darr et al. 2022).

Die vorliegenden Biotopkarten und die damit verbundenen Datensätze sind eine wertvolle und zuverlässige Grundlage für die Bearbeitung dieser Forschungsfragen und die Durchführung aller relevanten Management-Aufgaben. Darüber hinaus können sie auch als Basis für andere Kartierungsvorhaben in der Ostsee dienen.

Danksagung

Die Erstellung der Biotopkarten und die Finalisierung dieses Berichtes geht auf die essentiellen Vorarbeiten zurück, die von Dr. Alexander Darr, Dr. Klaus Schwarzer und Dieter Boedeker im Rahmen der beiden entsprechenden AWZ-Projekte geleistet worden sind. Ihnen möchten die Autorinnen ihren Dank aussprechen. Dieser richtet sich außerdem auch an die zahlreichen Techniker*innen und Hilfwissenschaftler*innen, die über all die Jahre diese Arbeiten tatkräftig unterstützt haben.

Literaturverzeichnis

- Argument (2003): Abgrenzung von Sandbänken als FFH-Vorschlagsgebiete (FKZ 802 85 220). Abschlussbericht, Auftraggeber: BfN, Auftragnehmer: ARGUMENT GmbH, Kiel.
- 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. (2019): Picturing the Seafloor – shedding light on offshore rock habitats in the Baltic Sea using imaging systems. Dissertation an der Universität Rostock, 94 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).
<https://www.bfn.de/sites/default/files/BfN/meeresundkuestenschutz/Dokumente/BfN-Kartieranleitungen/bfn-kartieranleitung-riffe-in-der-deutschen-awz.pdf> (letzter Zugriff am 30.11.2023).
- BfN (Hrsg) (2020): Die Meeresschutzgebiete in der deutschen AWZ der Ostsee – Beschreibung und Zustandsbewertung. Erstellt von Bildstein, T., Schuchardt, B., Bleich, S., Bennecke, S., Schüchel, S., Huber, A., Dierschke, V., Koschinski, S., Darr, A.; BfN-Skript 553: 497 S.
<https://www.bfn.de/publikationen/bfn-schriften/bfn-schriften-553-die-meeresschutzgebiete-der-deutschen> (letzter Zugriff am 30.11.2023)
- BfN (2021): Managementplan für das Naturschutzgebiet „Kadetrinne“ (MPKdr).
<https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/G5qzLAhuWIG48leQ6n4/content/211211000705M001/BAAnzAT08022022B700.pdf> (letzter Zugriff am 30.11.2022)
- 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.
<https://www.meeresschutz.info/berichte-art-8-10.html> (letzter Zugriff am 30.11.2023).
- 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.
- Breiman, L. (2001): Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5-32
- Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 20. Juli 2022 (BGBl. I S. 1362, 1436) geändert worden ist
- Boedeker D., Krause J.C., Nordheim H. v. (2006): Interpretation, identification and ecological assessment of the Natura 2000 habitats „sandbank“ and „reef“. In: Nordheim H. v., Boedeker D., Krause J. C. (Eds.): *Progress in Marine Conservation in Europe: Natura 2000 sites in German Offshore waters*. Berlin (Springer) 47-64.
- 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.
- 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.
<https://doi.org/10.3758/s13414-011-0204-9>

- Darr A., Heinicke, K., Meier, F., Papenmeier, S., Richter, P., Schwarzer, K., Valerius, J., Boedeker, D. (2022): Die Biotope des Meeresbodens im Naturschutzgebiet Fehmarnbelt. Version 1.0, Stand 26.08.2022. BfN-Schriften Nr. 636: 99 S.
- 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.
- EEA (2019): EUNIS marine Habitat classification review 2019. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eunis-habitat-classification-1/eunis-marine-habitat-classification-review-2019> (letzter Zugriff am 13.12.2023).
- EEA (2022): EUNIS marine Habitat classification review 2022. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eunis-habitat-classification-1> (letzter Zugriff am 30.11.2023).
- EU-Kommissionsbeschluss 2017/848/EU (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. Amtsblatt der Europäischen Union, L 125/43, 18.5.2017.
- European Commission (2013): Interpretation Manual of European Union Habitats. EUR 28: 144 pp.
- Evans, J.S., Murphy, M.A., Holden, Z.A., Cushman, S.A. (2011): Modeling Species Distribution and Change Using Random Forest in C.A. Drew et al. (Eds.), Predictive Species and Habitat Modeling in Landscape Ecology: Concepts and Applications, DOI 10.1007/978-1-4419-7390-0_8, Springer Science+Business Media, LLC 2011
- 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.
- Friedland, R., Neumann, T., Schernewski, G. (2012): Climate change and the Baltic Sea Action Plan: model simulations on the future of the western Baltic Sea. J. Mar. Syst. 105: 175-186.
- 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 MariLim 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. doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.10.010.
- 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. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv265>

- 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.
- Gräwe, U., Naumann, M., Mohrholz, V., Burchard, H. (2015): Anatomizing one of the largest saltwater inflows into the Baltic Sea in December 2014. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 120(11): 7676-7697. <https://doi.org/10.1002/2015JC011269>
- Heinicke K., Bildstein T., Boedeker D., Reimers H.-Ch. (2021): Leitfaden zur großflächigen Abgrenzung und Kartierung des LRT 1170 „Riffe“ in der deutschen Ostsee (Untertyp: geogene Riffe), BfN-Skript 612, Version 1.0, Stand 27.05.2021, 45 S. <https://www.bfn.de/publikationen/bfn-schriften/bfn-schriften-612-leitfaden-zur-grossflaechigen-abgrenzung-und> (letzter Zugriff am 30.11.2023)
- 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. <http://www.helcom.fi/Lists/Publications/BSEP75.pdf> (letzter Zugriff am 30.11.2023)
- 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 (2013a): Red List of Baltic Sea underwater biotopes, habitats and biotope complexes. *Baltic Sea Environmental Proceedings* 138: 69 S. https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/Red-List_Baltic-Sea-underwater-biotopes-habitats-and-biotope-complexes_BSEP138.pdf (letzter Zugriff am 30.11.2023)
- HELCOM (2013b): HELCOM HUB-Technical Report on the HELCOM Underwater Biotope and habitat classification. *Baltic Sea Environmental Proceedings* 139: 76 S. & Anhänge. https://www.aquabiota.se/wp-content/uploads/BSEP139_HELCOM_2013_HELCOM_HUB_Technical-Report-on-the-HELCOM-Underwater-Biotope-and-habitat-classification_Balt-Sea-Environ.pdf (letzter Zugriff am 30.11.2023)
- HELCOM (2021): Cumulative impact on benthic biotopes. HELCOM indicator report. <https://indicators.helcom.fi/indicator/cumulative-impact-on-benthic-habitats/> (letzter Zugriff am 30.11.2023)
- IOW (2009): Erprobung eines Fachvorschlags für das langfristige benthologische Monitoring der Natura 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/files/bio/ag-benthische-organismen/pdf/BfN_Natura_2000_Endbericht.pdf (letzter Zugriff am 13.12.2023).
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2005.11.009>
- Kolp, O. (1966): Die Sedimente der westlichen und südlichen Ostsee und ihre Darstellung. *Beiträge Meereskd.* 1966: 17-18: 9-60.
- Kratochwil A. & Schwabe A. (2001): *Ökologie der Lebensgemeinschaften – Biozönologie*. Verlag UTB für Wissenschaft, Stuttgart, 756 S.

- LANA (2001): Mindestanforderungen für die Erfassung und Bewertung von Lebensräumen und Arten sowie die Überwachung. Beschluss 81. LANA-Sitzung
- Lemke, W., Kuijpers, A., Hoffmann, G., Milkert, D., Atzler, R (1994): The Darss Sill, hydrographic threshold in the southwestern Baltic: Late Quaternary geology and recent sediment dynamics. *Continental Shelf Research* 14: 847-870.
- Lemke, W. & Kuijpers, A. (1995): Late Pleistocene and early Holocene paleogeography of the Darss Sill area, southeastern Baltic: *Quaternary International* 2: 73-81.
- Liaw A. & Wiener M. (2002): Classification and regression by randomForest. *R News* 2(3): 18-22.
- LLUR (2022): Erläuterungen zur Kartierung der gesetzlich geschützten Biotope in Schleswig-Holstein, Stand April 2022, 131 S., https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/E/eingriffsregelung/Downloads/kartier_pdf.html (letzter Zugriff am 30.11.2023).
- Marx, D., Feldens, A., Papenmeier, S., Feldens, P., Darr, A., Zettler, M.L., Heinicke, K. (2024): Habitats and Biotopes in the German Baltic Sea. *Biology*, 13, 6. <https://doi.org/10.3390/biology13010006>
- Papenmeier, S., Darr, A., Feldens, P., Michaelis, R. (2020): Hydroacoustic Mapping of Geogenic Hard Substrates: Challenges and Review of German Approaches. *Geosciences* 10 (3): 100 S.
- Papenmeier (2022): Map of boulder distribution in the German EEZ (Kadet Trench). URL: www.geoseaportal.de (in prep.).
- 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.
- Richter, P., Höft, D., Feldens, A., Schwarzer, K., Diesing, M., Valerius, J., Mulckau, A. (2021): Map of sediment distribution in the German EEZ (1:10.000). www.geoseaportal.de, 2021
- R Core team (2019): R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria3-900051-07-0 <http://www.R-project.org> (letzter Zugriff am 26.05.2023).
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.10.045>
- Schiele K.S., Darr A., Zettler M.L., Friedland R., Tauber F., Weber M. v., Voss J. (2015): Biotope map of the German Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin* 96: 127-135. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.038>
- 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 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. Meeressumweltsymposium, 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. & Cooper, J.A.G. (Eds.), *Proceedings 13th International Coastal Symposium (Durban, South Africa)*, *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 70, ISSN 0749-0208.
- Tauber, F. & Lemke, W. (1995): Map of Sediment Distribution in the Western Baltic Sea (1:100,000), Sheet "Darß". *Deutsche Hydrographische Zeitschrift* 7(3), ISSN 0012-0308

- Tauber, F. (2012): Meeresbodensedimente und Meeresbodenrelief in der deutschen Ostsee: Datenpositionen und Blattschnitt, Karte Nr. 2930 = Seabed sediments and seabed relief in the German Baltic Sea: Data positions and sheet index, map no. 2930 [Map] 1: 550 000, 54°N. 2012.
- 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
- Zettler, M.L. & M. Röhner (2004): Verbreitung und Entwicklung des Makrozoobenthos der Ostsee zwischen Fehmarnbelt und Usedom – Daten von 1839 bis 2001. In: Bundesanstalt für Gewässerkunde (HRSG.), Die Biodiversität in der deutschen Nord- und Ostsee, Band 3. Bericht BfG-1421, Koblenz
- 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.
<https://www.io-warnemuende.de/files/bio/ag-benthische-organismen/pdf/bfn-endbericht-2002-2006.pdf> (letzter Zugriff am 13.12.2023).

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Übersichtskarte der drei Naturschutzgebiete in der deutschen AWZ der Ostsee.....	11
Abb. 2:	Anhand der Bathymetrie ist erkennbar, wie das Rinnensystem des NSG „Kadetrinne“ die Darßer Schwelle durchbricht.....	13
Abb. 3:	Hierarchische Struktur des Klassifikationssystems, auf der die deutsche Standard-Biotypenliste basiert.	16
Abb. 4:	Zusammenstellung aller Rückstreumosaik aus den verschiedenen Datenquellen (vgl. Kapitel 2.3.1, Abb. 11).....	20
Abb. 5:	Darstellung der Bereiche, in denen Daten mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung der zur geologischen Kartierung herangezogenen Rückstreumosaik vorliegen (vgl. Abb. 4).	20
Abb. 6:	Übersicht über die Datengrundlage für die Erstellung der Sedimentverteilungskarte (SVK) des NSG „Kadetrinne“.....	21
Abb. 7:	Sedimentverteilungskarte des NSG „Kadetrinne“ (Richter et al. 2021).	22
Abb. 8:	Sedimentverteilungskarte des NSG „Kadetrinne“ (Richter et al. 2021). Dargestellt wird Ebene B (vgl. BSH 2016): Klassifikation nach Folk (1954).....	23
Abb. 9:	Sedimentverteilungskarte des NSG „Kadetrinne“ (Richter et al. 2021). Dargestellt wird Ebene C (vgl. BSH 2016): Sandklasse nach Figge (1981).	24
Abb. 10:	Vereinfachte Darstellung der prozentualen Flächenanteile der Klassen auf Ebene A.....	24
Abb. 11:	Übersicht über die Datengrundlage für die Erstellung der Blockverteilungskarte des NSG „Kadetrinne“.....	26
Abb. 12:	Blockverteilungskarte für das NSG „Kadetrinne“ (Papenmeier 2022).....	27
Abb. 13:	Anpassungen an ein unbalanciertes Modell.	35
Abb. 14:	Lage der Stationen zur Erfassung des Endobenthos mit Angabe der jeweils an der Station angetroffenen Gemeinschaft vor dem Hintergrund der Sedimentverteilungskarte (SVK), Ebene A.	37
Abb. 15:	Relevante Variablen für die Modellbildung der Endobenthosgemeinschaften im NSG „Kadetrinne“.....	39
Abb. 16:	Karte der Verbreitung der endobenthischen Gemeinschaften als Ergebnis der prädiktiven Modellierung mit Angabe der Konfidenz.	41
Abb. 17:	Lage der Stationen und Transekte, an denen die Unterwasser-Videos (SeaViewer) und Unterwasser-Fotos (BfN-Drop-Kamera und BaSIS - Baltic Sea Imaging System) aufgenommen wurden sowie die jeweils aufgefundenen Gemeinschaften.....	43
Abb. 18:	Karte der Verbreitung der epibenthischen Gemeinschaften als Ergebnis der prädiktiven Modellierung mit Angabe der Konfidenz.....	47

Abb. 19:	Vorkommen des FFH-Lebensraumtyps „Sandbänke mit nur schwacher, ständiger Überspülung durch Meerwasser“ (EU Code 1110) im NSG „Kadetrinne“.....	49
Abb. 20:	Für die Riffabgrenzung verwendeter Blocklayer des NSG „Kadetrinne“ (nach Heinicke et al. 2021).....	52
Abb. 21:	Für die Riffabgrenzung verwendeter Restsedimentlayer des NSG „Kadetrinne“ (nach Heinicke et al. 2021). Restsediment bezieht sich hier auf Restsediment-relevante Sedimenttypen nach Tab. 8.....	53
Abb. 22:	Abgrenzung des geogenen Rifftyps „Blockfeld der deutschen Ostsee“ für das NSG „Kadetrinne“ mit seinen Kern- und Randbereichen sowie Entwicklungsbereichen (nach Heinicke et al. 2021); die Kern- und Randbereiche bilden zusammen den FFH-LRT „Riffe“ (EU-Code 1170) (Abb. 23).....	54
Abb. 23:	Vorkommen des FFH-Lebensraumtyps „Riffe“ (EU-Code 1170) im NSG „Kadetrinne“.....	55
Abb. 24:	Typische Strukturen und Gemeinschaften des FFH-LRT „Riffe“ im NSG „Kadetrinne“ (Fotos: IOW).	56
Abb. 25:	Vorkommen von Makroalgen-Beständen als potenzielle Verbreitung des § 30 BNatschG Biotoptyps „Seegraswiesen und sonstige marine Makrophytenbestände“ im NSG „Kadetrinne“.....	58
Abb. 26:	Karte der MSRL-relevanten benthischen Biotopklassen (BHT) und anderen Lebensraumtypen (OHT) gem. EU-KOM 2017/848.....	67
Abb. 27:	Karte der Biotoptypen entsprechend des Klassifikationssystems HELCOM HUB im NSG „Kadetrinne“. Die HUB-Klassen AA.H3L9/AB.H3L9 sowie AA.I3L9/AB.I3L9 werden hier neu eingeführt.	71
Abb. 28:	Karte der Standard-Biotoptypen Deutschlands im NSG „Kadetrinne“.....	74
Abb. 29:	Weitere charakteristische Strukturen und Gemeinschaften im NSG „Kadetrinne“ (Fotos: IOW).	76
Abb. 30:	Überblick über die verwendeten Kamerasysteme: SeaViewer (rechts oben), BfN-Drop-Kamera (links) und BaSIS (rechts unten). (Fotos: K. Romoth, IOW)	78
Abb. 31:	Lage der Stationen zur Erfassung des Epibenthos mithilfe des SeaViewers und Angabe der jeweils an der Station angetroffenen Gemeinschaft vor dem Hintergrund der Sedimentverteilungskarte (SVK), Ebene A. Hartboden entspricht der lila/blau schraffierten Fläche.....	81
Abb. 32:	Biotopkarte des Epibenthos basierend auf den Ergebnissen der Stationsvideos aus der SeaViewer-Kartierung.....	83
Abb. 33:	Standbilder aus den Videoaufnahmen, die mit dem SeaViewer entstanden sind.	84
Abb. 34:	Lage der Stationen zur Erfassung des Epibenthos mithilfe des BfN-Drop-Kamera – Systems und Angabe der jeweils an der Station angetroffenen Gemeinschaft vor dem Hintergrund der Sedimentverteilungskarte (SVK), Ebene A.....	86

Abb. 35:	Beispiele für Aufnahmen der BfN-Drop-Kamera von typischen Gemeinschaften im NSG „Kadetrinne“.	87
Abb. 36:	Gegenüberstellung der Häufigkeitsverteilung der HUB-Klassen bei Auswertung auf Bildebene und auf Stationsebene.	89
Abb. 37:	Biotopkarte des Epibenthos, wie sie sich aus den Aufnahmen mit der BfN-Drop-Kamera ergibt.	90
Abb. 38:	Lage der Transekte zur Erfassung des Epibenthos mithilfe von BaSIS (Baltic Sea Imaging System) und Angabe der jeweils an dem Transektabschnitt angetroffenen Gemeinschaft vor dem Hintergrund der Sedimentverteilungskarte (SVK), Ebene A.	92
Abb. 39:	Biotopkarte des Epibenthos, basierend auf den Transektaufnahmen mittels BaSIS (Baltic Sea Imaging System).	94
Abb. 40:	Beispiele für Unterwasseraufnahmen der im NSG „Kadetrinne“ vorkommenden Gemeinschaften mit BaSIS (Baltic Sea Imaging System).	95
Abb. 41:	Bei der Aufnahme von Hydrozoen wird empfohlen, zukünftig nach strukturbildenden, aufrechten Hydrozoen (links) und dichten, kleinwüchsigen Hydrozoen-Matten (rechts) zu differenzieren, um die Unterschiede zwischen einem natürlichen und einem degradierten Zustands eines Riffs bereits bei der Modellierung darstellen zu können. (Fotos: IOW)	101
Abb. 42:	Relevante Variablen für die Modellbildung der Epibenthosgemeinschaften im NSG „Kadetrinne“. Der mit Abstand wichtigste Prädiktor war die Wassertiefe. Die Erläuterungen zu den Abkürzungen finden sich in Tab. 1.	115
Abb. 43:	Relevante Prädiktoren für die Modellbildung des Epibenthos basierend auf den Ergebnissen der Kartierung mittels SeaViewer. Die Erläuterungen zu den Abkürzungen finden sich in Tab. 1.	115
Abb. 44:	Wichtigste Variablen für die Überbeprobung des Epibenthos, basierend auf den Untersuchungen mit der BfN-Drop-Kamera. Die Erläuterungen zu den Abkürzungen finden sich in Tab. 1.	116
Abb. 45:	Relevante Prädiktoren für die Modellbildung des Epibenthos basierend auf den Ergebnissen der BaSIS-Kartierung (Baltic Sea Imaging System). Die Erläuterungen zu den Abkürzungen finden sich in Tab. 1.	116

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Prädiktoren, die für das Random Forest-Modell verwendet wurden, kamen bis auf den Sedimenttyp (SVK) und die Wassertiefe (Tauber 2012) aus dem ERGOM- und dem GETM-Modell.	31
Tab. 2:	Erläuterungen der einzelnen Sedimenttypen nach der Summary-Spalte (vgl. Kapitel 2.2) der Sedimentverteilungskarte (SVK), die als kategorielle Variable in das Model mit einging.....	33
Tab. 3:	Vergleich der Performance des Originalmodells zu den Modellanpassungen des Endobenthos in der „Kadetrinne“	40
Tab. 4:	Fehlklassifikationsmatrix des RandomForest-Modells für die endobenthischen Gemeinschaften bzw. Biotopklassen im Trainingsdatensatz	40
Tab. 5:	Performance der einzelnen Modellanpassungen an dem unbalancierten Datensatz.....	46
Tab. 6:	Fehlklassifikationsmatrix des RandomForest-Modells für die epibenthischen Gemeinschaften bzw. Biotopklassen im Trainingsdatensatz	46
Tab. 7:	Vorkommen von lebensraumtypischen Arten im NSG „Kadetrinne“ (LRT-typische Arten nach IOW 2014)	49
Tab. 8:	Klassifikation der zur Erstellung des Restsedimentlayers herangezogenen Sedimenttypen der SVK des NSG „Kadetrinne“ (Attribut „Summary“, vgl. 2.2; Tab. 2).....	53
Tab. 9:	Gegenüberstellung der hierarchischen Ebenen der drei berücksichtigten Klassifikationssysteme.....	62
Tab. 10:	Überblick zu den Substratdefinitionen in den drei berücksichtigten Klassifikationssystemen.....	63
Tab. 11:	Interpretation der Substrattypen nach der Sedimentverteilungskarte (SVK) für die drei Biotopklassifikationssysteme HELCOM HUB, die deutsche Standard-Biotoptypenliste und EUNIS 2022 (gleichzusetzen mit den BHT im Sinne der MSRL).	64
Tab. 12:	Zuordnung der Gemeinschaften zu den drei Klassifikationssystemen.....	65
Tab. 13:	Fläche der kartierten benthischen Lebensräume im Sinne der MSRL.....	68
Tab. 14:	Fläche der kartierten Biotoptypen nach HUB 2013 mit Angabe der Gefährdungskategorie nach HELCOM Roter Liste (RL, HELCOM 2013a)	69
Tab. 15:	Flächen der kartierten Biotoptypen nach der Standard-Biotoptypenliste mit der jeweiligen Gefährdungseinstufung nach Deutscher Roter Liste (RL).	73
Tab. 16:	Vergleich der technischen Merkmale der drei getesteten Kamerasysteme.	79
Tab. 17:	Leistungsfähigkeit der verschiedenen Modellanpassungen für die Auswertung der Stationsvideos mit dem SeaViewer.....	82
Tab. 18:	Modellanpassungen für die Epibenthosmodellierung des BfN-Drop-Kamera-Systems.	88
Tab. 19:	Leistungsfähigkeit der verschiedenen Modellanpassungen.	93

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
BaSIS	Baltic Sea Imaging System
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BHT	Broad Habitat Type (benthische Biotopklassen nach MSRL)
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BVK	Blockverteilungskarte
CTD	Automatische Messsonde für Leitfähigkeit (Salzgehalt), Dichte und Temperatur
DOC	Dissolved Organic carbon (gelöster organischer Kohlenstoff)
EU	Europäische Union
EUNIS	European Nature Information System
FFH-RL	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Richtlinie 92/43/EWG)
HELCOM	Die Helsinki Kommission ist das oberste Entscheidungsgremium zu Fragen der Umsetzung des Helsinki Übereinkommens zum Schutze der Meeresumwelt der Ostsee
HUB	HELCOM Underwater Biotope and Habitat Classification System (publiziert in HELCOM 2013b)
IOW	Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde
kn	Knoten
LANA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Naturschutz, Landschaftspflege und Erholung
LRT	Lebensraumtyp nach Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie
MSRL	Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/56/EG)
NSG	Naturschutzgebiet
NSGkRV	Verordnung über die Festsetzung des Naturschutzgebietes „Kadetrinne“ vom 22. September 2017 (BGBl. I S. 3410)
OHT	Other Habitat Type (andere Lebensraumtypen gemäß EU-KOM-Beschluss 2017/848)

Abkürzung	Erklärung
PAR	Photosynthetic Active Radiation
RL	Rote Liste
SVK	Sedimentverteilungskarte

Anhang

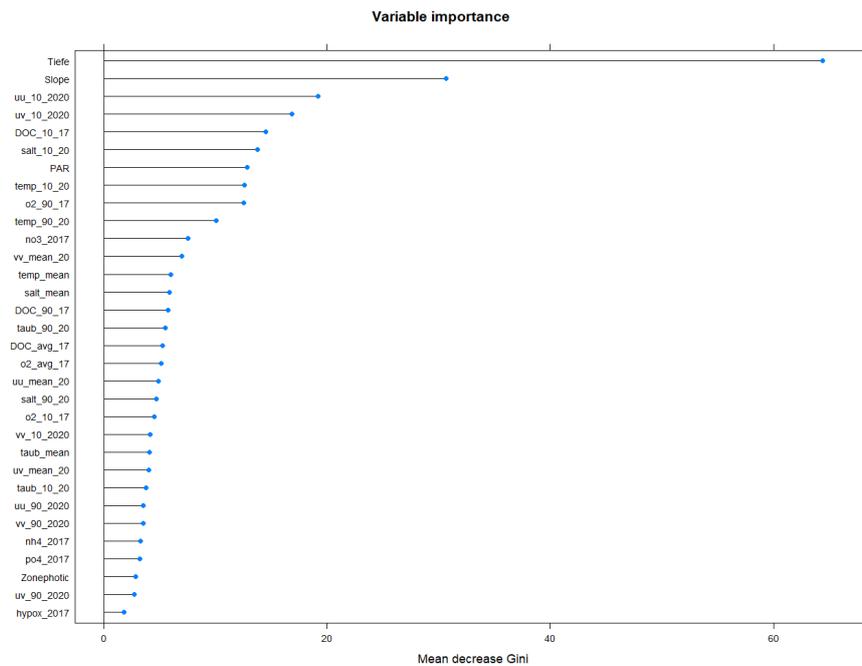


Abb. 42: Relevante Variablen für die Modellbildung der Epibenthosgemeinschaften im NSG „Kadetrinne“. Der mit Abstand wichtigste Prädiktor war die Wassertiefe. Die Erläuterungen zu den Abkürzungen finden sich in Tab. 1.

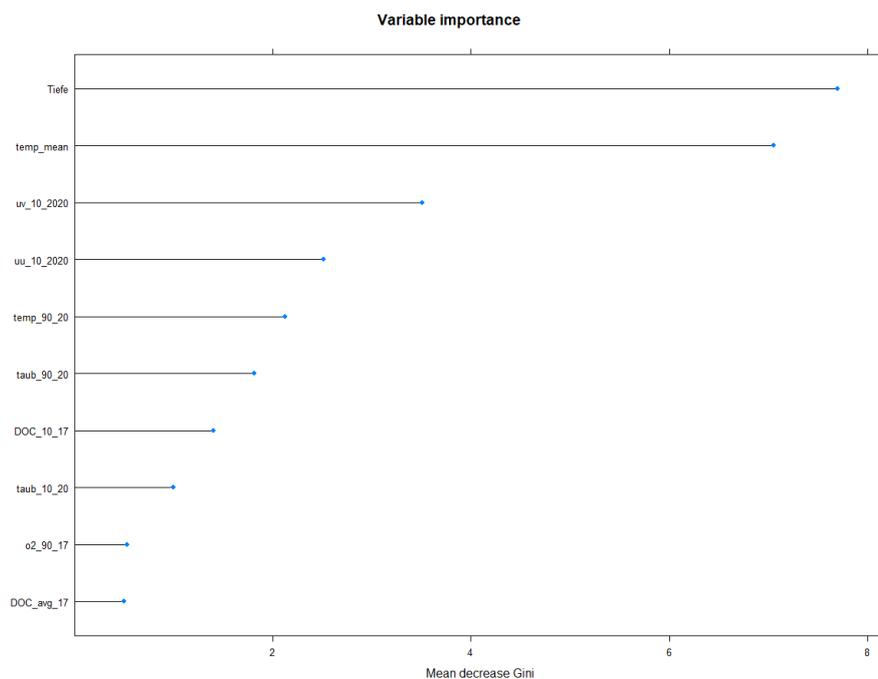


Abb. 43: Relevante Prädiktoren für die Modellbildung des Epibenthos basierend auf den Ergebnissen der Kartierung mittels SeaViewer. Die Erläuterungen zu den Abkürzungen finden sich in Tab. 1.

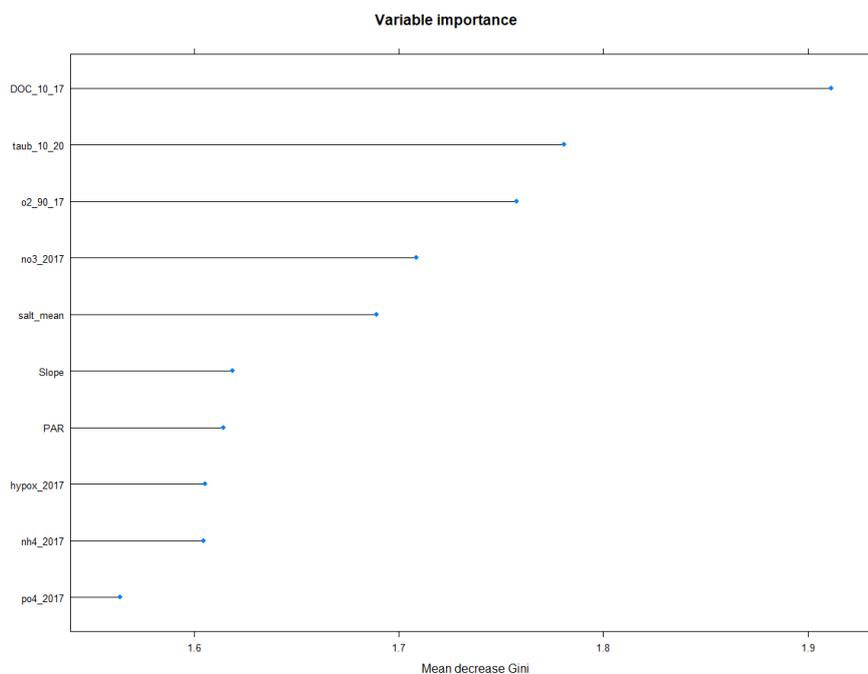


Abb. 44: Wichtigste Variablen für die Überbeprobung des Epibenthos, basierend auf den Untersuchungen mit der BfN-Drop-Kamera. Die Erläuterungen zu den Abkürzungen finden sich in Tab. 1.

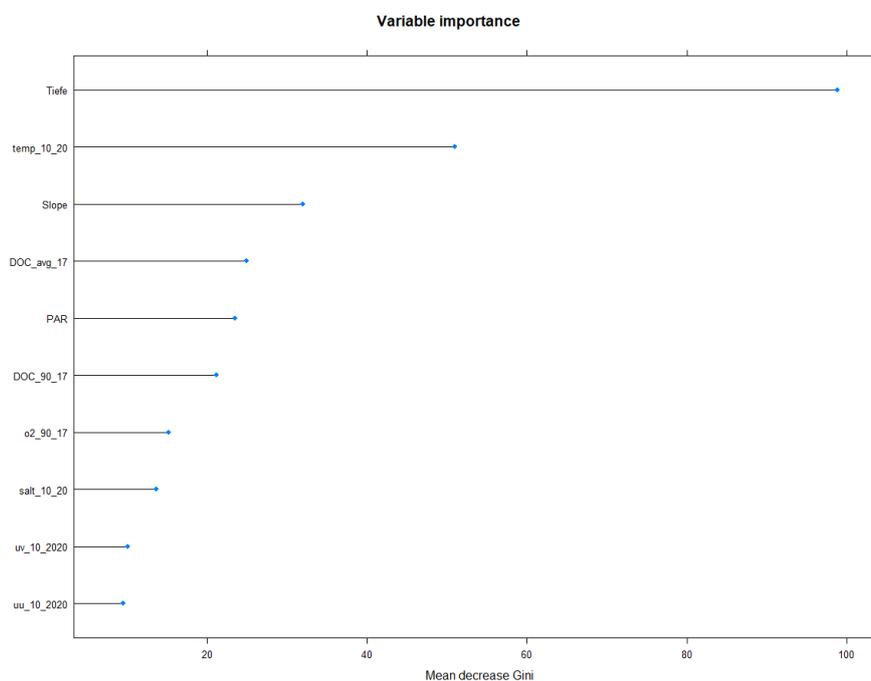


Abb. 45: Relevante Prädiktoren für die Modellbildung des Epibenthos basierend auf den Ergebnissen der BaSIS-Kartierung (Baltic Sea Imaging System). Die Erläuterungen zu den Abkürzungen finden sich in Tab. 1.

Die „BfN-Schriften“ sind eine seit 1998 unperiodisch erscheinende Schriftenreihe in der institutionellen Herausgeberschaft des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) in Bonn. Sie sind kurzfristig erstellbar und enthalten u.a. Abschlussberichte von Forschungsvorhaben, Workshop- und Tagungsberichte, Arbeitspapiere oder Bibliographien. Viele der BfN-Schriften sind digital verfügbar. Printausgaben sind auch in kleiner Auflage möglich.

DOI 10.19217/skr690