

Schleswig-Holsteinischer Landtag  
Umdruck 19/4585 (neu)

Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt,  
Natur und Digitalisierung | Postfach 71 51 | 24171 Kiel

An den Vorsitzenden des  
Umwelt- und Agrarausschusses  
des Schleswig-Holsteinischen Landtags  
Oliver Kumbartzky, MdL  
Düsternbrooker Weg 70  
24105 Kiel

**Der Minister**

Ihr Zeichen:  
Ihre Nachricht vom: /  
Mein Zeichen: V MB 3 - 57003/2020  
Meine Nachricht vom: /

per E-Mail

22.09.2020

**43. Sitzung des Umwelt- und Agrarausschusses  
hier: Ergänzung zu TOP 2 Bericht der Landesregierung über die Riffe im Bereich  
der geplanten Trasse der festen Fehmarn-Belt-Querung**

Sehr geehrter Herr Kumbartzky,

in der 43. Sitzung des Umwelt- und Agrarausschusses habe ich zu TOP 2 einen Bericht der Landesregierung über die Riffe im Bereich der geplanten Trasse der festen Fehmarn-Belt-Querung vorgelegt. In der anschließenden Aussprache ging es auch um den „Abschlussbericht FFH-LRT-Kartierung Fehmarn Ost“ und den „Abschlussbericht Lebensraumtypen Ostsee Synthese“ des Instituts für Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel sowie die Bewertung der Riffunde des NABU durch das LLUR, die ich Ihnen nach Abschluss der fachlichen Überprüfungen aufgrund des im Ausschuss geäußerten Wunsches hiermit zur Kenntnis gebe.

Mit freundlichen Grüßen



Jan Philipp Albrecht

Anlagen

1. „Abschlussbericht FFH-LRT-Kartierung Fehmarn Ost“ des Instituts für Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
2. „Abschlussbericht Lebensraumtypen Ostsee Synthese“ des Instituts für Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
3. Bewertung MELUND/LLUR der vom NABU gemeldeten Riffunde im Fehmarn Belt

# **Abschlussbericht**

## **FFH – LRT-Kartierung Fehmarn Ost**

**Institut für Geowissenschaften  
Christian-Albrechts-Universität, Kiel**



**Klaus Schwarzer und Daniel Unverricht**

**2020**



# Abschlussbericht

## FFH – LRT-Kartierung Fehmarn Ost

Institut für Geowissenschaften  
Christian-Albrechts-Universität, Kiel



Klaus Schwarzer und Daniel Unverricht

Kiel, den 30.06.2020



Dr. K. Schwarzer



Dr. D. Unverricht





## Inhalt

1	Einleitung.....	1
1.1	Zielsetzung.....	2
1.2	Lebensraumtypen .....	2
1.2.1	Sandbänke (NATURA 2000-Code: 1110) .....	3
1.2.2	Riffe (NATURA 2000-Code: 1170) .....	3
1.3	Das Untersuchungsgebiet .....	4
1.4	Regionale Hydrologie und Geologie .....	5
1.5	Vorkommende Oberflächensedimente .....	6
1.6	Ausweisung von Lebensraumtypen .....	10
2	Methoden.....	13
2.1	Seitensichtsonar (SSS).....	15
2.2	Sedimentecholot (SES).....	17
2.3	Unterwasservideoaufnahmen .....	18
2.4	Greiferproben (Van-Veen Greifer).....	18
2.5	Korngrößenanalyse .....	19
2.6	Segmentierung und Klassifizierung der SSS Daten nach Sedimenttypen .....	21
2.7	Lebensraumklassifizierung .....	22
3	Ergebnisse .....	23
3.1	Hangneigung.....	23
3.2	Fehmarn Ost - nordwestlicher Bereich (Teilgebiet A).....	24
3.2.1	Teilgebiet A: Morphologie des Seegrunds .....	24
3.2.2	Teilgebiet A: Seitensichtsonar Kartierung, Sedimentproben und Videoauswertung .....	25
3.2.3	Aufbau des Untergrundes im Teilgebiet A .....	29
3.3	Fehmarn Ost – zentraler Bereich (Teilgebiet B) .....	32
3.3.1	Morphologie des Seegrundes im Teilgebiet B .....	32
3.3.2	Teilgebiet B: Seitensichtsonar Mosaik, Sedimentproben und Videoauswertung .....	33
3.3.3	Aufbau des Untergrunds in Teilgebiet B .....	38
3.3.4	Sonderformen im Teilgebiet B.....	41
3.4	Fehmarn südöstlicher Bereich (Teilgebiet C) .....	44
3.4.1	Morphologie des Seegrunds.....	44
3.4.2	Teilgebiet C: Seitensichtsonar Mosaik, Sedimentproben und Videoauswertung .....	44
3.4.3	Aufbau des Untergrunds .....	51
4	Diskussion und Zusammenfassung .....	52
5	Literatur.....	59

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebietes mit der Unterteilung in drei Teilgebiete .....	5
Abbildung 2: Verteilung der Oberflächensedimente um Fehmarn. (Kartengrundlage: Hermansen and Jensen (2000), modifiziert nach Reimers (2008) .....	10
Abbildung 3: Bearbeitungsstände der marinen FFH-Lebensraumtypen um Fehmarn (Schwarzer und Krause, 2008). .....	12
Abbildung 4: Lage des Arbeitsgebietes in Verbindung mit anderen, bereits bearbeiteten FFH-LRT Untersuchungsgebieten; LRT-Fehmarn West und LRT-Sagasbank.....	13
Abbildung 5: Überblick der im Untersuchungsgebiet erhobenen Daten bestehend aus SSS und SES Profilen (Hydroakustiktransekte), Backengreiferbeprobung (Greiferstationen) und Videotransekten (UW-Video Transekte) .....	15
Abbildung 6 a-c: Schleppkonfiguration und Funktionsweise des Seitensichtsonars (Anderson et.al. 2007) .....	17
Abbildung 7: Funktionsweise des Van-Veen-Backengreifers .....	19
Abbildung 8: Gegenüberstellung unterschiedlicher Korngrößenmaße .....	20
Abbildung 9: Flussdiagramm zur Probenbearbeitung nach Köster (1993) .....	21
Abbildung 10: Klassifikation der Lockersedimente nach Folk (1954, 1974).....	22
Abbildung 11: Beispiele für unterschiedliche Rückstreuintensitäten und Rückstremuster in den Seitensichtsonar-Mosaiken.....	23
Abbildung 12: Hangneigungen im gesamten Untersuchungsgebiet .....	25
Abbildung 13: Bathymetrie des Teilgebietes A.....	26
Abbildung 14: Seitensichtsonar-Mosaik des Teilgebietes A mit den ausgewählten Beprobungsstationen.....	27
Abbildung 15: Überblick über die Greiferstationen und das Sediment in den Greifern aus Teilgebiet A .....	29
Abbildung 16: Videoprofil (Video_8_20180729) östl. des Fährhafens Puttgarden. ....	30
Abbildung 17: Die Sedimentverteilung im Teilgebiet A klassifiziert nach (Folk, 1954)).....	30
Abbildung 18: Zusammenführung von Informationen über die Meeresbodenoberfläche mit dem vertikalen Aufbau des Meeresbodens aus dem Bereich vor dem Fährhafen Puttgarden. ....	31

Abbildung 19: Ein SE – NW-gerichtetes SES-Profil östlich von Puttgarden, das teilweise im Bereich des Seitensichtsonar-Mosaiks liegt. Das SES-Profil zeigt auf dem Sedimentkörper deutliche Hyperbeln, die durch Steine hervorgerufen werden.....	33
Abbildung 20: Bathymetrie des Teilgebietes B .....	34
Abbildung 21: Seitensichtsonar-Mosaik des Teilgebietes B mit den ausgewählten Beprobungs- und Videosstationen.....	35
Abbildung 22: Greiferproben im nördlichen Teilgebietes B inklusive ihrer Entnahmeposition veranschaulicht im Seitensichtsonar-Mosaik.....	37
Abbildung 23: Ausgewählte Greiferproben des südlichen Teilgebietes B inklusive ihrer Entnahmeposition veranschaulicht im SSS-Mosaik.....	38
Abbildung 24: Videoprofilausschnitte aus Teilgebiet B. Es zeigt den Übergang von einer Fläche mit homogenen niedrigen Rückstreuintensitäten zu einer Fläche erhöhter, jedoch heterogen verteilter Rückstreuintensitäten.....	39
Abbildung 25: Die Sedimentverteilung im Teilgebiet B klassifiziert nach (Folk, 1954).....	40
Abbildung 26: Sedimentecholot-Profil aus Teilgebiet B. Zwischen zwei Hartsubstratflächen liegt ein Bereich mit dominierend schlickigem Sand sowie eine im Querschnitt dünenförmige Struktur, die auf sedimentdynamische Prozesse rückschließen lässt.....	41
Abbildung 27: Seitensichtsonar-Mosaik und Sedimentecholot-Profil, die den Übergang von Grobsedimenten mit Steinen zu einem Bereich mit horizontal gelagerten Beckensedimenten zeigen. ....	42
Abbildung 28: Vorkommenden von sublitoralen Sandbänken im Teilgebiet B .....	43
Abbildung 29: Korngrößenverteilungen innerhalb von 2 beprobten Sandbänken aus dem Teilgebiet B .....	44
Abbildung 30: Überblick der im Untersuchungsgebiet vorkommenden sichelförmigen ausgeprägten Bodenformen.....	45
Abbildung 31: Bathymetrie des Teilgebietes C .....	46
Abbildung 32: Seitensichtsonar-Mosaik des Teilgebietes C mit den ausgewählten Beprobungs- und Videosstationen .....	47
Abbildung 33: Überblick von Greiferproben aus Teilgebiet C inklusive ihrer Entnahmeposition veranschaulicht im Seitensichtsonar-Mosaik. ....	49

Abb. 34: Ausgewählte Greiferproben aus Teilgebiets C inklusive ihrer Entnahmeposition veranschaulicht im Seitensichtsonar-Mosaik .....	50
Abbildung 35: Überblick der UW-Videoprofile im Teilgebiet C incl. repräsentativer Bild- ausschnitte.....	51
Abbildung 36: Die Sedimentverteilung im Teilgebiet C klassifiziert nach (Folk, 1954) (1954) .....	52
Abbildung 37: Sedimentecholot-Profil mit an beiden Enden vorkommenden, teilweise durchspießenden Steinvorkommen, die durch Fläche mit geringe akustischer Rück- streuung unterbrochen ist.. .....	53
Abbildung 38: Überblickskarte der Sedimentverteilung aller Teilgebiete klassifiziert nach Folk (1954).....	55
Abbildung 39: Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes Lebensraumtypen VI inklusive der Verdachtsflächen der FFH-Klasse 1110 (Sandbank) und 1170 (Riff).....	58
Abbildung 40: FFH-Lebensraumtypen um Fehmarn.....	60

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Einstufung der Bearbeitungsstände von FFH-Lebensraumtypen-Gebieten nach Schwarzer und Krause, (2008) .....	11
Tabelle 2: Überblick der durchgeführten Messfahrten für die Datenerhebung .....	14

## **1 Einleitung**

Die Erkenntnis, dass die Nutzungen der küstennahen Gewässer oftmals starke Eingriffe in die empfindlichen benthischen Lebensräume hinterlassen, führte in der Vergangenheit zu mehr kontrollierendem Einfluss durch politische Gremien. Im Jahr 1992 wurde mit der FFH-Direktive (EU, 1992) ein grundlegendes Gesetz für den Erhalt von Lebensräumen verabschiedet. Bezüglich der Wasserkörper wurde 2000 die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) verabschiedet, welche ein weiteres hier 5-stufiges Bewertungssystem für die Gewässerqualität beinhaltet (EU, 2000). Es folgte im Jahr 2008 die Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL), die ebenfalls für alle EU Mitgliedstaaten bindend ist (EU, 2008, Directive 2000/60/EC). Mit dieser EU-Richtlinie werden die einzelnen Mitgliedstaaten verpflichtet, den Umweltzustand in ihren Küsten-, Hoheits- und AWZ-Gewässern zu erfassen und anhand von definierten Deskriptoren sowohl deren aktuellen Zustand als auch die Veränderungen zu beschreiben und zu monitorieren. Zustand und Veränderungen sind der EU in regelmäßigen Abständen zu berichten. Ziel dieser Auflagen ist es, den Zustand der Lebensräume zu bewerten, um gegebenenfalls durch gezielte Maßnahmen den in den Direktiven formulierten "Good Environmental Status" (GES) wiederherzustellen bzw. zu erhalten (EU, 2008).

Neben einer Vielzahl von biologischen und ökologischen Faktoren spielen abiotische Randbedingungen eine entscheidende Rolle für die räumliche Ausdehnung und die Stabilität der marinen Lebensräume. Von besonderer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang der Bestand und die Beschaffenheit der für den jeweiligen Lebensraum notwendigen Substrate. Hydroakustische Messmethoden unterstützt durch visuelle Beobachtungen bieten hier die Möglichkeit, in relativ kurzen Zeiträumen flächenhafte Informationen über die physikalischen Eigenschaften des Meeresbodens und in Ansätzen auch über die Besiedlung durch Organismen zu erfassen und im Hinblick auf marine Lebensräume zu interpretieren. Das Untersuchungsprogramm „FFH-LRT (FFH = Fauna, Flora, Habitat; LRT = LebensRaumTypen) Kartierung Fehmarn Ost“ diente daher der Kartierung des Meeresbodens im Bereich nordöstlich und östlich der Insel Fehmarn mit hydroakustischen Methoden sowie der Verifizierung der Daten durch visuelle Beobachtungen und Bodenproben. Eine zusammenfassende Datenauswertung erfolgt vor dem Hintergrund der geologisch-sedimentologischen Charakterisierung der unterschiedlichen Lebensraumtypen und ihrer räumlichen Ausdehnung. Das Untersuchungsprogramm schließt an eine Reihe von Meeresbodenkartierungen im Bereich der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee an (Schwarzer et al., 2008; Schwarzer und Feldens, 2010; Schwarzer et al., 2014a, b; Schwarzer und Heinrich, 2016, 2018).

### **1.1 Zielsetzung**

Mit Schreiben vom 29.09.2017 und der Aufstockung v. 06.11.2018 (Schreiben der GMSH) beauftragte das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) des Landes Schleswig-



Holstein die Arbeitsgruppe Küstengeologie und Sedimentologie des Instituts für Geowissenschaften (IfG) der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) folgende Untersuchungen durchzuführen:

- Zusammenstellung des eigenen Karten- und Datenmaterials vor dem Hintergrund der zu erfassenden Lebensraumtypen im Bereich nördlich und nordöstlich der Insel Fehmarn (Abb. 1).
- Flächendeckende Bestandsaufnahme der im Untersuchungsgebiet vorkommenden Substrate mit hydroakustischen Methoden.
- Ermittlung vorhandener Strukturen und der tatsächlich vorhandenen Besiedlungsfläche für verschiedene Tiefenhorizonte nach FFH-Kriterien. Flächen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit einer Sedimentüberdeckung durch mobile Sande unterliegen, werden besonders ausgewiesen.
- Abgrenzung vorhandener biogener und geogener Strukturen unter Anwendung der Definitionen und Kartieranleitungen nach FFH für die LRT 1110 „Sandbänke“, 1160 „flache Meeresarme und –buchten“ und 1170 „Riffe“.
- Validierung der mittels hydroakustischer Verfahren erstellten Karten durch Sedimentbeprobungen und/oder optische Methoden im Gelände und der Analyse der Sedimentproben im Labor.
- Anwendung des von Greene et al. (2007, 2008) entwickelten Klassifizierungsschlüssels auf die vorgefundenen Sedimente und Habitate.
- Darstellung und Bewertung der Ergebnisse in einem Bericht in digitaler und analoger Form. Die Ergebnisse der hydroakustischen Aufnahmen werden als geoTiff oder Grid, die Analyseergebnisse (LRT-Abgrenzung), Besiedlungsfläche, vorkommende Substrate) als Shapes (ESRI) nach Vorgabe des LLUR zur Verfügung gestellt.

Um ein umfassendes Verständnis der sedimentologischen Ausbildung und möglicher Veränderungen des Meeresbodens in der Fehmarnbelt-Region innerhalb der Küstengewässer Schleswig-Holsteins zu erhalten, umfasst das Untersuchungsgebiet neben dem beauftragten Bereich des Fehmarnbells auch die Bereiche nordöstlich von Fehmarn und den westlichen Übergang zur Kieler Bucht (Abb. 1). Diese Gebiete wurden aus fachlicher Sicht hinzugezogen, um ein umfassenderes Bild der naturräumlich zusammenhängenden Strukturen zu erhalten.

## **1.2 Lebensraumtypen**

Die küstennahen Bereiche der Ostseeküste Schleswig-Holsteins sind durch sandige Gebiete, Abrasionsflächen und das Ausstreichen organogener Sedimente geprägt (Schwarzer et al., 1993; Schwarzer und Krause, 2008; Niedermeyer et al., 2011). Abrasionsflächen mit Stein- und Blockfeldern bilden dabei häufig den FFH-Lebensraumtyp Riff aus, während der Lebensraumtyp Sandbank aufgrund der geologischen Vorprägung des schleswig-holsteinischen Küstenraumes, das abschmelzende Eis der letz-

ten Vergletscherung hat wenig Sand zurückgelassen, nicht so häufig vorkommt. Gegenüber Mecklenburg-Vorpommern kann man den schleswig-holsteinischen Küstenraum als sandarm bezeichnen. Nachfolgend sind die Definitionen und die Kartierungshinweise für diese Lebensraumtypen angefügt. Sie sind dem Interpretation Manual of European Union Habitats (EU, 2013) sowie den entsprechenden Kartieranweisungen des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) (Boedeker et al., 2006) bzw. den Steckbriefen und den Kartierhinweisen für FFH Lebensraumtypen des LLUR (Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, 2007), den Erläuterungen zur Kartierung der gesetzlich geschützten Biotop in Schleswig-Holstein (LLUR, 2015) und dem Monitoring-Kennblatt FFH-LRT Riffe (Stand 2012-08-28) entnommen und zusammengefasst.

### 1.2.1 Sandbänke (NATURA 2000-Code: 1110)

Sandbänke sind Erhebungen des Meeresgrundes insbesondere im oberen Sublitoral, die bis dicht unter die Meeresoberfläche reichen können, aber bei MTNW noch nicht freifallen. Sie sind vegetationsfrei oder haben eine spärliche Makrophytenvegetation (z.B. *Zosteretum marinae*, *Cymodoceion nodosae*).

#### **Kartierungshinweise:**

*Der Lebensraumtyp Sandbänke stellt Erhebungen des Meeresgrundes dar und ist auf das Sublitoral beschränkt. Dieser reicht in der Nordsee durchschnittlich in größere Tiefen als in der Ostsee. Für die Abgrenzung ist weiterhin das Vorkommen von Sanden (Fein- bis Grobsand) ausschlaggebend. In der Regel unterliegen die Sandbänke einer gewissen Umlagerungsdynamik. Sie können sowohl vollständig aus Sanden bestehen oder als mehr oder weniger mächtige Ablagerungen auf submarinen Geschiebemergelrücken oder anderen Hartsubstraten auftreten. Bei Letzteren können die Übergänge zu Riffen (EU-Code 1170) fließend sein und teilweise besonders in der Ostsee eine enge Verzahnung aufweisen. Eine Zuordnung zur Sandbank erfordert eine flächenhafte Dominanz der Sande mit einer Mindestmächtigkeit von 40 cm, um den typischen Sandbodengemeinschaften einen Lebensraum zu bieten. Einzelne erratische Blöcke können die Oberfläche durchragen. Die Grenze zu den Wattflächen der Nordsee wird durch die mittlere Tide-Niedrigwasserlinie (MTNW) gebildet. Die Abgrenzung kann anhand der Wassertiefenangaben erfolgen. Beispiele für submarine Sandbänke sind die Oderbank (Ostsee) oder die Doggerbank (Nordsee (LLUR, 2007)).*

### 1.2.2 Riffe (NATURA 2000-Code: 1170)

Vom Meeresboden aufragende mineralische oder biogene Hartsubstrate des Eu- und Sublitorals, häufig von Großalgen und Muscheln bewachsen, v.a. in der Ostsee auch mit höheren Pflanzen. Eingeschlossen sind sowohl Felswatten, Riffe entlang der Felsküsten (litoral reefs) als auch im offenen Meer aufragende Riffe (offshore reefs).

#### **Kartierungshinweise:**

*Zu den Riffen zählen dauerhaft überflutete oder bei Niedrigwasser herausragende Erhebungen aus Hartsubstraten, wie Felsen, Felswatt, Geschiebe und biogene Bildungen (z.B. Miesmuschelbänke auf Moränen und Sandkorallen- (Sabellaria)-Riffe), aber auch anstehender Geschiebemergel als submarine, schwellenartige Moränenrücken. Auf Grund der spezifischen glazialen und postglazialen Entwicklung von Nord- und Ostsee treten hier vielfach enge Verzahnungen mit dem Lebensraumtyp 1110 (Sandbank)*

auf. Geschiebereiche Erhebungen mit Mischsubstraten (z.B. Geschiebe, Mergel, Sande, Schlick) werden zu diesem Typ gestellt, wenn das Hartsubstrat dominiert (LLUR, 2007).

Zusätzlich wurden folgende Erläuterungen aus dem Monitoring-Kennblatt FFH-LRT Riffe (Bund/Länder-Messprogramm Meeresschutz, 2012) berücksichtigt:

**Erläuterungen:**

- *"Hartsubstrat": Felsen (einschließlich weiches Gestein wie Kreidefelsen), Fels- und Steinbrocken (in der Regel >64 mm Durchmesser).*
- *"Biogene Verwachsungen": Verwachsungen, Verkrustungen, Korallenformationen und Muschelbankformationen aus toten oder lebenden Tieren, d. h. biogene Hartsubstrate, die Lebensräume für epibiotische Arten bieten.*
- *"Geogener Ursprung": aus nicht biogenen Substraten entstandene Riffe.*
- *"Vom Meeresboden aufragend": Das Riff unterscheidet sich topografisch vom umliegenden Meeresboden.*
- *"sublitorale und litorale Zone": Die Riffe können sich aus der sublitoralen Zone ohne Unterbrechung in die (litorale) Tidenzone erstrecken oder nur in der sublitoralen Zone vorkommen, die auch Tiefseegebiete wie das Bathyal umfasst.*
- *Hartsubstrate, die von einer dünnen und beweglichen Sedimentschicht bedeckt sind, werden als Riffe klassifiziert, wenn die darauf lebenden Biota zum Leben eher das Hartsubstrat als die darüber liegenden Sedimentschichten benötigen.*
- *Soweit eine ununterbrochene Besiedlung durch sublitorale und litorale Gemeinschaften existiert, sollte die Unversehrtheit der ökologischen Einheit bei der Auswahl der Schutzgebiete berücksichtigt werden.*
- *Unter diese Lebensraumkategorie fallen auch diverse subtidale topografische Elemente wie Hydrothermalquellen-Habitate, Unterwasservulkane (Seamounts), vertikale Felswände, horizontale Abhänge, Überhänge, Felsspitzen, Wasserrinnen, Felskämme, abfallende oder flache Felsen, Fels und Stein- sowie Kieselfelder.*

### **1.2.3 Meeresarme und Buchten (Natura 2000-Code: 1160)**

Flache große Meeresarme und -buchten mit ihren Flachwasserzonen, insbesondere zwischen den Inselketten der Nordsee und dem Festland (soweit nicht Wattflächen), einschließlich Bodden und Haffs der Ostsee (soweit nicht den Ästuaren oder Lagunen zuzurechnen); je nach Gebiet unterschiedliche Substrate (Hart-/Weichsubstrate), vegetationsfrei oder mit Seegraswiesen.

Kartierungshinweise:

*Flachwasserzonen des Meeres in Küstennähe, d.h. mit ständiger Wasserbedeckung und in denen durchlichtete Flachwasserzonen dominieren. Die landseitige Grenze wird in der Ostsee durch die Mittelwasserlinie gebildet. Die Abgrenzung zu den Wattflächen der Nordsee erfolgt auf der Grundlage der Linie des mittleren Tide-Niedrigwassers. Innerhalb des Lebensraumtyps liegende Vorkommen von Lebensraumtyp [1110](#) (Sandbank), [1140](#) (Watt), [1170](#) (Riffe) werden ausgegrenzt und dem jeweiligen Typ zugeordnet. Buchten mit einem fjordartigen Charakter die Flachwasserbereiche aufweisen, werden vollständig diesem Typ zugeordnet. Eingedeichte Flächen zählen nicht zu diesem Lebensraumtyp. Im Gegensatz zu Lagunen ([1150](#)) besteht ein ständiger Wasseraustausch mit dem offenen Meer, und von Ästuaren ([1130](#)) unterscheiden sie sich durch das Fehlen eines deutlichen Süßwasserdurchstroms.*

### 1.3 Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt überwiegend im Fehmarnbelt. Es erstreckt sich über die Küstenvorfelder nordwestlich von Puttgarden bis in den Bereich vor dem Leuchtturm Staberhuk an der Ostspitze der Insel Fehmarn. Von hier dehnt es sich weiter direkt in südliche Richtung aus (Abb. 1).

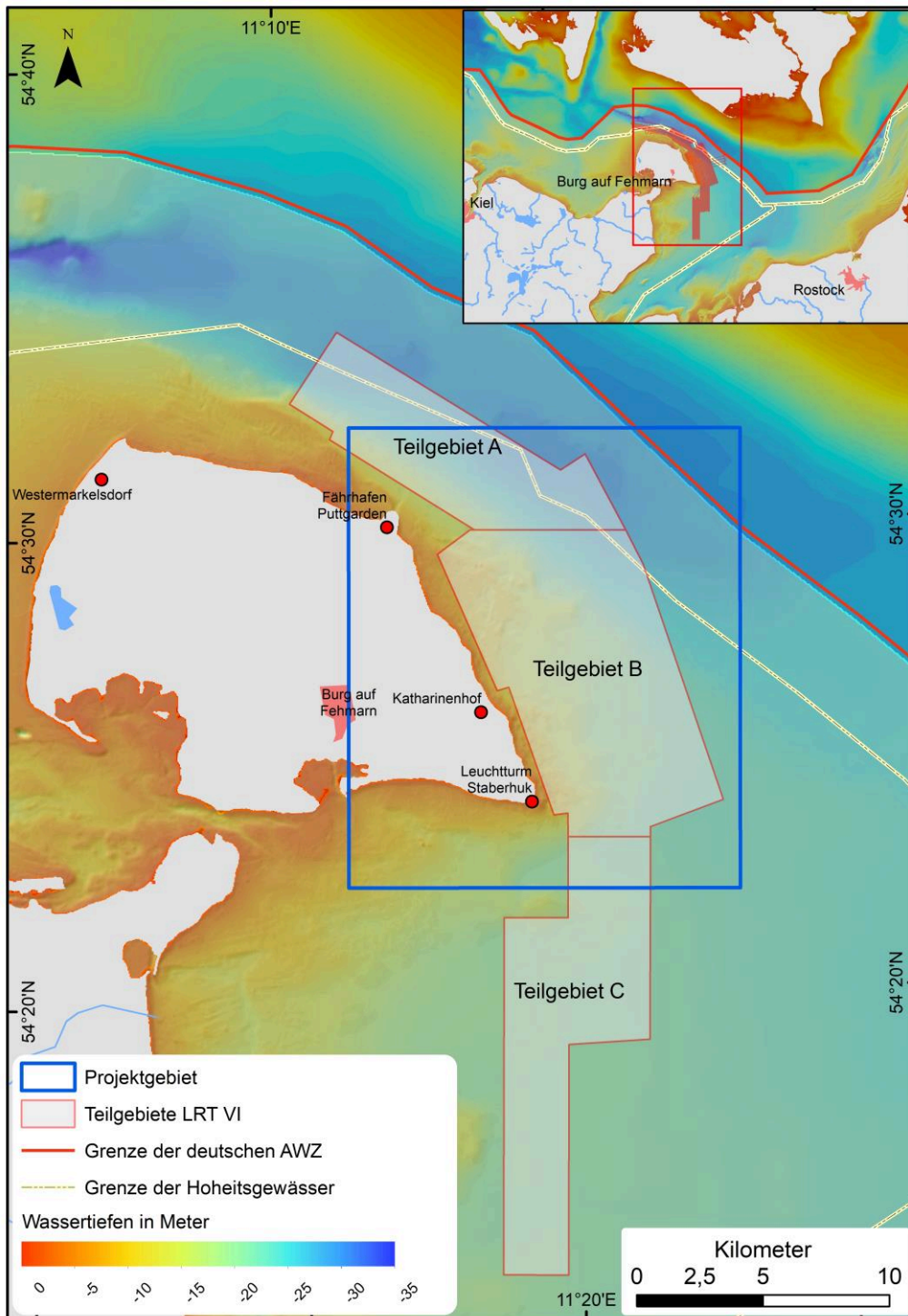


Abbildung 1: Das Untersuchungsgebiet, aufgeteilt in die Teilgebiete A, B und C (Bathymetrie: Datensatz des (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), 2019) für den deutschen Teil. Der dänische Bereich stammt von Seifert et al., (2001)).

Die durchgeführte Meeresbodenkartierung setzt, bedingt durch den Tiefgang des Forschungsschiffes LITTORINA, bei -5 m Normalhöhennull (NHN) an und erstreckt sich seewärts teilweise bis an die Grenze der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) oder sogar darüber hinaus. Da das IfG sowohl im Rahmen einer Forschungsk Kooperation mit dem BSH die AWZ des Fehmarnbelts bearbeitet als auch die Küstengewässer innerhalb der Hoheitsgrenze für das LLUR, wurde teilweise über die Grenze der AWZ hinaus kartiert, um konsistente Datensätze für ein umfassendes und interpretierbares Bild der Naturbedingungen zu erzeugen. Das Untersuchungsgebiet ist in die 3 Teilgebiete A, B und C aufgeteilt. Über die Leistungsbeschreibung hinaus wurde das Arbeitsgebiet aus fachlichen Gründen um die Teilgebiete A (nach Westen) und C (nach Süden) erweitert, da damit direkt an bereits bestehende Untersuchungen (Schwarzer et al., 2014 a, b) und an Forschungsergebnisse (Feldens et al., 2009; Feldens und Schwarzer, 2012; Feldens et al., 2015; Heinrich et al., 2018) angeknüpft werden konnte.

#### **1.4 Regionale Hydrologie und Geologie**

Der Fehmarnbelt zwischen der dänischen Insel Lolland und der deutschen Insel Fehmarn ist an seiner schmalsten Stelle ca. 19 km breit und erreicht nördlich Staberhuk mit bis zu -30 m NHN seine größte Wassertiefe. Dieses Meeresgebiet ist ein nicht nur durch die Schifffahrt viel genutztes Seegebiet, sondern ihm kommt für die gesamte Ökologie der Ostsee eine Schlüsselrolle zu, da ca. 70 % des gesamten Wassermassenaustausches zwischen Nord- und Ostsee durch diese Passage stattfinden (Lemke, 1998). Durch den Süßwasser-Überschuss in der Ostsee durch einmündende Flüsse und den Niederschlag besteht ein permanenter Ausstrom (v. Storch und Ohmstedt, 2008). Zudem kommt es, je nach Wetterlage und dadurch bedingte Wasserstandsunterschiede zwischen Nord- und Ostsee, zu unterschiedlich starken Strömungen, die gleichzeitig in unterschiedlichen Tiefenbereichen stattfinden. Klassisch ist eine West–Ost gerichtete Einstromlage von salzreichem Nordseewasser nah am Boden bei starken Weststürmen und eine Ausstromlage von weniger salzreichem Ostseewasser bei Oststürmen im oberen Stockwerk des Wasserkörpers. Die von West nach Ost gerichteten Einstromlagen führen am Boden zur Ausprägung von Bodenformen in der Gestalt von Riesenrippeln auf der Südwestseite des Fehmarn Belts, die in verschiedenen Publikationen beschrieben sind (Werner et al., 1974; Kaufhold, 1995; Werner, 2000; Feldens et al., 2009). Selbst bei Windstille können, getrieben durch die Wasserstandsunterschiede zwischen Nord- und Ostsee, hohe Strömungsgeschwindigkeiten am Boden des Fehmarnbelts auftreten (Fennel, 1995).

Die Fehmarnbelt-Region ist von Gletscherbewegungen der letzten Eiszeit morphologisch vorgeprägt (Kolp, 1965). Der Fehmarnbelt selbst ist ein in der letzten Eiszeit entstandenes langgestrecktes Gletscherzungenbecken, das zur Kieler Bucht hin durch die Randschwelle des Öjet (zur Lage s. Abb. 1) begrenzt wird. Der schmale Durchbruch zur Kieler Bucht ist das sogenannte Vinds Grav (Kolp, 1965).

Zwischen dem Abschmelzen des Eises der letzten Inlandsvereisung und der heutigen Situation der Ostsee gab es 4 Ostseephasen, die sich alle in dem geologischen Aufbau der Fehmarnbelt-Region beobachten lassen. Diese postglazialen Entwicklungsstadien der Ostsee beeinflussen auch heute noch die rezente Oberflächenmorphologie und deren sedimentologische Ausbildung (Kolp, 1965). Eine Gleichgewichtseinstellung zwischen Oberflächenmorphologie und hydrodynamischem Einfluss ist bis heute nicht erreicht (Heinrich et al., 2018). Trotz der für diesen Ostseebereich großen Tiefen kommt es aufgrund der permanenten Strömungen nicht zur Ablagerung von sehr feinen Sedimenten in Form von Schlick (Werner et al., 1987).

Im zentralen Fehmarnbelt ist die Ausbildung junger, holozäner Sedimente gering. Hier liegt auf glazialen Beckentonen eine lediglich 6-7 cm mächtige Schicht aus schlickigem Feinsand (Werner, 1964). Diese glazialen Beckentone aus dem zentralen Fehmarnbelt mit geringer Auflage junger, holozäner Sedimente erstrecken sich in westliche Richtung bis nahe an den Öjet (Kaufhold, 1985). Kolp (1965) beschreibt anstehenden Geschiebemergel unter einer geringmächtigen Deckschicht aus Restsedimenten im westlichen Fehmarnbelt. Entlang eines den Fehmarnbelt querenden Profils von Puttgarden zur gegenüberliegenden Seite nach Lolland, auf dem Sedimentkerne mit einem Vibrocorer entnommen wurden, bilden siltige Sande bis Sande das oberflächennahe Sediment (Novak und Björk, 2002, 2004). Nordöstlich von Katharinenhof (s. Abb. 1) im Südostteil von Fehmarn beschreiben Heinrich et al. (2018) im zentralen Fehmarnbelt schlickige, bioturbirte Sedimente von lediglich 70 cm Mächtigkeit, die über einer ancycluszeitlichen Gyttja liegen (als ancycluszeitlich wird der Zeitraum von ca. 11.200 – 9.000 Jahren vor heute bezeichnet). Jensen et al. (1999) beschreiben östlich von Staberhuk im zentralen Fehmarnbelt die oberen 50 cm der Meeresbodensedimente als marinen Sand und Silt. Werner (1964) weist geringe holozäne Sedimentation am Ostausgang des Fehmarnbelts in 29 m Wassertiefe nach. Bohrkerndaten aus diesem Gebiet zeigen bereits in 8 cm Kerntiefe eine 4-5 cm mächtige Kalkgyttja (synonym auch Kalkmudde), die auf eine frühholozäne Phase der Ostseeentstehung hinweist, in der sich in diesem Gebiet zunächst ein limnisches Gewässer gebildet hatte. All diese Untersuchungen belegen, dass über sehr alten Ablagerungen aus der wechselvollen Frühphase der Ostsee im Fehmarnbelt nur wenig junge Sedimente zur Ablagerung kamen.

Am Übergang vom Fehmarn Belt zur Mecklenburger Bucht verändert sich diese Situation. Hier beschreiben (Kostecki et al., 2015) eine Schlickmächtigkeit von annähernd 5 Metern, die von sandigem Silt und einer darunterliegenden ca. 16 cm mächtigen Torfschicht ancyclus-zeitlichen Alters (9450±50 Jahre vor heute) unterlagert wird.

## 1.5 Vorkommende Oberflächensedimente

Die granulometrische Zusammensetzung der Oberflächensedimente und deren flächenhafte Verteilung wurde für die Region des Fehmarnbelts bereits mehrfach beschrieben (Bressau, 1957; Kolp, 1965; Seibold et al., 1971; Winterhalter et al., 1981; Kaufhold, 1985; Hermansen und Jensen, 2000; FEHY, 2013a,b; Leipe et al., 2017). Danach ist die Ausbildung der Oberflächensedimente abhängig von der geologischen Entwicklung des Gebietes und der Art und der Zusammensetzung des daraus verfügbaren Materials. Als ein weiterer Faktor für die Korngrößenabhängige Verteilung der Oberflächensedimente wird die Wassertiefe angeführt, mit einem Gradienten hin zu feineren Sedimenten bei zunehmender Wassertiefe (Hermansen und Jensen, 2000; Seibold et al., 1971). Feinsedimente dominieren vorzugsweise in Wassertiefen unterhalb von 20 m NHN (Leipe et al., 1998) wie auch in Rinnen- und Beckenregionen, während Sande in den flacheren Bereichen z.B. an den Flanken von Abrasionsplattformen oder auf diesen selbst, dann meist als Schleier auftreten. Weiterhin zeigen Bobertz and Harff (2004) und Leipe et al. (2017) einen Trend von abnehmender Sandfraktion zu Gunsten der Feinfraktion vom westlichen Fehmarnbelt bis hinein in die Mecklenburger Bucht.

Die von Reimers et al. (2008) modifizierte Karte von Hermansen und Jensen (2000) gibt für die Fehmarnbeltregion einen groben Überblick über die Verteilung und die Zusammensetzung der Oberflächensedimente (Abb. 2). Im Zuge der geplanten Fehmarnbeltquerung wurden weitere sedimentologische Untersuchungen basierend auf validierten Multibeam-Backscatter-Daten durchgeführt (FEHY, 2013). Die aus diesen Arbeiten resultierenden Sedimentverteilungen sind detaillierter, zeigen aber tendenziell den oben bereits beschriebenen Trend, dass Grobsedimente überwiegend in geringeren Wassertiefen auftreten und Feinsedimente in tieferen Bereichen dominieren. In der Fehmarnbeltregion kommen die folgenden Sedimenttypen vor (Kaufhold, 1985; Seibold et al., 1971):

**Restsedimente:** Sie bilden 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 den Flanken von Abrasionsflächen bis zu 20 m Wassertiefe hinabreichen (Schwarzer et al., 2014b). 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 und werden durch diesen Prozess fortwährend angereichert. Eine solche Restsedimentdecke kann in den flachen Küstengebieten bis zu mehreren Dezimeter mächtig werden (Schwarzer et al., 1999). Im Bereich der lichtdurchfluteten Zone (Photische Zone) bilden zurückbleibende Steine häufig ein gutes Substrat für Makrophyten (Seibold et al. 1971).

**Mischsedimente:** Sie bestehen neben Feinsedimenten (Ton und Schluff) auch aus gröberer Komponenten wie Sand- und Kies. Diese heterogene Korngrößenzusammensetzung ist häufig auf variierende Strömungsbedingungen zurückzuführen, wie sie entlang von Rinnen wie dem Fehmarnbelt auftreten (Seibold et al., 1971). Dabei lagert sich Schwebfracht aus Feinsediment bei geringen Strömungsverhältnissen auf und zwischen dem Grobsediment ab und kann durch Bioturbation in den Sedimentkörper eingearbeitet werden (Seibold et al. 1971).

**Mittel- und Feinsande:** Dies sind in der Ostsee häufig anzutreffende Sedimente. Sie wurden im Zuge des Meeresspiegelanstieges der Littorina-Transgression (Beginn ca. 8500 Jahre v. heute) aus dem Küstenrückgang eingetragen und aus dem Untergrund aufgearbeitet. Sie sind gut sortiert und entlang der Ränder von submarinen Erosionsgebieten vorzufinden (Seibold et al., 1971; Niedermeyer-Lange und Werner, 1988; Schwarzer und Krause, 2008). Ihre Mächtigkeit beträgt meist weniger als 2 m (Seibold et al., 1971), kann jedoch in speziellen Gebieten wie am Steinriff vor dem Brodtener Ufer auf mehrere Meter ansteigen (Schwarzer and Krause, 2008).



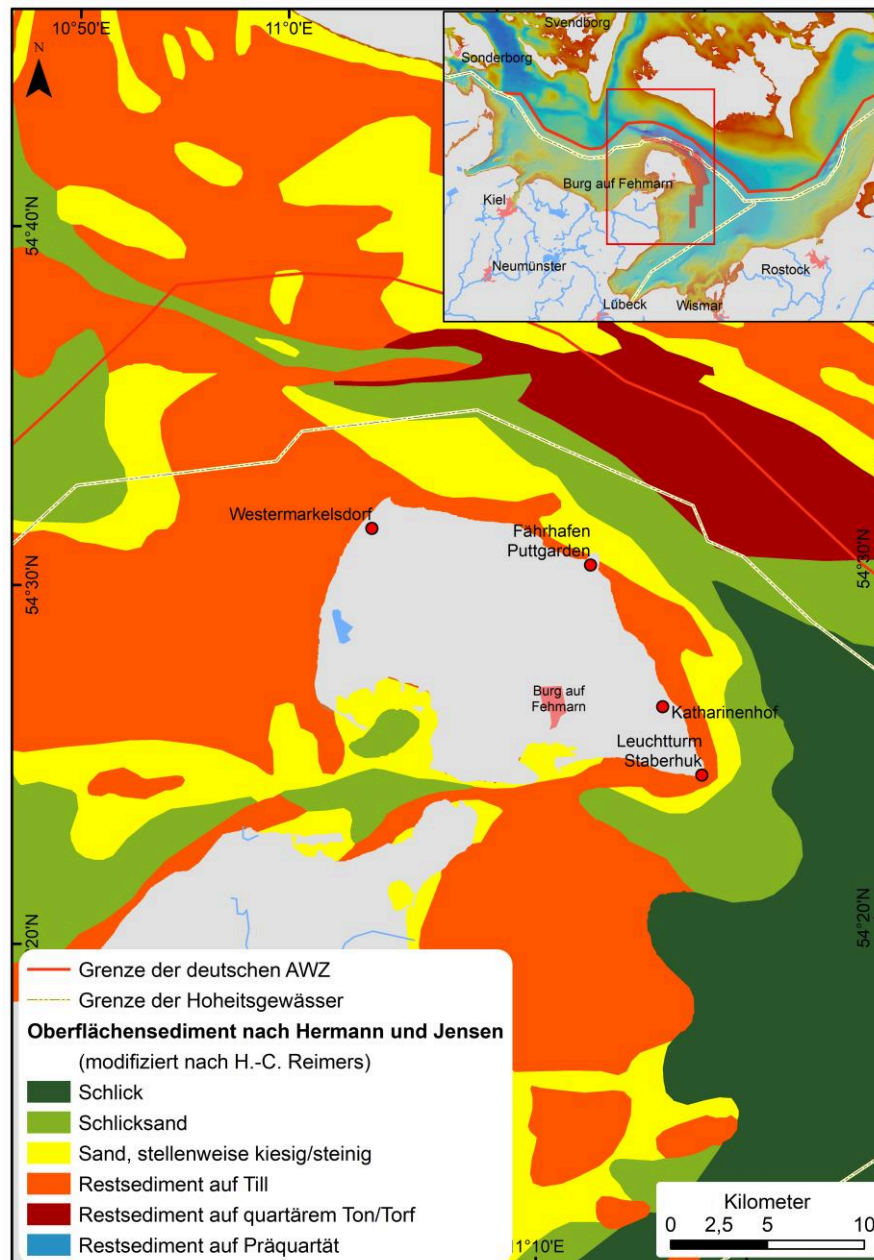


Abbildung 2: Verteilung der Oberflächensedimente um Fehmarn (Kartengrundlage: Hermansen and Jensen (2000), modifiziert nach Reimers (2008).

**Beckensedimente:** Dies sind Ablagerung aus feinkörnigem Material, die unterhalb der Wellenbasis vorkommen. Im Bereich der Ostsee enthalten diese Sedimente, die auch als Schlick bezeichnet werden, bis zu 9% Trockensubstanz an organischem Material (Niedermeyer et al., 2011). Der klastische Anteil besteht vorwiegend aus Schluff und kann tonige und sandige Beimengungen enthalten. Tiefe Rinnenbereiche werden häufig von Übergangstypen wie sandigem Schlick bzw. schlickigen Sand umrandet. Der Begriff „Beckensediment“ wird hier ausschließlich prozessorientiert benutzt und hat keinerlei stratigraphische Bedeutung. In der Kartierung des Küstengebietes um Fehmarn kommen Schlicksedimente je nach Exposition schon ab ca. -16 m Wassertiefe vor (Bressau, 1957).

## 1.6 Erfassung und Kartierung von Lebensraumtypen

Zu Beginn der Kartierungen des Meeresbodens, die primär der Ausweisung der FFH-Lebensraumtypen Sandbank und Riff in den Küstengewässern Schleswig-Holsteins dienen, erfolgte zunächst eine Sichtung des vorhandenen Literatur- und Kartenmaterials, einschließlich der sogenannten „grauen Literatur“ (unveröffentlichte Berichte, Qualifizierungsarbeiten, etc.), um den Kenntnisstand über die Sedimentbeschaffenheit am Meeresboden zu kategorisieren. Der Seegrund wurde daraufhin in drei Kategorien, die jeweils den unterschiedlichen Kenntnisstand zur Ausweisung von Lebensraumtypen widerspiegeln, unterteilt (Tab. 1). Als sog. "Status-1-Lebensräume" werden Gebiete ausgewiesen, zu denen erste grobe Informationen auf Basis allgemeiner geologischer, hydrologischer, geomorphologischer und biologischer Daten vorliegen (z. B. Satellitenbilder, Luftbilder, bathymetrische Karten, Meeresbodenkarten mit geologisch-sedimentologischer Thematik). Diese Basisinformationen lassen Rückschlüsse auf die dort vorherrschenden geo- und hydrologischen Verhältnisse zu. Sie geben somit einen Anhaltspunkt für die Zuordnung der Gebiete zu einem spezifischen FFH-Lebensraumtyp (Schwarzer et al., 2008). Ein Status II Lebensraum ist aus geologisch/sedimentologischer Sicht durch geowissenschaftliche Felduntersuchungen verifiziert. Eine Status III Lebensraum benötigt zusätzlich die biologische Validierung (Schwarzer et al., 2008). Die Tabelle 1 zeigt die zur Ausweisung von Lebensraumtypen notwendigen Komponenten. Der beste, zu erreichende Status III benötigt Kenntnisse über die folgenden Komponenten:

- a) räumliche Dimensionen (geographische Parameter),
- b) Informationen über das Substrat (sedimentologisch/geologische Parameter),
- c) die hydrologischen Randbedingungen (hydrologische Parameter)
- d) Kenntnisse über die in dem Bereich lebende Fauna und Flora (biologische Parameter).

Tabelle 1: Notwendige Kenntnisse für die Einstufung der Bearbeitungsstände von FFH-Lebensraumtypen-Gebieten (Schwarzer und Krause, 2008)

Status	Ausdehnung/ Lokalisierung	Validierung Geologie /Hydrologie	Validierung Biologie
I	X		
II	X	X	
III	X	X	X

Aufgrund zahlreicher Untersuchungen vornehmlich im westlichen Teil des Fehmarnbelts konnte ein kleiner Teil dem Status II zugeordnet werden (Schwarzer et al., 2008). In den küstennahen Gewässern zwischen 0 und 20 m, in denen die FFH-Lebensraumtypen Sandbank und Riff überwiegend vorkommen, sind jedoch aus dem zentralen Bereich des Fehmarnbelts und auch östlich Fehmarns nur wenig Daten zum Ausweisen der Lebensraumtypen verfügbar. Dieser Bereich wurde bisher dem Status I

zugeordnet (Abb. 3). Das in der vorliegenden Untersuchung bearbeitete Gebiet ist eingerahmt von Flächen, die bereits vor dem Hintergrund der gleichen Fragestellung bearbeitet wurden (Schwarzer et al., 2014a ,b, Abb. 4). Somit liegen mit diesem Bericht die geologisch/sedimentologischen Grundlagen vor, um FFH-Lebensraumtypen nahezu rund um Fehmarn ausweisen zu können.

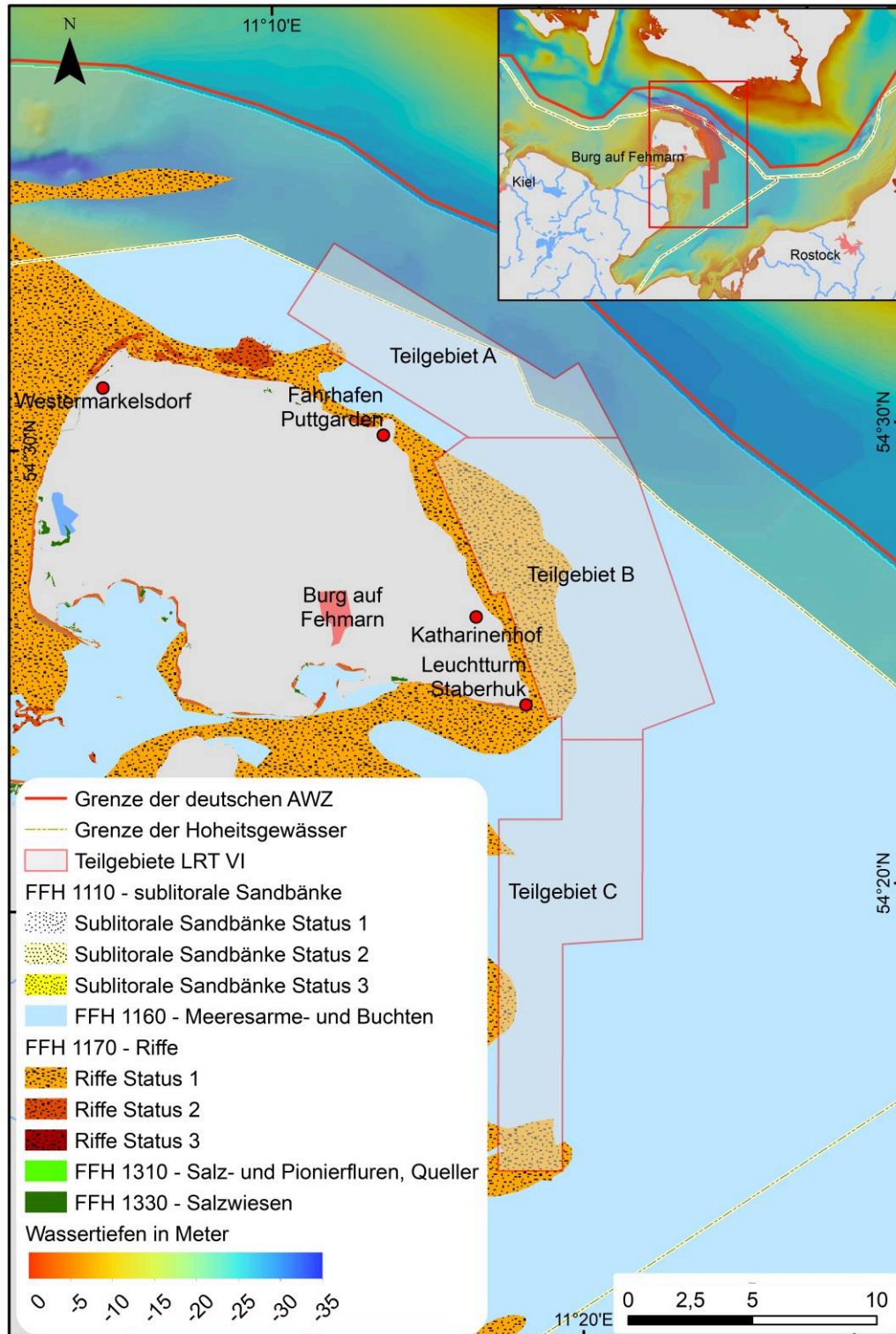


Abbildung 3: Übersicht der Bearbeitungsstände der marinen FFH-Lebensraumtypen um Fehmarn (Schwarzer und Krause, 2008). Die Teilgebiete A – C markieren die diesem Bericht zu Grunde liegenden Arbeitsgebiete.



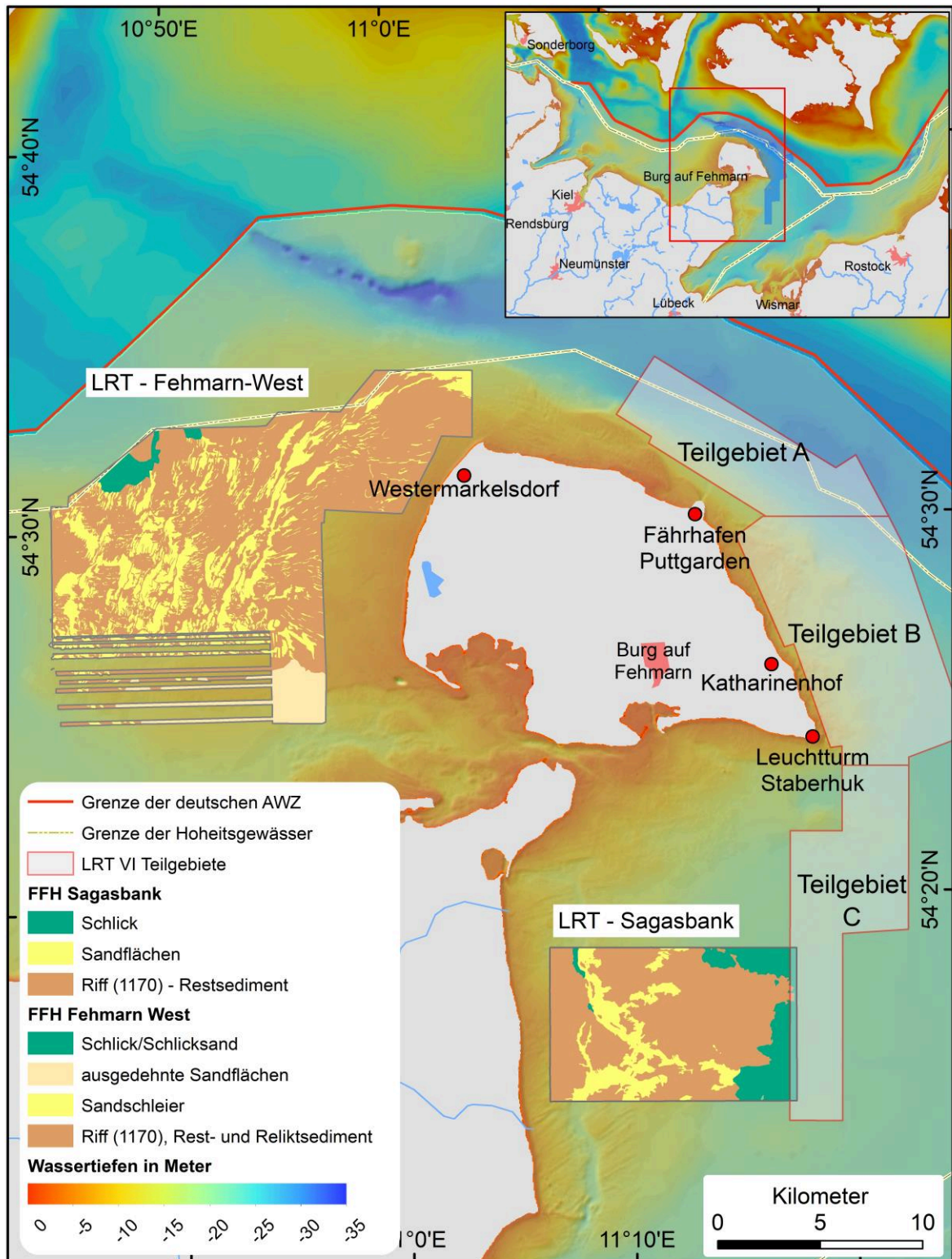


Abbildung 4: Lage des Arbeitsgebietes in Verbindung zu den bereits bearbeiteten FFH-LRT Untersuchungsgebieten; LRT-Fehmarn West und LRT-Sagasbank. Die Legende für beide Gebiete ist aufgrund der unterschiedlichen geologischen und geographischen Voraussetzungen nicht identisch (Bathymetrie: Datensatz des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), 2019).

## 2 Methoden

Flächenhafte Informationen über die sedimentologischen und geomorphologischen Eigenschaften der Meeresbodenoberfläche und den vertikalen Aufbau des Seegrundes werden mit verschiedenen hydroakustischen Messverfahren vom Schiff aus erhoben. Diese Informationen können für die Ausweisung mariner Lebensräume angewandt werden. Die zur Datenerhebung eingesetzten Geräte werden in diesem Bericht wie folgt abgekürzt:

**SSS** (Seitensichtsonar)

**SES** (Parametrisches Sedimentecholot (Fa. Innomar))

**Grab** (Backengreifer)

**Video** (Unterwasservideokamera)

**CTD** (Conduvtivity (elektrische Leitfähigkeit), Temperature and Depth probe; Sonde zur Messung von Salinitäts- und Temperaturprofilen in der Wassersäule)

Die Datenerhebung erfolgte im Rahmen zweier Messfahrten mit den Forschungsschiffen LITTORINA (Universität Kiel / Forschungszentrum GEOMAR) und ALKOR (Forschungszentrum GEOMAR) im Jahr 2018 (Tabelle 2). Während der Messfahrten wurde auf beiden Schiffen im 24 – Std.-Betrieb gearbeitet, um die Schiffszeit maximal auszunutzen.

Tabelle 2: Überblick der durchgeführten Messfahrten für die Datenerhebung.

Datum	Schiff-Fahrtleiter	Eingesetzte Geräte
03.05.2018 – 11.05.2018	FS ALKOR – K. Schwarzer	SSS, SES, CTD, Grab, Video
24.07.2018 – 30.07.2018	FK LITTORINA – D. Unverricht	SSS, SES, CTD, Grab, Video

In den vorliegenden Bericht sind zudem Daten eingeflossen, die aus einer im Jahr 2018 durchgeführten Lehrveranstaltung des IfG mit dem Forschungsschiff ALKOR stammen. Die Nutzung dieser hydroakustischen Daten (Abb. 5) erlaubt eine Verbindung zu den bereits durchgeführten FFH-Lebensraumtypen-Untersuchungsgebieten westlich und südlich von Fehmarn (Abb. 4, Schwarzer et al., 2014a, b). Die Einbindung dieser Daten unterstützt weiterhin das Erkennen und Bewerten sedimentdynamischer Zusammenhänge aber auch Unterschiede zwischen der Kieler Bucht und der Mecklenburger Bucht. Beide Gebiete sind durch den Fehmarnbelt getrennt, dessen Bedeutung für die geologische Entwicklung dieser beiden Seegebiete immer noch nicht geklärt ist (s. dazu Kapitel 1.4). Ob es aktuell zwischen diesen beiden Seegebieten einen Sedimentaustausch gibt, entzieht sich bisher ebenso der wissenschaftlichen Kenntnis.

Das Untersuchungsgebiet ist in drei Teilgebiete untergliedert (Abb. 2). Das Teilgebiet B ist der zentral gelegene Bereich nordöstlich von Fehmarn. Nach Nordwesten schließt sich das Teilgebiete A an, nach Süden das Teilgebiet C. Alle drei Teilgebiete umfassen zusammen eine Fläche von ca. 192 km<sup>2</sup>.

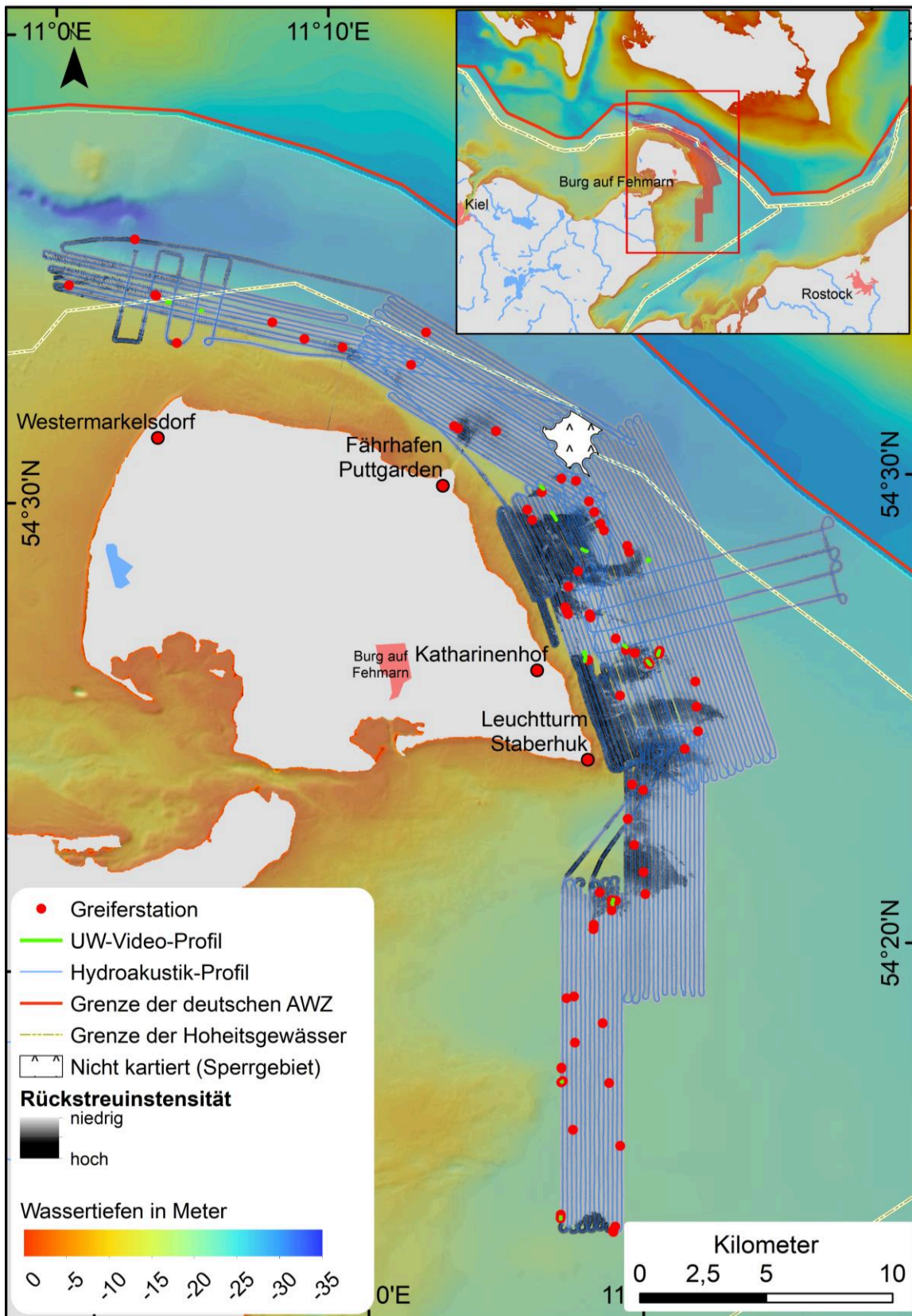


Abbildung 5: Überblick über die im Untersuchungsgebiet erhobenen SSS- und SES-Profile, Beprobungsstationen und Videoprofile. Die Daten im westlichen Bereich stammen aus Lehrveranstaltungen. Unterlegt ist das aktuelle SSS-Mosaik. (Bathymetrie: Datensatz des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), 2019).

## 2.1 Seitensichtsonar (SSS)

Bei dem dem SSS handelt es sich um eine geschleppte Messeinheit, die mit weit gefächerten Schallimpulsen einen schmalen Streifen des Meeresbodens im rechten Winkel zur Fahrtrichtung beschallt (Abb. 6a). Der Einsatz dieser Technik entspricht dem Standard zur Kartierung von Meeresböden (BSH, 2016). Aufgrund des flachen Einfallswinkels wird ein Großteil des Schalls durch den Meeresboden von der Sender-/Empfänger-Einheit wegreflektiert und es gelangen zum Empfänger primär Schallkomponenten, die vom Meeresboden gestreut werden (ICES, 2007; Lurton, 2002). Die Intensität der Rückstreuung ist dabei u. a. abhängig von dem Einfallswinkel des Signals, dem Meeresbodenrelief und der sedimentologischen Beschaffenheit des Meeresbodens (Abb. 6a, b). Die zurückgestreuten, gemessenen Dezibelwerte werden digital in Grauwerte umgewandelt. In der anschließenden Datenbearbeitung werden ihnen je nach Intensität Farbwerte zugeordnet. Weiterhin werden sie mittels Navigationsdaten georeferenziert und nachfolgend zu einem zusammenhängenden Mosaik zusammengefügt. So erhält man großflächige Informationen über die Verteilung der akustischen Rückstreuungseigenschaften der Oberflächensedimente sowie über Strukturen am Meeresboden. Für die in diesem Bericht dargestellten SSS-Aufnahmen wurde eine Graustufen-Skala gewählt. Hohe Rückstreuintensitäten entsprechen dabei dunklen Grautönen, niedrige Rückstreuintensitäten entsprechen hellen Grautönen.

Das SSS wird bei den Vermessungsfahrten mit einer Geschwindigkeit zwischen 4 – 5 kn hinter dem Schiff geschleppt. Um es von Wellen- und Schiffsbewegungen möglichst gut zu entkoppeln und um es mit möglichst konstanter Entfernung hinter dem Schiff zu halten, wird es unter einem Auftriebskörper fixiert, der mit einem Depressor (100 kg-Gewicht) über ein ca. 10 m langes Kabel verbunden ist. Der Depressor ist mit dem Einleiterkabel einer separaten Winde verbunden (s. Abb. 6c).

Die Aufzeichnungsbreite, der sogenannte Range, beträgt zu jeder Seite 100 m. Mit einem Profilabstand von 0,1 sm (185 m) überlappen sich damit die kartierten Streifen im Randbereich. So wird gewährleistet, dass ein geschlossenes Bild von der kartierten Meeresbodenfläche entsteht (s. Abb. 5).

Zur Datenaufnahme diente die Software ISIS der Firma Triton. Notwendige geometrische und radiometrische Korrekturen (Blondel, 2010) wurden mit der Software SonarWiz (Chesapeake Technology, Inc.) durchgeführt. Die Daten wurden mit einer Auflösung von 0,2 m als Rasterdaten in Form eines GeoTiffs prozessiert. Die Interpretation der Aufnahmen erfolgt in einer GIS-Umgebung (ESRI, Arc GIS) durch manuelle Abgrenzung. Auf diese Weise können großflächig die Verteilung unterschiedlicher Rückstreuintensitäten und Texturen am Meeresboden erfasst werden, die dann anschließend durch Greifproben und Videobeobachtungen bestimmten Sedimenttypen bzw. Lebensraumtypen zugeordnet werden können (e.g Collier & Brown, 2005; Goff et al. 2000). Im Rahmen dieser Arbeiten wurde das SSS Benthos SIS 1624 Dual Frequency, das mit den Frequenzen 100 und 400 kHz arbeitet, verwendet.



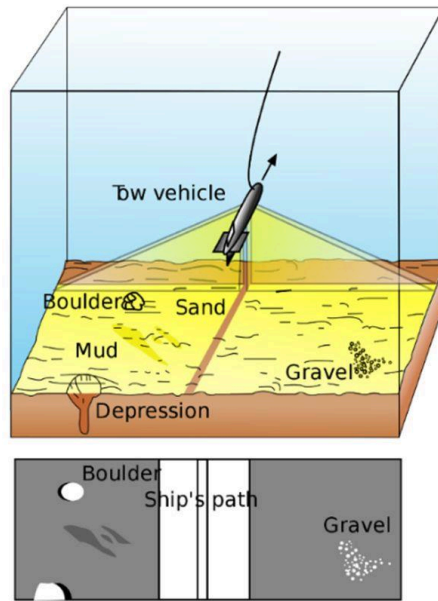


Abb. 6a: Prinzip des geschleppten Seitensichtsonars. Die Schallabstrahlung erfolgt zu beiden Seiten des sich in der Wassersäule befindenden sogenannten „Schleppfisches“.

(Quelle: USGS, <https://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/dataacq.htm> (public domain)).

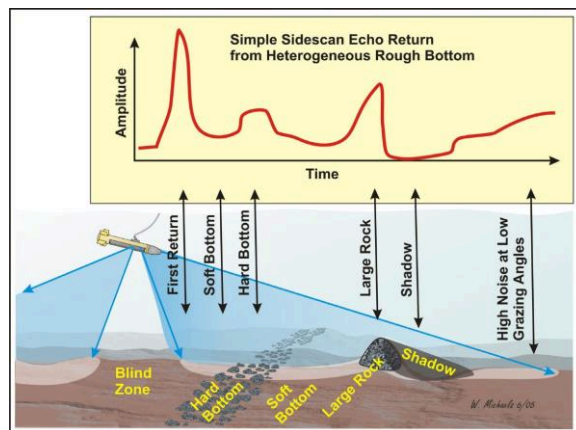


Abbildung 6b: Funktionsweise des Seitensichtsonars. Dargestellt sind verschiedene Strukturen und Sedimentbeschaffenheiten des Meeresbodens und ihre Auswirkungen auf die Amplitude des zurückgestreuten Signals (obere Abbildung) (Anderson et.al. 2007).

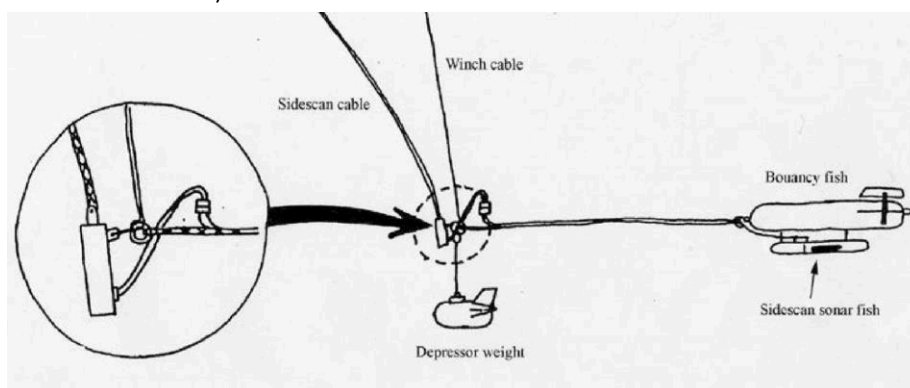


Abbildung 6c: Entkopplung des Seitensicht Sonars von der Schiffsbewegung (Handskizze)



## 2.2 Sedimentecholot (SES)

Um die Verteilung der Oberflächensedimente besser einordnen zu können, sind Kenntnisse über den geologischen Aufbau des oberflächennahen Untergrundes hilfreich. Zu diesem Zwecke wurden je nach Schiff verschiedene parametrische Sedimentecholote (SES) der Firma INNOMAR genutzt. Während auf der ALKOR ein solches Instrument fest installiert ist (SES – Medium), erfolgt der Einsatz des SES-2000-Standard auf der kleineren LITTORINA an einem vorher anzubringenden Ausleger. Das SES basiert auf dem Prinzip des parametrischen Effektes, d. h. es wird mit unterschiedlichen Frequenzbereichen gearbeitet. Die Frequenz von 100 kHz ist fix, Frequenzen zwischen 4 – 15 kHz können je nach Anforderung frei gewählt werden. Die Eindringtiefe kann in Abhängigkeit des geologisch/sedimentologischen Aufbaus des Untergrundes mehrere Meter erreichen, die vertikale Auflösung liegt abhängig von der Frequenz im Bereich von wenigen Zentimetern.

Gegenüber der breit gefächerten Schallausbreitung beim Seitensichtsonar ist das Schallsignal beim Sedimentecholot vertikal nach unten gerichtet. Damit dringt ein möglichst großer Teil der Schallenergie in den Meeresboden ein. An den Grenzschichten/Inhomogenitäten, die durch wechselnde Sedimentfazien, Unterschiede in der Porosität und Wassersättigung, in den Lagerungsdichten und/oder anderen Eigenschaften entstehen, wird ein Teil der Schallenergie reflektiert (Wunderlich und Müller, 2003). Diese Rückstreusignale werden von der im Wasser befindlichen Sende/Empfangseinheit aufgenommen und mittels der INNOMAR-eigenen Software SESWin visualisiert. Die Bearbeitung der seismischen Daten wurde unter Nutzung der INNOMAR-Software ISE durchgeführt. Zur Korrektur der seegangsbedingten Schiffsbewegungen wird ein Motionssensor eingesetzt. Auf der ALKOR sind der Transducer des SES und der Motion Sensors fest im Schiffsboden eingebaut; auf der LITTORINA wird das gesamte System seitwärts neben dem Schiff an einem Ausleger installiert. Insgesamt wurden entlang von 1408 km (ca. 760 Seemeilen) SSS und SES-Daten erhoben.

## 2.3 Unterwasservideoaufnahmen

Zusätzlich zu den hydroakustischen Aufnahmen werden direkte Beobachtungen des Meeresbodens mittels einer Unterwasservideokamera zur Interpretation und Dokumentation der hydroakustischen Daten herangezogen. Die Auswahl der Videoprofile erfolgt auf der Basis einer ersten Auswertung der SSS-Daten als georeferenziertes Mosaik. Die Videokamera wird nahe der Meeresbodenoberfläche durch das driftende Schiff (Schleppgeschwindigkeit < 1 Knoten) über vorher ausgewählte Positionen geschleppt (DIN EN 16260, 2012). Die Videobilder dienen als visuelle Information über die Oberflächensedimente und das Makrobenthos.

Zu diesem Zwecke wurden zwei Unterwasserkameras (Mariskop (Schwarz-Weiß-Kamera) und GoPro Hero 4 (Full HD Farbkamera)) verwendet. Bei dem Driften wurde in regelmäßigen Abständen die Position protokolliert, da das Kamerasystem selbst nicht mit einer Positionsaufnahme versehen war.

Dabei wird angenommen, dass die Schiffposition annähernd der Kameraposition entspricht. Die Positionierung erfolgte über das jeweilige DGPS des Forschungsschiffes. Entlang von 15 Videoprofilen wurden visuelle Daten erhoben (Abb. 5).

## 2.4 Greiferproben (Van-Veen Greifer)

Zur Validierung der Rückstreuintensitäten in dem SSS-Mosaik ist eine stichprobenhafte Beprobung des Meeresbodens notwendig. Auf der Grundlage eines SSS-Mosaiks werden repräsentative Sedimententnahmepunkte ausgewählt und mittels eines Van-Veen-Greifers in Anlehnung an die Kartieranleitung des BSH (2016) beprobt (Abb. 7). Wichtig ist, dass die gesamte Breite der Graustufen in dem Mosaik durch Sedimentproben weitestgehend abgebildet wird. Die Dokumentation der Greiferprobe erfolgt photographisch und beschreibend. Weiterhin wird für die sedimentologische Laboranalyse eine repräsentative Probe mit einem kleinen Stechkasten (Maße: 10 x 5 x 4 cm) entnommen. Bei einem geschichteten Aufbau der Greiferprobe oder hohen Anteilen sehr grober Sedimente (Grobsand, Kies, kleine Steine) werden auch Proben aus tieferen Schichten bzw. ein größeres Probenvolumen entnommen. Für die Validierung der hydroakustischen Daten wurden insgesamt 84 Greiferproben entnommen.



Abbildung 7: Offener (links) und gefüllter Van-Veen-Backengreifer (rechts). Die rechte Abbildung zeigt die Sedimentoberfläche mit Maßstab in cm-Einteilung sowie die Probenkodierung.

## 2.5 Korngrößenanalyse

Das Probenmaterial aus den unterschiedlichen Bereichen des Meeresbodens ist in seinem mineralischen Bestand sehr variabel. Neben Proben, die nahezu vollständig aus sehr feinkörnigen Sedimenten bestehen, gibt es Proben, die ein breites Kornspektrum von Silt bis zu Steinen beinhalten. Dieser hohen Variabilität in der Korngrößenzusammensetzung wird durch unterschiedliche Analysemethoden Rechnung getragen. Um zudem eine Vergleichbarkeit mit früheren Untersuchungen zur Verteilung von Lebensraumtypen zu erhalten, wurden die Sedimentproben für die Korngrößenanalyse im Labor mit den gleichen Verfahren durchgeführt wie bei den vorherigen Untersuchungen. Dazu zählt die mechanische Trockensiebung nach ASTM-Standard (American Society of Technical Measurements) in  $\frac{1}{4}$  PHI-Intervallen (Abb. 8). Vor der Siebung werden Kalkschalen größer als 1,7 mm herausgesammelt und der Feinkornanteil  $< 63\mu\text{m}$  (Grenze zwischen Silt und Sandfraktion) durch Nasssiebung von der Grobfraktion abgetrennt. Der Feinkornanteil wird nicht weiter aufbereitet, sondern verworfen (Abb. 9). Er geht als eine Korngrößenklasse in die weitere Betrachtung ein.

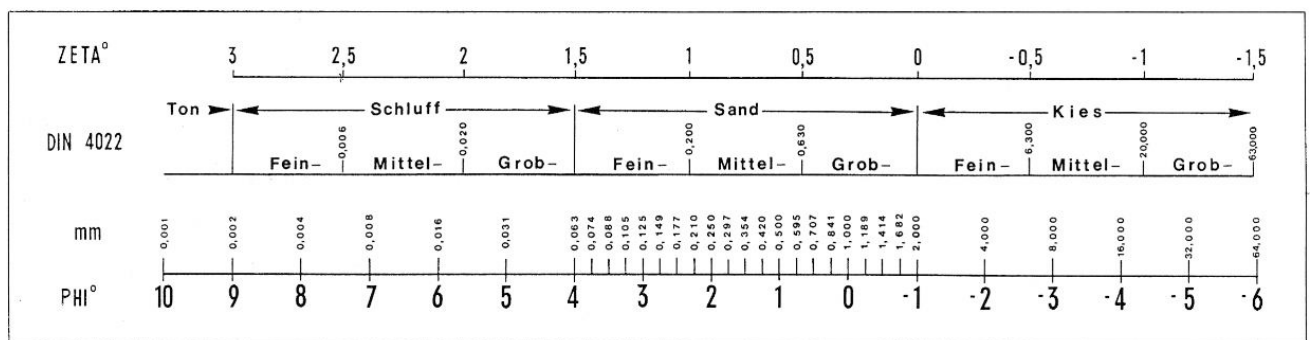


Abb. 8: Gegenüberstellung unterschiedlicher Korngrößenmaße ( $\text{PHI}^\circ = -\log_2 \frac{x [\text{mm}]}{1 [\text{mm}]}$   $x_0 = 1\text{mm}$ )

Aufgrund der heterogenen Zusammensetzung der Sedimentproben mit unterschiedlichsten Korngrößen und in einigen Proben eines überwiegenden Feinkornanteils ( $< 63\mu\text{m}$ : Ton- und Schluff) bis nahe 100 Prozent, die eine Trockensiebung aufgrund methodischer Probleme ausschließt - die feinkörnigen Komponenten liegen nicht mehr in kugelförmiger Form, sondern aufgrund der hohen Anteile von Tonmineralen in plattiger Form vor - wurden derartige Proben mit der Lasergranulometrie analysiert. Dafür wurde der Kalk- und Organikanteil aus der Sedimentprobe mittels Salzsäure (HCL) und Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) aus der Probe herausgelöst, um den rein terrigenen Anteil betrachten zu können. Die Messung wurde mit einem Beckman Coulter Lasersizer LS13320 durchgeführt.



Abbildung 9: Flussdiagramm zur Bearbeitung von Siebproben.

Ein direkter Vergleich zwischen den Ergebnissen der Trockensiebung und der Lasergranulometrie ist infolge der unterschiedlichen Methoden nur eingeschränkt möglich. Im Fall der Trockensiebung erhält man Korngrößen-Korngewichtsverteilungen, bei der Laseranalyse werden Korngrößen-Kornvolumenverteilungen ermittelt. Im Überlappungsbereich der Sandfraktion zeigen die Ergebnisse aus beiden Methoden bezüglich ihrer relativen Häufigkeiten annähernde Kurvenverläufe in den Korngrößenhäufigkeitsverteilungen, die für die Interpretation der Sedimentverteilung ausreichend ist. Die Ergebnisse der Korngrößenanalytik aus beiden Untersuchungsmethoden sind nach Folk (1954, 1974) separat klassifiziert, um eine Aussage über den Sedimenttyp treffen zu können (Abb. 10). Um großflächigere Bereiche und deren Sedimenttypen aus dem SSS-Mosaik zu definieren, wurde die Klassifikation nach Folk (1954, 1974) modifiziert (Abb. 10). Es wurden verschiedene Sedimenttypen zusammengefasst und übergeordneten klastischen Sedimenttypen zugeordnet. Dies wurde in Anlehnung an die BSH-Kartieranleitung (BSH, 2016) für vergleichende Untersuchungen in der AWZ und für die Eingliederung der Sedimenttypen nach Greene et. al. (2007, 2008) umgesetzt. Des Weiteren bekamen die Sedimenttypen

nach Folk (1954, 1974) den Zusatz „mit Steinen“, sofern Steine in dem Bereich eines Sedimenttypus vorkamen.

Dies und weitere Korngrößenrelevante Parameter (Modus, Median, etc.) wurden mit Hilfe des Excel-Makros Gradistat Version 8.0 (Blott and Pye, 2001) auf der Basis der Korngrößenverteilung berechnet (Wentworth, 1922).

Die Klassifikation für Steine und Blöcke wurde nach dem Kolp-Klassifikationsschema durchgeführt, wonach Steine einen Durchmesser von 6,3 - 63 cm haben, der Durchmesser von Blöcken sich über den Bereich von 60 - 630 cm erstreckt (Kolp 1966).

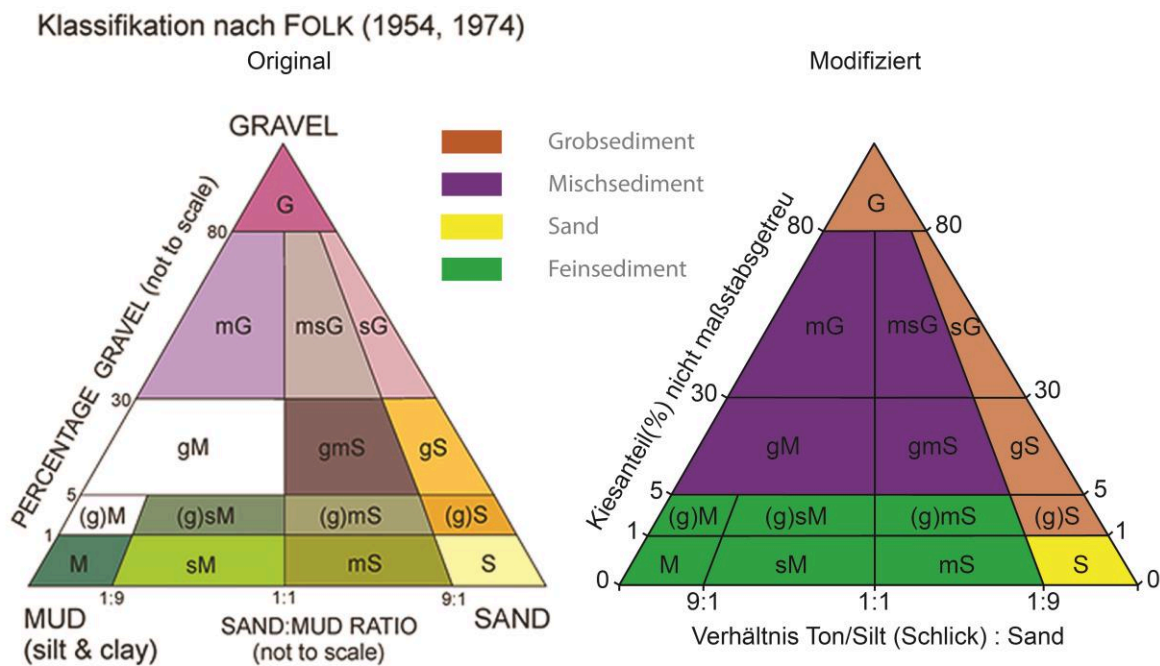


Abbildung 10: Klassifikation der Lockersedimente nach Folk (1954, 1974) und nach Folk (1954, 1974) vereinfacht

## 2.6 Segmentierung und Klassifizierung der SSS Daten nach Sedimenttypen

Aus den SSS-Rohdaten wird mit der Software SonarWiz 7.4 ein SSS-Mosaik erstellt und als georeferenziertes Geotiff exportiert. Die weitere Auswertung des SSS-Mosaiks in der Auflösung von 20 cm erfolgt mit der Software ArcGIS 10.6.1. Somit können Unterschiede in den Rückstreuintensitäten größer 40 cm (bspw. bei der Steinerkennung) unterschieden werden. Die Digitalisierung und Abgrenzung ähnlicher Rückstreuintensitäten wird im Rahmen dieser Kartierung im Maßstab 1:756, der der Rasterauflösung am Bildschirm entspricht, vorgenommen. Eine Abgrenzung in den Rückstreuintensitäten kann in vielen Bereichen aufgrund von scharfen Übergängen in den Grauwerten erfolgen (Abb. 11, Bild 6). Weiterhin wird eine Abgrenzung auf der Basis verschiedener Grauwerte und der Einbindung textueller Merkmale wie streifig, fleckig, gepunktet oder dem Vorkommen anderweitiger Strukturen durchgeführt, wenn anstatt scharfer Grenzen graduelle Übergänge vorliegen (Abb. 11).



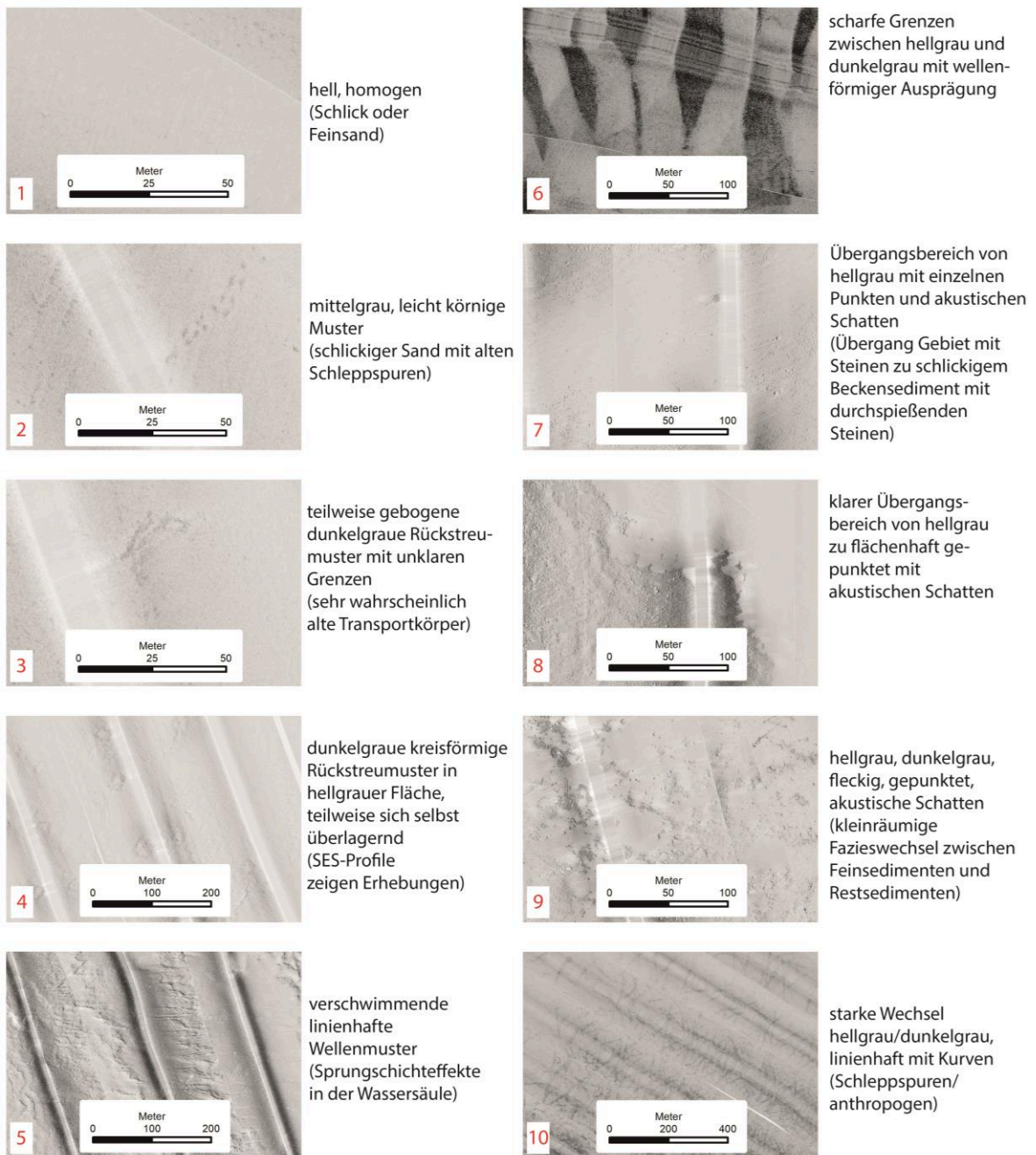


Abbildung 11: Beispiele für unterschiedliche Rückstreuintensitäten und Rückstreumuster in den Seitensichtsonar-Mosaiken (Grauwerte-Skala: hell = schwaches Rückstreusignal, dunkel = erhöhtes Rückstreusignal). Diese Unterschiede sind eine wesentliche Grundlage zur Segmentierung eines SSS-Mosaiks zur Erstellung thematischer Karten. Die semidiagonalen, gleichmäßigen Streifen bilden den sogenannten Nadirbereich unterhalb des Seitensichtsonars ab, aus dem keine akustische Information vorhanden ist.

## 2.7 Lebensraumklassifizierung

Die Abgrenzung von Flächen, die den Kriterien für FFH-Lebensraumtypen genügen, findet nach den in Kapitel 1.2.1 genannten Definitionen statt. Dabei werden geomorphologische Gegebenheiten, der geologische Aufbau des oberflächennahen Untergrundes, die Sedimentbeschaffenheit und visuelle Informationen über biogene Kriterien eingebunden. Besonderes Augenmerk erfahren Stein- und Blockvorkommen. Von etwa 1800-1976 wurden Steine und Blöcke aus den Flachwasserbereichen der südwestlichen Ostsee kommerziell entnommen (Bock et al. 2003). Diese "Steinfischerei" hat die sedimentologische Struktur und die ökologischen Bedingungen der Küstengewässer verändert, da Steine und Blöcke einen wichtigen Lebensraum für das Macrobenthos bilden (Karez and Schories 2005). Allein in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern gingen ca. 5.6 km<sup>2</sup> Besiedlungsfläche dieses ökologisch wertvollen Habitates durch die Steinfischerei verloren (Bock et al., 2003). Die Steine und Blöcke werden hinsichtlich ihrer qualitativ makroskopisch erkennbaren Art der Besiedlung beschrieben und auch die Größe der Meeresbodenflächen, die von Steinen und Blöcken bedeckt sind, wird ausgewiesen. In der vorgenommenen Klassifizierung werden die Gegebenheiten für die Lebensraumtypen Sandbank (FFH-Code 1110) und Riff (FFH-Code 1170) herausgestellt. Für den Lebensraumtyp Meeresarme und Buchten (Natura 2000-Code: 1160) gab es in diesem Untersuchungsraum keinen Untersuchungsbedarf.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Hangneigung

Hangneigungen sind ein wichtiges morphologisches Element für die Interpretation von Sedimentationsräumen und auch bei der Klassifizierung von Lebensraumtypen, speziell der Bänke. Steile Flanken weisen häufig auf Erosion hin, tiefer liegende ebene Flächen bilden häufig Ablagerungsräume. Die Hangneigungen lassen sich aus den morphologischen Daten, im vorliegenden Fall dem digitalen Geländemodell (DTM) des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), das mit einer Auflösung von 50 x 50 m vorliegt, berechnen. Im Fehmarnbelt unterscheiden sich die Hangneigungen in den einzelnen Teilgebieten. Im westlichen Bereich (Teilgebiet A) kommen in größeren Wassertiefen geringe Hangneigungen < 0,5° vor. Mit abnehmender Wassertiefe erhöht sich die Hangneigung bis auf 1,8° entlang ausgeprägter Kanten (Abb. 12). Im Teilgebiet B nordöstlich der Insel Fehmarn ist dieser Trend höherer Neigungsgradienten im küstennäheren Bereich ähnlich ausgeprägt, wobei aber die Verteilung der Hangneigung insgesamt heterogener ist. So liegt im zentralen Bereich des Gebietes B eine ebene Fläche, die einen Buchtcharakter zeigt. Der südliche Bereich (Teilgebiet C), der zum überwiegenden Teil der Mecklenburger Bucht zuzurechnen ist, weist nur geringe Hangneigungen bis maximal 0,5° auf. Dieser Bereich ist größtenteils eben.

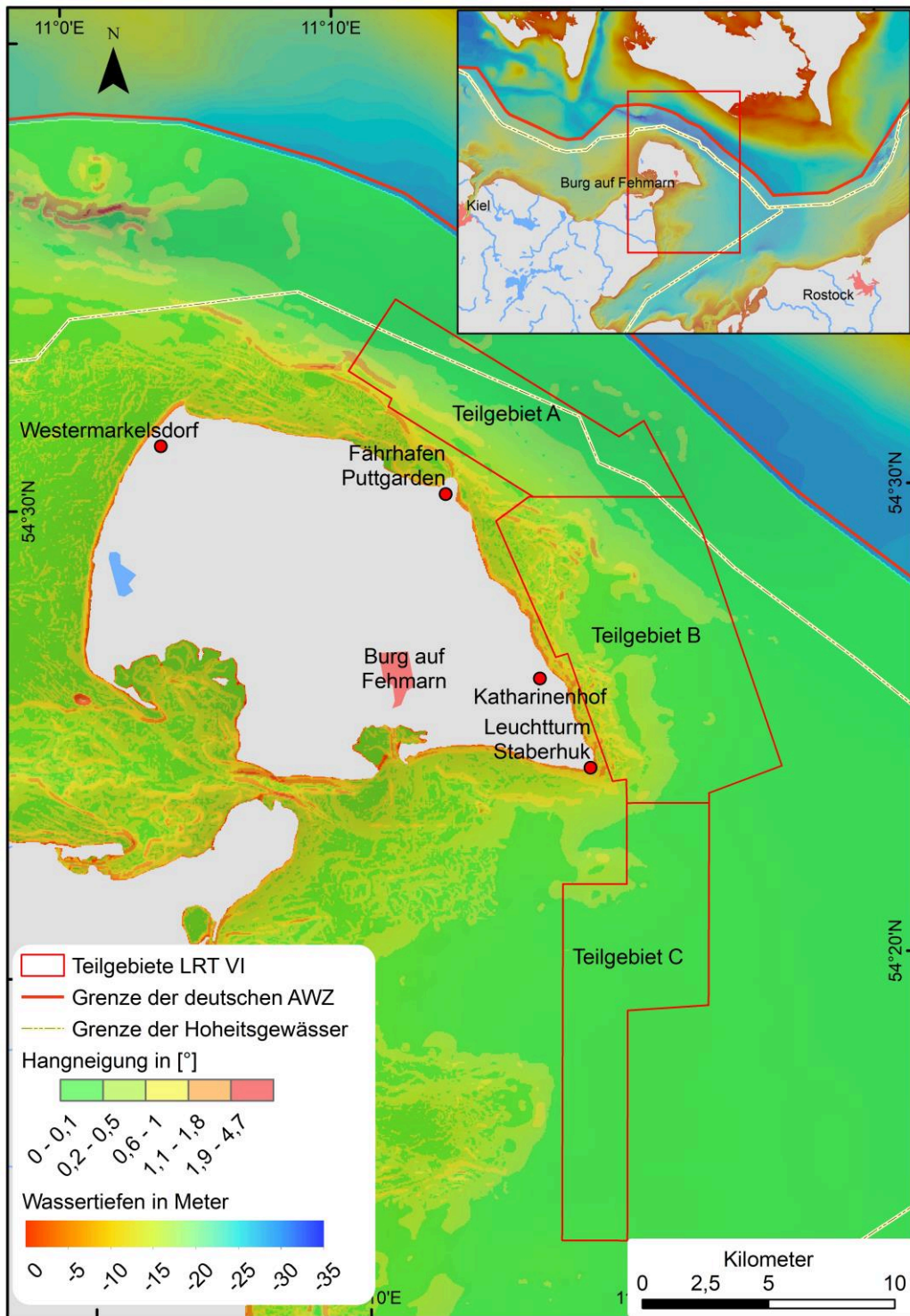


Abbildung 12: Hangneigungen im gesamten Untersuchungsgebiet (Berechnet aus dem DTM des BSH, 50x50m).

### 3.2 Fehmarn Ost - nordwestlicher Bereich (Teilgebiet A)

#### 3.2.1 Teilgebiet A: Morphologie des Seegrunds

Die Morphologie eines Seegebietes ist das Ergebnis aus geologischer Vorprägung und hydrodynamischer Einwirkung. Das Teilgebiet A befindet sich am westlichen Ausgang des Fehmarnbells, nordbis nordöstlich des Fährhafens Puttgarden (Abb. 13). Es umfasst Wassertiefen von 5 bis 30 Meter. Von



der 10 m Tiefenlinie fällt der Seegrund bis zur 25 m Tiefenlinie relativ gleichmäßig in Richtung der zentralen Rinne des Fehmarnbelts ab. Die Tiefenlinien verlaufen dabei mehr oder weniger küstenparallel.

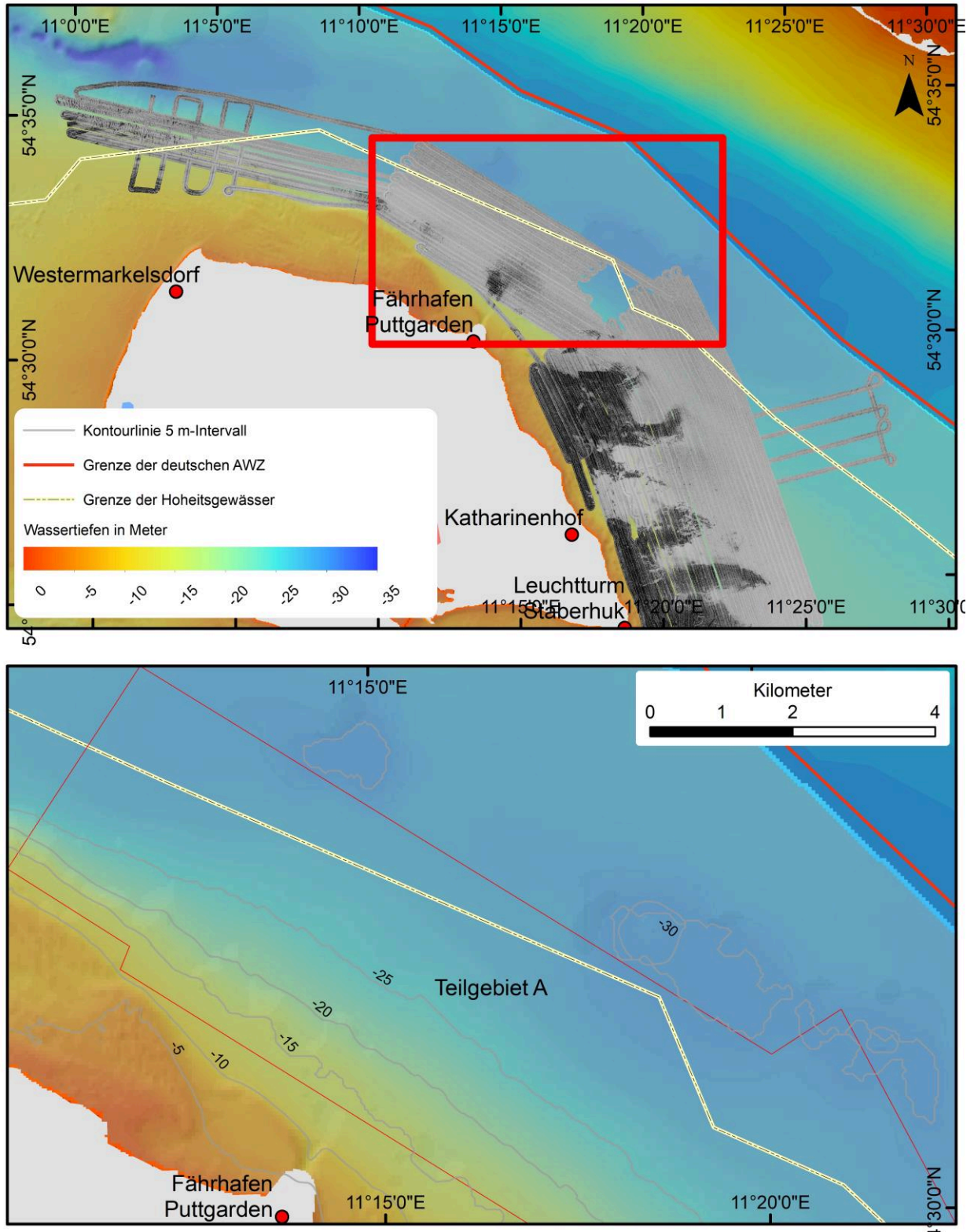


Abbildung 13: Bathymetrie des Teilgebietes A. Die obere Abbildung mit integriertem Seitensichtsonar-Mosaik zeigt die Lage des im unteren Bild dargestellten Ausschnitts.

### 3.2.2 Teilgebiet A: Seitensichtsonar Kartierung, Sedimentproben und Videoauswertung

Die Abbildung 14 zeigt das SSS-Mosaik mit den Probenstationen. Ein nordöstlich des Fährhafens Puttgarden liegendes Sperrgebiet konnte nicht befahren werden. Aus diesem Bereich liegen keine Informationen vor. Das SSS-Mosaik zeigt in weiten Bereichen einheitliche Grautöne. Auffällig sind jedoch ein Bereich mit hoher Rückstreuung direkt nordnordöstlich des Fährhafens Puttgarden sowie kleinere Bereiche ebenfalls mit einer hohen Rückstreuung im westlichen und im südöstlichen Bereich des Mosaiks. Bei der Beprobung und der Videobeobachtung lag ein wesentlicher Fokus auf den Bereichen mit hoher Rückstreuung und den unmittelbaren Übergängen zu geringerer Rückstreuung, um möglichst eindeutige Grenzen zwischen den unterschiedlichen Bereichen ziehen zu können.

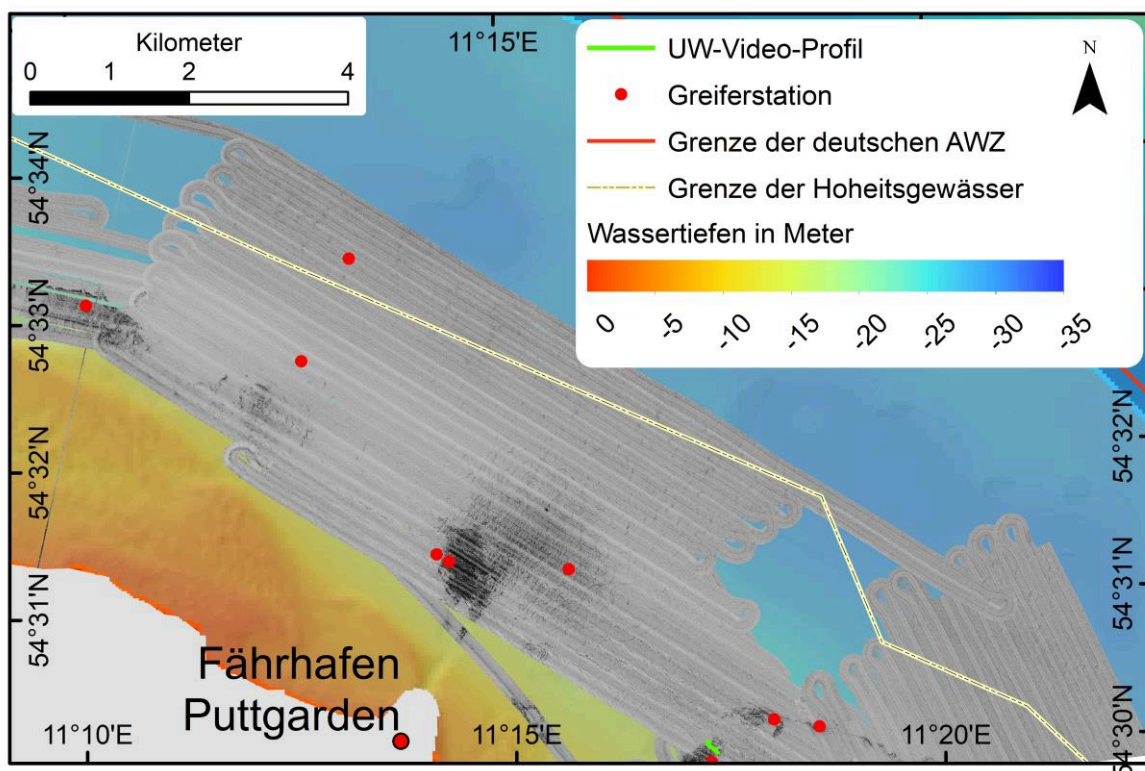


Abb. 14: Seitensichtsonar-Mosaik des Teilgebietes A mit den ausgewählten Beprobungsstationen.

Auf der Basis der Greiferproben (Abb. 15) und der Videoprofile (Abb. 16) zeigt sich, dass das Teilgebiet A von sandigen Sedimenten mit Schlickanteilen bis zu 45 Gew% dominiert wird (Greiferprobe 61, 66 in Abb. 15). Im SSS-Mosaik sind dies Bereiche mit geringer Rückstreuung, die durch hellgraue Farbtöne repräsentiert werden (Abb. 14). In den Gebieten mit hoher Rückstreuung in dem SSS-Mosaik (dunkelgraue bis schwarze Farbtöne) treten kiesige Anteile auf, die hier dominieren können (Abb. 15, Greiferprobe 62, 69). Steine (Greiferprobe 65) kommen primär in den Bereichen erhöhter Rückstreuung (dunkelgraue bis schwarze Farbtöne) des SSS-Mosaiks vor. In den Randbereichen der Gebiete mit erhöhter Rückstreuung treten ebenfalls vereinzelte Steine auf, die mehrere 10er Meter, sogar bis zu mehreren hundert Metern auseinanderliegen können (Abb.16).

Die Auswertung eines UW-Videoprofils, das östlich von Puttgarden aufgenommen wurde (Abb. 16, Video\_8\_20180729), zeigt beginnend von dem Bereich niedriger Rückstreuung hin zu Bereichen hoher Rückstreuung in dem SSS-Mosaik, dass es sich um einen stetigen Übergang von schlickigem Sand mit zunehmenden Anteilen von kiesigen Nebengemengteilen bis hin zu Steinen und Geröllen handelt. Weiterhin ist in den Aufnahmen zu erkennen, dass mit Zunahme der Grobsedimente bis hin zu Steinen und Blöcken auch der Bewuchs auf den Steinen zunimmt.

Die Sedimentverteilungskarte (Abb. 17) zeigt ein deutlich zweigeteiltes Gebiet. Dieses beruht aber lediglich auf einem geringfügigen Unterschied im Feinsandanteil, der im westlichen Bereich des Fehmarnbelts nach der Folkklassifikation als „schlickiger Sand“ eingestuft wird; im östlichen Bereich liegt ein „sandiger Schlick“. Auffallend sind Bereiche, in denen in diesem Sediment auch Steine vorkommen. Ein solches Gebiet liegt nordnordöstlich des Fährhafens Puttgarden, ein weiteres weiter westlich, wo auch noch Kiese beigemischt sind. Weiter östlich gibt es kleinere Bereiche mit diesem Sediment. Auch hier ist Kies am Aufbau der Oberflächensedimente beteiligt. Die Abbildungen 18 und 19 zeigen, dass das Vorkommen von Steinen an aus dem Untergrund aufragende Strukturen gekoppelt ist. Da dieses aufragende Sediment Steine enthält, ist von glazigenem Geschiebemergel auszugehen. Eine stratigraphische Einstufung erfolgte nicht.

Nordöstlich des Fährhafens Puttgarden befindet sich ein Sperrgebiet, das bei den Ausfahrten nicht zugänglich war. Daten aus diesem Gebiet liegen nicht vor.



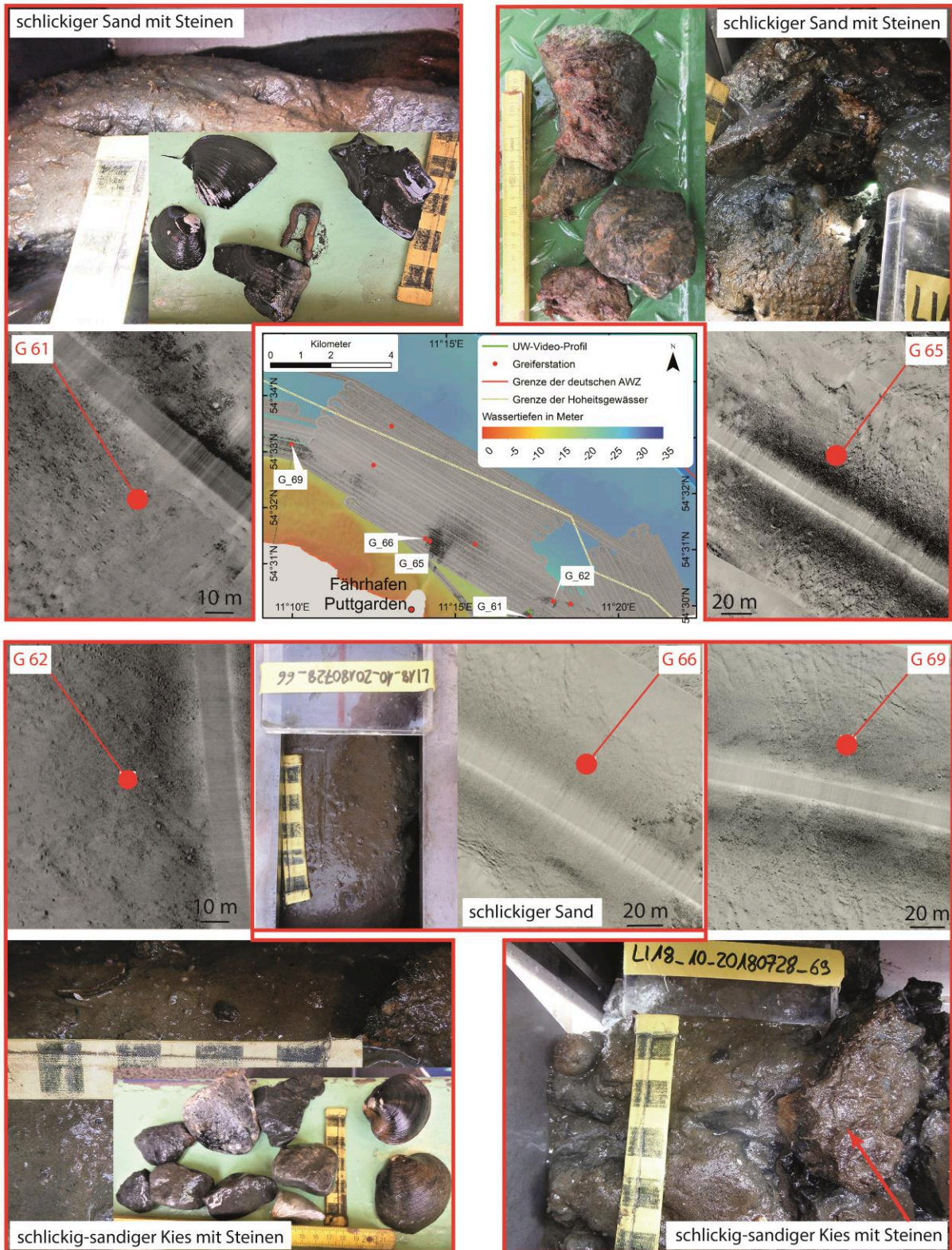


Abbildung 15: Überblick über die Greiferstationen und das Sediment in den Greifern aus Teilgebiet A. Kartengrundlage ist das SSS-Mosaik (Bildmitte). Für die Greiferproben 61, 62, 65 und 69 ist der Inhalt der Greifer dargestellt und die Korngrößenklassifikation nach Folk (1954) mit dem Hinweis auf vorkommende Steine angegeben.



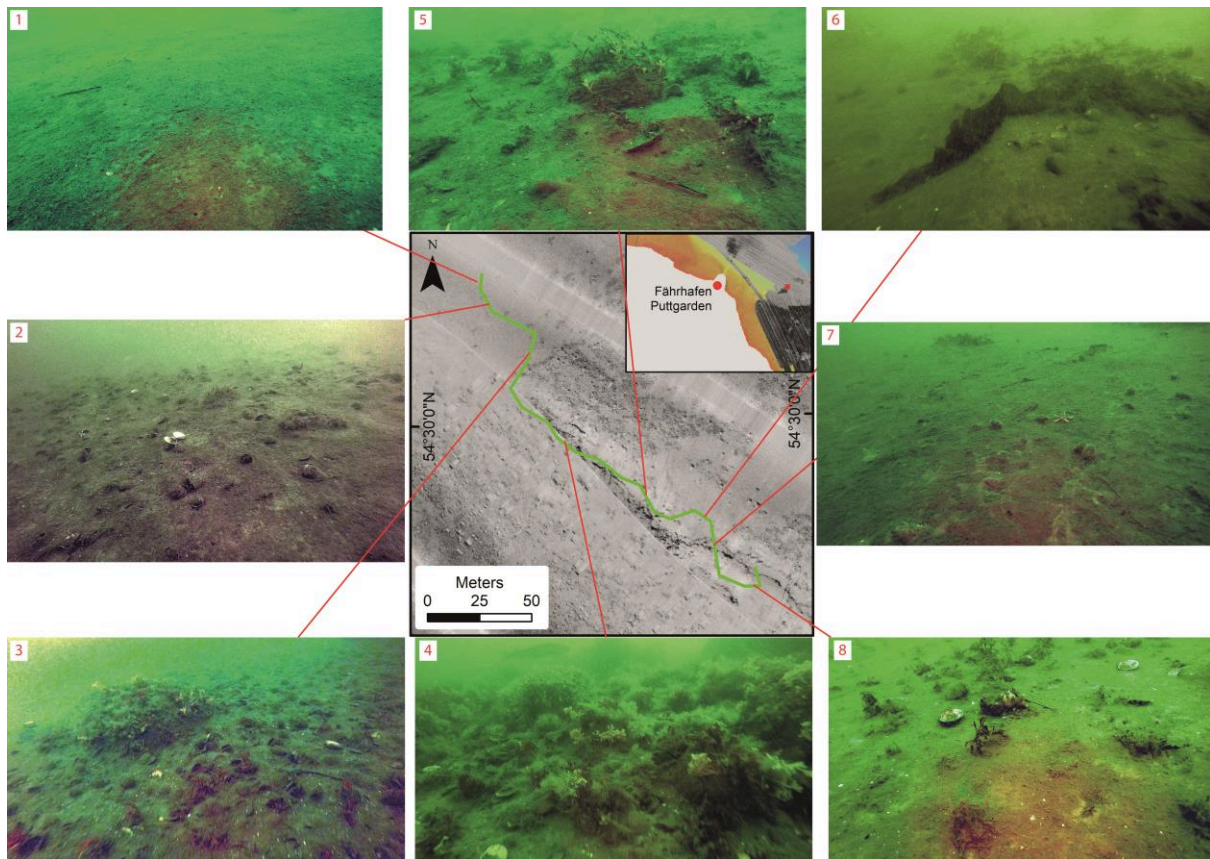


Abbildung 16: Videoprofil (Video\_8\_20180729) aus ca. 17 m Wassertiefe östl. des Fährhafens Puttgarden. Es zeigt den Übergang einer Fläche mit homogenen niedrigen Rückstreuintensitäten zu einer Fläche erhöhter und heterogen verteilter Rückstreuintensitäten inklusive der Schallschatten von Steinen. Das Profil zeigt den Zuwachs von Bewuchs mit steigendem Kies und Steinanteil. Die Zahlen im Seitensichtsonar-Mosaik sind Zeitmarken (Minuten) ab Sichtung des Meeresbodens.

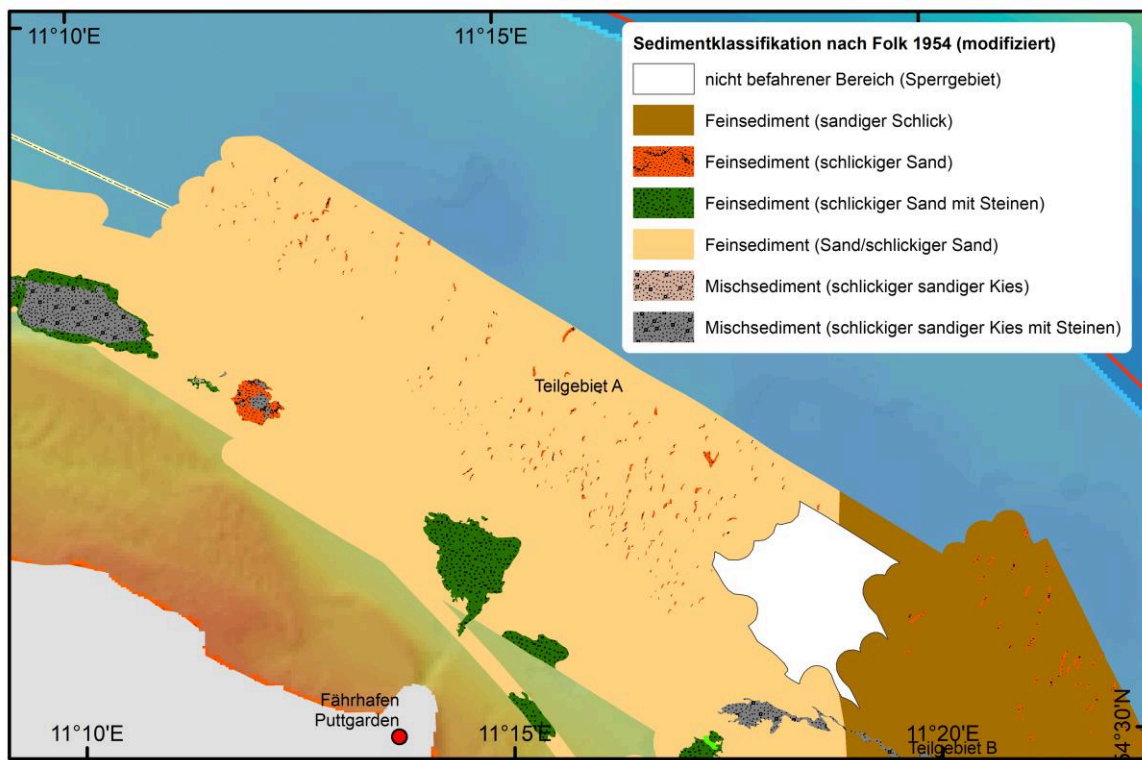


Abbildung 17: Die Sedimentverteilung im Teilgebiet A klassifiziert nach Folk (1954), modifiziert (siehe Abb. 10)



### 3.2.3 Aufbau des Untergrundes im Teilgebiet A

Die Abbildungen 18 und 19 zeigen einen direkten Bezug zwischen den Sedimenten an der Meeresbodenoberfläche und dem geologischen/sedimentologischen Aufbau des Untergrundes. In der Fläche, die eine hohe Rückstreuungintensität (dunkelgrau) aufweist, kommen Schallschatten von großen Steinen/ Blöcken vor (vgl. Prinzipskizze Abb. 6a, b), die eine für Abrasionsbereiche typische Restsedimentfläche anzeigen. Diese Flächen werden von Grobsand, Kies und Steinen (< 50cm) dominiert. Ist die Bedeckung mit Lockersediment über dem anstehenden Geschiebemergel nur sehr dünn (wenige cm), so kann auch, je nach Exposition und Wassertiefe, Feinsand mit Siltanteilen auf diesen Flächen vorkommen. Sie bilden dann sogenannte Sandschleier aus. Derartige Sedimentoberflächen sind für viele Bereiche der Ostsee typisch (Niedermeyer et al., 2011; Schwarzer und Feldens, 2010; Schwarzer et al., 2014a, b; Schwarzer und Heinrich, 2016, 2018).

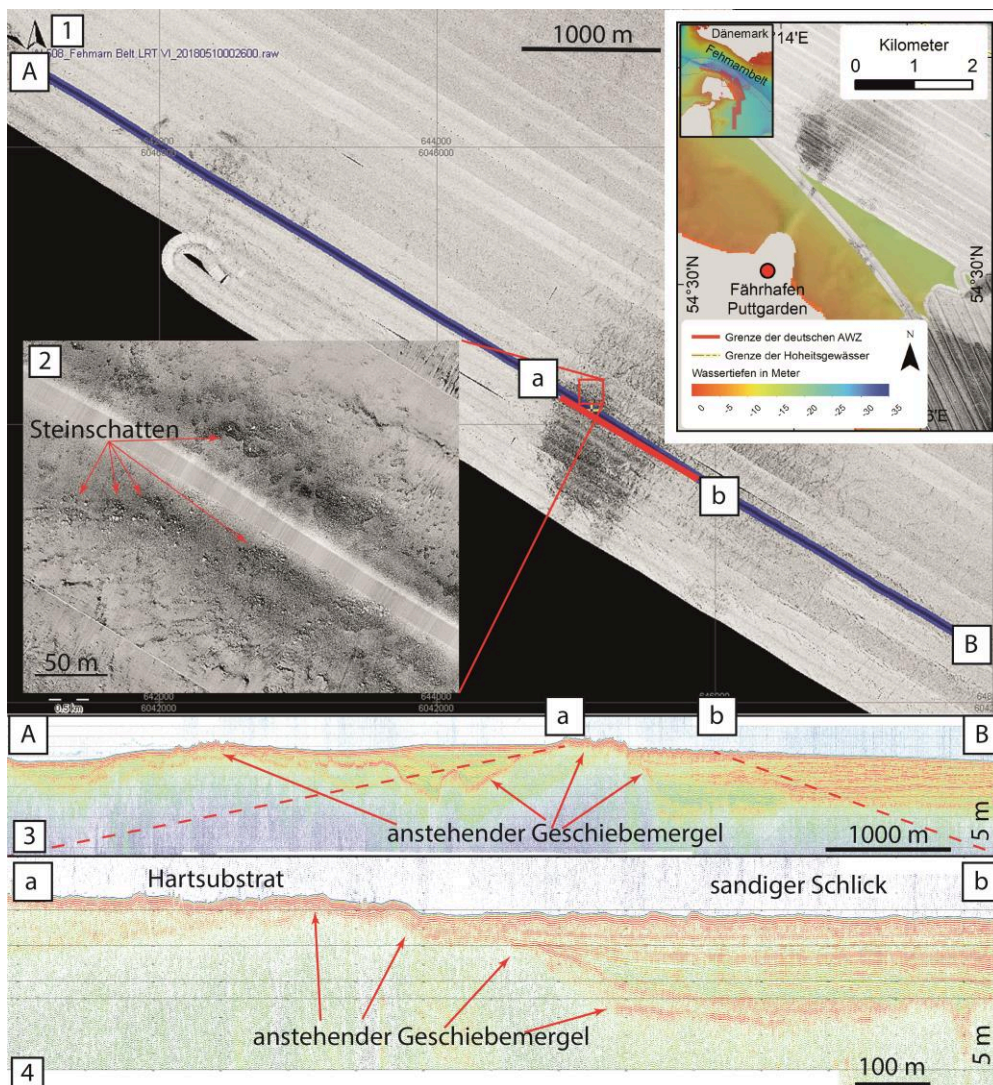


Abbildung 18: Zusammenführung von Informationen über die Meeresbodenoberfläche aus dem Seitensichtsonar-Mosaik (Ausschnitt 1 u.2), mit dem vertikalen Aufbau des Meeresbodens aus Aufnahmen mit dem Sedimentecholot (Ausschnitt 3 u. 4). Dargestellt ist der Bereich vor dem Fährhafen Puttgarden. Das Sedimentecholot-Profil zeigt einen aus dem Untergrund aufragenden Sedimentkörper (hier Geschiebemergel), der eine morphologisch unruhige Meeresbodenoberfläche ausbildet (weitere Erläuterungen s. Text).

In Gebieten mit hoher Rückstreuung in den SSS-Aufnahmen und deutlich erkennbarer Stein-Textur, zeigen die SES-Profile im Teilgebiet A einen sehr deutlichen Reflektor, der aus dem Untergrund aufsteigt und an der Meeresbodenoberfläche ausstreicht (Abb. 18, Ausschnitt 3). Dieser Reflektor zeigt an der Sedimentoberfläche hyperbelförmige Signaturen, die als Indiz für das Vorkommen von Steinen angesehen werden. In dem dazugehörigen SSS-Mosaik (Abb.18) vorkommende Schallschatten hinter Objekten bestätigen das Vorkommen von Steinen in diesem Raum. Der in diesem Bereich unterhalb des Meeresbodens liegende Schichtkomplex zeigt nur eine geringe akustische Transparenz; ein typischer Indikator für einen hier anstehenden Geschiebemergel. Er bildet das Ausgangsmaterial für das Oberflächensediment. Aufgrund der Strömungsverhältnisse im Fehmarnbelt (s. Kap. 1.4) kann jedoch ein Sedi-menteintrag aus umliegenden Gebieten nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

In den Gebieten hoher Rückstreumuster in den SSS-Mosaiken zeigen sich in den SES-Profilen, wenn sie durch deren Randbereichen verlaufen, meist sählig verlaufende Schichteinheiten (Abb. 19, Bildausschnitt 2). Sie können Mächtigkeiten von mehreren Metern erreichen. Diese Schichteinheiten, die in den SSS-Aufnahmen durch niedrige Rückstreuintensitäten repräsentiert sind, können in den SES-Profilen bis in die zentralen Bereiche des Fehmarnbelts verfolgt werden. An der Oberfläche bilden sie schlickige Sande aus. Ein Sedimentkern, der 4 km nördlich des Fährhafens Puttgardens entnommen wurde, zeigt von 0 bis 100 cm Kerntiefe Feinsand mit tonig-siltigen Anteilen.

In der Abbildung 19 ist zudem auffällig, dass die Bereiche, in denen Steine vorkommen, morphologisch etwas tiefer liegen (Abb. 19, Bildausschnitt 3). Dies ist vergleichbar mit sogenannten „Sorted Bedforms“, die von vielen Schelfbereichen bekannt sind. Häufig führt aufragendes, grobes Material zu einer erhöhten Rauigkeit an der Sedimentoberfläche und damit auch zu höheren Turbulenzen, wodurch feines Material nicht sedimentieren kann (Murray and Thieler, 2004). Derartige, an den eiszeitlichen Untergrund gekoppelte Strukturen sind für den Ostseebereich auch aus dem Küstenvorfeld vor der Insel Usedom bekannt (Schwarzer et al., 1996). Diese Strukturen sind lagestabil.



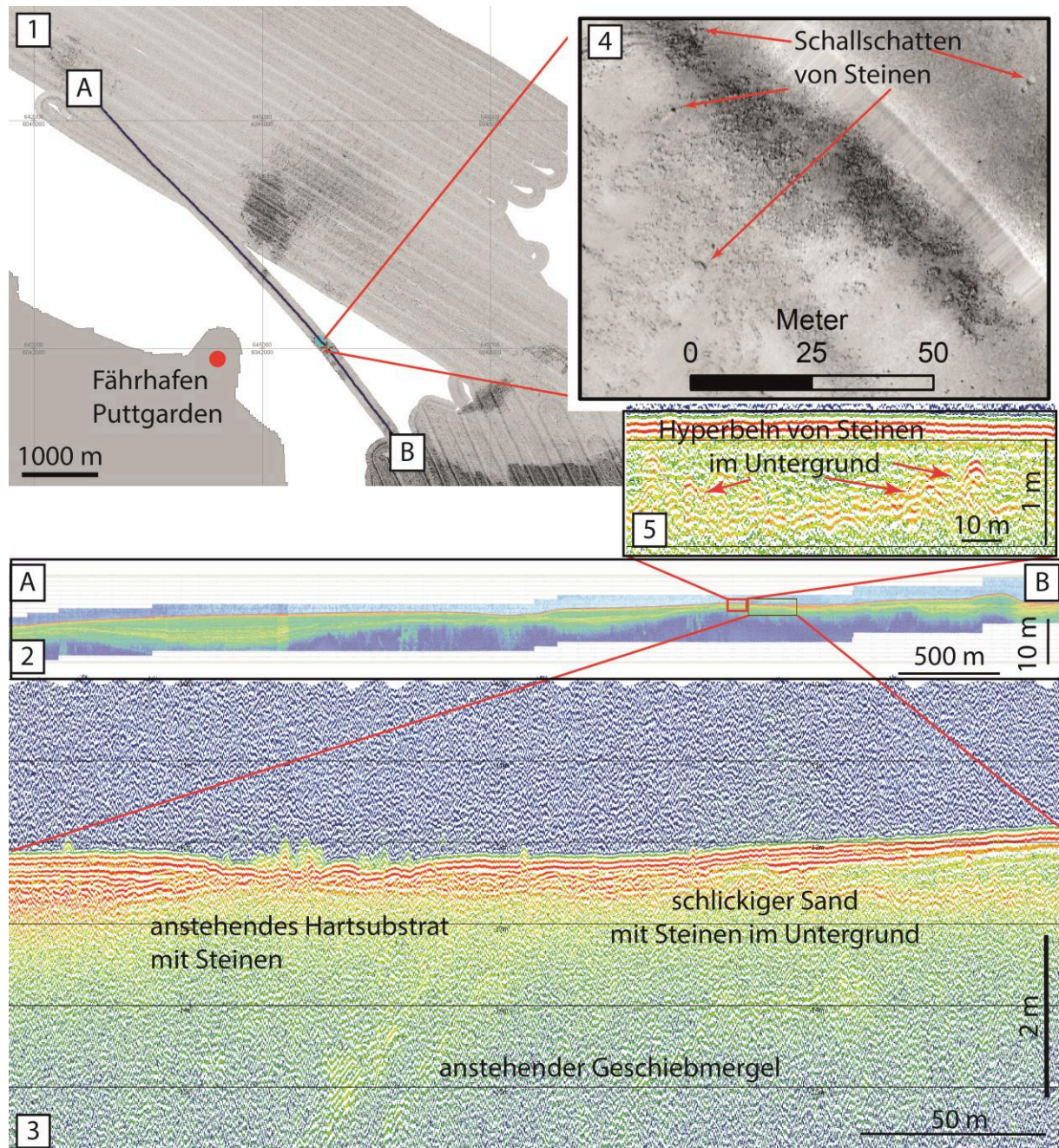


Abbildung 19: Ein SE – NW-gerichtetes Sedimentecholot-Profil (Ausschnitt 1, 2 + 3) östlich von Puttgarden, das teilweise im Bereich des Seitensichtsonar-Mosaiks liegt (zur Lage s. Ausschnitt 1). Das SES-Profil zeigt auf dem Sedimentkörper (Ausschnitt 3) und im Sedimentkörper (Ausschnitt 5) deutliche Hyperbeln, die durch Steine hervorgerufen werden. In dem Seitensichtsonar-Mosaik sind Steine durch ihre Schallschatten erkennbar (Ausschnitt 4). Das Hartsubstrat ist im Seitensichtsonar-Mosaik durch generell erhöhte Rückstreuintensitäten erkennbar. Auffällig ist hier, dass der Hartsubstratbereich im Sedimentecholotprofil den morphologisch tiefsten Bereich dieses Ausschnittes der Meeresbodenoberfläche repräsentiert.



### 3.3 Fehmarn Ost – zentraler Bereich (Teilgebiet B)

#### 3.3.1 Morphologie des Seegrundes im Teilgebiet B

Die Bathymetrie des Teilgebiets B weist gegenüber Teilgebiet A ein unruhiges Relief auf (Abb. 20). Ausgehend vom tieferen zentralen Bereich des Fehmarnbelts nehmen die Wassertiefen in Richtung Küste relativ gleichmäßig bis -20 m HNH zu. Oberhalb der 20 Meter-Isobathe schreiten die Konturlinien nur teilweise zurück. Dadurch entsteht ein Buchtencharakter mit flacheren und tieferen Bereichen, der speziell nordöstlich von Katharinenhof ausgeprägt ist. Hier schneidet eine Bucht besonders tief zurück (Abb. 20). In den Bereichen oberhalb -15 m HNH zeigt sich ein recht kleinräumiges, unruhiges Meeresbodenrelief.

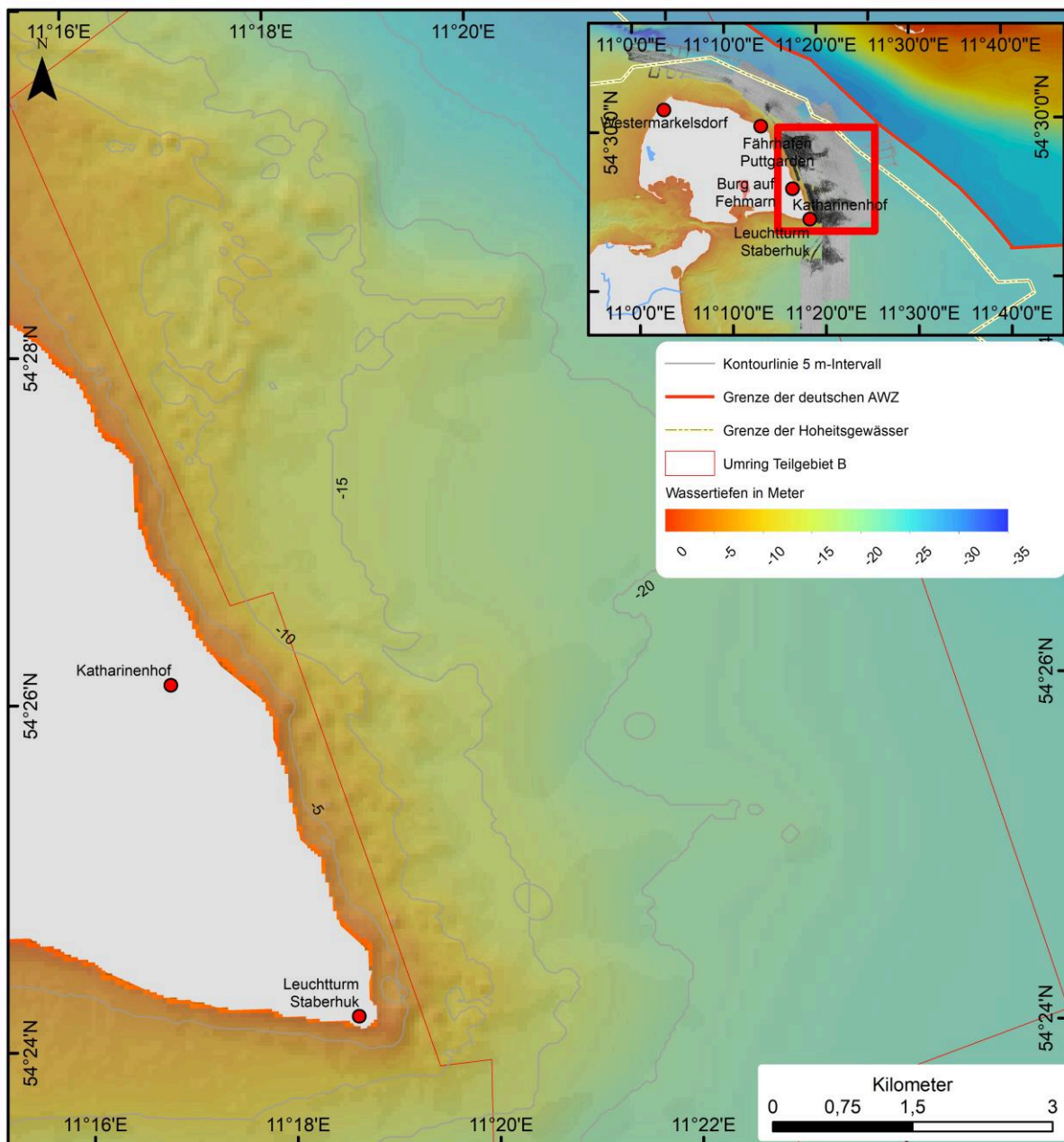


Abbildung 20: Bathymetrie des Teilgebiets B.

### 3.3.2 Teilgebiet B: Seitensichtsonar Mosaik, Sedimentproben und Videoauswertung

Das SSS-Mosaik für das Teilgebiet B vor der Nordostküste Fehmarns ist deutlich zweigeteilt. Bereiche mit einer hohen Rückstreuintensität liegen in den flacheren Bereichen vor der Küste, Bereiche, die eine geringere Rückstreuung zeigen, liegen weiter seewärts in den tieferen Bereichen. Spornartig erstrecken sich aber Areale mit einer hohen Rückstreuung in östliche Richtung bis weit vor die Küste. Sie sind an Hochlagen in der Morphologie gekoppelt. Akustische Schatten, die auf Steine hindeuten, treten in diesen Bereichen auf. Diese Gebiete dominieren den Tiefenbereich zwischen annähernd -5m bis -15m HNH. Die in der Morphologie beschriebenen Buchten, wie z. B. vor Katharinenhof (Abb. 20), bilden sich ebenso in der Rückstreuung ab, die in diesen Bereichen jedoch geringer ist.

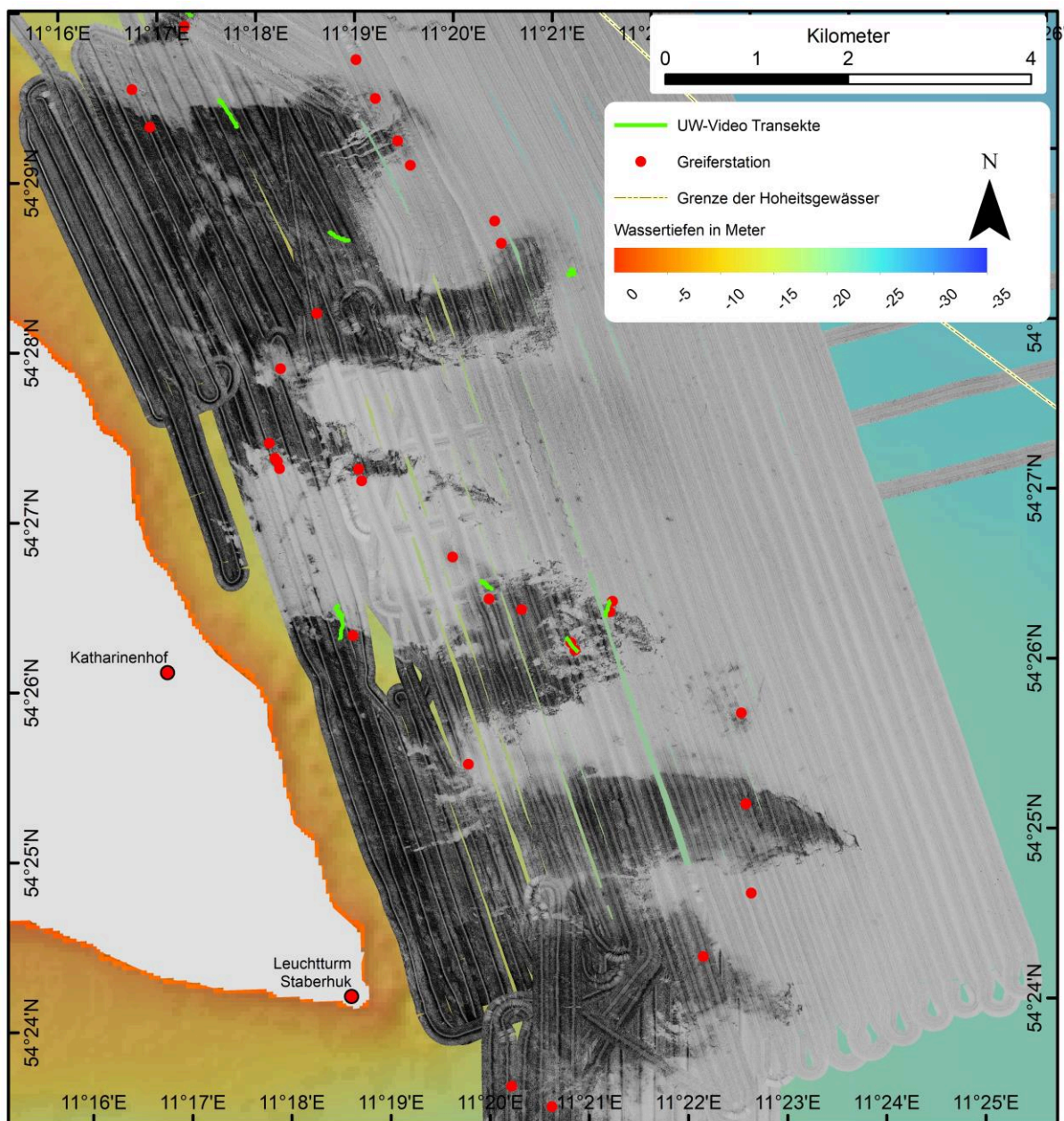


Abb. 21: Seitensichtsonar-Mosaik des Teilgebietes B mit den ausgewählten Beprobungs- und Videostationen.

Um den im SSS-Mosaik des Teilbereichs B sehr markanten und klare Grenzen zeigenden Unterschied in der Rückstreuung der akustischen Signale den sedimentologischen Eigenschaften zuordnen zu können, wurden viele Greiferproben in teilweise engem Anstand voneinander über diese Grenzbe-  
reiche hinweg entnommen (Abb. 21). Dabei zeigt sich, dass der nördliche Bereich von Grobsedimenten, bestehend aus Kies und kiesigem Sand, dominiert wird (Greiferstationen 48, 52, 59 in Abb. 22 u. 23). An den Stationen 50 und 52 wurden in -13 m NHN Steine mit einem Durchmesser > 10 cm als Probenmaterial entnommen, die mit Rotalgen bewachsen sind (Abb. 22, Proben 48 u. 52). Die Dominanz der Steine in den Greiferproben ist exemplarisch für den gesamten Tiefenbereich zwischen -5m bis -15m NHN. Dies wird auch durch die für Steine typischen Schallschatten in den flächendeckenden SSS-Aufnahmen aus diesem Gebiet (Abb. 21) und in den Mosaikausschnitten (Abb. 22 und 23) bestätigt.

Neben den Greiferproben dienen mehrere UW-Videoprofile der Validierung der SSS-Aufnahmen. Bildausschnitte aus einem für dieses Gebiet repräsentativen UW-Videoprofils zeigt die Abbildung 24. In den Bildern sind deutlich hohe Stein- und Blockdichten mit starkem Bewuchs zu erkennen (Abb. 24, Bild 5 u.7), die von offeneren Bereichen mit geringerer Stein- und Blockdichte (Abb. 24, Bild 3 u. 6) unterbrochen werden. Diese offenen Bereiche sind mit Grobsedimenten bedeckt. Weiterhin lässt sich aus den Bildern erkennen, dass eine Zunahme des Vorkommens von Grobsedimenten mit einer Zunahme des Makrobenthos einhergeht. Die Videoaufnahmen (Abb. 24, oberer Teil) im Bereich südlich von Katharinenhof zeigen ebenfalls einen sehr starken pflanzlichen Bewuchs auf den Steinen.

Die Sedimentverteilungskarte des Teilgebiets B (Abb. 25) zeigt gebietsabhängige Variationen in den Sedimenttypen, die nicht nur mit den SSS-Aufnahmen, sondern auch mit unterschiedlichen morphologischen Bereichen korrelieren. Die tieferen Lagen des zentralen Fehmarnbelts werden von sandigem Schlick bis schlickigem Sand dominiert, wobei eine Abnahme des Sandgehaltes nach Süden in den ausgehenden Belt zu erkennen ist. Dabei bilden diese schlickig/sandigen Sedimente in Wassertiefen von -13 bis -28m NHN die Sedimentoberfläche aus, wobei die flachsten Bereiche in den buchtenähnlichen Gebieten südöstlich und nordöstlich von Katharinenhof vorkommen (Abb. 20). In den SSS-Aufnahmen repräsentieren diese Sedimente homogene Bereiche mit geringen Rückstreuintensitäten (hellgrau bis mittelgraue Farbtöne, Abb. 21).

Die Oberflächensedimente des Flachwasserbereiches südlich von Katharinenhof werden von Mischsedimenten des Sedimenttyps kiesig-schlickiger Sand dominiert (Abb. 25). Die Sedimentproben dieses Typs enthalten zusätzlich kleinere Steine, die in den Greiferproben nicht immer auf der Sedimentoberfläche liegen. In den SSS-Aufnahmen wird durch die sehr häufig vorkommenden Schallschatten von Steinen und Blöcken deutlich, dass die Steindichte in diesem Bereich des Teilgebietes B sehr hoch ist (Abb. 23, Greiferprobe 32,35,46).



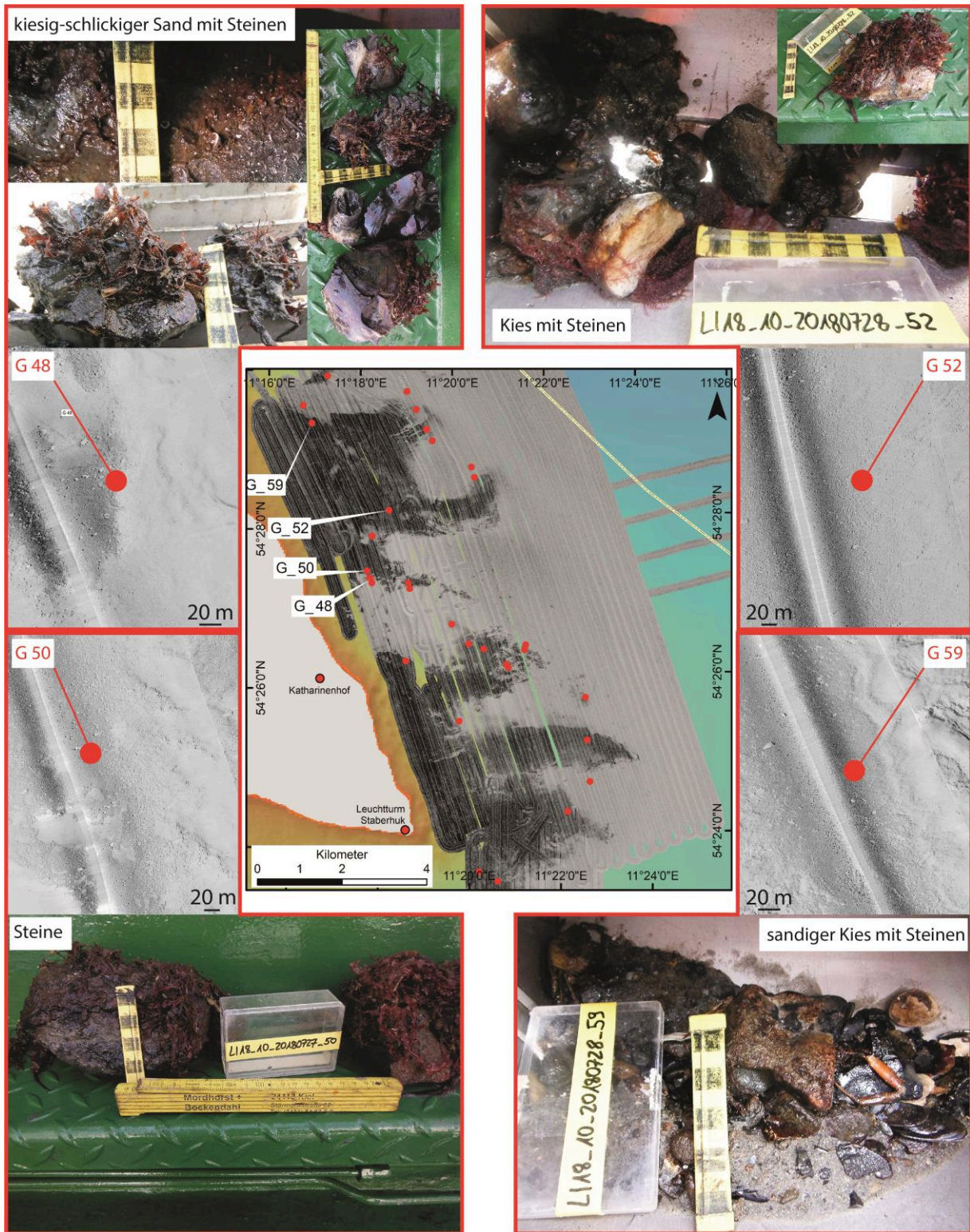


Abbildung 22: Greiferproben im nördlichen Teilgebiet B inklusive ihrer Entnahmeposition veranschaulicht im Seitensichtsonar-Mosaik. Vier Greiferproben sind dargestellt. Jede Greiferprobe ist nach der Korngrößenklassifikation von (Folk, 1954) und mit dem zusätzlichen Hinweis auf vorkommende Steine benannt.



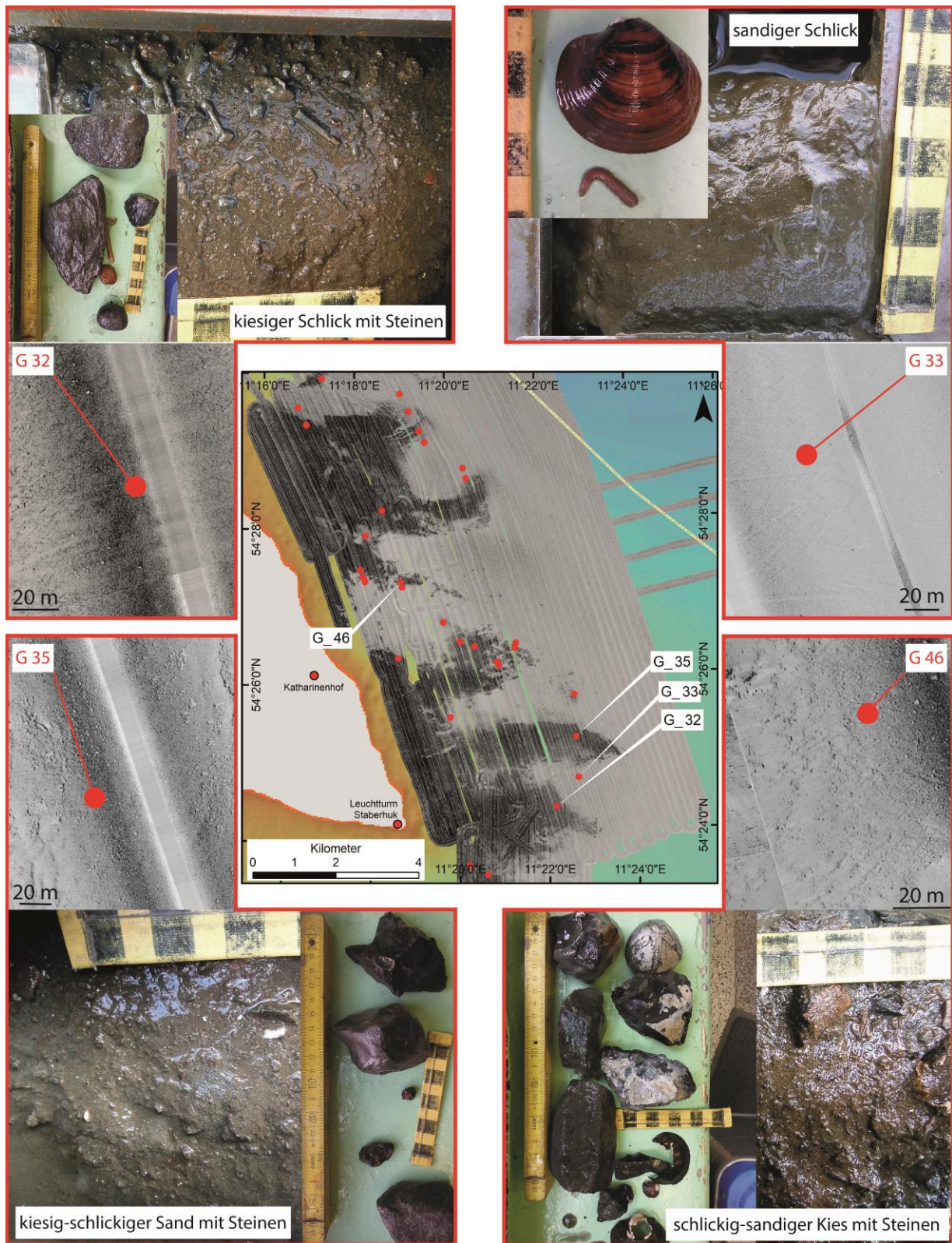


Abbildung 23: Ausgewählte Greiferproben des südlichen Teilgebietes B inklusive ihrer Entnahmeposition veranschaulicht im SSS-Mosaik. Jede Greiferprobe ist nach der Korngrößenklassifikation von Folk (1954) und mit dem zusätzlichen Hinweis auf vorkommende Steine benannt.



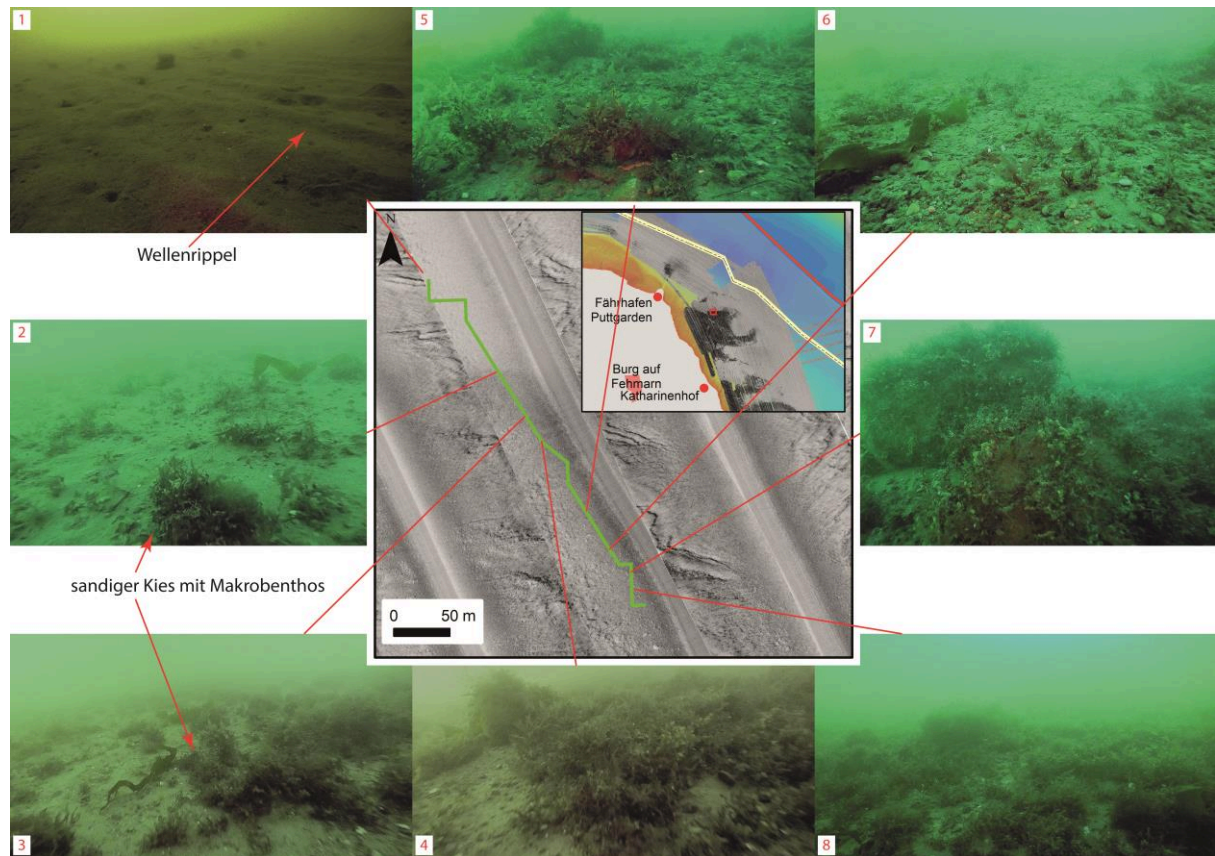


Abbildung 24: Videoprofilausschnitte aus Teilgebiet B. Sie zeigen den Übergang von einer Fläche mit homogenen niedrigen Rückstreuintensitäten zu einer Fläche erhöhter, jedoch heterogen verteilter Rückstreuintensitäten wo im SSS-Mosaik auch Schallschatten von Steinen auftreten. Das Videoprofil dokumentiert die Zunahme von Makrobenthos mit zunehmender Kies- und Steindichte.

Der seewärtige Bereich östlich von Katharinenhof bildet eine Übergangszone hinsichtlich der Sedimentverteilung und unterteilt das Teilgebiet B im küstennäheren Bereich in einen nördlichen und einen südlichen Abschnitt. Die Oberflächensedimente im nördlichen Abschnitt sind dabei gröber ausgebildet (Abb. 25). In der Sedimentverteilungskarte für das Teilgebiet B (Abb. 25) kommen sowohl zwischen den schlammig-sandigen Bereichen des tieferen zentralen Beltes (-28m bis -15 m HNH) als auch in den Flachwasserbereichen zwischen -5m bis -15m NHN Übergangszonen vor, in denen die Steindichte stark abnimmt und teilweise nur vereinzelt Steine über die Sedimentoberfläche hinausragen. Die vereinzelt Steine kommen primär in Feinsedimenten des Sedimenttyps schlammiger Sand vor (Abb. 25).

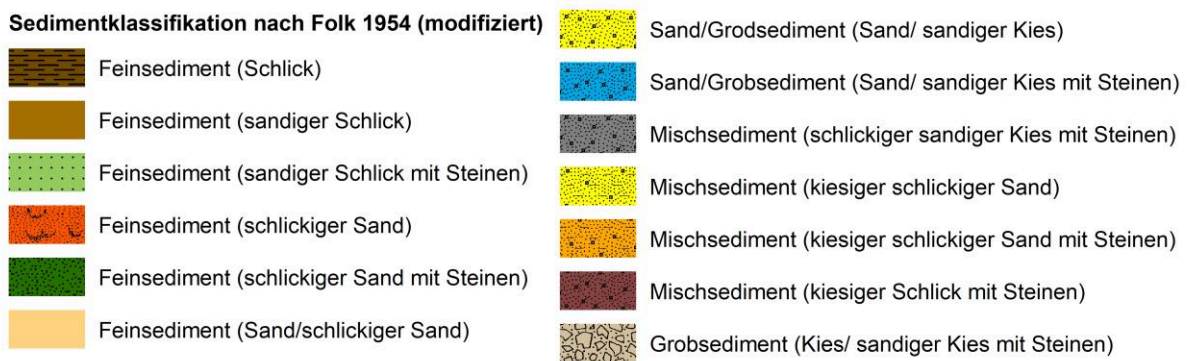
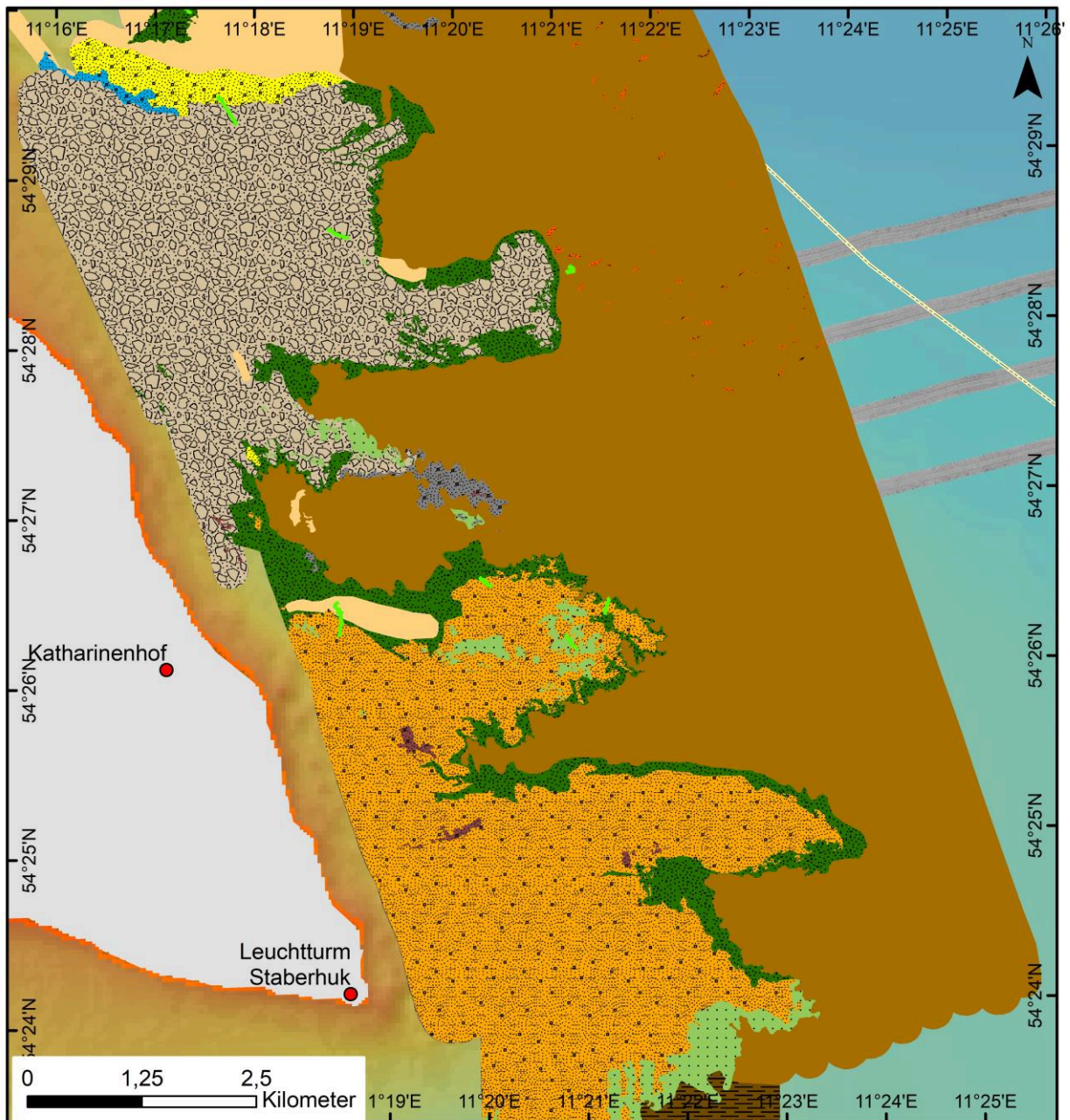


Abb. 25: Die Sedimentverteilung im Teilgebiet B klassifiziert nach (Folk, 1954), modifiziert (siehe Abb. 10)).



### 3.3.3 Aufbau des Untergrunds in Teilgebiet B

In den Bereichen mit an der Oberfläche anstehendem Grobsediment (Abb. 25) über einem Geschiebemergelsockel ist der Aufbau des Untergrundes schwer ersichtlich, da aufgrund der geringen akustischen Transparenz Reflektoren nicht zu beobachten sind (Abb. 26). Die Oberfläche wird jedoch in diesen Bereichen durch einen harten Oberflächenreflektor mit häufig auftretenden Hyperbelsignaturen, die darauf hinweisen, dass Steine auf der Meeresbodenoberfläche liegen, repräsentiert (Abb. 27). Dies korreliert gut mit den hohen Rückstreuintensitäten in dem SSS-Mosaik, das in diesen Bereichen Schallschatten von Steinen zeigt (Abb. 22 u. 23).

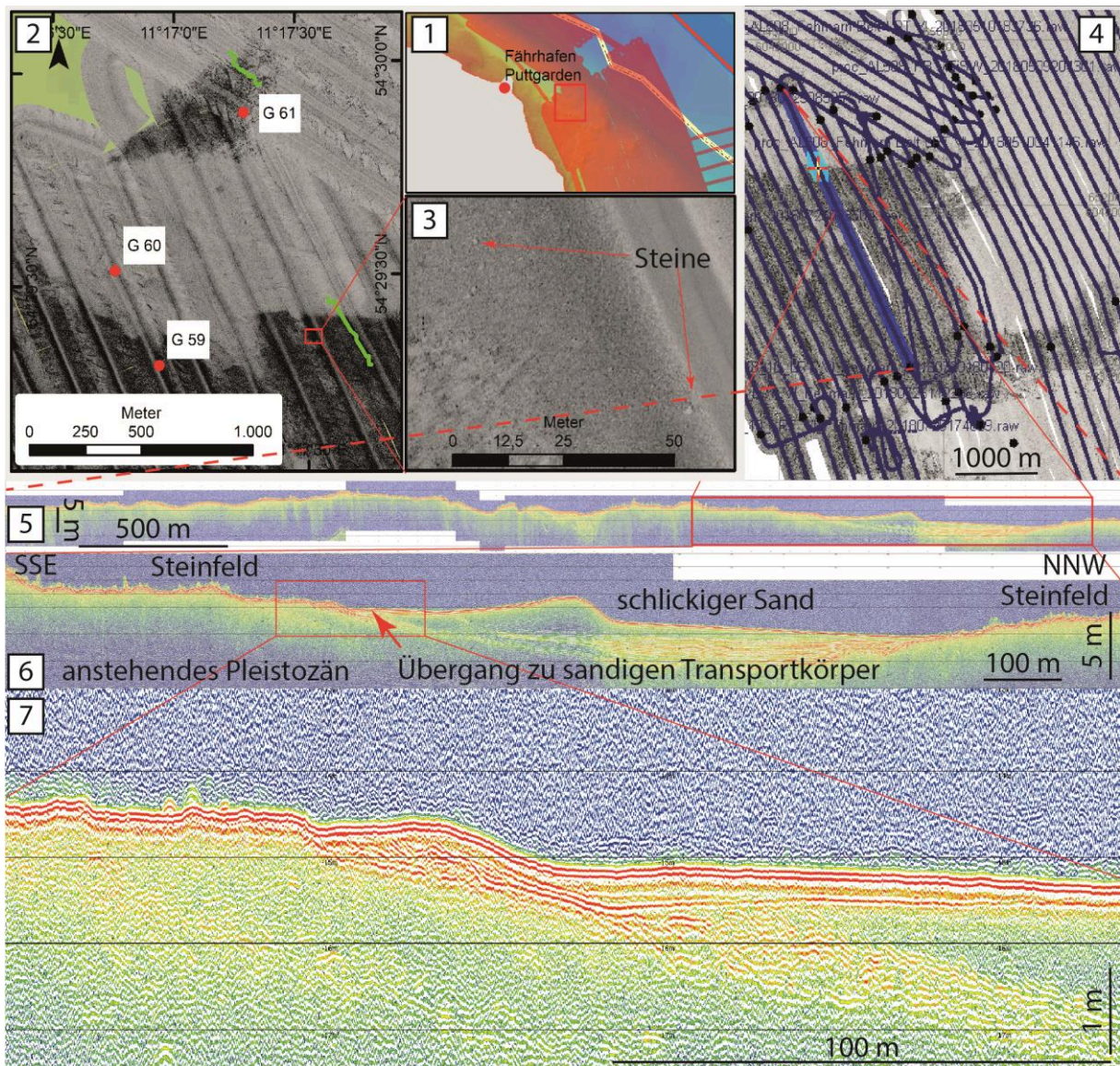


Abbildung 26: Das Sedimentecholot-Profil streicht SSE-NNW. Es verläuft zwischen zwei Hartsubstratflächen (Ausschnitt 4), die von einem Bereich mit dominierend schlickigem Sand unterbrochen sind (Ausschnitt 5 u. 6). In dieser Fläche befindet sich eine im Querschnitt dünenförmige Struktur (Ausschnitt 7), die auf sedimentdynamische Prozesse rückschließen lässt. Das Seitensichtsonar-Mosaik zeigt beginnend mit den hohen Rückstreuintensitäten Steine (Ausschnitt 2 u. 3). Aufnahmen des nahegelegenen UW-Videoprofiles (Abb. 24) zeigen, dass Flächen, wo sich Sande und Kiese, letztere mit Makrobenthos besiedelt, kleinräumig abwechseln, die im Übergangsbereich hohe und niedrige Rückstreuintensitäten verursachen.



Ähnlich wie im Teilgebiet A zeigen die SES-Profile im Übergang zum Feinsediment an der Sedimentoberfläche teils einfallende (Abb. 26, Ausschnitt 7) und teils horizontal verlaufende Reflektoren (Abb. 27, Ausschnitt 3), mit einer deutlichen Reflektorabfolge. Die einfallenden Reflektoren in Abbildung 26 (Ausschnitt 7) gehören zu morphologisch erhabenen, bis zu 2 m hohen Sedimentkörpern. Sie sind in Kapitel 3.3.4 näher beschrieben. Die horizontal verlaufenden Schichten bestehen aus Feinsediment, das die Beckensedimente bildet (Abb. 27, Ausschnitt 3).

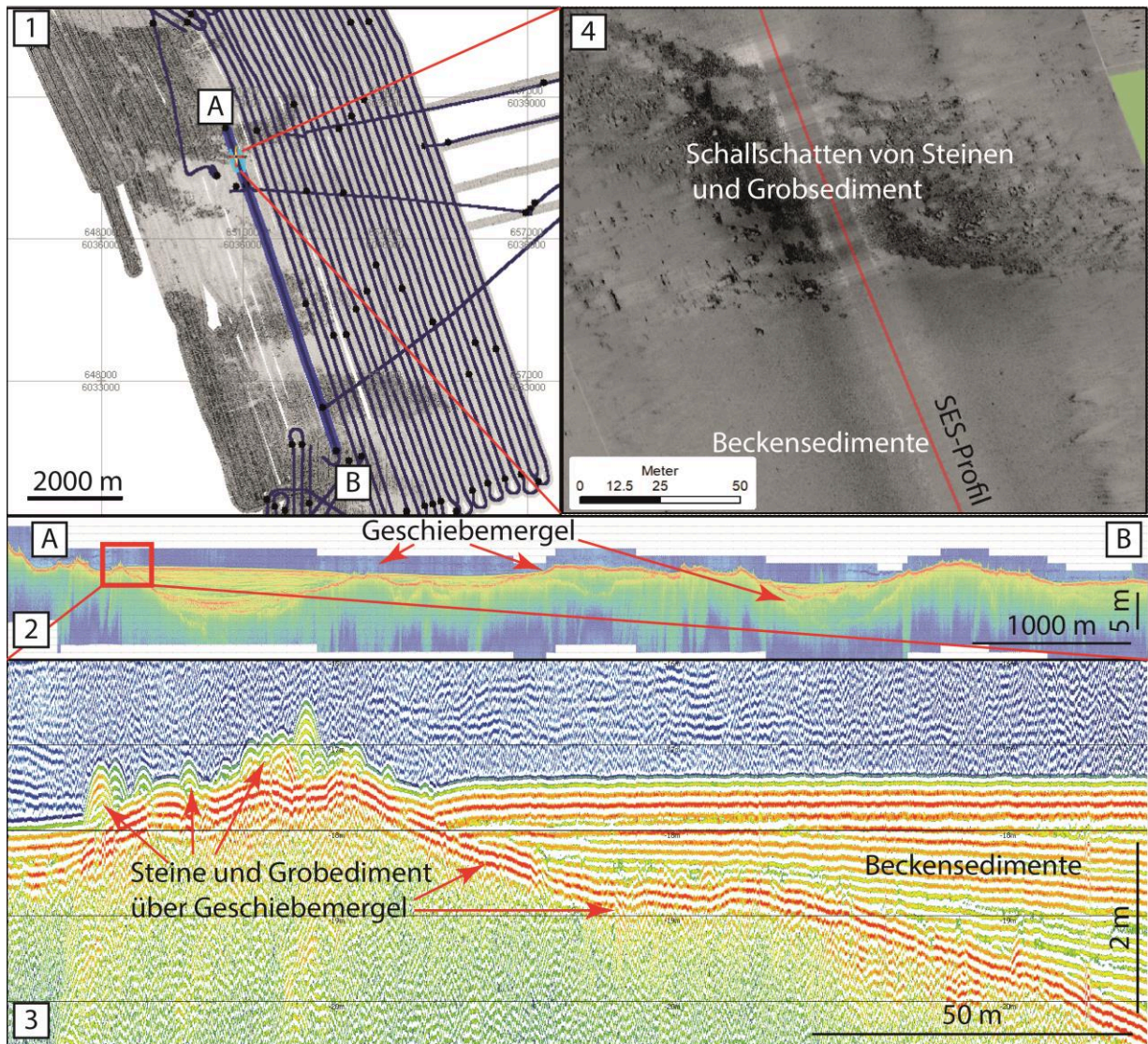


Abbildung 27: Seitensichtsonar-Mosaik und Sedimentecholot-Profil, die den Übergang von Grobsedimenten mit Steinen zu einem Bereich mit horizontal gelagerten Beckensedimenten zeigen. In dem Seitensichtsonar-Mosaik sind an dem Schattenwurf deutlich die Steine zu erkennen, die zu dem Sedimentkörper (hier Geschiebemergel) gehören, der aus dem Untergrund aufsteigt.



### 3.3.4 Erhabene geomorphologische Elemente

#### Sandkörper

In der westlichen Ostsee waren bisher Sandbänke, die aus geomorphologischer und sedimentologischer Sicht den FFH-Kriterien genügen, nur von wenigen Bereichen, wie z.B. der Sagasbank bekannt. In den Seitensichtsonardaten ist die geomorphologische Struktur dieser Sandkörper nur schwer ersichtlich. In den SES-Daten treten sie aber markant hervor und erlauben sogar Aussagen über ihre Internstruktur (Abbildung 28). Die größte Sandbank östlich von Puttgarden erreicht einen Querschnitt von 500 m und erstreckt sich entlang ihrer Längsachse über 3,6 km. Dieser erhabene Sandkörper nimmt damit eine Fläche von ca. 1,14 km<sup>2</sup> ein. Er erstreckt sich über den Tiefenbereich von -10 m bis -21 m NHN.

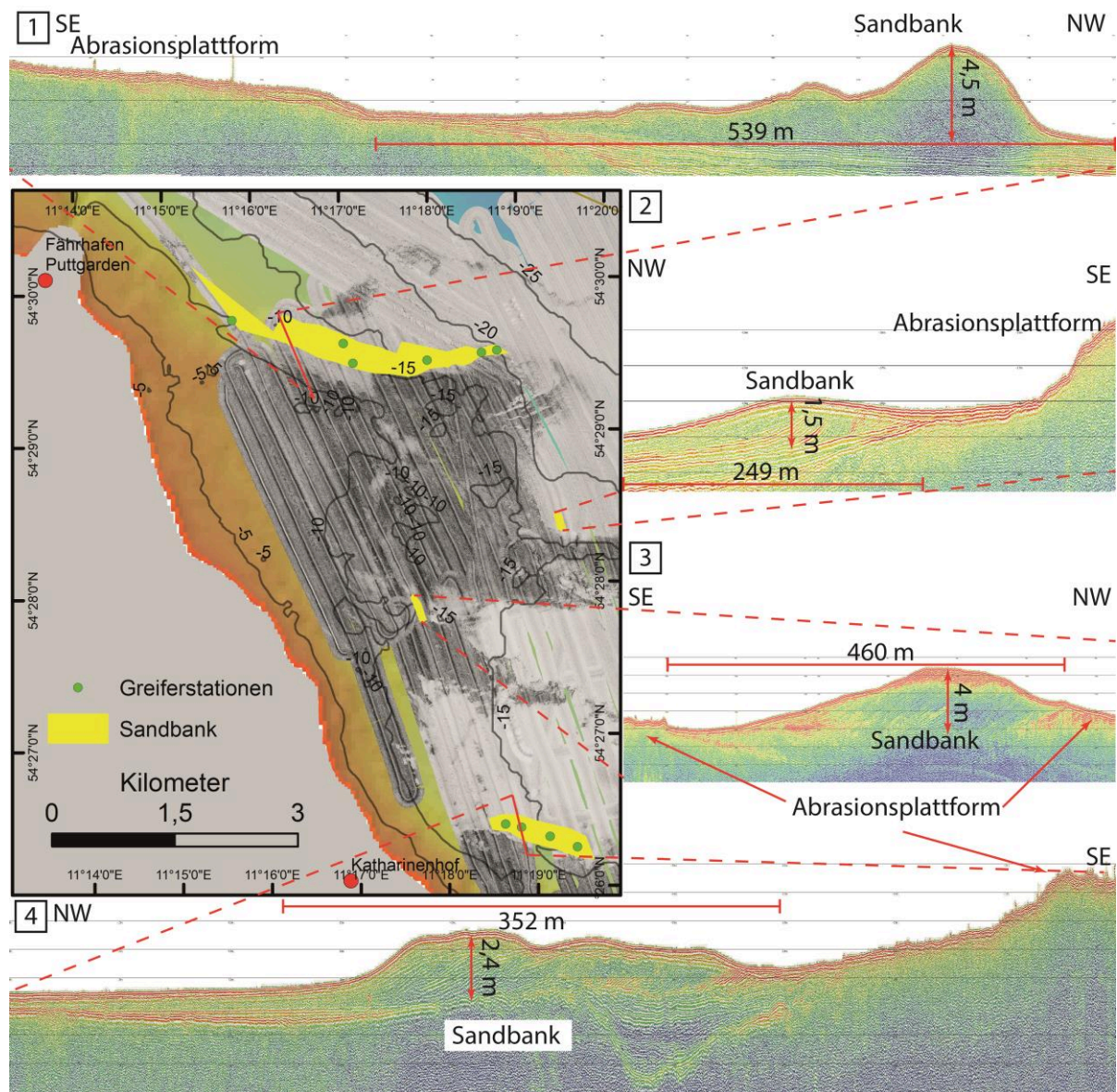


Abbildung 28: Vorkommen von sublitoralen Sandbänken. Die grünen Punkte in der Übersichtskarte zeigen Stationen der Beprobung mit dem Backengreifer.

Nach der Folk-Klassifikation besteht das Sediment an der Oberfläche aus einem leicht kiesig-schlickige Sand mit dem dominierenden Modus im feinen Mittelsandbereich (Abb. 29, für PHI° s. auch Abb. 4 zur Gegenüberstellung unterschiedlicher Korngrößenmaße). Diese Sandkörper besitzen schlickige und kiesige Nebengemengteile, wobei der Schlickanteil mit bis zu 24 Gewichtsprozent einen höheren Anteil hat als der Kies (Abb. 29). Die südlich liegende Sandbank östlich Katharinenhof ist in ihrem Kornspektrum insgesamt feiner ausgebildet als die Sandbank östlich des Fährhafens Puttgarden. Der Anteil des Schlicks (%-Anteil < 0,063 mm) kann bis auf 25 % ansteigen (s. Abb. 29). Gleichzeitig ist das Kornspektrum etwas enger. Beide Beobachtungen zeigen einen von Nordwest nach Südost gerichteten Sedimenttransport, bei der die Kornverteilung insgesamt feiner wird bei gleichzeitiger Einengung des Kornspektrums.

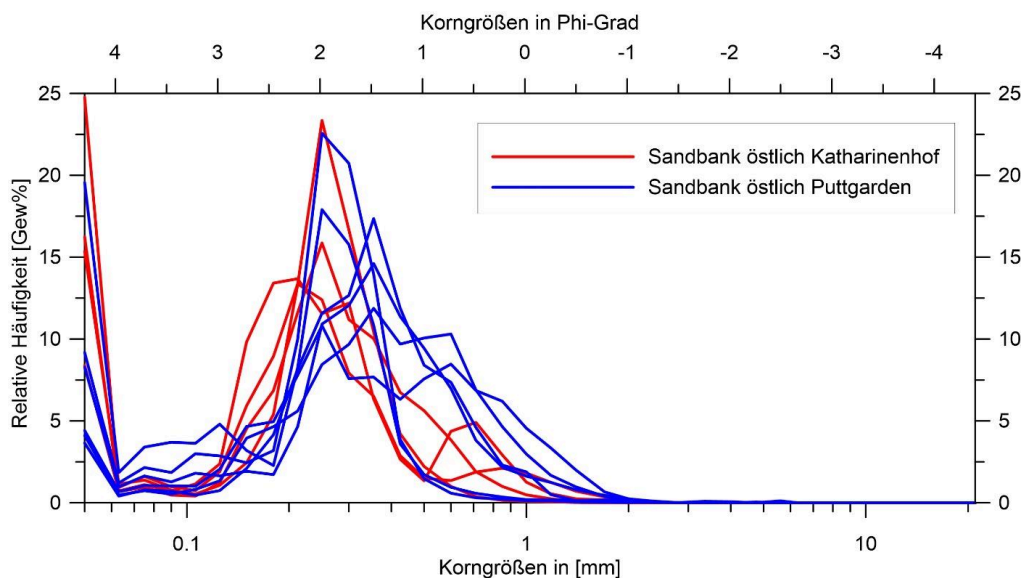


Abb. 29: Korngrößenverteilungen innerhalb von 2 beprobten Sandbänken (s. Abb. 28) aus dem Teilgebiet B. In der Häufigkeitskurve ist der Schlickanteil als eine Klasse integriert und führt zu erhöhten Werten entlang der linken Y-Achse. Für den vergleichenden Korngrößenmaßstab s. Abb. 8.

### Sichelförmige Bodenformen

In den Untersuchungsgebieten A und B kommen in Wassertiefen unterhalb von -21 m NHN Bodenformen vor, die eine sichelförmige Ausbildung haben (Abb. 30). In ihrem Querschnitt zeigen sie einen geschichteten Aufbau mit einer Schüttungsrichtung nach Nordwesten (Abb. 30). Geöffnet sind diese sichelförmigen Strukturen nach Südosten. Im gesamten Arbeitsgebiet wurden ca. 350 dieser Bodenformen auskartiert. Sie sind ca. 1 m hoch und erstrecken sich in ihrem Querschnitt über ca. 50 m bei einem mittleren Abstand der Bodenformen voneinander von ca. 145 m. Die Fläche, die eine einzelne Bodenform einnimmt, umfasst im Mittel ca. 1260 m<sup>2</sup>. Eine interne Schrägschichtung, wie sie hier zu beobachten ist, entsteht, wenn sich das Sediment vorzugsweise in eine Richtung bewegt. Danach zeigen diese



Sedimentkörper an, dass während ihrer Bildungsphase ein gewisses Maß an Sedimentdynamik vorhanden gewesen sein muss. Aus einer einmaligen Aufnahme, wie sie hier vorliegt, können über aktuelle Bewegungen jedoch keine Aussagen gemacht werden. In einem Unterwasservideoprofil (Abb. 30) entlang einer solchen Bodenform ist auf ihrer Oberfläche ein hoher Bedeckungsgrad mit Muscheln (lebend und tot) zu beobachten, die auf Grund ihrer Exposition gegen die rezente Mobilität dieser Bodenformen spricht. Über das Alter dieser Strukturen gibt es bisher keine Daten. Insgesamt beträgt die aufsummierte Fläche dieser kleinräumigen, in Abbildung 30 auskartierten Bodenformen ca.  $44 \times 10^4 \text{ m}^2$ .

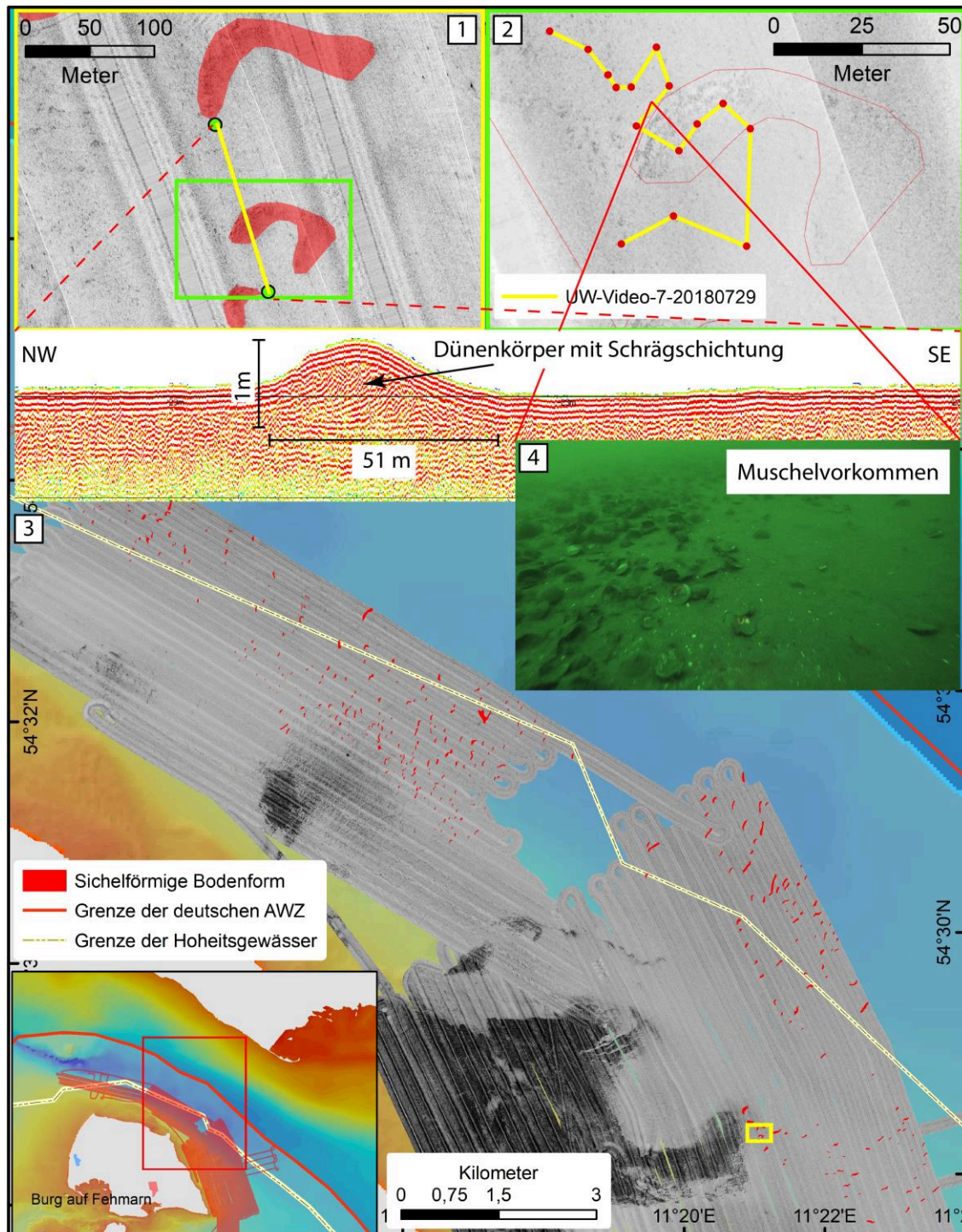


Abbildung 30: Überblick der im Untersuchungsgebiet vorkommenden sichelförmigen ausgeprägten Bodenformen.

### 3.4 Fehmarn südöstlicher Bereich (Teilgebiet C)

#### 3.4.1 Morphologie des Seegrundes

Die Morphologie des Seegrundes in Teilgebiet C ist überwiegend einheitlich eben ausgeprägt. Ausschließlich die Randbereiche, deren Wassertiefen im Norden, Westen und Süden des Gebietes abnehmen, zeigen oberhalb von -20m NHN ein unruhigeres Relief (Abb. 31). Der westliche Bereich grenzt an die Abrasionsplattform der Sagasbank, die bereits von Schwarzer et al. (2014) kartiert wurde. Der nordwestliche Bereich wird von Ausläufern des sogenannten Steingrundes südlich von Staberhuk auf Fehmarn bzw. den Flachwasserbereichen östlich des Fehmarnsunds gebildet.

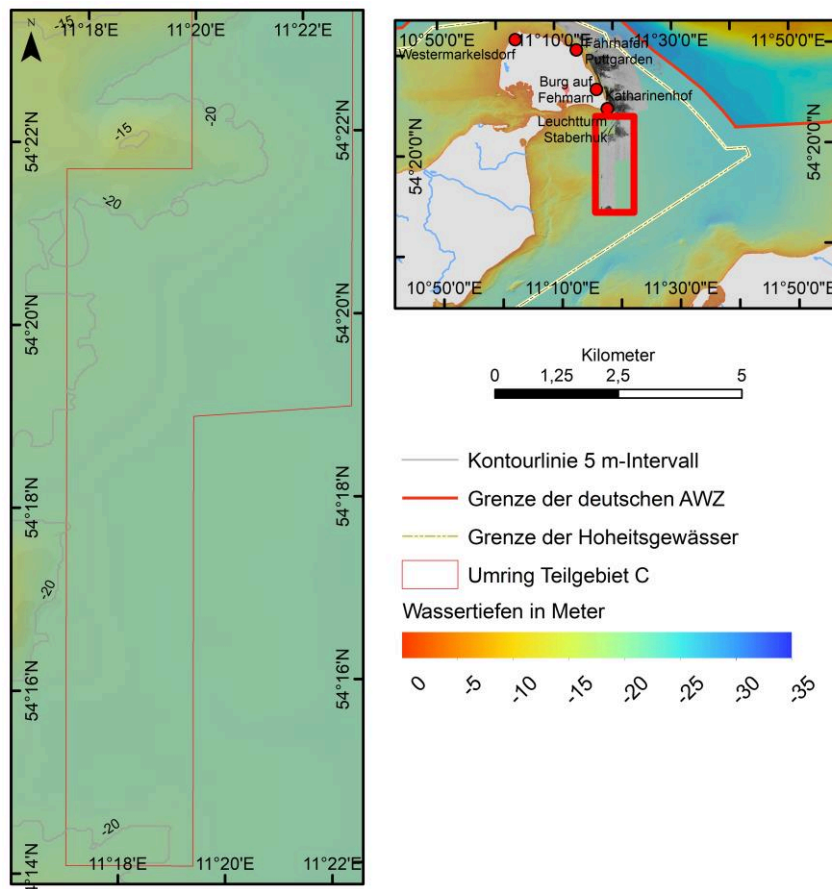


Abbildung 31: Bathymetrie des Teilgebietes C

#### 3.4.2 Teilgebiet C: Seitensichtsonar Mosaik, Sedimentproben und Videoauswertung

Das SSS-Mosaik (Abb. 32) zeigt deutlich drei klar voneinander abgrenzbare Bereiche. Im Norden liegt ein Gebiet, das eine hohe Rückstreuung aufweist. Dieser Bereich korreliert mit der morphologischen Erhöhung in diesem Gebiet. Der äußerste südliche Bereich zeigt anhand der dunklen Farbgebung ebenfalls eine hohe Rückstreuung. Auch hier liegen die Wassertiefen wieder oberhalb -20 m NHN. Der gesamte Bereich dazwischen ist von geringer Rückstreuung geprägt. Er zeigt in dem SSS-Mosaik auffällig viele Spuren als Auswirkung von grundberührender Fischerei (Abb. 33, Mosaikausschnitt zu G20).

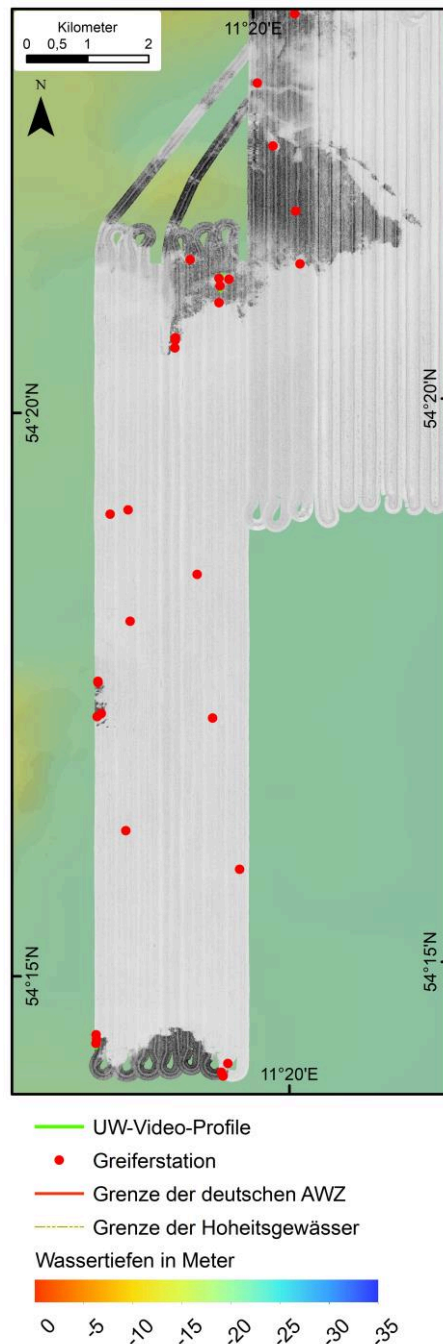


Abbildung 32: Seitensichtsonar-Mosaik des Teilgebietes C mit den ausgewählten Beprobungs- und Videostationen.

Auf der Basis des in Abbildung 32 gezeigten SSS-Mosaiks können die Oberflächensedimente des Teilgebietes C in Verbindung mit den Sedimentanalysen der Greiferproben in zwei räumlich unterscheidbare Bereiche aufgeteilt werden. Der Bereich geringer akustischer Rückstreuung wird von schlickigen Feinsedimenten gebildet (Abb. 33, G30), die ein Gebiet von nicht konsolidierten Beckensedimenten umfassen (Abb. 35, Videobilder 1, 3 und 5). Der zweite Bereich, der die hohen Rückstreuintensitäten mit häufig auftretenden Stein-Texturen (Schallschatten von Steinen) repräsentiert, wird durch Mischsedimente geprägt. Diese reichen von schlickig-sandigem Kies über Kies bis hin zu Steinen (Abb.



33, G5 und G13; Abb. 34, G22, G27 und G31). Das Bild zu Sedimentprobe G13 (Abb. 33), die am Übergang von starker zu schwacher Rückstreuung genommen wurde, zeigt im SSS-Mosaik auffällig viele Schattenwürfe, die auf ein hohes Steinvorkommen hindeuten. Die Greiferprobe 5 (Abb. 33) aus dem Zentrum hoher Rückstreuung und mit -15m NHN einem etwas flacheren Bereich (Abb. 31) zeigt Rotalgenbewuchs auf den Steinen.

Die Auswertung der UW-Videoprofile aus ca. -20 m Wassertiefe NHN (Abb. 35) zeigt deutlich, dass der Bewuchs auf den Steinen durch Makrobenthos im Vergleich zu den Steinen der Teilgebiete A und B stark reduziert bzw. degeneriert ist (Abb. 35, Bilder 2, 4, 6 und 7). Die Aufnahmen zeigen weiterhin, dass die Steine mit einer dünnen Sedimentschicht überdeckt sind. Dies deutet auf erhöhte Suspension und somit auf erhöhten Stress für lichtsensitive Arten infolge von weniger Lichtverfügbarkeit hin.

Besondere Beachtung finden ringförmige Strukturen um die Steine. Diese sind nahe der eigentlichen Sedimentoberfläche ausgebildet und umschließen die Steine ähnlich einer „Hutkrempe“ (Abb. 34 unten rechts, Abb. 35, Bild 2). Es handelt sich bei diesen Strukturen um Eisen-Mangan-Krusten, die im Übergangsbereich zwischen dem oxischen und anoxischen Milieu auch in anderen Bereichen der Mecklenburger Bucht vorkommen (Hlawatsch et al., 2002).

Die Abbildung 36 zeigt die Sedimentverteilungskarte für das Teilgebiet C. Die größte Fläche wird von Feinsedimenten (Schlick) eingenommen. Sie zieht sich über die gesamte Ostseite dieses Gebietes. Die Bereiche mit starker akustischer Rückstreuung werden von Mischsedimenten mit einem breiten Kornspektrum eingenommen. Die Grobkies- und Steindichten sind in all diesen Bereichen recht hoch, mit Abständen zueinander, die nur wenige Meter bis unterhalb eines Meters betragen (Abb. 35 Bild 2, 4 und 7). Im Übergang zwischen den feinkörnigen Oberflächensedimenten und den Gebieten mit Steinansammlungen des Teilgebiets C bzw. auch innerhalb der Gebiete mit Steinansammlungen zeigen die SSS-Mosaikbereiche niedrigerer Rückstreuintensität, die aber dennoch vereinzelt Steintexturen enthalten (Abb. 33, G 8 und Abb. 34, G 30). Bei diesen Steintexturen handelt es sich meistens um aus dem Feinsediment ragende Steine (Abb. 35, Bild 6), die aufgrund der geologischen Entwicklung und der geomorphologischen Gesamtsituation (Position im tieferen Bereich der Bucht) von diesem Feinsediment bedeckt sind.

Dieser Seebereich ist nach Nordosten exponiert. Das ist die Richtung, die bei Sturmereignissen der höchsten Energieeinwirkung ausgesetzt ist. Unklar ist, ob bei derartigen Stürmen das um die Steine liegende Feinsediment remobilisiert werden kann, oder ob die Steine einmal exponiert waren und nun langsam mit mobilen Sedimenten überdeckt werden.

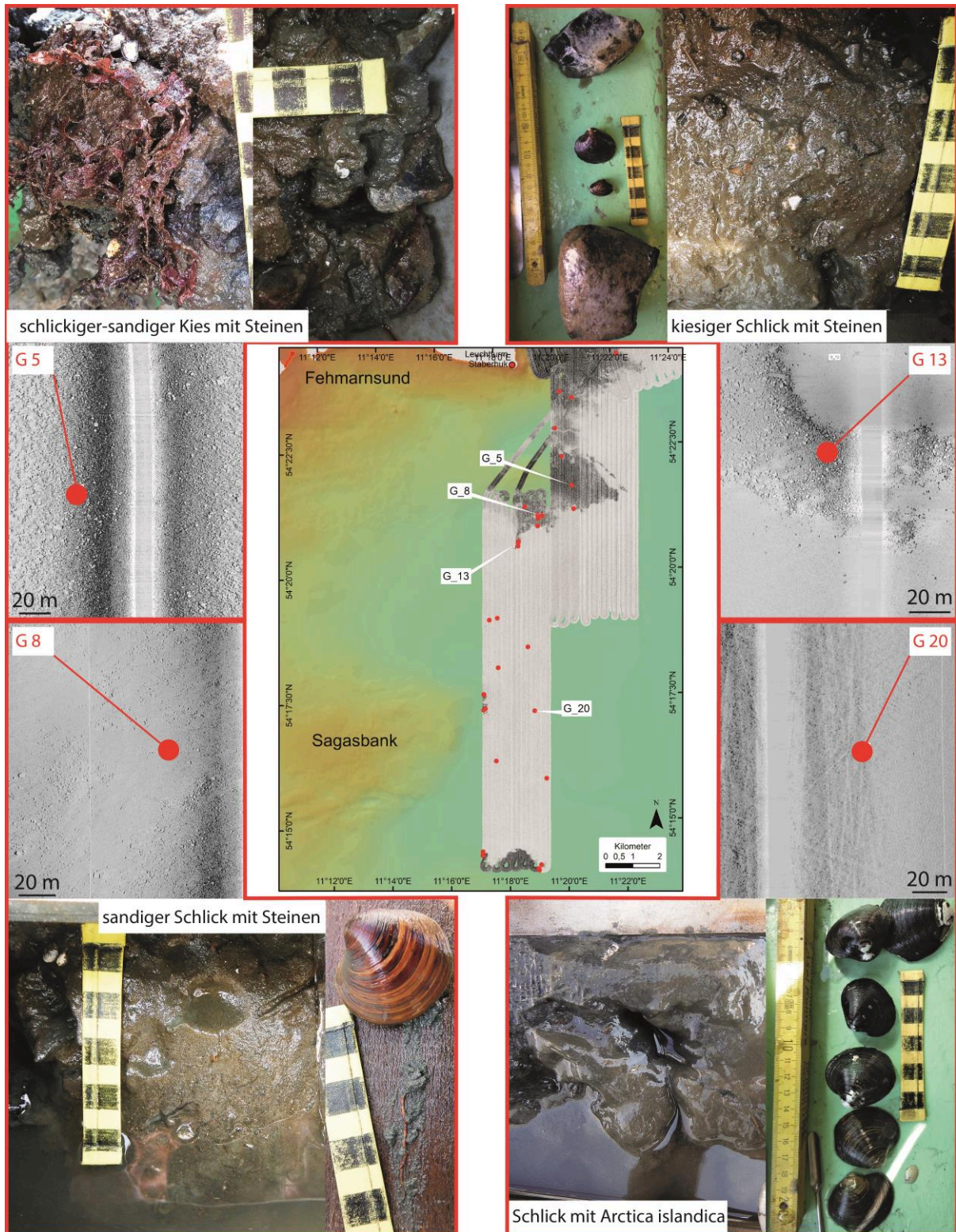


Abbildung 33: Überblick von Greiferproben aus Teilgebiet C inklusive ihrer Entnahmeposition veranschaulicht im Seitensichtsonar-Mosaik. Die Sedimente der hier dargestellten Greiferproben sind nach der Korngrößenklassifikation von Folk (1954) benannt und mit dem zusätzlichen Hinweis auf vorkommende Steine versehen.



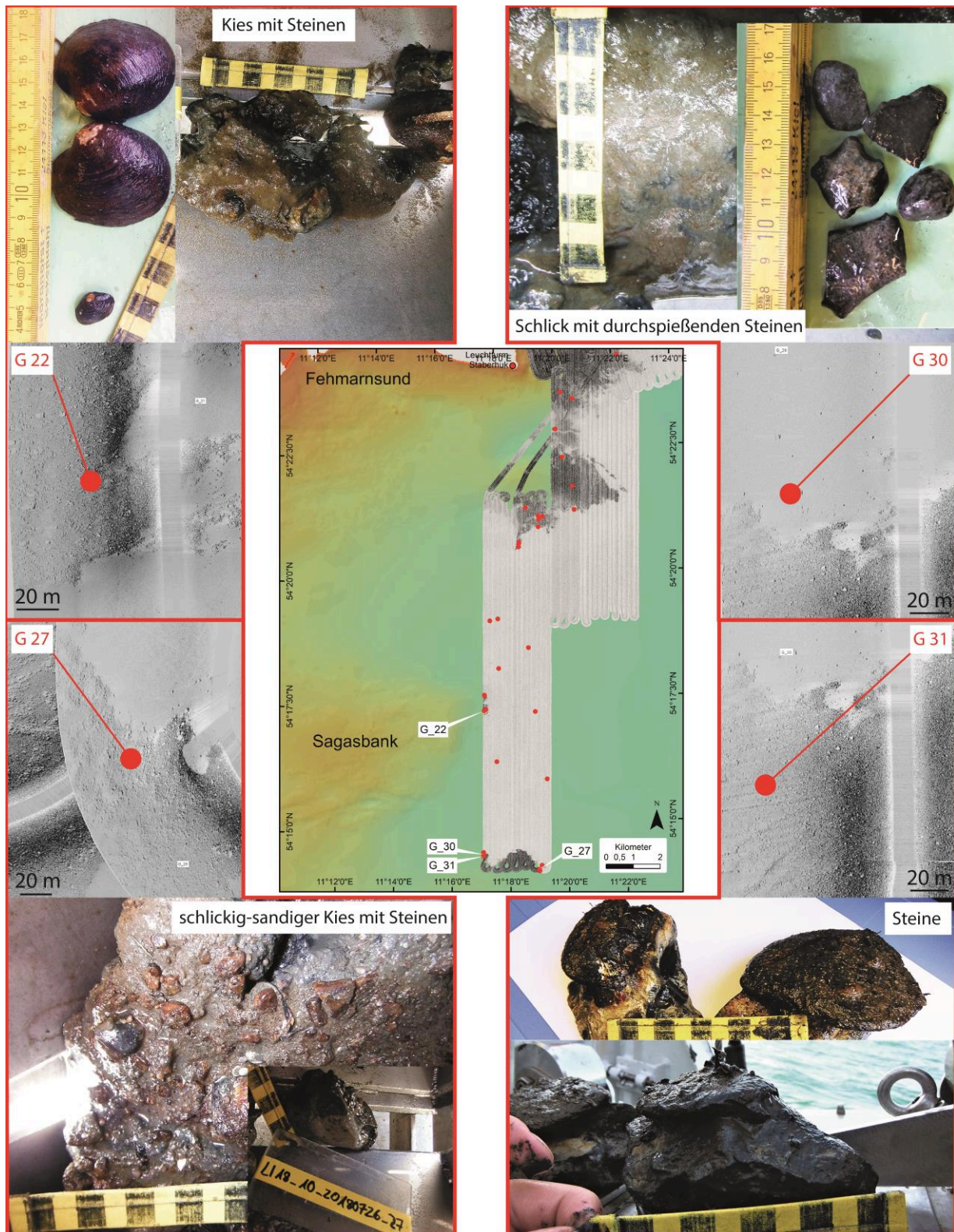


Abbildung 34: Ausgewählte Greiferproben aus Teilgebiets C inklusive ihrer Entnahmeposition veranschaulicht im Seitensichtsonar-Mosaik. Die Sedimente der hier dargestellten Greiferproben sind nach der Korngrößenklassifikation von Folk (1954) benannt und mit dem zusätzlichen Hinweis auf vorkommende Steine versehen.



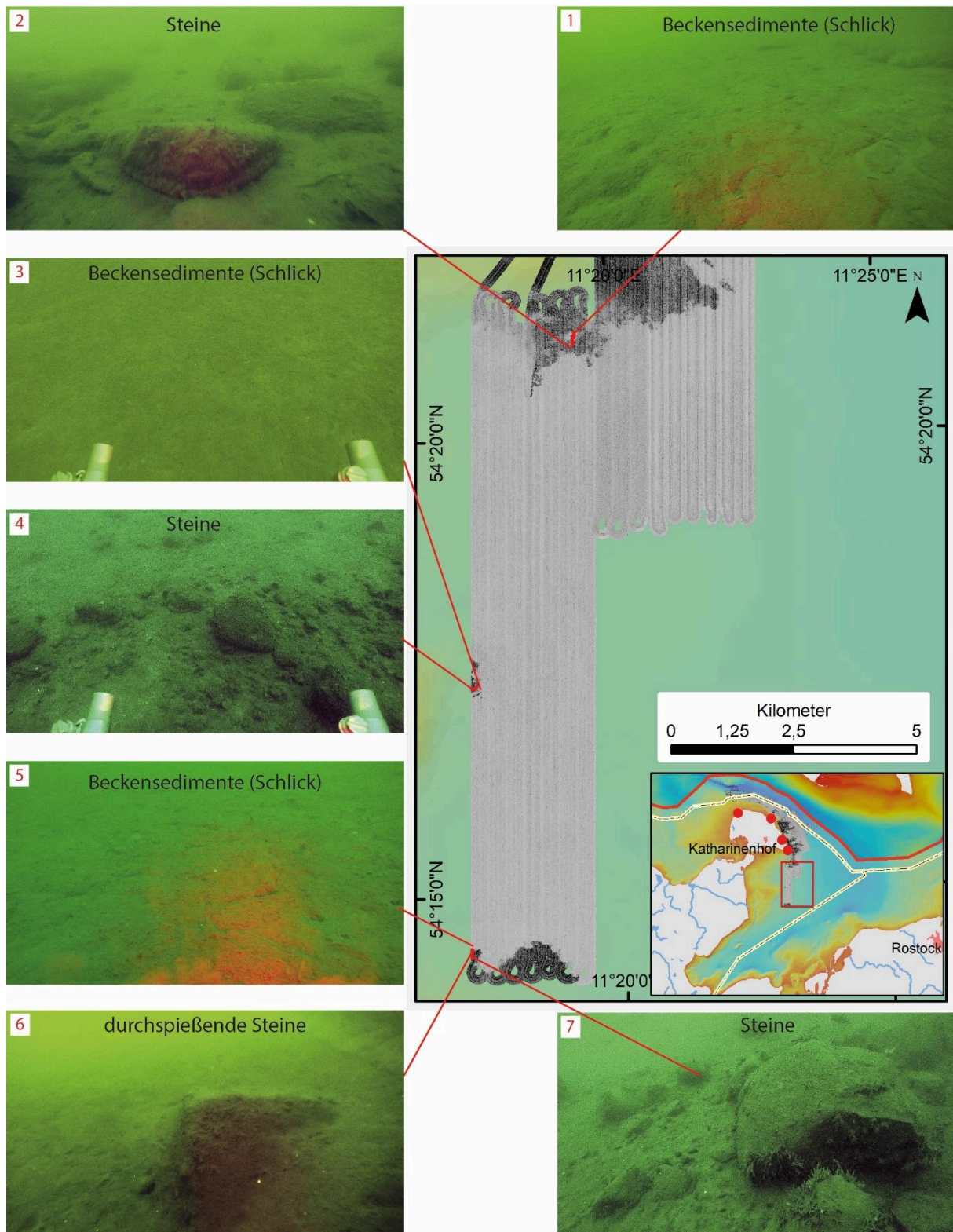
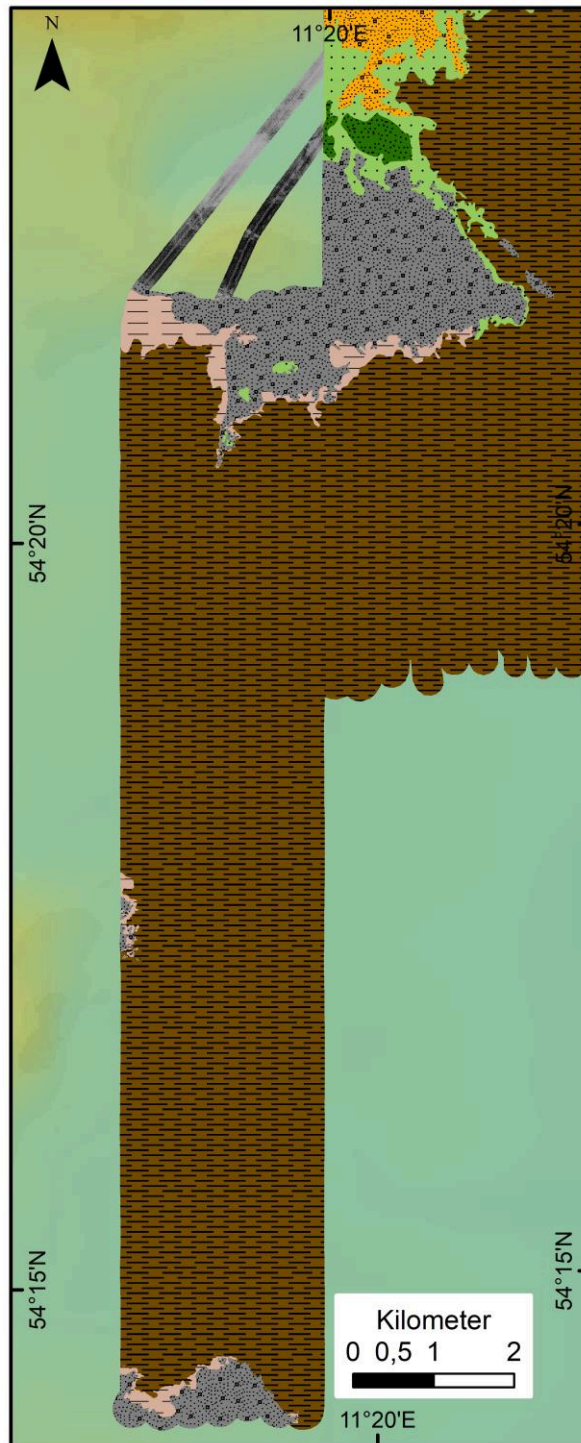


Abbildung 35: Überblick der UW-Videoprofile im Teilgebiet C sowie repräsentative Bildausschnitte, die sowohl die FFH 1170-Verdachtsflächen als auch deren angrenzende Bereiche repräsentieren.



**Sedimentklassifikation nach Folk 1954 (modifiziert)**







-  Feinsediment (Schlick)
-  Feinsediment (Schlick mit Steinen)
-  Feinsediment (sandiger Schlick mit Steinen)
-  Feinsediment (schlickiger Sand mit Steinen)
-  Mischsediment (schlickiger sandiger Kies mit Steinen)
-  Mischsediment (kiesiger schlickiger Sand mit Steinen)

Abbildung 36: Die Sedimentverteilung im Teilgebiet C klassifiziert nach (Folk, 1954) (modifiziert, siehe Abb. 10)



### 3.4.3 Aufbau des Untergrunds

Im Teilgebiet C sind in den Bereichen von schlickigen Oberflächensedimenten (Abb. 36) auch im Untergrund schlickige Sedimente zu erwarten, was durch deutlich horizontal ausgerichtete Reflektoren in den SES-Profilen bestätigt wird. Im Teilgebiet C treten sie ab -20 m NHN auf. Die Randbereiche, die in den Oberflächensedimenten durch Mischsedimente mit Steinen vertreten sind (Abb. 36), weisen in den SES-Profilen häufig vorkommende Hyperbelsignaturen auf (Abb. 37). Diese korrelieren mit den auftretenden Stein-Texturen in den SSS-Mosaiken (Abb. 37, Bild 4 – 7). Die Quelle der Steine ist der unterlagernde Geschiebemergel, der in den SES-Profilen einen deutlichen Reflektor ausbildet. Dieser Untergrund zeigt, wie auch schon in den anderen Teilbereichen, eine geringe akustische Transparenz. Häufig finden sich auf diesen Flächen kleinere flache Senken, die mit schlickigem Sediment verfüllt sind. Häufig spießen dann Steine durch feines Sediment hindurch. Für mobile Sandschleier, wie sie rezent auf der Abrasionsfläche an der Westküste Fehmarns beobachtet werden (Schwarzer et al., 2014a; Feldens et al., 2015) liegt dieses Gebiet mit Wassertiefen unterhalb -15 m NHN zu tief.

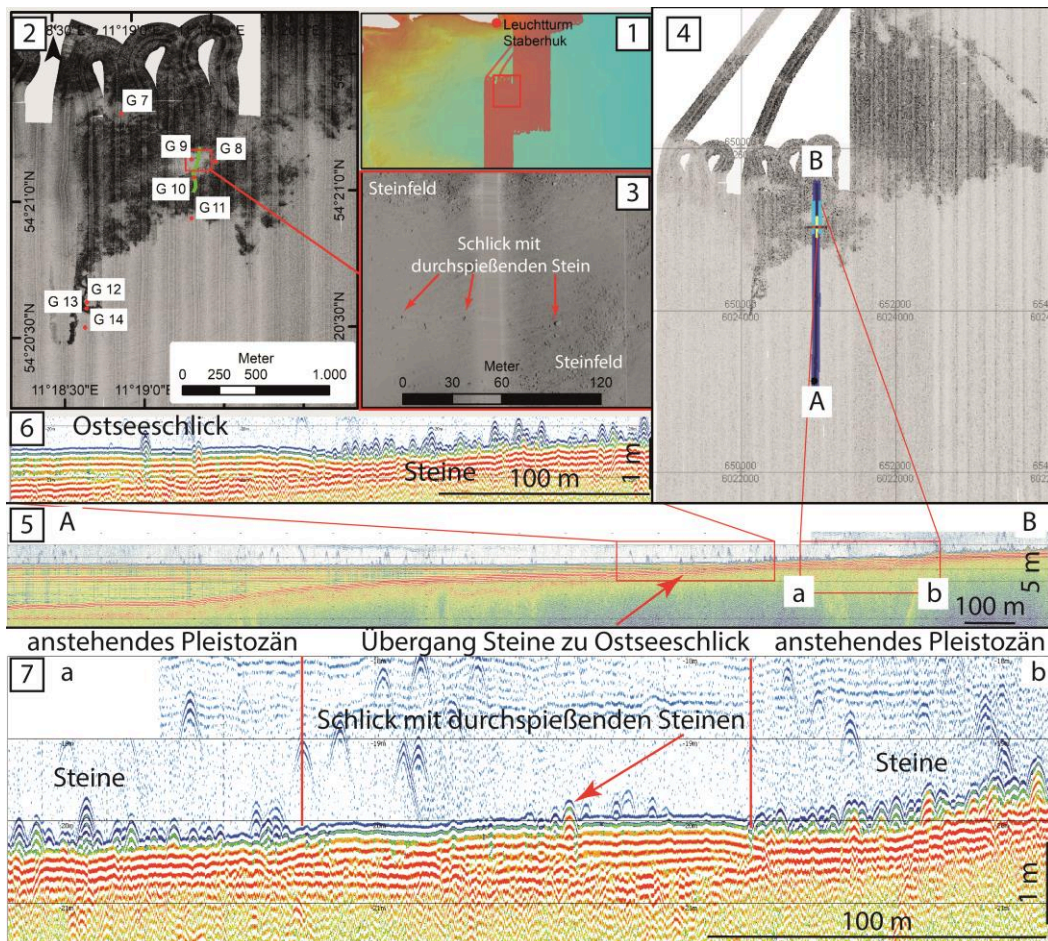


Abbildung 37: Sedimentecholot-Profil mit an beiden Enden vorkommenden, teilweise durchspießenden Steinvorkommen, die durch eine Fläche mit geringer akustischer Rückstreuung unterbrochen ist. Dies ist häufig in den Randlagen zu den Hartsubstratflächen oder auf Hartsubstratflächen zu beobachten. Im Teilgebiet C ist diese Situation stark ausgeprägt.

## 4 Diskussion und Zusammenfassung

### Sedimentverteilung

Die Oberflächensedimente im Untersuchungsgebiet sind hinsichtlich ihrer Korngrößenverteilung räumlich sehr variabel (Abb. 38). Ein für die Interpretation notwendiges, zusammenhängendes Bild ergibt sich nur, wenn neben dem beauftragten Gebiet auch die nach Westen und Südosten bzw. ab der Höhe Staberhuk nach Süden anschließenden Gebiete einbezogen werden. Das Teilgebiet A ist durch Sand und schlickigen Sand geprägt, wobei in den Bereichen mit Steinen, in denen eiszeitlicher Geschiebemergel bis dicht an die Meeresbodenoberfläche ragt, auch schlickig sandige Kiese bzw. ein Feinsediment mit Steinen vorkommt. Dies entspricht nicht dem Korngrößenspektrum eines typischen Restsediments der westlichen Ostsee (Seibold et al., 1971; Diesing und Schwarzer, 2006; Schwarzer et al., 2014a,b; Heinrich und Feldens, 2014), das überwiegend aus einer zwischen Steinen liegenden Sand- und Kiesfraktion besteht. Silt- und Tonanteile (Schlick) sind in einem Restsediment üblicherweise nicht vorhanden. Diese Feinfraktionen werden aufgrund der vorherrschenden, hydrodynamischen Bedingungen abtransportiert und in ruhigeren und meist tieferen Bereichen weiter seewärts abgelagert. Die aus Sand und Kies bestehende Grobfraktion bleibt als eine geringmächtige Auflage über dem unterlagernden Geschiebemergel zurück. Die Mächtigkeiten dieser Auflage können durchaus 20 – 30 cm betragen. Wenn hier jedoch Feinanteile zusammen mit Kiesen und Steinen vorkommen, kann das mehrere Ursachen haben. Der Fehmarnbelt weist hinsichtlich seiner geologischen Entwicklung und seines Strömungsregimes Besonderheiten auf (Kap. 1.4). Es können ältere, aus Feinmaterial bestehende und sich in der Frühphase der Ostsee gebildete Schichten angeschnitten sein (Heinrich et al., 2018, s. dazu auch Kap. 1.4); anstehender Geschiebemergel kann immer noch in den flacheren Bereichen erodiert werden und Feinmaterial zu der Ausbildung der Oberflächensedimente beisteuern. Ebenso kann aus der Küstenerosion feines Sediment eingetragen werden. Es ist bekannt, dass z. Bsp. bei Katharinenhof durch das letzte Glazial aufgeschuppte tertiäre Tone ausstreichen (Bressau, 1957, Niedermeyer et al., 2011).

Das Teilgebiet B teilt sich östlich von Katharinenhof in einen nördlichen und einen südlichen Bereich auf. Der nördliche Bereich wird von Kies und sandigem Kies dominiert, im südlichen Bereich überwiegen Sand und kiesiger Sand, wobei in beiden Bereichen Steindichten mit Abständen von wenigen Metern bis zu 10er Metern vorkommen. Schlickiger Sand, in dem auch Steine vorkommen, umrahmt beide Gebiete hin zu den größeren Wassertiefen. Das Durchragen der Steine zeigt, dass auch hier die Sedimentauflage über dem anstehenden Geschiebemergel nicht sehr mächtig ist, aufgrund der Wassertiefe aber weniger Wellenenergie wirksam ist. Schlick dominiert kleinräumige Gebiete in der Größenordnung von durchschnittlich 12600 m<sup>2</sup> oder kommt als Nebengemengteil in den Oberflächenproben vor. Das Teilgebiet C liegt größtenteils schon außerhalb des Fehmarnbelts. Es wird durch



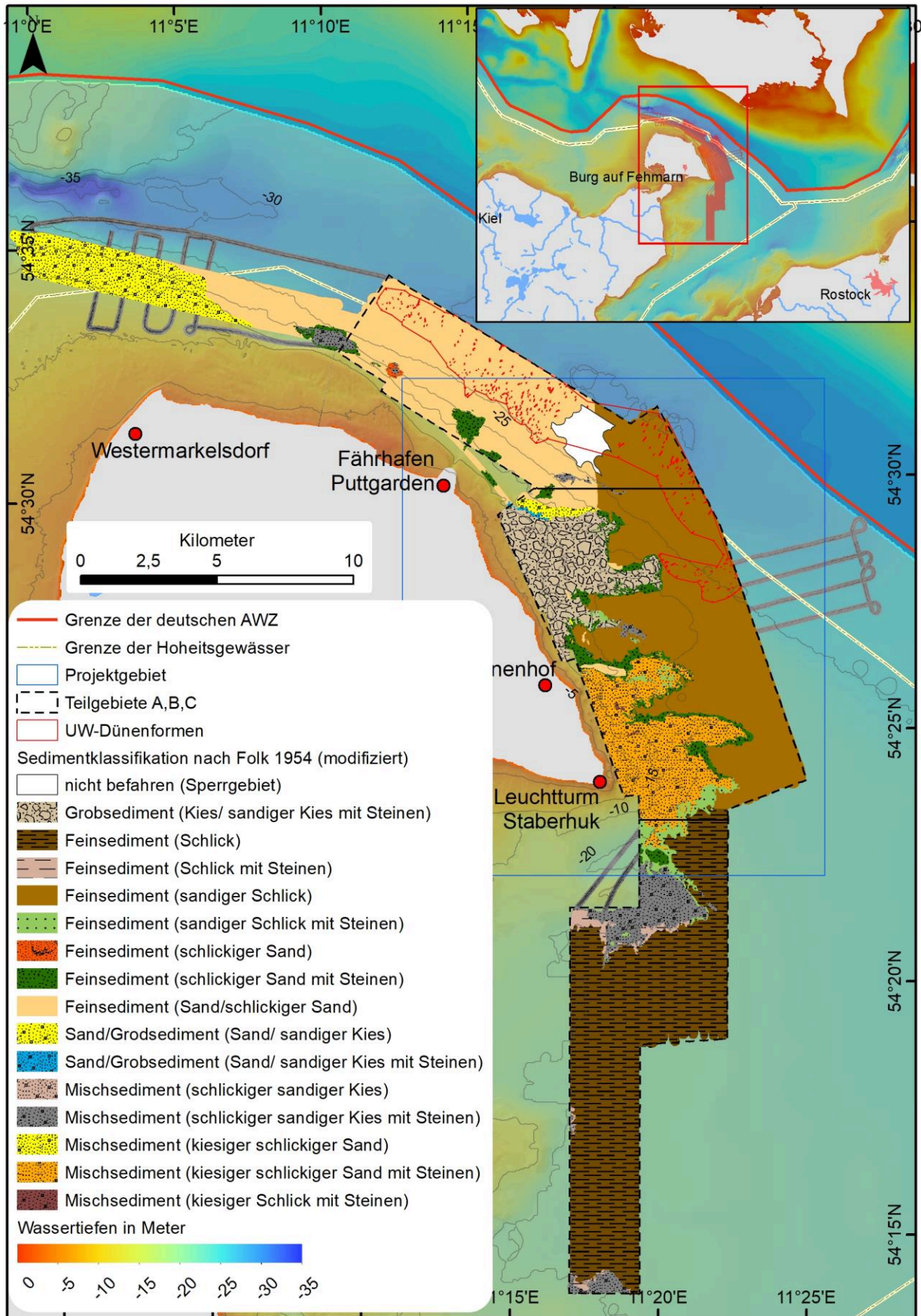


Abbildung 38: Überblickskarte der Sedimentverteilung aller Teilgebiete klassifiziert nach Folk (1954)

Schlicksedimente dominiert; lediglich an seinem nördlichen und südlichen Ende treten Hartsubstratflächen mit Steinen auf.

Steine kommen in allen 3 Teilbereichen vor. Sie werden durch Flächen mit einer hohen akustischen Rückstreuung detektiert. Der teilweise dicht unter dem Meeresboden liegende Geschiebemergel erlaubt es, diese Flächen als Hartsubstrat zu bezeichnen. Hinsichtlich der Oberflächensedimente ist ein Gradient von gröberem Sediment zu feinerem Sediment beginnend am eingehenden westlichen Fehmarnbelt (Teilgebiet A) über das zentrale Beltgebiet (Teilgebiet B) bis hin zu dem ausgehenden östlichen Fehmarnbelt (Teilgebiet C) zu erkennen. Damit werden bereits bestehende Kenntnisse zur Sedimentverteilung im Fehmarnbelt (Bobertz and Harff, 2004; Leipe et al., 2017) bestätigt. Eine Ausnahme bilden die im Teilgebiet B auftretenden und in Kap. 3.3.4 beschriebenen Sandbänke (Abb. 39), die primär aus Sanden bestehen.

### **Lebensraumtypen (Ausdehnung, Dynamik und Stabilität)**

In der Fehmarnbelt Region innerhalb der Landesgrenze Schleswig-Holsteins erfüllen spezifische Bereiche die Kriterien, um sie aus geomorphologischer und sedimentologischer Sicht den FFH-Lebensraumtypen Riff (1170) und Sandbank (1110) zuordnen zu können (Abb. 39). In Abhängigkeit von der Lokation unterscheiden sich diese Bereiche in ihrer sedimentologischen Zusammensetzung. Das prägende Merkmal ist das Vorkommen von Hartsubstraten, das im Untersuchungsgebiet durch Abrasionsflächen und Steine gegeben ist. Die Bereiche zwischen den Steinen variieren in ihrer Korngrößenzusammensetzung abhängig von der Lokation. In den randlichen Bereichen von Abrasionsflächen, die potentiellen Flächen des Lebensraumtyps Riff (1170), kann die Steindichte innerhalb weniger 10er Meter stark abnehmen. In dieser Übergangszone vermischen sich die Sedimente der potentiellen Riffbereiche mit dem angrenzenden Oberflächensediment. Weiter seewärts tauchen die Abrasionsflächen unter schlickigen Sedimenten ab.

Bereiche, die die geologisch geomorphologischen Kriterien für den Lebensraumtyps Sandbank (1110) erfüllen, konnten ebenfalls auskartiert werden. Sie kommen in Wassertiefen von -10m bis -20m NHN vor. Während sich eine Sandbank direkt in einer Hartsubstratfläche befindet, liegen drei Sandbänke an der nördlichen Flanke einer Lebensraumtyp Riff (1170) – Fläche bzw. in deren Übergangszone zum angrenzenden Oberflächensediment (Abb. 39). Diese Sandbänke sind bisher weder auskartiert noch weiter untersucht worden. Aussagen über ihre derzeitige Mobilität sind auf der Basis einer einmaligen Vermessung nicht möglich. Internstrukturen zeigen aber, dass es sich um Transportkörper handelt, deren Fläche zwischen 30385 und 975152 m<sup>2</sup> variiert.

Kleinräumige, bis zu 1 m hohe Bodenstrukturen aus den Teilgebieten A und B, die ebenfalls eine Internstruktur aufweisen, sind aus Vermessungen bekannt (FEHY, 2013), aber erstmals detailliert beobachtet

(Videoaufnahmen, Sedimentecholot) und in ihrer Fläche auskartiert worden. Ihre Internstruktur weist sie als Transportkörper aus. Ihre mittlere, individuelle Größe von ca. 1260 m<sup>2</sup> erlaubt es, sie als eigenständige geomorphologische Form auszuweisen, auch wenn sie nicht die Größe von 1 ha einnimmt, die als Mindestgröße für Sandbänke notwendig ist. Um weitere Informationen über diese Strukturen zu erhalten, wären weitere schiffsgestützte Detailuntersuchungen notwendig, die im Rahmen dieser Arbeiten aber nicht durchgeführt wurden.

Aufgrund der Synthese aus Rückstreuintensitäten, Bathymetrie, Untergrundaufbau, Sedimentoberflächenproben und UW-Videomaterial konnten die geologisch/sedimentologischen und morphologischen Kriterien zur Ausweisung der FFH-Lebensraumtypen Riff (1170) und Sandbank (1110) für das Untersuchungsgebiet erarbeitet und in einer Karte dargestellt werden (Abb. 39). Diese Gebiete setzen sich aus Restsedimenten, die ortsspezifisch einen Schlickanteil besitzen können (Abb. 38), und hohen Steinvorkommen zusammen. Die Steine zeigen häufig eine Besiedlung mit Makrobenthos. Des Weiteren zeigen Oberflächenproben bzw. UW-Videoaufnahmen, dass auch Kiese als Siedlungsfläche genutzt werden. Die Riffstrukturen und damit auch potentielle Besiedlungsflächen sind bis in Wassertiefen von ca. -20 m NHN verbreitet. Im zentralen Fehmarnbelt (Teilgebiet B) ist Makrophytobenthos bis in diese Wassertiefen von 15 m mit einer hohen Abundanz in den Videoprofilen zu beobachten. Dagegen ist die Bewuchsdichte von Makrophytobenthos im Teilgebiet C in diesen Wassertiefen gering (Abb. 35).

In der Fehmarnbelt Region innerhalb der Hoheitsgrenze Schleswig-Holsteins erfüllen aufgrund der durchgeführten Kartierung aus geomorphologischer und sedimentologischer Sicht spezifische Bereiche die Kriterien für die FFH-Lebensraumtypen Riff (1170) und Sandbank (1110).

Innerhalb des kartierten Bereiches zeigen die Oberflächensedimente entlang der Achse des Fehmarnbelts eine graduelle Verfeinerung von West nach Ost.

Hartsubstratflächen und Steinvorkommen, die den Lebensraumtyp Riff (1170) prägen, liegen primär vor der Nordostküste Fehmarns. Kleinere Bereiche befinden sich aber auch vor dem Fährhafen Puttgarden sowie weiter westlich davon. Diese Flächen reichen bis zu – 20 m NHN hinab. Sie umfassen insgesamt ca. 53,1 km<sup>2</sup>.

In der westlichen Ostsee war das Vorkommen von Sandbänken nach FFH-Kriterien aus dieser Region nicht bekannt. In den Seitensichtsonardaten nur schwer ersichtlich, können sie in den SES-Daten aber deutlich erkannt werden. Die östlich von Puttgarden gelegene größte Sandbank erreicht in Schüttrichtung mehr als 500 Meter im Durchmesser und erstreckt sich entlang ihrer Längsachse über 3,6 Kilometer. Sie liegt zwischen -10 m bis -21 m HNH und nimmt eine Fläche von 1,14 km<sup>2</sup> ein. Alle Sandbänke zusammen nehmen eine Fläche von 1,65 km<sup>2</sup> ein. Der Sedimenttyp der Sandbänke ist nach der Folk-Klassifikation ein leichter kiesiger schlickiger Sand mit dem dominierenden Modus im Mittelsand.



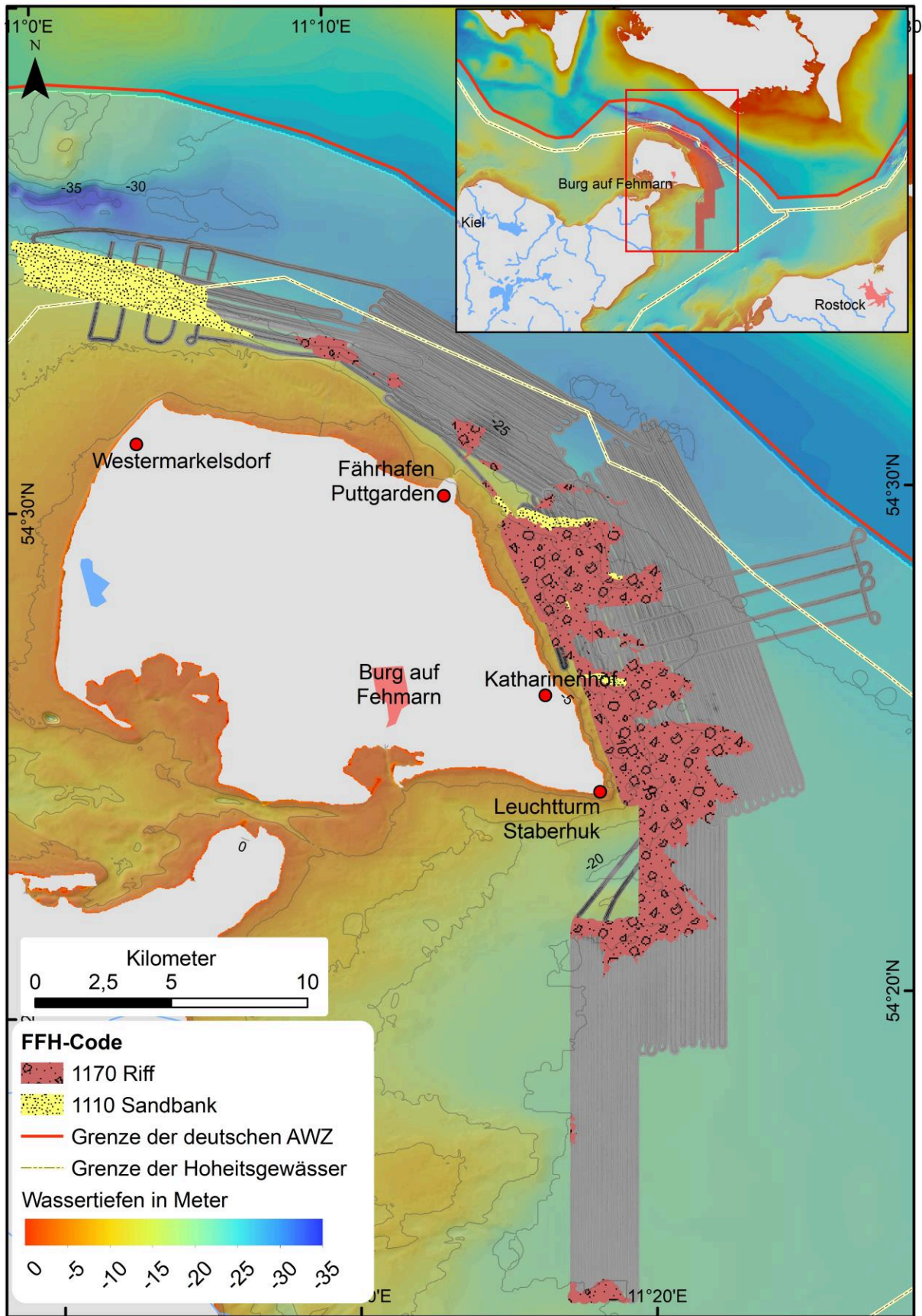


Abbildung 39: Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes mit Flächen für eine empfohlene Ausweisung (Status 2) der FFH-Klassen 1110 (Sandbank) und 1170 (Riff).

Im Untersuchungsgebiet A und B kommen in Wassertiefen unterhalb -21m NHN sichelförmig aussehende, bis zu 1 m über den Meeresboden hinausragende Bodenformen vor, die in ihrem Querschnitt eine Schüttungsrichtung nach Nordwesten zeigen. Diese Schrägschichtung weist sie als Transportkörper während ihrer Entstehung aus. Ein Unterwasservideoprofil entlang einer dieser Bodenformen zeigt eine hohe Bedeckung mit lebenden und toten Muscheln. Über die rezente Mobilität dieser Sedimentkörper können auf der Basis nur einer Vermessung keine Aussagen gemacht werden. Insgesamt nehmen diese Bodenformen eine aufsummierte Fläche von ca. 0,44 km<sup>2</sup> ein. Die Fläche, auf der sie im Fehmarnbelt vorkommen, erstreckt sich über 27,9 km<sup>2</sup>.

Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung aufgrund ihrer sedimentologischen und geomorphologischen Beschaffenheit ausgewiesenen LRT-Bereiche fügen sich nahtlos an die bereits kartierten LRT-Bereiche Fehmarn West und Sagasbank an (Abb. 40).

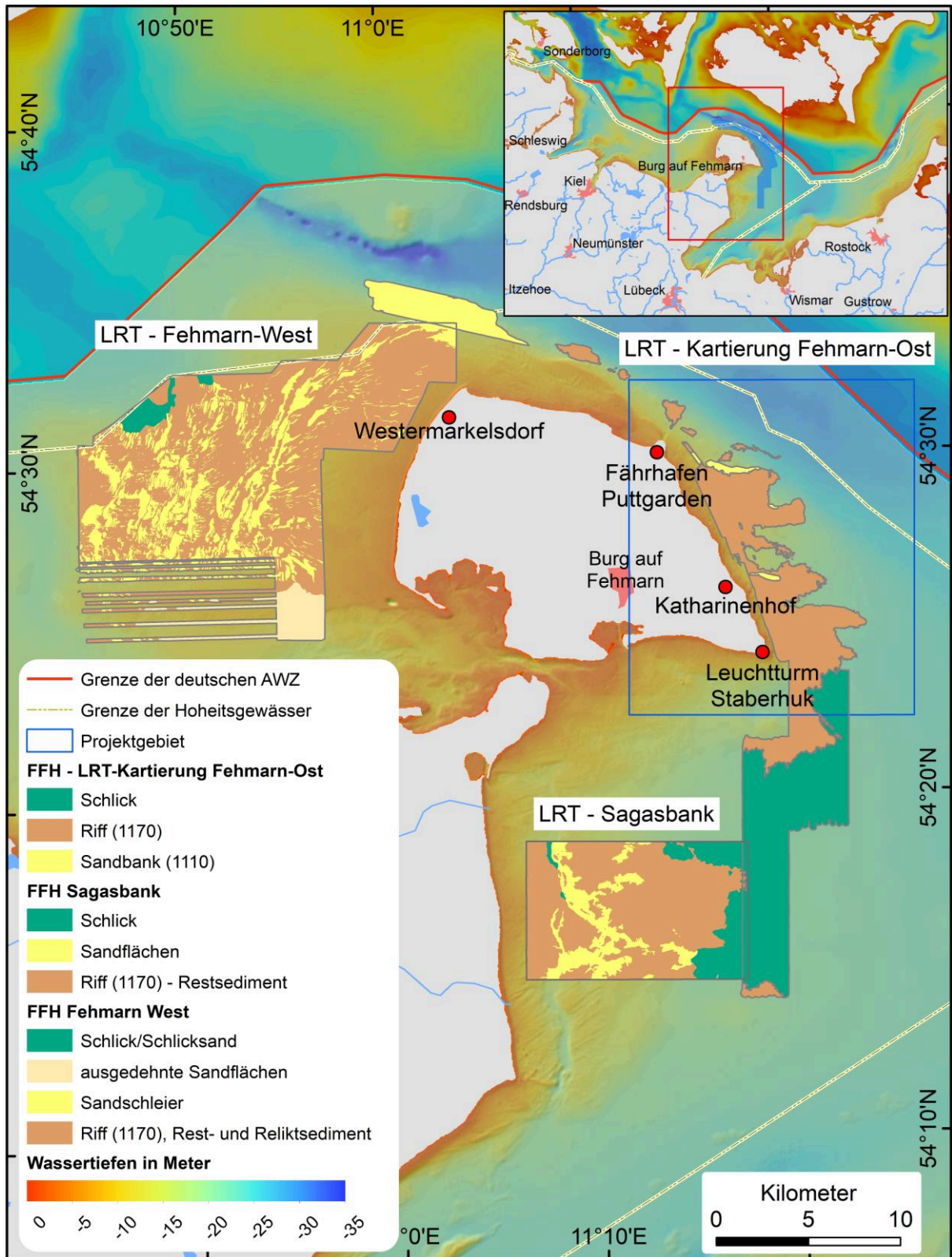


Abb. 40: FFH-LRT-Projekte um Fehmarn



## 5 Literatur

- Anderson, J.T., Holliday, V., Kloser, R., Reid, D., Simard, Y., Brown, C.J., Chapman, R., Coggan, R., Kieser, R., Michaels, W.L., 2007. Acoustic seabed classification of marine physical and biological landscapes. International Council for the Exploration of the Sea.
- Blondel, P. 2010. The Handbook of Sidescan Sonar, 344 pp (Springer).
- 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* 26, 1237–1248. <https://doi.org/10.1002/esp.261>
- Bobertz, B., Harff, J., 2004. Sediment facies and hydrodynamic setting: a study in the south western Baltic Sea. *Ocean Dynamics* 54, 39–48. <https://doi.org/10.1007/s10236-003-0061-8>
- Bock G, Thiermann F, Rumohr H, Karez R (2003) Ausmaß der Steinfischerei an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste. Jahresbericht Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein 2003:111–116
- Boedeker, D., Krause, J.C., von Nordheim, H., 2006. Interpretation, identification and ecological assessment of the NATURA 2000 habitats “sandbank” and “reef,” in: von Nordheim, H., Boedeker, D., Krause, J.C. (Eds.), *Progress in Marine Conservation in Europe: NATURA 2000 Sites in German Offshore Waters*. (Springer) pp. 47–64. [https://doi.org/10.1007/3-540-33291-X\\_4](https://doi.org/10.1007/3-540-33291-X_4)
- Bressau, S., 1957. Abrasion, Transport und Sedimentation in der Beltsee. *Die Küste* 6 (1), 64 - 102.
- BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie), 2016. Anleitung zur kartierung des Meeresbodens mittels hochauflösender Sonare in den deutschen Meeresgebieten, Version 1.0. BSH Nr. 7201, 147 S.
- Bund/Länder-Messprogramm Meeresschutz (2012): Monitoring-Kennblatt FFH-LRT Riffe, Stand 2012-08-28
- Collier, J. S., Brown, C. J., 2005. Correlation of side scan backscatter with grain size distribution of surficial seabed sediments. *Marine Geology* 214, 431–449.
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), 2019. BSH WMS Seevermessung Meeresboden\_DGM.
- DIN EN 16260, 2012. Wasserbeschaffenheit - Visuelle Meeresbodenuntersuchungen mittels ferngesteuerter Geräte und/oder Schleppgeräten zur Erhebung von Umweltdaten; Deutsche Fassung EN 16260:2012
- Diesing, M., Schwarzer, K., 2006. Identification of submarine hard-bottom substrates in the German North Sea and Baltic Sea EEZ with high-resolution acoustic seafloor imaging, in: von Nordheim, H., Boedeker, D., Krause, J.C. (Eds.), *Progress in Marine Conservation in Europe: NATURA 2000 Sites in German Offshore Waters*. (Springer) pp. 111–125. [https://doi.org/10.1007/3-540-33291-X\\_7](https://doi.org/10.1007/3-540-33291-X_7)
- EU, 2007. Interpretation Manual of European Habitats, version EUR 27. European Commission, DG Environment, Nature and Biodiversity, 142 S.
- EU, 2008. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive). OJ L 164, 25.6.2008, 19–40.
- EU, 2013. Interpretation Manual of European Union Habitats, version EUR 28. European Commission, DG-ENV.
- FEHY, 2013a. Fehmarnbelt Fixed Link EIA. Marine Soil - Baseline. Seabed Morphology of the Fehmarnbelt Area. (Final Report No. E1TR0056-Vol 1). FEHY.
- FEHY, 2013b. Fehmarnbelt Fixed Link Marine Biology Services (FEMA). Marine Fauna and Flora – Baseline. Benthic Habitat Mapping of the Fehmarn belt Area, E2TR0020 – Volume III, 109 pp. Feldens,

- P., Schwarzer, K., Hübscher, C., Diesing, M., 2009. Genesis and sediment dynamics of a subaqueous dune field in Fehmarn Belt (south-western Baltic Sea). *Marburger Geographische Schriften* 145, 80 - 97.
- Feldens, P., Schwarzer, K., 2012. The Ancyclus Lake stage of the Baltic Sea in Fehmarn Belt: Indications of a new threshold? *Continental Shelf Research* 35, 43–52.  
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2011.12.007>
- Feldens, P., Diesing, M., Schwarzer, K., Heinrich, C., Schlenz, B., 2015. Occurrence of flow parallel and flow transverse bedforms in Fehmarn Belt (SW Baltic Sea) related to the local palaeomorphology. - *Geomorphology* 231, 53 - 62,  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.11.021>.
- Fennel, W., 1995. Wasserhaushalt und Strömungen. In: Rheinheimer, G. (Hrsg), *Meereskunde der Ostsee*, 56 - 67 (Springer).
- Folk, R.L., 1954. The Distinction between Grain Size and Mineral Composition in Sedimentary-Rock Nomenclature. *The Journal of Geology* 62, 344–359.  
<https://doi.org/10.1086/626171>
- Goff, J. A., Olson, H., Duncan, C., 2000. Correlation of side-scan backscatter intensity with grain-size distribution of shelf sediments, New Jersey margin. *Geo-Marine Letters*, 20, 43–49.
- Greene, H. G., Bizzarro, J.J., O’Connell, V.M., Brylinsky, C.K., 2007. Construction of Digital Potential Marine Benthic Habitat Maps using a Coded Classification Scheme and its Application. In: Todd, B.J., Greene, H.H. (Eds.), *Mapping the Seafloor for Habitat Characterisation*, Geol. Association of Canada, St. Johns, NL, 141 – 156.
- Greene, H.G., O’Connell, V., Brylinsky, C., Reynolds, J., 2008. Marine Benthic Habitat Classification: What’s Best for Alaska? In: Reynolds, J., Greene, H. (Eds.), *Marine Habitat Mapping Technology for Alaska*. Alaska Sea Grant, University of Alaska Fairbanks, 169–184,  
<https://doi.org/10.4027/mhmta.2008.12>
- Heinrich, C., Anders, S., Schwarzer, K., 2018. Late Pleistocene and early Holocene drainage events in the eastern Fehmarn Belt and Mecklenburg Bight, SW Baltic Sea. *Boreas*.  
<https://doi.org/10.1111/bor.12298>
- Hermansen, B., Jensen, J.B., 2000. Digital Sea Bottom Sediment Map around Denmark.
- Hlawatsch, S., Garbe-Schönberg, C.D., Lechtenberg, F., Manceau, A., Tamura, N., Kulik, D.A., Kersten, M., 2002. Trace metal fluxes to ferromanganese nodules from the western Baltic Sea as a record for long-term environmental changes. *Chemical Geology* 182, 697–709.  
[https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(01\)00346-1](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(01)00346-1)
- ICES. 2007. Acoustic seabed classification of marine physical and biological landscapes. ICES Cooperative Research Report No. 286, 183 pp.
- Jensen, J.B., Bennike, O., Witkowski, A., Lemke, W., Kuijpers, A., 1999. Early Holocene history of the southwestern Baltic Sea: the Ancyclus Lake stage. *Boreas* 28, 437–453.  
<https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1999.tb00233.x>
- Kampmeier, M. 2014. „Holocene development of the Sagasbank (Mecklenburg Bay) – based on hydroacoustic measurements and sediment core“. Msc-Arbeit (unveröff.), Kiel: Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften.
- Karez R, Schories D (2005) Die Steinfischerei und ihre Bedeutung für die Wiederansiedlung von *Fucus vesiculosus* in der Tiefe. *Rostocker Meeresbiologische Beiträge* 14:95–107.
- Kaufhold, H., 1985. Geologisch-Sedimentologische Untersuchungen an küstennahen Nord- und Ostseesedimenten - Vergleich unterschiedlicher Ablagerungsräume - Oberflächensedimente und ihre Vertikalstruktur (Dissertation). Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel.

- Kolp, O., 1965. Entwicklungsphasen des Ancyclus-Sees. Beiträge zur Meereskunde, Mecklenburger Bucht und Darsser Schwelle 1, 19–59.
- Kolp, O. 1966. Die Sedimente der westlichen und südlichen Ostsee und ihre Darstellung. Beiträge zur Meereskunde, 17–18, 9–60
- Kostecki, R., Janczak-Kostecka, B., Endler, M., Moros, M., 2015. The evolution of the Mecklenburg Bay environment in the Holocene in the light of multidisciplinary investigations of the sediment cores. Quaternary International, Palaeolandscapes from Saalian to Weichselian: INQUA TERPRO Commission, Peribaltic International Field Symposium, Lithuania 386, 226–238. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.007>
- Leipe, T., Tauber, F., Brüggemann, L., Irion, G., Hennings, U., 1998. Schwermetallverteilung in Oberflächensedimenten der westlichen Ostsee (Arkonabecken, Mecklenburger/Lübecker Bucht und Kieler Bucht). MEYNIANA 50, 137–154. <https://doi.org/10.2312/meyniana.1998.50.137>
- Leipe, T., Naumann, M., Tauber, F., Radtke, H., Friedland, R., Hiller, A., Arz, H.W., 2017. Regional distribution patterns of chemical parameters in surface sediments of the south-western Baltic Sea and their possible causes. Geo-Mar Lett 37, 593–606. <https://doi.org/10.1007/s00367-017-0514-6>
- Lemke, W., 1998. Sedimentation und paläogeographische Entwicklung im westlichen Ostseeraum (Mecklenburger Bucht bis Arkona Becken) vom Ende der Weichselvereisung bis zur Litorinatransgression. Marine Science Reports, 31.
- LLUR (Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein), 2007. Steckbriefe und Kartierhinweise für FFH-Lebensraumtypen, 1. Fassung, Mai 2007.
- LLUR (Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein), 2015: Erläuterungen zur Kartierung der gesetzlich geschützten Biotope in Schleswig-Holstein (nach § 30 BNatSchG i. V. m. § 21 LNatSchG), Stand April 2015.
- Lurton, Xavier. 2002. An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications. (Springer)
- Murray, A., Thiel, E.R., 2004. A new hypothesis and exploratory model for the formation of large-scale inner-shelf sediment sorting and "rippled scour depressions". - Continental Shelf Research, 24, 295 - 315
- Niedermeyer-Lange, R., Werner, F., 1988. Flachseismische und sonographische Aufnahmen im Küstenvorfeld der Hohwachter Bucht (westliche Ostsee) und ihre glazialgeologische Interpretation. - Senckenbergiana marit. 20 (1/2), 59 - 79.
- Novak, Bernhard, und Svante Björck. 2002. „Late Pleistocene–Early Holocene Fluvial Facies and Depositional Processes in the Fehmarn Belt, between Germany and Denmark, Revealed by High-Resolution Seismic and Lithofacies Analysis“. Sedimentology 49 (3): 451–65. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2002.00454.x>.
- Novak, B., und Svante Björck. 2004. „A Late Pleistocene Lacustrine Transgression in the Fehmarn Belt, Southwestern Baltic Sea“. International Journal of Earth Sciences 93 (4): 634–44. <http://dx.doi.org/10.1007/s00531-004-0429-0>.
- Reimers, H.-C., 2008. Sea Bottom Sediment Map of the Western Baltic, State Agency for Nature and Environment Schleswig-Holstein; based on Hermansen and Jensen, 2000. Digital Sea Bottom Sediment Map around Denmark and data of the Federal Maritime and Hydrographic Agency, Germany (BSH) and the Christian-Albrechts-University of Kiel; compiled by A. Sekinger (2002).
- Schwarzer, K., Reimers, H.-C., Störtenbecker, M., v. Waldow, K.-R., 1993. Das Küstenholozän in der westlichen Hohwachter Bucht. - Meyniana, 45, 131 - 144.
- Schwarzer, K., Ricklefs, K., Schumacher, W., Atzler, R., 1996. Beobachtungen zur Vorstranddynamik und zum Küstenschutz sowie zum Sturmereignis vom 3./4.11.1995 vor dem Streckelsberg/Usedom. - Meyniana, 48, 49 - 68.



- Schwarzer, K., Schrottke, K., Stoffers, P., Kohlhase, S., Fröhle, P., Fittschen, T., Mohr, K., Riemer, J., Weinhold, H., 1999. Einfluß von Steiluferabbrüchen an der Ostsee auf die Prozeßdynamik angrenzender Flachwasserbereiche. Abschlußbericht. Inst. f. Geowissenschaften der Univ. Kiel, Amt f. ländliche Räume Kiel, Landesamt für Natur u. Umwelt Schleswig-Holstein, Inst. f. Wasserbau der TU Rostock, 182 S. (unveröff.).
- Schwarzer, K., Krause, R., 2008. Untersuchungen zur Morpho- und Sedimentdynamik im Hinblick auf eine Küsten-sicherungs- und Hochwasserschutzmaßnahme im Bereich Timmendorfer Strand (Abschlussbericht). Institut f. Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Sedimentologie, AG Küsten- und Schelfgeologie, Kiel.
- Schwarzer, K., Themann, S., Krause, R., 2008. Zusammenstellung der marinen Lebensraumtypen nach FFH, Abschlussbericht. - Inst. f. Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Univ. zu Kiel, 34 S., Anhang, doi: [10.13140/2.1.3342.4164](https://doi.org/10.13140/2.1.3342.4164)
- Schwarzer, K., Feldens, P., 2010. Seitensichtsonar-Kartierung der Abrasionsplattform seewärts des Brodtener Ufers (Lübecker Bucht), Abschlussbericht. Inst. f. Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Univ. zu Kiel, 20 S. (unveröff.).
- Schwarzer, K., Heinrich, C., Feldens, P., 2014a. Identifizierung mariner Lebensraumtypen in der Kieler Bucht westlich Fehmarn (Abschlussbericht). Institut für Geowissenschaften Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Kiel.
- Schwarzer, K., Heinrich, C., Papenmeier, S., 2014b. Abschlussbericht - Identifikation mariner Lebensraumtypen in der Mecklenburger Bucht - (Kartierung der Sagasbank) (Abschlussbericht). Christian-Albrechts-Universität zu Kiel - Institut für Geowissenschaften, Kiel.
- Schwarzer, K., Heinrich, C., 2016. Lebensraumtypen V, Kartierung der Flensburger Förde. Abschlussbericht. - Inst. f. Geowissenschaften, Christian-Albrechts Univ. zu Kiel, 44 S. (unveröff.).
- Schwarzer, K., Heinrich, C., 2018. Identifizierung mariner Lebensraumtypen vor Schleimünde (Lebensraumtypen IV). Abschlussbericht. - Inst. f. Geowissenschaften, Christian-Albrechts Univ. zu Kiel, 36 S. (unveröff.).
- Seibold, E., Exon, N., Hartmann, M., Kögler, F.-C., Krumm, H., Lutze, G.F., Newton, R.S., Werner, F., 1971. Marine Geology of Kiel Bay, in: Müller, G. (Ed.), *Sedimentology of Parts of Central Europe : Guidebook to Excursions Held During the VIII International Sedimentological Congress 1971 in Heidelberg, Germany*. Kramer, Frankfurt a.M., pp. 209–235.
- v. Storch, H., Ohmstedt, A., 2008. Introduction and Summary, In: BACC Author Team. *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea*, 1 - 34 (Springer).
- Wentworth, C.K., 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology* 30, 377–392. <https://doi.org/10.1086/622910>
- Werner, F., 1964. Sedimentkerne aus den Rinnen der Kieler Bucht. *MEYNIANA* 14, 52–65. <https://doi.org/10.2312/meyniana.1964.14.52>
- Werner, F., 2000. New aspects of sand waves (Fehmarn belt, western Baltic) by using high resolution sonography. *Baltica*, 13, 85 - 87.
- Werner, F., Erlenkeuser, H., Grafenstein, U.v., McLean, S., Sarnthein, M., Schauer, U., Unsöld, G., Walger, E., Wittstock, R., 1987. Sedimentary records of benthic processes. In: Rumohr, J., Walger, E., Zeitschel, B. (eds.), *Seawater - Sediment Interactions in Coastal Waters*. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies, 13, 162 - 262.
- Winterhalter, B., Flodén, T., Ignatius, H., Axberg, S., Niemistö, L., 1981. Chapter 1 Geology of the Baltic Sea, in: Voipio, A. (Ed.), *Elsevier Oceanography Series, The Baltic Sea*. Elsevier, pp. 1–121. [https://doi.org/10.1016/S0422-9894\(08\)70138-7](https://doi.org/10.1016/S0422-9894(08)70138-7)
- Wunderlich, J., Müller, S., 2003. High resolution sub-bottom profiling using parametric acoustics. *International Ocean Systems* 7(4), 6–11.

# **Abschlussbericht**

## **Lebensraumtypen Ostsee Synthese**

**Institut für Geowissenschaften  
Christian-Albrechts-Universität, Kiel**



**Klaus Schwarzer & Giuliana Díaz Mendoza**  
**Kiel, Juli 2020**

# **Abschlussbericht**

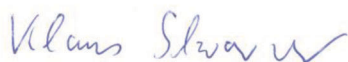
## **Lebensraumtypen Ostsee Synthese**

**Institut für Geowissenschaften  
Christian-Albrechts-Universität, Kiel**



**Klaus Schwarzer & Giuliana Díaz Mendoza**  
**Kiel, Juli 2020**

Dr. Klaus Schwarzer



---

MSc Giuliana Díaz Mendoza



---



# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung .....	1
1.1	Zielsetzung .....	2
2.	Arbeitsgebiet .....	3
2.1	Datengrundlage.....	5
2.2	Sedimente des Meeresbodens .....	9
2.3	Klassifikationsschemata für Habitate .....	10
2.4	Erfassung und Kartierung von Lebensraumtypen .....	13
3.	Methoden .....	15
4.	Ergebnisse .....	23
4.1	Morphologie des Meeresbodens; Geländeparameter unter Verwendung des Benthic Terrain Modeler (BTM) .....	23
4.2	SSS-Mosaik .....	32
4.3	Harmonisierung der Sedimentklassen .....	33
4.4	Vorkommen von Steinen und Blöcken.....	36
4.5	Zusammenstellung der Lebensraumtypen nach der FFH-Richtlinie.....	37
4.6	Klassifikation von Lebensräumen nach Greene et al (1995, 1999, 2005, 2007, 2008) dargestellt an einem Beispiel der Flensburger Förde .....	40
5.	Diskussion.....	45
5.1	Räumliche Merkmale der Sedimentverteilung in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee .....	45
5.2	Sandkörper.....	46
5.3	Verteilung der FFH - Lebensraumtypen im Bereich der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee .....	49
5.4	Der Vorteil der Anwendung der Greene-Ansatzes bei der Charakterisierung von Habitaten.....	52
6.	Zusammenfassung .....	54
7.	Literaturverzeichnis und Verzeichnis der Arbeitsgrundlagen .....	55

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Die im Rahmen der Lebensraumtypenkartierungen untersuchten Bereiche der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostseeküste. ....	6
Abbildung 2. Das in 22 Bereiche aufgeteilte Untersuchungsgebiet der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee .....	7
Abbildung 3. Verteilung der Oberflächensedimente in der südwestlichen Ostsee nach Hermansen und Jensen (2000), modifiziert nach Reimers (2008). ....	10
Abbildung 4. Kenntnisstand über die marinen FFH-Lebensraumtypen im Bereich der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee zu Beginn der Untersuchungsreihe „Marine Lebensraumtypen“ (Schwarzer et al., 2008) .....	14
Abbildung 5. Schema der für die Synthese durchgeführten Zusammenführung und Harmonisierung der Daten aus den Lebensraumtypenkartierungen, die zur Klassifizierung des Meeresbodens verwendet wurden .....	16
Abbildung 6. Einteilung der Sedimenttypen für klastische Sedimente, modifiziert nach Folk (1954).....	17
Abbildung 7. Diagramm, das die Unterschiede in der Größe von Merkmalen zwischen den Klassen in verschachtelten Hierarchien zeigt.....	20
Abbildung 8. Beispiel für den von Greene et al. (2007) vorgeschlagenen Code. ....	20
Abbildung 9. BPI-Werte für die schleswig-holsteinischen Ostseeküste. ....	24
Abbildung 10. Morphologisches Klassifikationsschema unter Verwendung von Geländemerkmale .....	25
Abbildung 11. Klassifikation der Hangneigungswerte.....	27
Abbildung 12. Hangneigungswerte (Grad) im Untersuchungsgebiet, berechnet in ArcGIS® auf der Basis von Bathymetriedaten mit einer Gitterzellengröße von 50 m.....	28
Abbildung 13. Klassifikation der Rauheitswerte.....	30
Abbildung 14. In ArcGIS® berechnete Rauheitswerte (Grad) des Untersuchungsgebietes .....	31
Abbildung 15. Zusammenstellung Seitensichtsonar-Mosaike für die schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee. ....	34
Abbildung 16. Die Sedimentverteilung in ausgewählten Bereichen der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee basierend auf der Klassifikation nach Folk (1954).....	35
Abbildung 17. Beispiel der Blockverteilung auf der Sagasbank. ....	37

Abbildung 18. Vorkommen von Sandbänken (FFH-Lebensraumtyp 1110), Sandflächen und Riffen (FFH-Lebensraumtyp 1170) in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee .....	39
Abbildung 19. Ergebnisse der Korngrößenanalyse für Sandakkumulationen an der Südflanke der Abrasionsplattform westlich Fehmarn .....	40
Abbildung 20.. Beispiel aus der Mecklenburger Bucht zur Erläuterung des Attributcodes nach Greene.....	41
Abbildung 21. Beispiel in der Flensburger Innenförde für die Klassifikation nach Greene .....	42
Abbildung 22. Seismische Profile von verschiedenen Sandkörpern im Untersuchungsgebiet. ....	48
Abbildung 23. Vorkommen der Lebensraumtypen Sandbank (1110) und Riff (1170) in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee. Die Abbildung zeigt den vergleich des aktuellen Kenntnisstandes (diese Synthese) mit dem Kenntnisstand von 2008.....	51
Abbildung 24. Beispiel für die Verwendung von Daten aus der GIS-Attributtabelle .....	53

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Daten aus den Projekten zur Kartierung von Lebensraumtypen (LRT) mit Finanzierung durch das LLUR, andere, durch das LLUR geförderte Projekte sowie weitere, am IfG vorhandene Quellen, aus denen Daten in den Bericht eingeflossen sind.....	8
Tabelle 2: Notwendige Kenntnisse für die Einstufung der Bearbeitungsstände von FFH-Lebensraumtypen-Gebieten .....	13
Tabelle 3: Geomorphologische Parameter .....	19
Tabelle 4: Schlüsselparameter zum Habitat-Code, die in der Klassifikation verwendet werden. ....	22
Tabelle 5: Beispiel für die Greene-Attributcode-GIS-Tabelle. ....	43
Tabelle 5: Verteilung der FFH-Lebensraumtypen Riff- und Sandbank in den einzelnen Untersuchungsgebieten der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee auf der Basis der durchgeführten FF-Lebensraumtypen-Kartierungen. ....	44

## **Anhang**

Anhang 1: Erläuterung der Attributtabelle des GIS-Projektes.

Anhang 2: Zusammenstellung von Seitensichtsonar-Mosaiken für die schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee.

Anhang 3: Sedimentverteilung in ausgewählten Bereichen der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee basierend auf der Klassifikation nach Folk (1954).

Anhang 4: Vorkommen von Sandbänken, Sandflächen und Riffen in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee auf der Grundlage von Informationen aus früheren FFH-LRT- Kartierungen.



## 1. Einleitung

Die Erkenntnis, dass intensive Nutzungen der küstennahen Gewässer oftmals starke Auswirkungen in diesen empfindlichen Lebensräumen hinterlassen, führte in der Vergangenheit zu mehr kontrollierendem Einfluss durch politische Gremien. Mit der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen), im Folgenden auch als FFH-Richtlinie bezeichnet) wurde 1992 ein grundlegendes Gesetz für den Erhalt von Lebensräumen verabschiedet. Bezüglich der Wasserkörper folgte 2000 die Verabschiedung der Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik), im Folgenden auch als WRRL bezeichnet, die ein mehrstufiges Bewertungssystem für die Gewässerqualität beinhaltet. Im Jahr 2008 folgte die ebenfalls für alle EU Mitgliedstaaten verbindliche Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/56/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt, im Folgenden als MSRL bezeichnet. Mit dieser EU-Richtlinie werden die einzelnen Mitgliedstaaten verpflichtet, den Umweltzustand ihrer Küsten-, Hoheits- und AWZ-Gewässer zu erfassen und anhand definierter Deskriptoren sowohl deren aktuellen Zustand als auch die Veränderungen zu beschreiben, zu monitoren und über Zustand und Veränderungen der EU in regelmäßigen Abständen zu berichten. Ziel dieser Maßgaben ist es, den Zustand der Lebensräume zu bewerten, um gegebenenfalls durch gezielte Maßnahmen den in den Direktiven formulierten "Good Environmental Status" (GES) wiederherzustellen bzw. zu erhalten.

Zur Entwicklung einer Strategie für das Management und die Überwachung von Meeresgebieten mit ihren Ressourcen ist es daher notwendig, diese Meeresumwelt in ihrem Bestand, ihrer Veränderlichkeit und in ihrem Wirkungsgefüge zu verstehen. Bei einem ökosystembasierten Management haben das Vorkommen und die Veränderlichkeit von Habitaten große Bedeutung (Cogan et al., 2009; Harris u. Baker, 2020). Kenntnisse darüber sollten daher bei der Entwicklung und Anwendung eines Klassifizierungssystems einbezogen werden (Gregg et al., 2012). Derzeit existieren mehrere marine Habitatklassifikationen, die entsprechend ihrer Anwendungsbereiche gestaltet sind (BioConsult, 2010; Strong et al., 2018). Um sich aber künftig einer gemeinsamen Sprache und Methodik bei der Klassifizierung mariner Lebensräume bedienen zu können, ist es erforderlich, eine Reihe messbarer Parameter zu identifizieren, über deren Werte Aussagen über den Lebensraum in Küstengewässern möglich sind und anhand derer die abiotischen Bedingungen des Meeresbodens charakterisiert werden können.

Eine solche Standardisierung trägt dazu bei, die Anforderungen, die für das Monitoring und die Berichterstattung nach EU-Rahmenrichtlinien, wie die FFH-Richtlinie, die Wasserrahmenrichtlinie oder der MSRL notwendig sind, besser zu erfüllen. Um alle für eine zusammenfassende Darstellung der Sedimente und Lebensraumtypen bisher erhobenen Daten zusammen zu stellen, zusammen zu führen und zu bewerten, ist eine Synthese all dieser Informationen mit kohärenten Kriterien in Form einer Harmonisierung erforderlich.

Diese Harmonisierung kann mittels eines Geographisches Informationssystems (GIS) und unter der Verwendung eines Attributcodes, wie er von Greene et al., (1995,1999, 2000, 2001,

2002, 2005, 2007, 2008) entwickelt und zur Anwendung für unterschiedliche marine Bereiche vorgeschlagen wird, erfolgen. Dieser auf geomorphologischen Kriterien basierter Klassifizierungscode ist mittlerweile international erprobt und wird zur Ausweisung von Habitaten verwendet (Harris u. Baker, 2012). Für die deutschen Küstengewässer, genauer gesagt für die schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee, ist eine solche Erfassung und Erprobung bisher nicht erfolgt.

### **1.1 Zielsetzung**

Von 2007 bis 2008 stellte die Arbeitsgruppe Küstengeologie und Sedimentologie des Institutes für Geowissenschaften (IfG) der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) zunächst aus unterschiedlichen Datenquellen Informationen über die Geomorphologie und die Sedimentologie der Küstengebiete von Nord- und Ostsee in einem GIS zusammen, deren Kriterien den Anforderungen für FFH (Fauna, Flora, Habitat)-Lebensraumtypen entsprachen. Hierbei galt es, vor allem die Bereiche zu identifizieren, für die noch keine ausreichenden Informationen vorlagen. Es wurde weiterhin ein sich über mehrere Jahre erstreckender Forschungsplan entwickelt, um potentielle FFH-Lebensraumtypen auf der Basis wissenschaftlicher Informationen zu identifizieren (Schwarzer et al., 2008). Im weiteren Verlauf wurden diese Gebiete im Auftrag und in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR) kartiert und weiterführend wissenschaftlich untersucht, um sie als marine Lebensraumtypen "Sandbank", "Riff" und auch „Flache Meeresarme und Buchten“ in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee zu erfassen und zu charakterisieren.

Im Laufe dieser mehr als zehn Jahre andauernden Datenerfassung und Datenauswertung wurden nicht nur die Messtechniken und die Interpretationsmöglichkeiten der Daten fortwährend verbessert, sondern von behördlicher Seite änderten sich auch die fachlichen Anforderungen aufgrund der fortschreitenden Ausgestaltung der FFH-Richtlinie. Zudem wurden Klassifizierungssysteme und Klassifizierungscodes entwickelt, um international einheitlich marine Habitate sowohl im zeitlichen als auch im räumlichen Kontext beschreiben und vergleichen zu können (Greene et al., 1995, 1999, 2005, 2007, 2008). Für die schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostseeküste führt es dazu, eine Harmonisierung der über diesen Zeitraum erhobenen, spezifischen Datensätze, mit denen die einzelnen Arbeitsgebiete (Abbildung 1) charakterisiert wurden, anzustreben. Die Synthese der bisher kartierten Meeresbodenbereiche zielt darauf ab, die vorhandenen Daten zu harmonisieren und eine umfassende, hierarchisch aufgebaute Habitatklassifikation auf der Grundlage beschreibender, abiotischer Parameter der Meeresumwelt zu entwickeln. Das Schema zielt nicht darauf ab, ein bestehendes Klassifikationsschema zu ersetzen, sondern es soll unter Adaption des Greene-Ansatzes Informationen bereitstellen, die in flexibler und vergleichbarer Weise in einer Vielzahl von Anwendungen und Verknüpfungen mit Habitatsystemen verwendet werden können, die in der Gesetzgebung verwendet werden (z.B. zur Beurteilung der Habitatverteilung gemäß den Vorgaben der FFH-Richtlinie und der MSRL).

Die Zielsetzung beinhaltet im Einzelnen das Zusammenführen bereits bestehender Seitensicht-Sonarmosaik (im weiteren Text als SSS-Mosaik bezeichnet), die Umsetzung und Zusammenführung von einfachen Substratverteilungskarten in eine zusammenfassende Sedimentverteilungskarte nach FOLK, das Zusammenführen von Informationen zur Darstellung der FFH-Lebensraumtypen Riffe und Sandbänke in einer Karte, die Darstellung relevanter

morphologischer Parameter und die Erarbeitung eines GIS-Templates (nur in digitaler Version) zur Attributierung von Parametern gemäß Greene et al. (1995, 1999, 2005, 2007, 2008). Eine Ergänzung des existierenden Datenbestandes mit den beschreibenden geomorphologischen Kriterien des „Greene Schlüssels“ ist besonders im Zusammenhang der Interoperabilität und Anwendung für verschiedene Richtlinien und Empfehlungen (WRRL, MSRL, FFH, HELCOM, OSPAR u.a.) hilfreich. Es lassen sich aber auch andere Fragestellungen, wie z.B. das Auffinden von Bereichen in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee, die bestimmten geomorphologischen Kriterien unterliegen, bedienen. Die Klassifizierung wird eine übersichtlichere und nachvollziehbare Übertragung in andere Klassifizierungssysteme wie z.B. EUNIS, MSRL Broadscale Habitat Types, HELCOM HUB, §30-Biotop etc. ermöglichen. Ebenso können die Ergebnisse für die Überwachung und Bewertung des Umweltzustandes von Meeresgewässern eingesetzt werden, wie es der Beschluss (EU) 2017/848 fordert.

Mit Schreiben vom 19.11.2018 beauftragte das LLUR die Arbeitsgruppe Küstengeologie und Sedimentologie des IfG der CAU folgende Untersuchungen durchzuführen:

- ✓ Eine Harmonisierung der bestehenden SSS-Mosaik. Je nach Bedarf wird eine Auflösung bis zu 0,25 m angestrebt;
- ✓ Eine Harmonisierung der Sedimentverteilungskarten nach FOLK;
- ✓ Eine Kartendarstellung mit relevanten Morphologie-Parametern, wie z.B. Wassertiefe, Hangneigung, Exposition etc.;
- ✓ Ein GIS-Template für die Attributierung nach Greene et al. (1995, 1999, 2005, 2007, 2008);
- ✓ Neu entwickelte Ergänzungen/Abstufungen des Greene-Schlüssels, mit dem u. a. §30-Biotop (BNatSchG) abbildbar sind;
- ✓ Ein Zusammenbringen der o.g. Daten und GIS-Produkte mit der Auswertung nach Greene et al. und einer anschließenden Diskussion über die räumliche Besonderheiten der Substratverteilung in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee;
- ✓ Abschlussbericht

## **2. Arbeitsgebiet**

Die schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee sind ein junges, flaches Meeresmilieu mit hoher Dynamik, die geprägt ist durch das Alternieren von Flach- und Steilküsten. Vor den Steilküsten sind weite Bereiche des Meeresbodens aus pleistozänen Ablagerungen, hauptsächlich aus glazialen Geschiebemergel, aufgebaut (Niedermeyer et al., 2011). Die Morphologie des Meeresbodens ist das Ergebnis verschiedener Erosions-, Umlagerungs- und Ablagerungsprozesse, die seit dem Ausklingen der Eiszeit und während des Holozäns mit dem Anstieg des Meeresspiegels stattfanden (Björck, 2008; Harff u. Meyer, 2011; Niedermeyer et al., 2011). Dieser Meeresboden ist hinsichtlich seiner geologischen und sedimentologischen Ausbildung äußerst variabel (Seibold et al., 1971; Rumohr et al., 1987; Tauber, 2014), was sich z.B. durch das abwechselnde Vorkommen von Sand- und Kiesflächen, aber durch das Vorkommen von Steinen und großen Blöcken auszeichnet. Überwiegen im küstennahen Bereich vor allem vor den Steilufeln die groben Sedimente auf sich teilweise weit seewärts erstreckenden Abrasionsplattformen, so findet man vor den Flachküsten und an den Flanken von Abrasionsflächen primär sandige Ablagerungen. Im Küstenbereich überdecken

diese Sande häufig brackisch/limnische organogene Ablagerungen (Torfe und Mudden). Letztere streichen häufig direkt am Meeresboden aus, was auf zurückweichende Küsten hinweist. Die holozäne Sedimentdecke weist sehr unterschiedliche Mächtigkeiten auf und reicht von 0 m auf den Abrasionsflächen bis zu mehreren Metern an den Flanken von Abrasionsflächen, vor Niederungen und in den tieferen Meeresbereichen. All diese Erosions-, Umlagerungs- und Ablagerungsprozesse dauern bis heute, je nach Küstenexposition, mit unterschiedlicher Intensität an und beeinflussen die Ausbildung und Verteilung der benthischen Lebensräume.

Generell wird das Sediment seewärts mit zunehmender Wassertiefe feiner bis es in den tieferen Becken und in den Rinnen zu Ablagerung von Schlick kommt (Ruck, 1952; Seibold et al., 1971; Hermansen u. Jensen, 2000; Niedermeyer et al., 2011), ein Sediment, das überwiegend aus Silt zusammen mit wenigen Gew-% organischer Substanz besteht. Von dieser Kopplung zwischen morphologischen und sedimentologischen Gradienten gibt es aber gerade in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee auch Abweichungen dahingehend, dass Kies, Steine und Blöcke gemeinsam mit feinkörnigen Sedimenten vorkommen (Bressau, 1957, Schwarzer u. Heinrich, 2016). Dies ist der geologischen Entwicklung und den noch nicht abgeschlossenen Gleichgewichtseinstellungen geschuldet (Niedermeyer et al., 2011). Insgesamt ist die sedimentologische Zusammensetzung des Meeresbodens sehr heterogen, mit Korngrößen, die von Ton bis hin zu Blöcken mit Durchmesser  $> 1$  m reichen. Sie kann zudem kleinräumig äußerst variabel sein. Diese Heterogenität im geologischen Aufbau und der Sedimentverteilung spiegelt sich auch in der komplexen räumlichen Verteilung der benthischen Lebensräume wieder. Das Untersuchungsgebiet umfasst in der Regel Wassertiefen von -5 m bis -36 m NHN (Normal Höhen Null) (Abbildung 1). Es erstreckt sich von der Flensburger Förde, über die Kieler Bucht, die Gewässer rund um Fehmarn, bis in die westliche Mecklenburger Bucht und die Lübecker Bucht als der südwestlichste Bereich der Ostsee.

Die innere **Flensburger Förde** erstreckt sich in Südwest-Nordost-Richtung über etwa 15 km Länge (Abbildung 1). Sie ist gegen Winde aus fast allen Richtungen geschützt. Die ca. 30 km lange Außenförde ist hingegen Ost-West ausgerichtet und nach Osten geöffnet, wodurch sie gegenüber der Innenförde einer höheren Energieeinwirkung ausgesetzt ist. Die Geltinger Bucht liegt im östlichen Teil der Flensburger Außenförde. Sie umfasst ein ausgedehntes Becken mit Wassertiefen zwischen -20 m bis -23 m NHN, das im Süden mit einem steilen Anstieg in eine plattformartige, unebene Fläche übergeht. Sie reicht bis in den küstennahen Flachwasserbereich (Schwarzer u. Heinrich, 2016).

Der zur **Kieler Bucht** gehörende Küstenabschnitt zwischen dem Kalkgrund am Ausgang der Flensburger Förde und Boknis Eck am Ausgang der Eckernförder Bucht ist nach Osten exponiert und umfasst das Gebiet von Schleimünde und Schönhagen (Abbildung 1). Dieses Gebiet wird durch mehrere küstennahe Abrasionsplattformen charakterisiert. Durch ihre unmittelbare Exposition nach Osten sind diese Bereiche einem langen Fetch (Windwirklänge) und einer hohen Energiebelastung durch Wellen mit einer Höhe bis zu 5,5 m bei Sturm aus nordöstlicher Richtung ausgesetzt (Dette u. Stephan, 1979; Schwarzer et al., 2014a). Im südwestlichen Teil der Kieler Bucht gibt es mit dem Mittelgrund (äußere Eckernförder Bucht), dem Stoller Grund, dem Platengrund und auch dem Grasberg in der Kieler Aussenförde aufragende Plattformen, die aus pleistozänem Moränenmaterial aufgebaut sind. Die Sedimentoberfläche auf den Plattformen besteht häufig aus Restsedimenten, wie groben Sanden, Kiesen und Steinen; die Flanken werden eher von Sanden gebildet (Werner, 1967; Werner et al., 1976; Mosch, 2008). Entlang der Küsten wechseln sich Niederungsgebiete mit Steilufern ab. Ist in der Probstei, die



sich entlang der östlichen Kieler Aussenförde erstreckt, noch der Ostwind, der einen Sedimenttransport nach Westen initiiert, prägend, so sind es bei Heiligenhafen und entlang der Westküste Fehmarns die Westwinde (Pansegrau, 2008; Niedermeyer et al., 2011; Schwarzer et al., 2014a). Der Sedimenttransport in der Hohwachter Bucht am Südrand der Kieler Bucht wird sowohl durch West- als auch durch Ostwinde dominiert.

Die Abrasionsplattform westlich von **Fehmarn** ist breit und wird im nördlichen Bereich teilweise von einem Rippelfeld bedeckt (Feldens, 2008; Feldens et al., 2009; Feldens et al., 2015). Im Osten und Süden Fehmarns befinden sich Abrasionsplattformen (Schwarzer u. Unverricht, 2020), die schon dem westlichen Teil der **Mecklenburger Bucht** zugerechnet werden. Weiter nach Süden schließt sich die Sagasbank vor der bis nach Dahmeshöved Nord-Süd ausgerichteten Küste an. Analog zur westlichen Kieler Bucht führen Winde aus östlichen Richtungen hier zu hohen Energieeinträgen, deren Auswirkungen noch in -20 m NHN beobachtet werden können (Schwarzer et al., 2015).

In der **Lübecker Bucht** erstreckt sich in Verlängerung des Brodtener Ufers in nordöstliche Richtung die Abrasionsplattform des Steingriffs über 8,5 km vor der Küste (Abbildung 1) und erreicht Tiefen bis zu -15 m NHN (Seifert, 1952). Diese Plattform ist von unregelmäßig verteilten Steinen, aber auch von länglichen SW-NO ausgerichteten Sandbändern bedeckt, die hauptsächlich aus Mittelsand bestehen (Schwarzer u. Feldens, 2010).

## 2.1 Datengrundlage

Das schleswig-holsteinische Küstengewässers der Ostsee wurde auf der Basis seiner geomorphologischen Ausbildung und der in einzelnen Bereichen durchgeführten Untersuchungen in 22 Gebiete aufgeteilt (Abbildung 2). Die im Rahmen der Untersuchungsreihe „Lebensraumtypenkartierungen“ bearbeiteten Gebiete, die die wesentliche Grundlage für diesen Bericht darstellen, sind in der Abbildung 1 farblich markiert und mit Großbuchstaben versehen. Die Untersuchungen vor Dahmeshöved (LRT VIII, Gebiet F in Abbildung 1) sind noch nicht abgeschlossen. Weitere Gebiete, in denen im Auftrag und gemeinsam mit dem LLUR Untersuchungen durchgeführt wurden, sind in Abbildung 2 dargestellt. Eine weitere Datenquelle sind CAU-eigene Untersuchungen und auch Untersuchungen anderer Einrichtungen mit anderen wissenschaftlichen Fragestellungen, sowie an der CAU durchgeführte wissenschaftliche Qualifizierungsarbeiten. Allen Untersuchungen ist gemeinsam, dass im Gelände weitestgehend die gleichen Methoden zur Datenerhebung angewendet wurden. Der Informationsstand über die geologisch/sedimentologischen Rahmenbedingungen ist für die einzelnen Gebiete unterschiedlich, da er aus Arbeiten resultiert, denen unterschiedliche Fragestellungen zu Grunde lagen (s. Tabelle 1). Gleiche Datengrundlage bedeutet nicht automatisch die Anwendung eines identischen Algorithmusses bei der Auswertung, denn Daten können, je nach Fragestellung, mit unterschiedlicher Auflösung prozessiert werden, und Probenmaterial kann verschiedene Untersuchungsschritte durchlaufen. Häufig standen Untersuchungen zum Küstenschutz im Vordergrund, wie etwa vor der Geltinger Birk, an der Küste der Probstei, vor der Markelsdorfer Huk bei Fehmarn oder in der inneren Lübecker Bucht vor Timmendorfer Strand. Viele dieser Daten, wenn sie älteren Ursprungs sind, liegen ausschliesslich in analoger Form vor. Die Karten und Daten, die im Rahmen dieses Berichtes für die Zusammenstellung eingesehen und ausgewertet wurden, sind in Tabelle 1 aufgelistet.

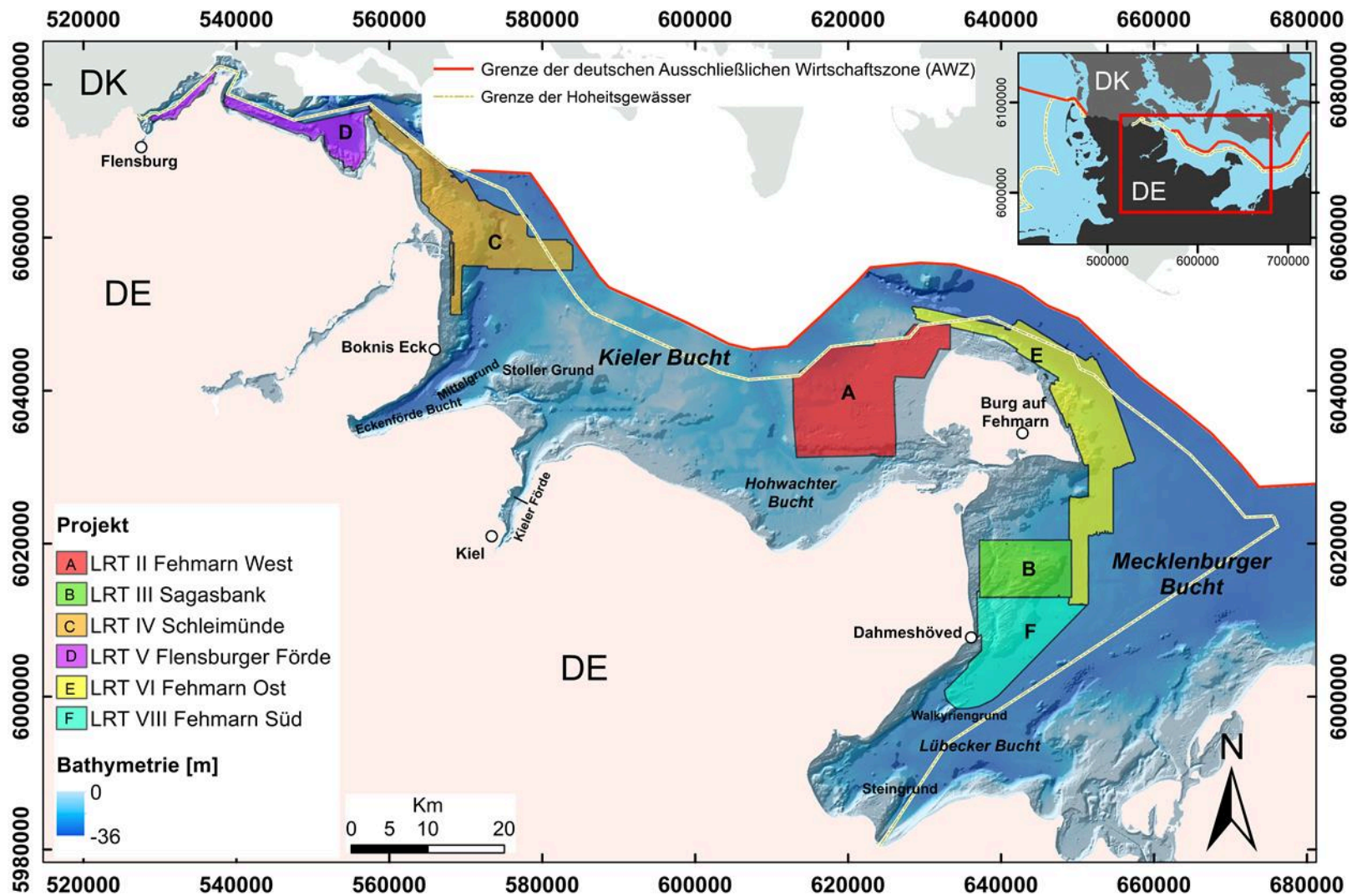


Abbildung 1: Die im Rahmen der Lebensraumtypenkartierungen untersuchten Bereiche der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee Bathymetrie: GeoSeaPortal URL <https://www.geoseaportal.de/mapapps/resources/apps/bathymetrie/index.html?lang=de> (accessed 27.5.2019).

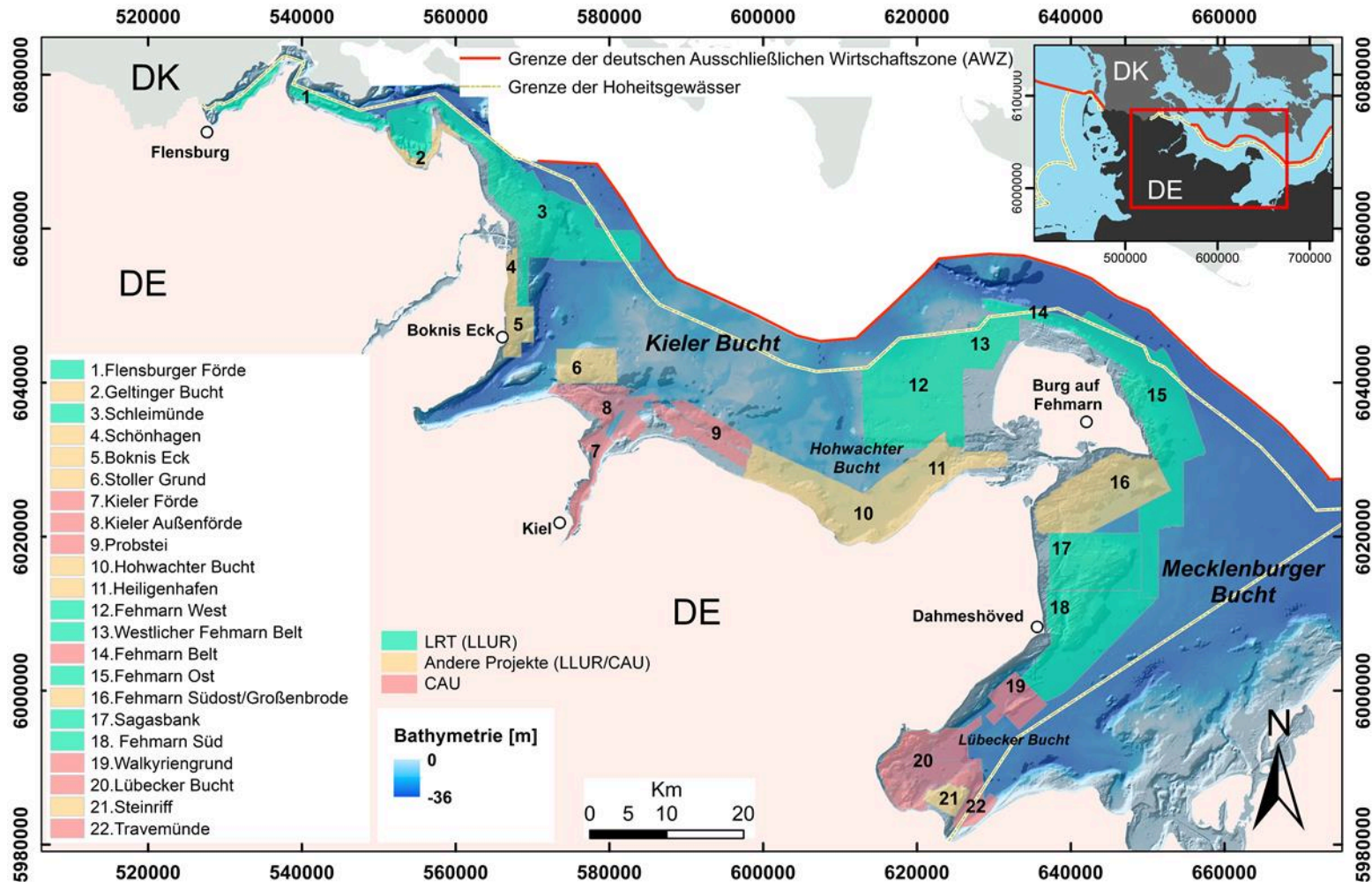


Abbildung 2: Das in 22 Bereiche aufgeteilte Untersuchungsgebiet der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee. Dargestellt sind die Gebiete, in denen unterschiedlichste Untersuchungen durchgeführt wurden und deren Daten für die Synthese benutzt wurden. Bathymetrie: GeoSeaPortal URL <https://www.geoseaportal.de/mapapps/resources/apps/bathymetrie/index.html?lang=de> (accessed 27.5.2019).

Tabelle 1: Datenquellen; (\*) Daten aus den Projekten zur Kartierung von Lebensraumtypen (LRT) mit Finanzierung durch das LLUR, (+) andere, durch das LLUR geförderte Projekte sowie (°) weitere, am IfG vorhandene Quellen, aus denen Daten in den Bericht eingeflossen sind.

	<b>Region</b>	<b>Projekt/Art</b>	<b>Referenz</b>
1	Flensburger Förde*	LRT V, Kartierung der Flensburger Förde	Schwarzer u. Heinrich, 2016
2	Geltinger Bucht**	GeoHab – BALDESH/Data	Schwarzer u. Heinrich, 2016 Schwarzer u. von Rönn, 2020
3	Schleimünde*	LRT IV /Schleimünde	Schwarzer u. Heinrich, 2017
4	Schönhagen+	GeoHab – BALDESH	Schwarzer u. v. Rönn, 2020
5	Boknis Eck+°	Regeneration subaquatischer Steinfelder in der westlichen Ostsee; Diplomarbeit May	Schwarzer u. Bohling, 2008  May, 2008;
6	Stollergrund+°	Regeneration subaquatischer Steinfelder in der westlichen Ostsee; Diplomarbeit Mosch	Schwarzer u. Bohling, 2008  Mosch, 2008,
7	Kieler Förde°	Diplomarbeit	Themann, 2002
8	Kieler Außenförde°	Sediment Klassifikation (JEDI)	Schwarzer u. Themann,2009
9	Probstei°	Kurzkartierung Pansegrau Kurzkartierung Heinrich	Pansegrau, 2008 Heinrich, 2008
10	Hohwachter Bucht+°	GeoHab – BALDESH/Data	Schwarzer u. v. Rönn, 2020, v.Rönn et al., 2019
11	Heiligenhafen°	GeoHab – BALDESH/Data	Schwarzer u. v. Rönn, 2020
12	Fehmarn West*	LRT II- Identifizierung mariner Lebensraumtypen in der Kieler Bucht westlich Fehmarn Diplomkartierung König	Schwarzer, et al., 2014b;  König, 2010
13	Westlicher Fehmarn Belt+°	LRT II - Identifizierung mariner Lebensraumtypen in der Kieler Bucht westlich Fehmarn Diplomkartierung Szczygielski	Schwarzer et al., 2014b,  Szczygielski, 2010;
14	Fehmarn Belt°	Diplomarbeit	Feldens, 2008
15	Fehmarn Ost*	LRT VI: Fehmarn Ost	Schwarzer u. Unverricht, 2020a
16	Fehmarn Südost/ Großenbrode*°	GeoHab – BALDESH BSc-Arbeit	Schwarzer u. von Rönn, 2020. Steinfeld, 2017;
17	Sagasbank+°	LRT III: Identifikation mariner Lebensraumtypen in der Mecklenburger Bucht (Kartierung der Sagasbank), MSc-Arbeit Kampmeier	Schwarzer et al., 2014c  Kampmeier, 2014
18	Fehmarn Süd / Dahmeshöved*	LTR VIII	Schwarzer u. Unverricht, 2020b
19	Walkyrengrund°	Lehre	Measuring Techniques in Shallow Water (AL-443)
20	Lübecker Bucht°	Hochwasserschutz Timmendorfer Strand	Schwarzer et al., 2008;
		Kurzkartierungen	Langenbacher,2007; Riethdorf, 2007; Rohde, 2007.
		Diplomarbeit Harders	Harders, 2004
		Diplomarbeit Dehde	Dehde, 2000
21	Lübecker Bucht, Steinriff+	RADOST (Regional Adaption Strategies for the German Baltic Sea Coast)	Schwarzer u. Feldens, 2010
22	Travemünde°	Kurzkartierungen	Jesußek, 2008; Strutz, 2008



## 2.2 Sedimente des Meeresbodens

Die granulometrische Zusammensetzung der Oberflächensedimente und deren flächenhafte Verteilung wurden für die südwestliche Ostsee bereits mehrfach beschrieben und in Karten dargestellt (Seibold et al., 1971; Rumohr et al., 1987; Hermansen u. Jensen, 2000; Tauber, 2014; (Abbildung 3). Die am häufigsten vorkommenden faziellen Ausprägungen sind hier noch einmal kurz erläutert.

**Restsedimente** bilden häufig eine gering mächtige, aber mobile Deckschicht aus Lockermaterial über anstehendem Geschiebemergel. Sie bestehen aus Grobsand, Kies und Steinen. Ihre Verbreitung beschränkt sich größtenteils auf die küstennahen Abrasionsplattformen und submarine Schwellen und Hochlagen; sie können aber auch an den Flanken von Abrasionsflächen vorkommen. 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 und werden durch diesen Prozess fortwährend angereichert. Eine solche Restsedimentdecke kann in den flachen Küstengebieten bis zu mehrere Dezimeter mächtig werden (Schwarzer et al., 1989). Im Bereich der lichtdurchfluteten Zone (Photische Zone) bilden zurückbleibende Steine auf diesen Flächen häufig ein gutes Substrat für benthische Organismen.

**Mischsedimente** bestehen aus Sand- und Kies, enthalten aber auch Feinsedimente (Ton und Schluff). Ihre heterogene Korngrößenzusammensetzung ist häufig auf variierende Strömungsbedingungen zurückzuführen, wie sie z. B. entlang von Rinnen wie dem Fehmarnbelt auftreten (Seibold et al., 1971; Werner et al., 1974). Dabei lagert sich Schwebfracht aus Feinsediment bei geringen Strömungsverhältnissen auf und zwischen dem Grobsediment ab und kann durch Bioturbation in den Sedimentkörper eingearbeitet werden (Seibold et al., 1971).

**Mittel- und Feinsande** sind in der Ostsee häufig anzutreffen. Sie wurden im Zuge des Meeresspiegelanstieges nach der letzten Eiszeit aus dem Küstenrückgang und der Aufarbeitung des Meeresboden eingetragen. Sie sind gut sortiert und entlang der Ränder von submarinen Erosionsgebieten zu finden (Seibold et al., 1971; Niedermeyer-Lange und Werner, 1988; Schwarzer u. Krause, 2008). Ihre Mächtigkeit liegt meist unterhalb 2 m (Seibold et al., 1971), kann jedoch in speziellen Gebieten wie z.B. an den Flanken des Steinriffs vor dem Brodtener Ufer (Schwarzer u. Krause, 2008) auf mehrere Meter ansteigen. Sande in gut sortierter Ausbildung sind in der Regel auch den Flachküsten als sogenannte Sandriffe vogelagert (Schwarzer, 1989).

**Schlick** ist ein Sediment aus feinkörnigem Material. Er kommt in der Regel unterhalb der Wellenbasis vor. Im Bereich der Ostsee können diese Sedimente bis zu 9% Trockensubstanz an organischem Material enthalten (Niedermeyer et al., 2011). Der klastische Anteil besteht vorwiegend aus Schluff und kann tonige und sandige Beimengungen enthalten. Gelegentlich werden diese Sedimente auch als „Beckensedimente“ bezeichnet. Tiefe Rinnenbereiche werden häufig von Übergangstypen wie sandigem Schlick bzw. schlickigem Sand umrandet. Die von Reimers et al. (2008) modifizierte Karte von Hermansen und Jensen (2000) gibt für einige Bereiche ein detaillierteres Bild über die Verteilung und die Zusammensetzung der Oberflä-

chensedimente als die Ursprungskarte (Abbildung 3). Die am häufigsten vorkommenden Sedimente in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee sind Restsedimente, Mischsedimente, Sand, sandiger Schlick und Schlick (Abbildung 3).

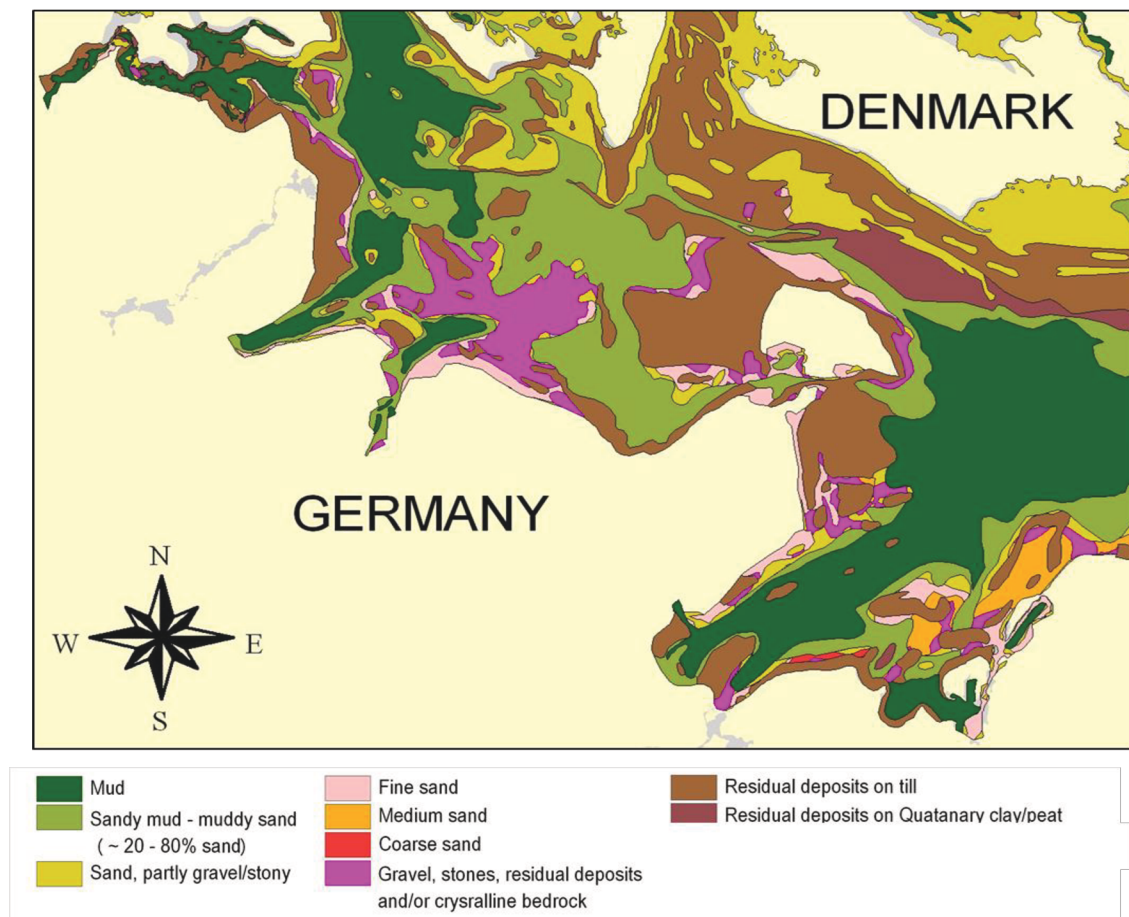


Abbildung 3: Verteilung der Oberflächensedimente in der südwestlichen Ostsee nach Hermansen and Jensen (2000), modifiziert nach Reimers (2008).

### 2.3 Klassifikationsschemata für Habitate

Die EU-Mitgliedstaaten müssen gemäß MSRL gewährleisten, dass es keine signifikanten Risiken für die Meeresökosysteme bei der legitimen Nutzung des Meeres gibt. Im Rahmen der verschiedenen Rechtsvorschriften, die für die Klassifizierung von Lebensraumtypen in Europa relevant sind, sind Anforderungen definiert, die durch EU Richtlinien, wie die FFH-Richtlinie, die Wasserrahmenrichtlinie und die MSRL festgelegt werden. Daneben zielen z. B. OSPAR (Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks) und HELCOM (Ostsee-Kommission zum Schutz der Meeresumwelt - Helsinki-Kommission) ebenfalls auf den Schutz der Lebensräume und der Biodiversität ab. Sie haben zusätzliche, sowohl fachliche als auch gewässerspezifische Anforderungen an die zu verwendenden Klassifizierungen.

Für die Klassifizierungen von Lebensräumen sind verschiedene Ansätze vorgeschrieben, um die spezifischen Anforderungen der einzelnen Richtlinien zu erfüllen. Der Anhang I der FFH-Richtlinie, die EUNIS (European Nature Information System) -Habitatklassifikation und die HELCOM-Klassifikation für Unterwasserbiotope (HELCOM HUB) sind breit angelegte Klassifizierungen, die auch für die Ostsee Anwendung finden. Die für die MSRL vorgegebene EUNIS-Klassifikation ist eine wissenschaftlich basierte, auf biotischen und abiotischen Parametern

aufgebaute, breit- und hierarchisch angelegte Klassifikation mit verschiedenen Detailebenen (Davies et al., 2004). Ziel ist eine möglichst überregionale und vergleichende Anwendung. Wesentliches Kriterium zur Unterscheidung der Habitats ist das Substrat, aber Wassertiefe, Salinität, Exposition und Besiedlung spielen ebenfalls eine Rolle (Bio-Consult, 2010).

Die HELCOM-Klassifikation für Unterwasserbiotope (HELCOM HUB; HELCOM, 2013) wurde geschaffen, um mit EUNIS kompatibel zu sein. Sie bietet eine Struktur für die Definition von Biotopen für die gesamte Ostsee. Die Klassen sind hierarchisch aufgebaut und nach dem Substrattyp und den Tiefenzonen (hydrolittoral, sublittoral-photisch und sublittoral-aphotisch) differenziert. Schiele et al. (2015) zeigen eine Anwendung für den deutschen Ostseebereich.

Die FFH-Richtlinie legt einen gemeinsamen Rahmen für die Erhaltung der natürlichen Lebensräume und der wildlebenden Tier- und Pflanzenarten der Gemeinschaft fest (Natura 2000 - Netzwerk). Nachfolgend stammen die Definitionen der Lebensraumtypen aus dem Interpretation Manual of European Union Habitats (2007, 2013) und den Kartierhinweise des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) (Boedeker et al., 2006) bzw. aus den Steckbriefen und den Kartierhinweisen für FFH Lebensraumtypen des LLUR (LANU, 2007), dem Monitoring-Kennblatt FFH-LRT Riffe (Stand 2012-08-28), den Erläuterungen zur Kartierung der gesetzlich geschützten Biotope in Schleswig-Holstein (LLUR, 2015) und der Landesverordnung über gesetzlich geschützte Biotope (BiotopV SH 2019 (GVOBI.2019 146)).

## **Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-Richtlinie und der Meeresstrategie Rahmenrichtlinie**

Im Rahmen langjähriger Kartierarbeiten sind ein Großteil der in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee vorkommenden Lebensraumtypen gemäß der FFH – Richtlinie bereits identifiziert und kartiert worden (Schwarzer et al., 2008; Schwarzer u. Feldens, 2011; Schwarzer et al., 2014b,c; Schwarzer u. Heinrich, 2016; Schwarzer u. Heinrich, 2017; Schwarzer u. Unverricht, 2020a, s. Tabelle 1). Dabei sind die Habitats "Sandbänke" (NATURA 2000-Code: 1110), "Riffe" (NATURA 2000-Code: 1170) und "Meeresarme und Buchten" (NATURA 2000-Code: 1160) erfasst worden. Nachfolgend sind die Definitionen und die Kartierungshinweise für diese Lebensraumtypen angefügt.

### **Sandbänke (NATURA 2000-Code: 1110)**

Sandbänke sind Erhebungen des Meeresgrundes insbesondere im oberen Sublittoral, die bis dicht unter die Meeresoberfläche reichen können, aber bei MTNW noch nicht freifallen. Sie sind vegetationsfrei oder haben eine spärliche Makrophytenvegetation.

#### ***Kartierungshinweise:***

*Der Lebensraumtyp Sandbänke stellt Erhebungen des Meeresgrundes dar und ist auf das Sublittoral beschränkt. Dieser reicht in der Nordsee durchschnittlich in größere Tiefen als in der Ostsee. Für die Abgrenzung ist weiterhin das Vorkommen von Sanden (Fein- bis Grobsand) ausschlaggebend. In der Regel unterliegen die Sandbänke einer gewissen Umlagedynamik. Sie können sowohl vollständig aus Sanden bestehen oder als mehr oder weniger mächtige Ablagerungen auf submarinen Geschiebemergelrücken oder anderen Hartsubstraten auftreten. Bei Letzteren können die Übergänge zu Riffen (EU-Code 1170) fließend sein und teilweise besonders in der Ostsee eine enge Verzahnung aufweisen. Eine Zuordnung zur Sandbank erfordert eine flächenhafte Dominanz der Sande mit einer Mindestmächtigkeit von 40 cm, um den typischen Sandbodengemeinschaften einen Lebensraum zu bieten.*

*Einzelne erratische Blöcke können die Oberfläche durchragen. Die Grenze zu den Wattflächen der Nordsee wird durch die mittlere Tide-Niedrigwasserlinie (MTNW) gebildet. Die Abgrenzung kann anhand der Wassertiefenangaben erfolgen. Beispiele für submarine Sandbänke sind die Oderbank (Ostsee) oder die Doggerbank (Nordsee (LANU, 2007)).*

### **Riffe (NATURA 2000-Code: 1170)**

Vom Meeresboden aufragende mineralische oder biogene Hartsubstrate des Eu- und Sublitorals, häufig von Großalgen und Muscheln bewachsen, v.a. in der Ostsee auch mit höheren Pflanzen. Eingeschlossen sind sowohl Felswatten, Riffe entlang der Felsküsten (litoral reefs) als auch im offenen Meer aufragende Riffe (offshore reefs).

#### **Kartierungshinweise:**

*Zu den Riffen zählen dauerhaft überflutete oder bei Niedrigwasser herausragende Erhebungen aus Hartsubstraten, wie Felsen, Felswatt, Geschiebe und biogene Bildungen (z.B. Miesmuschelbänke auf Moränen und Sandkorallen- (Sabellaria)-Riffe), aber auch anstehender Geschiebemergel als submarine, schwellenartige Moränenrücken. Auf Grund der spezifischen glazialen und postglazialen Entwicklung von Nord- und Ostsee treten hier vielfach enge Verzahnungen mit dem Lebensraumtyp 1110 (Sandbank) auf. Geschiebereiche Erhebungen mit Mischsubstraten (z.B. Geschiebe, Mergel, Sande, Schlick) werden zu diesem Typ gestellt, wenn das Hartsubstrat dominiert (LLUR, 2007).*

Zusätzlich wurden folgende Erläuterungen aus dem Monitoring-Kennblatt FFH-LRT Riffe (Bund/Länder Messprogramm Meeresschutz, 2012) berücksichtigt:

#### **Erläuterungen:**

- "Hartsubstrat": Felsen (einschließlich weiches Gestein wie Kreidefelsen), Fels- und Steinbrocken (in der Regel > 64 mm Durchmesser).
- "Biogene Verwachsungen": Verwachsungen, Verkrustungen, Korallenformationen und Muschelbankformationen aus toten oder lebenden Tieren, d. h. biogene Hartsubstrate, die Lebensräume für epibiotische Arten bieten.
- "Geogener Ursprung": aus nicht biogenen Substraten entstandene Riffe.
- "Vom Meeresboden aufragend": Das Riff unterscheidet sich topografisch vom umliegenden Meeresboden.
- "sublitorale und litorale Zone": Die Riffe können sich aus der sublitoralen Zone ohne Unterbrechung in die (litorale) Tidenzone erstrecken oder nur in der sublitoralen Zone vorkommen, die auch Tiefseegebiete wie das Bathyal umfasst.
- Hartsubstrate, die von einer dünnen und beweglichen Sedimentschicht bedeckt sind, werden als Riffe klassifiziert, wenn die darauf lebenden Biota zum Leben eher das Hartsubstrat als die darüber liegenden Sedimentschichten benötigen.
- Soweit eine ununterbrochene Besiedlung durch sublitorale und litorale Gemeinschaften existiert, sollte die Unversehrtheit der ökologischen Einheit bei der Auswahl der Schutzgebiete berücksichtigt werden.
- Unter diese Lebensraumkategorie fallen auch diverse subtidale topografische Elemente wie Hydrothermalquellen-Habitats, Unterwasservulkane (Seamounts), vertikale Felswände, horizontale Abhänge, Überhänge, Felsspitzen, Wasserrinnen, Felskämme, abfallende oder flache Felsen, Fels und Stein- sowie Kieselfelder.

### **Meeresarme und Buchten (NATURA 2000-Code: 1160)**

Flache große Meeresarme und -buchten mit ihren Flachwasserzonen, insbesondere zwischen den Inselketten der Nordsee und dem Festland (soweit nicht Wattflächen), einschließlich Boden und Haffs der Ostsee (soweit nicht den Ästuaren oder Lagunen zuzurechnen); je nach Gebiet unterschiedliche Substrate (Hart-/Weichsubstrate), vegetationsfrei oder mit Seegrasswiesen.



### **Kartierungshinweise:**

Flachwasserzonen des Meeres in Küstennähe, d.h. mit ständiger Wasserbedeckung und in denen durchlichtete Flachwasserzonen dominieren. Die landseitige Grenze wird in der Ostsee durch die Mittelwasserlinie gebildet. Die Abgrenzung zu den Wattflächen der Nordsee erfolgt auf der Grundlage der Linie des mittleren Tide-Niedrigwassers. Innerhalb des Lebensraumtyps liegende Vorkommen von Lebensraumtyp 1110 (Sandbank), 1140 (Watt), 1170 (Riffe) werden ausgegrenzt und dem jeweiligen Typ zugeordnet. Buchten mit einem fjordartigen Charakter die Flachwasserbereiche aufweisen, werden vollständig diesem Typ zugeordnet. Eingedeichte Flächen zählen nicht zu diesem Lebensraumtyp. Im Gegensatz zu Lagunen (1150) besteht ein ständiger Wasseraustausch mit dem offenen Meer, und von Ästuaren (1130) unterscheiden sie sich durch das Fehlen eines deutlichen Süßwasserdurchstroms.

## **2.4 Erfassung und Kartierung von Lebensraumtypen**

Zu Beginn der Untersuchungsreihe „Marine Lebensraumtypen“ im Jahr 2008, die primär der Erarbeitung geologisch/sedimentologischer Grundlagen zur Ausweisung der FFH-Lebensraumtypen Sandbank, Riff und Meeresarme und Buchten in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee diente, erfolgte zunächst eine Sichtung des vorhandenen Literatur- und Kartenmaterials, einschließlich der sogenannten „grauen Literatur“ (unveröffentlichte Berichte, Qualifizierungsarbeiten, nicht publizierte Arbeiten und Karten), um den Kenntnisstand über die Sedimentbeschaffenheit des Meeresbodens zu kategorisieren (Schwarzer et al., 2008). Der Seegrund wurde daraufhin in drei Kategorien ( I – III), die jeweils den unterschiedlichen Kenntnisstand zur Ausweisung von Lebensraumtypen widerspiegeln, unterteilt, (Tabelle 2 und Abbildung 4 ). Als sog. "Status-I-Lebensräume" wurden Gebiete ausgewiesen, zu denen erste grobe Informationen auf der Basis allgemeiner geologischer, hydrologischer, geomorphologischer und biologischer Daten vorliegen (z. B. Satellitenbilder, Luftbilder, bathymetrische Karten, Meeresbodenkarten mit geologisch-sedimentologischer Thematik). Diese Basisinformationen lassen Rückschlüsse auf die jeweils vor Ort vorherrschenden geologisch/sedimentologischen und hydrologischen Verhältnisse zu. Sie geben somit einen Anhaltspunkt für die Zuordnung der Gebiete zu einem spezifischen FFH-Lebensraumtyp. Einem Lebensraum wird der Status II zugewiesen, wenn er durch geowissenschaftliche Felduntersuchungen verifiziert ist. Ein Status III Lebensraum benötigt zusätzlich die biologische Validierung, um auch Aussagen über den Erhaltungszustand nach FFH ableiten zu können. Tabelle 2 zeigt den zur Ausweisung von Lebensraumtypen notwendigen Detailgrad. Der beste, zu erreichende Status III benötigt demnach Kenntnisse über die folgenden Komponenten:

- a) räumliche Dimensionen (geographische Parameter),
- b) Informationen über das Substrat (sedimentologisch/geologische Parameter),
- c) Informationen über die hydrologischen Randbedingungen (hydrologische Parameter)
- d) Kenntnisse über die in dem Bereich lebende Fauna und Flora (biologische Parameter).

Tabelle 2: Notwendige Kenntnisse für die Einstufung der Bearbeitungsstände von FFH-Lebensraumtypen-Gebieten (Schwarzer u. Krause, 2008)

Status	Ausdehnung/ Lokalisierung	Validierung Geologie /Hydrologie	Validierung Biologie
I	X		
II	X	X	
III	X	X	X

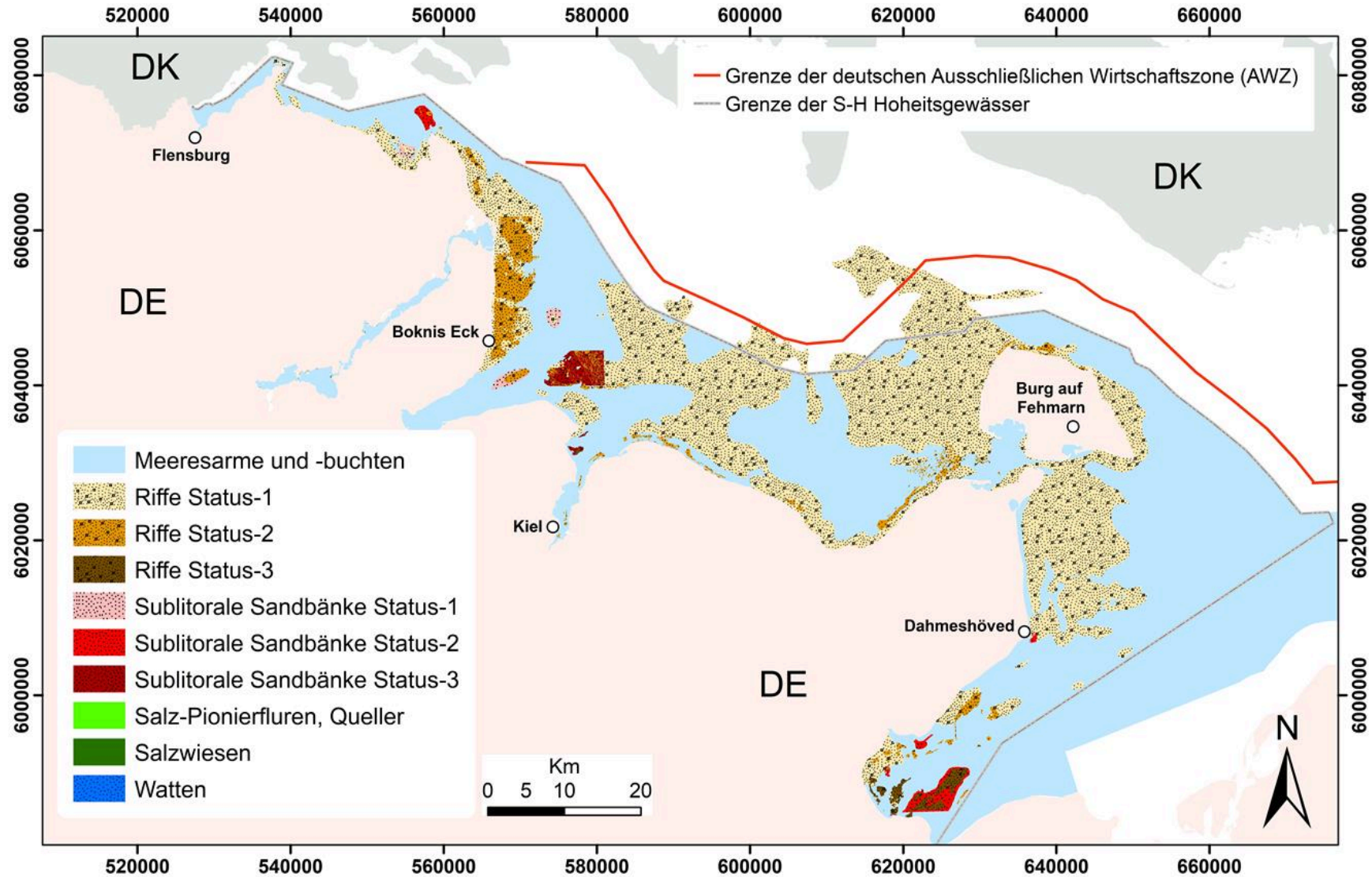


Abbildung 4: Kenntnisstand über die marinen FFH-Lebensraumtypen im Bereich der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee zu Beginn der Untersuchungsreihe „Marine Lebensraumtypen“ (Schwarzer et al., 2008).

### 3. Methoden

Für die Harmonisierung der Resultate aus den in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee durchgeführten Kartierungen zur Charakterisierung von Lebensraumtypen nach FFH waren drei Schritte erforderlich (Abbildung 5):

- ✓ Zusammenstellung der vorhandenen Informationen
- ✓ Organisation, Analyse und Auswertung der Informationen
- ✓ Habitat-Klassifizierung

#### **Zusammenstellung existierender Informationen**

Die zusammengestellten Informationen umfassen Datensätze und verfügbare Berichte im Zusammenhang mit LRT-Projekten und anderen, am IfG durchgeführten Arbeiten wie Dissertationen, Masterarbeiten, Projektarbeiten, etc. (Abbildung 1 und Abbildung 2, Tabelle 1). Das Material besteht aus hydroakustische Daten, die mit unterschiedlichen Systemen erhoben wurden, in situ Beobachtungen durch optische Systeme und wissenschaftliche Taucher sowie aus Sedimentbeprobungen, die über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt sind. Die Daten wurden entsprechend den jeweiligen Anforderungen der verschiedenen Projekte erhoben. Die Mehrzahl der Daten resultiert aus den Kartierungen zur Bestandsaufnahme der Meeresbodeneigenschaften, um sie Lebensraumtypen nach der FFH-Richtlinie zuweisen zu können.

#### **Organisation, Analyse und Auswertung der Informationen**

Dieser Schritt umfasst die Organisation, Differenzierung, Analyse, Auswertung und Verarbeitung der hydroakustischen und geologisch/sedimentologischen Daten (Abbildung 5). Die hydroakustischen Informationen umfassen Messungen mit einem Seitensichtsonar (SSS), einem Fächerecholot (MBES), einem Boomer-System (SBP), einem parametrischen Sedimentecholot (SES) sowie einem akustischen System zur Sedimentklassifizierung (AGDS) (Penrose et al., 2005; Schwarzer u. Heinrich, 2010). Es wurden aber nicht grundsätzlich immer alle Systeme in einem Arbeitsgebiet eingesetzt, sondern der Einsatz der Geräte richtete sich nach den jeweiligen Anforderungen. Je flacher der jeweilige Untersuchungsbereich wurde, umso schwieriger wurde der Geräteeinsatz, da die genutzten Boote kleiner waren und sie somit auf Wellen empfindlicher reagierten. Zudem ist die Energieversorgung für die Messgeräte in kleinen Booten limitiert.

Die SSS-Informationen wurden bei den länger zurückliegenden Untersuchungen mit einem Klein 595 (384 kHz) erhoben, später mit einem Benthos C3D (200 kHz), mit einem Benthos 1624 (100 kHz und 400 kHz) oder mit einem StarFish 452F (450 kHz) bzw. 990F (1 MHz). Zur Datenaufnahme kamen verschiedene Programme zum Einsatz. In den meisten Fällen wurden die Rohdaten mit der Triton-Software aufgezeichnet und mit der Software Sonar Wiz (Chesapeake Technology) nachbearbeitet. Für die StarFish Daten gibt es eine eigene Aufzeichnungssoftware. Die weitere Auswertung der jeweiligen SSS-Mosaik in einer Auflösung von 25 cm erfolgt größtenteils mit der Software ArcGIS 10.6.1. Somit können in den Mosaiken Unterschiede in den Rückstreuintensitäten, die Meeresbodeneigenschaften widerspiegeln, in einem Größenbereich von 50 cm unterschieden werden. Die Rohdaten, die man sich im sogenannten Wasserfallmenü am Bildschirm ansehen kann, liefern für Detailfragen eine höhere Auflösung.

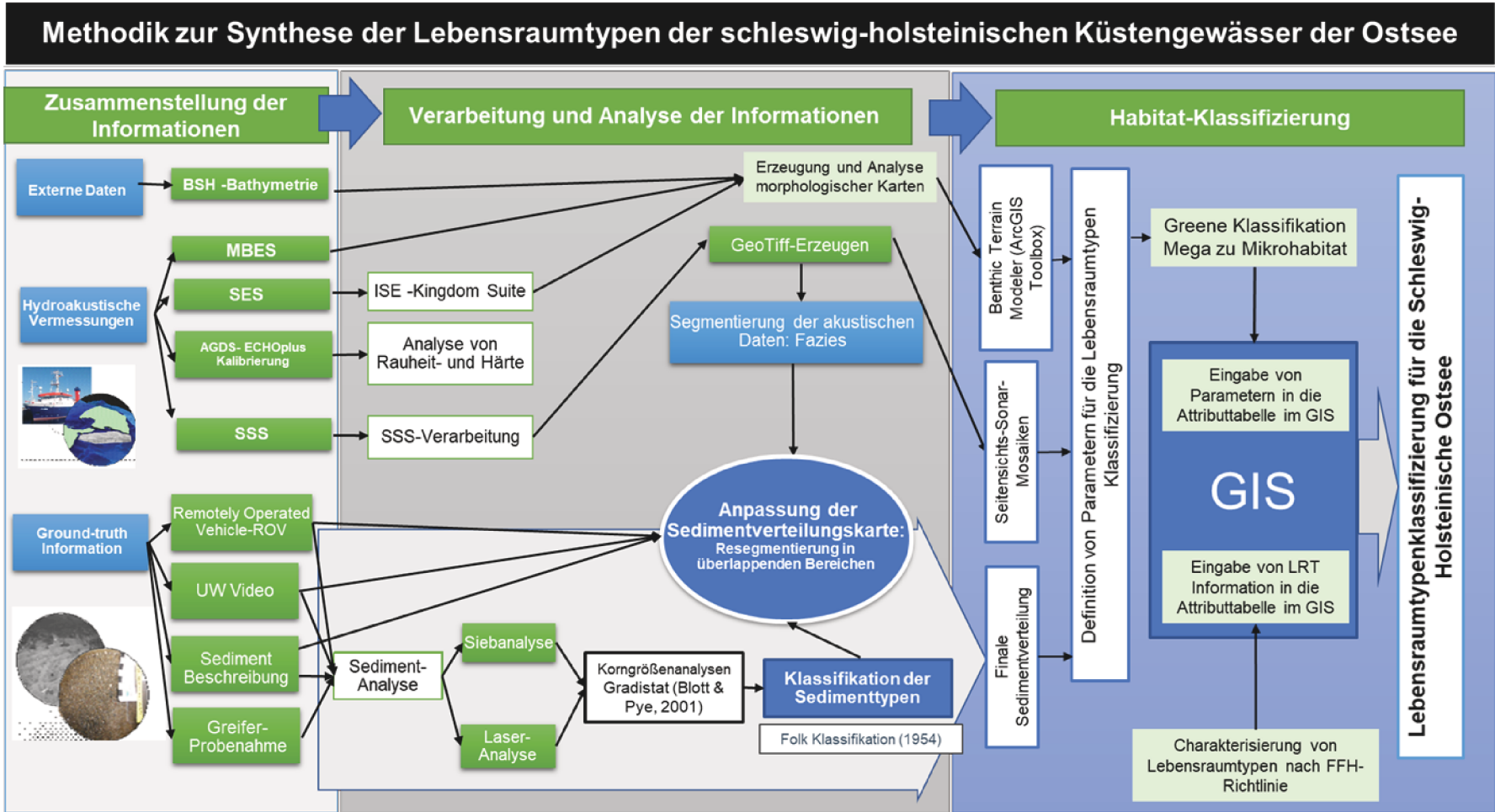


Abbildung 5: Schema der für die Synthese durchgeführten Zusammenführung und Harmonisierung der Daten aus den Lebensraumtypenkartierungen die zur Klassifizierung des Meeresbodens verwendet wurden. AGDS (Acoustic Ground Discrimination System): System zur akustischen Klassifizierung des Meeresbodens mit ECHOpus; MBES: Fächerecholot. SES: Parametrisches Sedimentecholot; SSS: Seitensicht Sonar.



Die Segmentierung und Klassifizierung von SSS-Daten besteht in der Abgrenzung von Gebieten mit ähnlicher Rückstreuintensität und ähnlichen räumlichen Mustern. Die Rückstreuintensität wird durch die Grauwerte wie hellgrau, mittelgrau und dunkelgrau repräsentiert. Nach der Segmentierung der hydroakustischen Daten werden die Polygone dann je nach den Eigenschaften des Meeresbodens, unter Hinzuziehung der Daten der Korngrößenanalysen, der Bodenrauheit, der Geomorphologie, der Substratzusammensetzung und der benthischen Biologie, bestimmten Sedimenttypen oder Lebensraumtypen zugeordnet. Da die vorliegenden SSS-Mosaik aus den einzelnen Untersuchungsgebieten zu einem einheitlichen Bild zusammengefügt werden mussten, kam es an den Schnittstellen der Mosaik teilweise zu sogenannten „offsets“. Hier passen die Farbwerte der SSS-Mosaik, die Sedimenttypen repräsentieren, nicht aneinander. So etwas kann bedingt sein durch den zeitlichen Versatz bei den Geländearbeiten, Sediment ist mobil und bewegt sich, oder durch unterschiedliche Geräteeinstellungen bei den einzelnen Ausfahrten. Unterschiedliche fachliche Ziele können ebenfalls dazu führen, dass Daten noch einmal bearbeitet werden müssen. In solchen Fällen erfolgte eine Resegmentierung händisch auf den Mosaiken.

Die Informationen aus der Sedimentansprache, den Video- und Fotoaufzeichnungen und den unterschiedlichen Korngrößenanalysen (Trockensiebung, Laseranalyse) wurden zusammengestellt und nach Folk (1954) klassifiziert (Abbildung 6). In der zugehörigen GIS-Attributtabelle wurden diese Informationen über die Charakterisierung des Meeresbodens in Verbindung mit der Verteilung von Steinen und Blöcken und anderen morphologischen Elementen (z.B. Bodenformen) und biologischen Informationen ergänzt, wenn entsprechende Daten verfügbar waren.

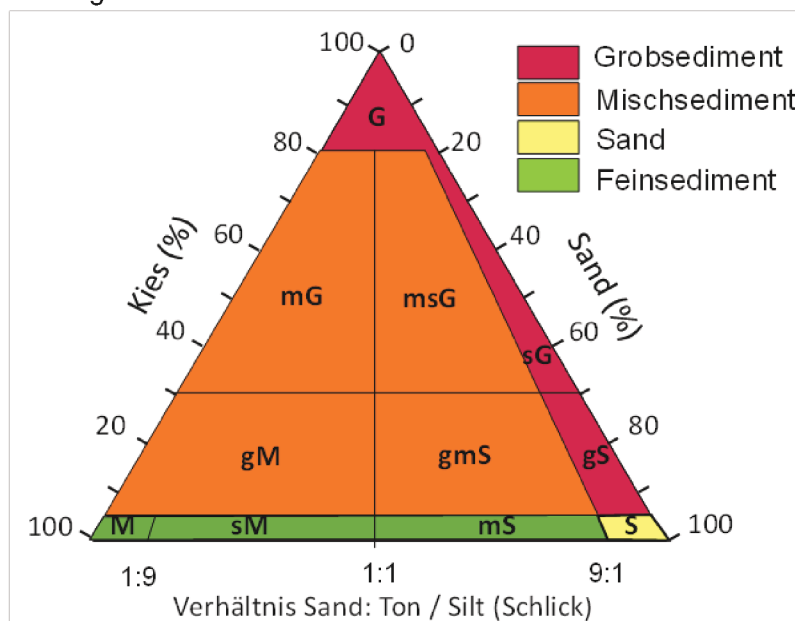


Abbildung 6: Einteilung der Sedimenttypen für klastische Sedimente, modifiziert nach Folk (1954) (BSH, 2016).

Steine und Blöcke sind für marine Organismen wertvolle Siedlungsflächen und haben im Habitatkontext eine besondere Bedeutung. Steine haben eine Mindestgröße von > 6,3 cm. Dies entspricht nach Wentworth (Wentworth, 1922) etwa der Grenze zwischen „pebble“ und „cobble“ (6,4 cm) sowie der Grenze zwischen „coarse gravel“ und „cobble“ (6,3 cm) nach ISO 14688-1:2017. Die Grenze zwischen Steinen und Blöcken liegt bei

einem Durchmesser von 63 cm (Kolp, 1966). Im Gegensatz zu diesen Literaturkenntnissen wird bei den Habitat- und Lebensraumtypen Kartierungen für Steine und Blöcke die Grenze für Blöcke bereits bei 50 cm gezogen (Boedeker u. Heinicke, 2018). Ein derzeit diskutierter Ansatz in den BLANO (Bund-Länder Arbeitsgemeinschaft Nord- und Ostsee) Arbeitsgruppen favorisiert eine weitere Unterteilung für die Küstengewässer. Hier sollen bereits die Objekte ab einem Durchmesser  $> 25$  cm erfasst werden. Dies entspricht einer Steinkartierung. Bei der Erfassung ausschliesslich der Objekte  $> 50$  cm spricht man von einer Blockkartierung. Die Festlegung auf diese Erfassungskriterien ist der Praktikabilität und den technischen Randbedingungen bei den Aufnahmen im Gelände (Schiffsgeschwindigkeit und Breite des zu kartierenden Streifens des Meeresbodens bestimmen die Auflösung) und dem Prozessierungs- und Zählaufwand geschuldet.

Die Verteilung von Steinen/Blöcken wurde manuell auf der Grundlage von SSS-Mosaiken für ausgewählte Gebiete der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee durchgeführt. Als Voraussetzung für einen erkennbaren akustischen Schatten hinter einem Block ist bei der Prozessierung eine Auflösung von 25 cm notwendig. Das Vorkommen von Objekten  $> 50$  cm (eine eindeutige Abgrenzung benötigt mindestens 2 Pixel) kennzeichnet also Gebiete mit Blockvorkommen. Bei der Klassifizierung wird innerhalb der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee auf einem Raster von 25 m Kantenlänge zwischen „viele Blöcke ( $> 5$  Blöcke)“, „einige Blöcke (1-5 Blöcke)“ und keine Blöcke unterschieden. Die Zahl 5 resultiert aus der Simultanerfassung von Objekten, d.h. 5 Objekte können mit einem Blick one grossen Zählaufwand erfasst werden.

Diese Stein/Blockverteilung ist ein geomorphologisches Kriterium, das bei der Greene-Klassifikation Anwendung finden kann. Eine solche Auszählung ist partiell für ausgewählte Bereiche durchgeführt worden, um diese Daten in den Greene-Code einbauen zu können.

### **Geomorphologische Parameter**

Aus bathymetrischen Daten abgeleitete Geländeeigenschaften können quantitativ gemessen und mit marinen Lebensräumen in Beziehung gesetzt werden. Eine Python-Toolbox für ArcGIS, der Benthic Terrain Modeler (BTM), wird benutzt, um die Morphologie auf der Basis eines digitalen Geländemodells zu charakterisieren, z.B. die Darstellung von morphologisch erhöhten Bereichen, Depressionen, Ebenen und Hängen, und um Rückschlüsse auf das Potenzial für benthische Lebensräume zu ziehen. Dieses GIS-Werkzeug wurde von der Abteilung für Geowissenschaften der Oregon State University in Zusammenarbeit mit dem GIS-Integrations- und Entwicklungsprogramm der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) entwickelt (Wright et al., 2005). Der BTM verwendet bathymetrische Daten für die Klassifizierung des Meeresbodens, um Terrain-Attribut-Parameter, wie den bathymetrischen Positionsindex (BPI), die Hangneigung des Meeresbodens und die Rauheit zu ermitteln (s. Tabelle 3). All diese Informationen sind zur Unterstützung bei der Erstellung von Habitatkarten hilfreich (Walbridge et al., 2018).

Die Hangneigungen lassen sich aus den morphologischen Daten, im vorliegenden Fall dem digitalen Geländemodell (DTM) des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), das mit einer Auflösung von  $50 \times 50$  m vorliegt, berechnen. Der morphologische Gradient gibt das Gefälle oder die Steilheit des Meeresbodens an. Die Steigungswerte verdeutlichen die Bandbreite der morphologischen Meeresbodengradienten in einem Untersuchungsgebiet. Sie reichen von flachem Gelände bis hin zu steileren Bereichen, die durch höhere Neigungswerte repräsentiert werden. Gemäß des Greene Codes

(Greene et al., 1995, 1999, 2005, 2007, 2008) werden die Steigungen des Meeresbodens in fünf Klassen eingeteilt: flach (0-5°), moderat abfallend (5-30°), steil abfallend (30-60°), vertikal (60-90°) und Überhang (>90°).

Der Bathymetric Position Index (BPI) zeigt, wo sich ein Punkt auf einer bathymetrischen Oberfläche relativ zu den ihn umgebenden Gebieten befindet. Der BPI setzt in einem bathymetrischen Datensatz den Höhenwert einer jeder Zelle in Beziehung zur mittleren Höhe einer bestimmten Nachbarschaft (der Annulus) um diese Zelle herum. Der Annulus ist eine Region, die von zwei konzentrischen Kreisen um den Standort herum begrenzt wird (Walbridge et al., 2018). Um jede Rasterzelle relativ zu ihren Nachbarzellen innerhalb eines Ringes räumlich zu analysieren, wird die BPI-Region durch einen inneren und äußeren Radius definiert.

Tabelle 3: Geomorphologische Parameter

<b>Gelände-Parameter</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Einstellungen</b>
<b>Bathymetric Position Index (BPI)</b>	Auf der Basis benutzerdefinierter Einstellungen berechnet der BPI die Differenz zwischen der Höhe einer Fokuszelle des digitalen bathymetrischen Modells relativ zur durchschnittlichen Höhe benachbarter Zellen. BPI > 0: Fokuszellen haben höhere Werte als ihre Nachbarzellen (z.B. Rippeln) BPI < 0: Fokuszellen haben niedrigere Werte als die Nachbarzellen (z.B. Senken) BPI = 0: horizontale Flächen oder Fläche mit konstantem Gradienten	Digitales bathymetrisches Modell: Rasterzellengröße: 50 x 50 m Annulus / Ringförmige Konfiguration: Feinskaliger BPI: Innenradius 10 Einheiten und ein Außenradius von 25 Einheiten. Großmaßstäblicher BPI: Innenradius 10 Einheiten und Außenradius 100 Einheiten
<b>Hangneigung</b>	Die Hangneigung ist der Gradient in Richtung der maximalen Neigung des Meeresbodens. Er zeigt für jede Zelle die maximale Veränderungsrate von der Zelle zur Nachbarzelle an (Lundblad et al., 2006).	Werden für das jeweilige Gebiet ermittelt.
<b>Rauheit</b>	Die Rauheit ist ein Maß für die Unebenheit der Oberfläche. Sie wird angegeben als das Verhältnis von einer rauen Fläche zu einer ebenen Fläche.	Keine Geländevariation ~ 1 bis maximale Geländevariation > 1.

### Die Greene-Klassifikation

Greene et al. (1995, 1999, 2005, 2007, 2008) haben über viele Jahre ein GIS-basiertes Klassifikationsschema entwickelt, um Lebensräume in 30 - 300 m Wassertiefe entlang der Pazifikküste Nordamerikas zu kategorisieren und darzustellen. Dieses Klassifikationsschema basiert primär auf geomorphologischen Kriterien. Aufgrund seiner Vielseitigkeit, leichten Anwendbarkeit und möglichen Übertragung auf andere Meeresgebiete hat sich dieses Klassifikationsschema und dessen kontinuierliche Erweiterung für Habitatkartierungen recht weit verbreitet (Jordan et al., 2005; Intelmann u. Cochrane, 2006). Es handelt sich hierbei um ein hierarchisches Schema, das von Mega-Habitaten (geographische Räume in der Größenordnung von km) bis zu Mikrohabitaten (kleine Formen unter 1 m) Anwendbarkeit findet (Abbildung 7).

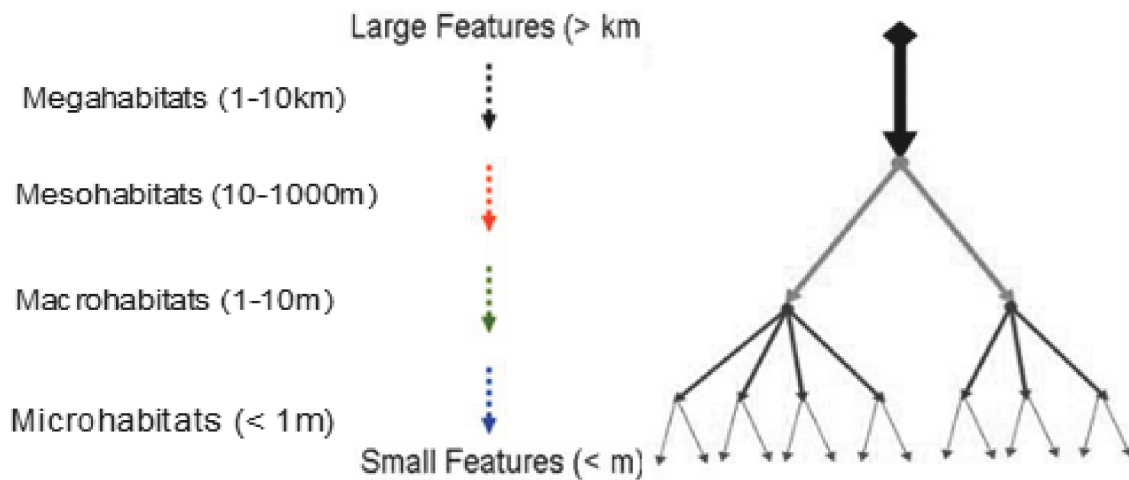


Abbildung 7: Diagramm, das die Unterschiede in der Größe von Merkmalen zwischen den Klassen in verschachtelten Hierarchien zeigt. Geändert, nach Lund u. Wilbur (2007).

Der Einsatz eines GIS hilft wesentlich bei der Analyse der räumlichen Abgrenzung, der Darstellung, der Charakterisierung und der Beschreibung von Meeresbodenbedingungen, die geeignet sind, sie als ein Habitat oder als einen bestimmten Lebensraumtyp zu charakterisieren (Greene et al., 2005). Das Klassifikationsschema von Greene verwendet dabei einen Attributcode zur Klassifizierung von marinen Habitaten, der im Wesentlichen auf der Klassifizierung geomorphologischer Parameter basiert, aber auch geologische und biologische Parameter einbezieht, die für die jeweiligen Lebensraum prägend sind. Der Code wird genutzt, um zwischen den unterschiedlichen geomorphologischen Elementen zu differenzieren. Er kann im GIS in Form von Attributtabelle oder Kartendarstellungen dargestellt werden (Greene et al., 1995, 1999, 2005, 2007, 2008). Die Codierung besteht aus 7 Abschnitten von denen jeder eine Alphanumerische Zeichenfolge hat (Abbildung. 8).

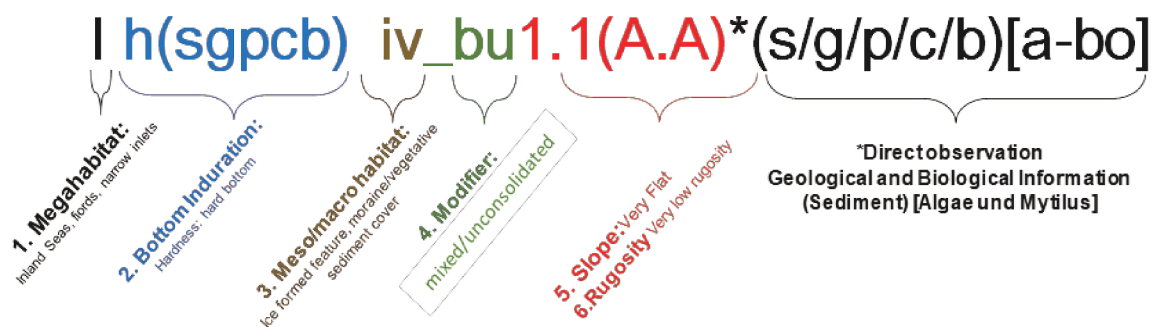


Abbildung 8: Beispiel für den von Greene et al. (2007) vorgeschlagenen Code.

Im Rahmen dieses Berichtes wird ein Ansatz zur Charakterisierung der Meeresbodenbedingungen und zur Klassifizierung des marinen Lebensraums in den schleswig-holsteinischen küstengewässern der Ostsee vorgeschlagen, der auf dem Klassifikationssystem von Greene et al. (1999, 2005, 2007, 2008) basiert. Er stützt sich auf physikalische, geologische und biologische Parameter. Es wird jedoch der GIS-Attributcode, der Informatio-



nen über die Tiefe, den Sedimenttyp, die Bodenrauheit, die Geomorphologie, die Substratzusammensetzung und die benthische Biologie enthält, modifiziert. Die Tabelle 4 zeigt den für diesen Ansatz verwendeten Code, der in der Regel sieben Zeichen in einer hierarchischen Ebene umfasst. In der Tabelle 4 entsprechen die Zeichen Megahabitat (1), Boden Härte (2), Meso-/Makrohabitat (3), Modifikatoren (4), Morphologische Gradienten (z.B. Hangneigung) (5), Rauheit (6), geologische Einheit und in situ Beobachtungen (geologische und biologische Attribute) (7). Modifikationen gab es bei 3, 4, 5 und 6 (in der Tabelle 4 in blauer Schrift). Hangneigung und Rauheit wurden für den vorliegenden Bericht auf Grundlage des Rasters mit einer Zellengröße von 50 mal 50 m berechnet. Darüber hinaus werden die Informationen über die Sedimente und Meeresbodenstrukturen durch Unterwasservideobeobachtungen und Greifer-Probindaten unterstützt. Auch diese Informationen gehen in die Codierungen ein.

Tabelle 4: Schlüsselparameter zum Habitat-Code, die in der Klassifikation verwendet werden (angelehnt an Greene et al. (1995, 1999, 2005, 2007, 2008)<sup>1</sup>.

GIS ID	1_MegalD	2_BottomID	3_MesoID	4_Modifier	5_Slope	6_Rugosity	GeologicID	BiologicID
<b>Representation</b>	Physiographie und Tiefe	Härte des Substrats	Geomorphologie (Meso- und Makrohabitat)	Modifikatoren für Textur, Lithologie, Bodenformen und Biologie.	Neigung des Meeresbodens	Rauheit des Meeresbodens	Geologische oder Substrat-Attribute / Biologische Attribute	
<b>Beschreibung</b>	Mega-Habitat mit vorgeschlagener Tiefenreichweite.		Bestimmt die Größe des Habitats (Macro-, meso oder minihabitat)	Es beschreibt die Textur, die Bodenform, die Biologie oder den Sedimenttyp.	Es wird für das Untersuchungsgebiet aus x-y-z-Bathymetriedaten berechnet.	Sie wird für die Vermessungsfläche aus gitterförmigen x-y-z-Bathymetriedaten unter Verwendung von Nachbarschaftsstatistiken berechnet.	Ermittelt aus Video-Standbildern oder direkter Beobachtung.	
<b>In dieser Arbeit implementierte Codes</b>	S = Shelf, Kontinental (0-200 m)  I = Binnenmeere, Fjorde und enge Buchten oder Passagen (0-200 m).	h= harter Grund (Gesteinsaufschlüsse oder Sedimentpflaster) m= Mischboden (lokale Sedimentbedeckung auf dem Grund) s = Weichbodensedimentabdeckung. Sedimenttypen (b) = boulder (c) = cobble (p) = pebble (g) = gravel (s) = sand (m) = mud, silt, clay	b = beach, relic [(b)/p]= sie sind mit Pinnacles (hier: <b>durchspießende Steine</b> ) assoziiert, die oft schwer von Blöcken zu unterscheiden sind e = Exponiertes Grundgestein (hier: <b>Geschiebemergel</b> ) f = Flächen, Böden g = Gully, Rinne i = eisgeformtes Material (Moräne) m = Hügel; Rücken v = bewachsenes Sediment oder Gestein (Seegras oder Algen bedeckt) <b>w = Sandschleier</b>	a = anthropogen a-c = Kabel a-dd = Dredgespuren (Baggerstörungen) a-dm= Verklappung von Sediment a-td = Fischereispuren (Schleppnetzspuren) a-p= Pipelines b = bimodal (konglomerat, gemischt, umfasst Kies, Steine, Steinpflaster, <b>Schillpflaster</b> ) h = unregelmäßiges Relief r: Rippel u = unkonsolidiertes Sediment	<b>1. Flat (0-5°)</b>  <b>*1.1. Very flat (0°-0.2°)</b>  <b>*1.2. Flat (0.21°-0.45°)</b>  <b>*1.3. Moderately flat (0.46°-1.5°)</b>  <b>*1.4. Slightly flat (1.51°-5.0°)</b>	<b>A. Sehr niedrige Rauheit</b>  <b>*A.A.</b> <b>1 to 1 + 2.38 x10<sup>-7</sup></b>  <b>*A.B.</b> <b>1 + 2.39 x10<sup>-7</sup> to 1 + 1.788 x10<sup>-6</sup></b>  <b>*A.C.</b> <b>1 + 1.789 x10<sup>-6</sup> to 1 + 9.894x10<sup>-6</sup></b>  <b>*A.D.</b> <b>1 + 9.895x10<sup>-6</sup> to 1 + 3.490 x10<sup>-3</sup></b>	(u-r) = Ripple [a] = Algen [a-r] = Rotalgen [o] = andere sessile Organismen (Mytilus edulis) [t] = Spuren, Trails oder Spurenfossilien (Bioturbation) [t-b] = Gräben [w] = Bioturbationsspuren	

<sup>1</sup> Manche Ausdrücke bleiben in der englischen Sprache erhalten, da passende Übersetzungen in die deutsche Sprache nicht möglich sind

\*Parameter, die in dieser Tabelle aufgenommen wurden, sind in blauer Schrift dargestellt und an die Klassifikation von Greene et al. angepasst.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Morphologie des Meeresbodens; Geländeparameter unter Verwendung des Benthic Terrain Modeler (BTM)

Die Kombination von Geländemerkmale, die aus bathymetrischen Daten abgeleitet werden, wie Hangneigung, Rauheit und Bathymetrischer Positionsindex (BPI) beinhaltet eine gute Möglichkeit zur Klassifizierung der submarinen Topographie. Die Verwendung des BTM ermöglicht es, morphologische Gradienten auf unterschiedlichen räumlichen Skalen - einer feinen und einer groben Skala - darzustellen. Beide Skalen können zur Identifizierung potentieller Lebensräume verwendet werden kann.

#### **Bathymetric Position Index (BPI)**

Die Abbildung 9 zeigt den BPI-Index für die schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee, der aus dem BTM auf der Basis eines Datensatzes mit einer Gitterzellengröße von 50 m berechnet wurde. Damit wird es ermöglicht, großskalige Bereiche mit gleichen morphologischen Merkmalen des Meeresbodens zu identifizieren. Morphologische Merkmale wie Senken werden durch negative Werte (violette Farben) dargestellt. Diese sind häufig mit Rinnen und Becken (z.B. Wattenbergrinne, Kossaurinne, Fehmarnbelt) verbunden. Im Gegensatz dazu ist ein gegenüber der Umgebung ansteigendes Relief wie z.B. der Stollergrund in der Kieler Bucht oder die Sagasbank in der Mecklenburger Bucht mit Abrasionsplattformen und aufragenden Strukturen verbunden (braune Farben in der Abbildung 9). Das gleiche gilt für die küstennahen Regionen, die ja gegenüber dem seewärtigen Seegrund ansteigen. Die Abbildung 9 zeigt ebenfalls deutlich, dass an der Südflanke der Abrasionsplattform westlich von Fehmarn auf Höhe des Flüggesandes eine gegenüber der Umgebung leicht erhabene Ost - West ausgerichtete Struktur liegt, die sich mit einem dort vorhandenen Sandkörper deckt.

Am Beispiel der Flensburger Förde wird gezeigt, wie kleinere morphologische Strukturen durch die feinskaligen BPI-Datensätze identifiziert werden können (siehe Abbildung 10 a – c). Diese kleinskaligen morphologischen Strukturen sind unterschiedlichen Strömungsbedingungen ausgesetzt, da eine erhabene Struktur in ein Strömungsprofil hineinragt, eine Senke hingegen vor Strömungen schützt, sich also beide Bereiche hinsichtlich eines Strömungseinflusses deutlich voneinander unterscheiden. Dieses wiederum könnte Auswirkungen auf die Deposition von Feinsediment haben, sich aber auch auf die Besiedlung durch benthisch lebende Organismen auswirken.

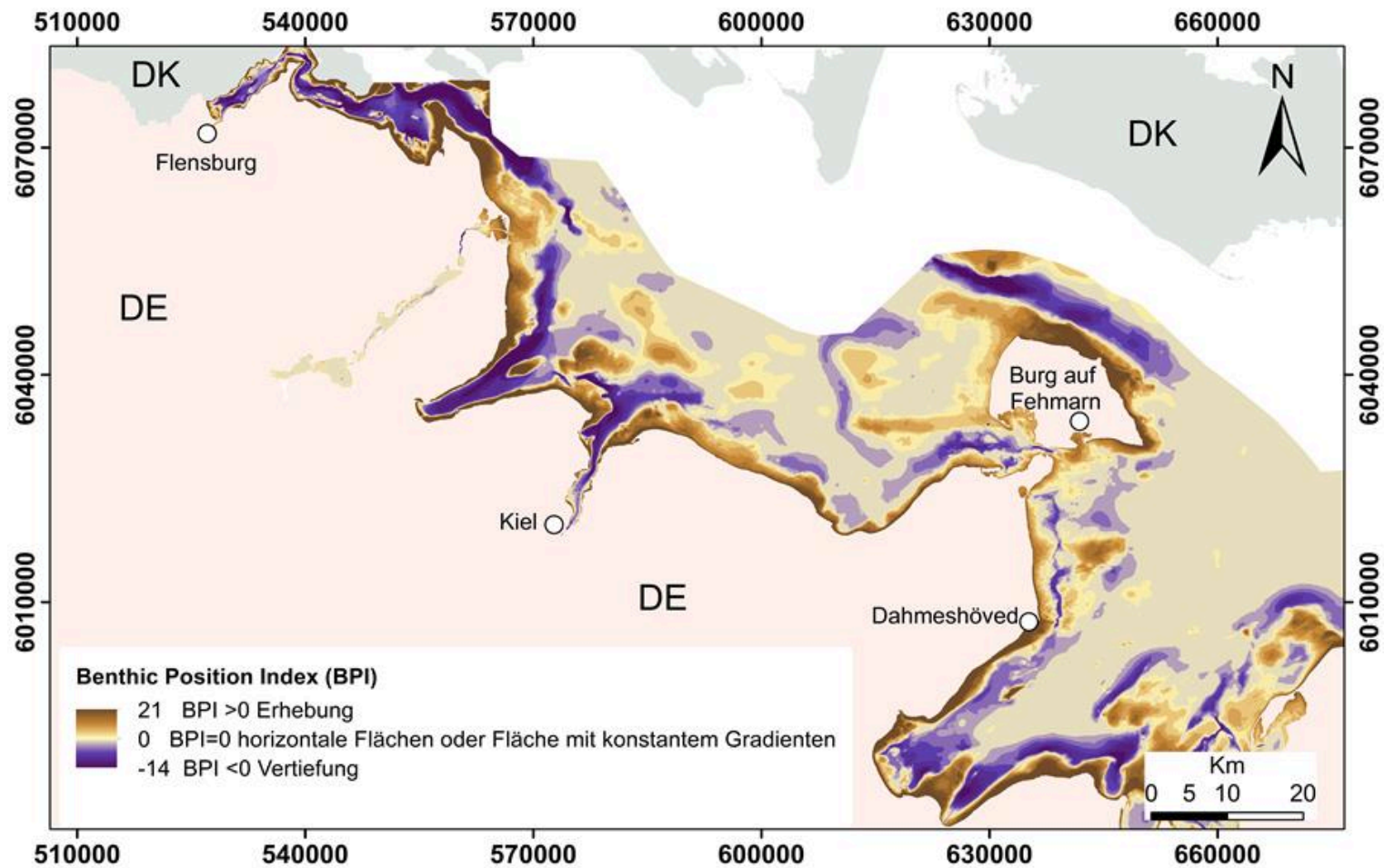


Abbildung 9: Auf einem 50m-Raster (BSH) berechnete BPI-Werte für die schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostseeküste. Niedrige Werte (violett) repräsentieren gegenüber der Umgebung Vertiefungen, während positive Werte (braun) gegenüber der Umgebung ansteigende Werte darstellen Bathymetrie: GeoSeaPortal URL <https://www.geoseaportal.de/mapapps/resources/apps/bathymetrie/index.html?lang=de> (accessed 27.5.2019).



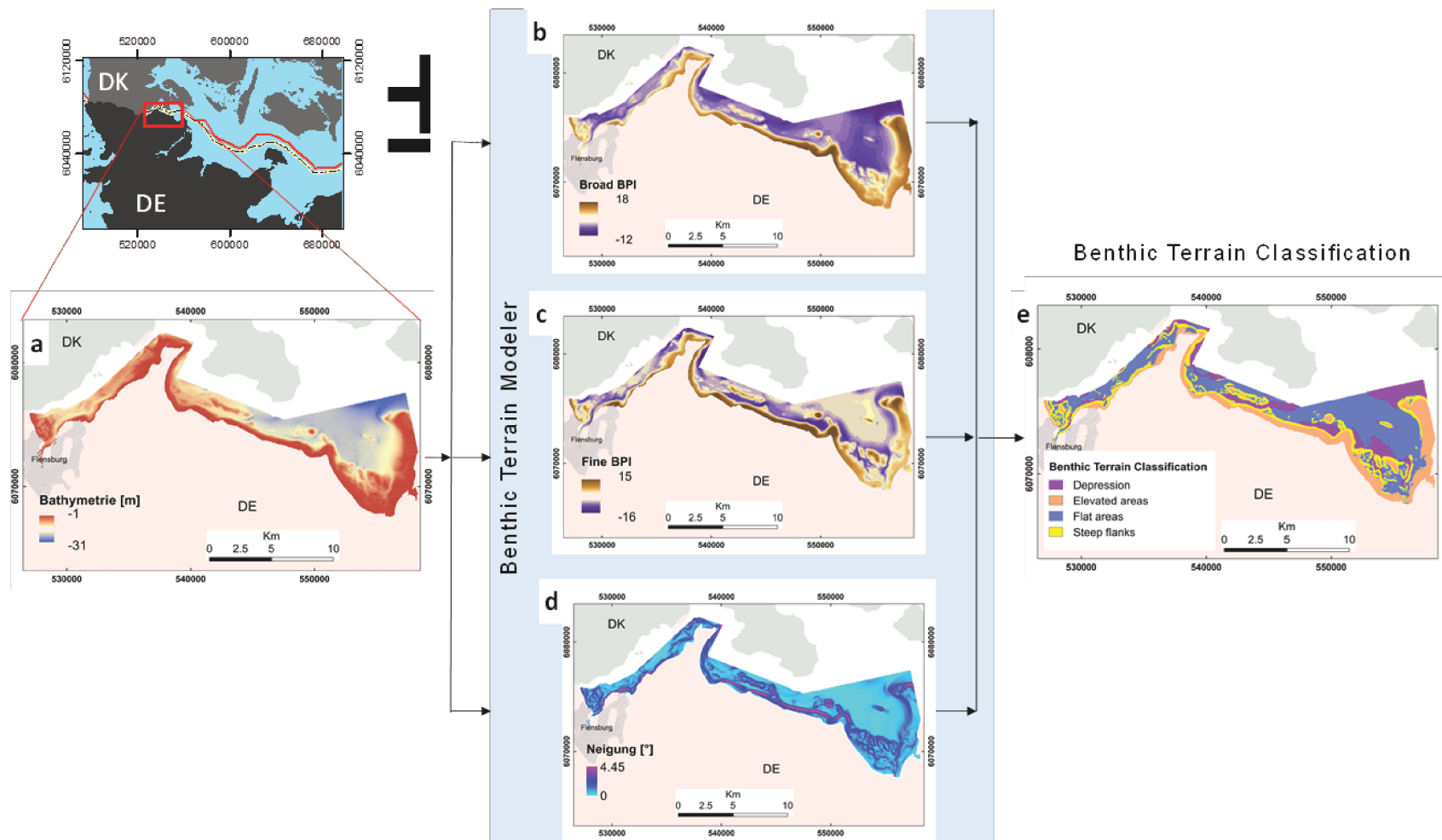


Abbildung 10: Morphologisches Klassifikationsschema unter Verwendung von Geländemerkmale, die aus dem digitalen bathymetrischen Modell (a) (50-m-Raster) für die Flensburger Förde abgeleitet wurden. b) Breiter und c) feinskaliger Benthic Position Index (BPI) und Neigungsgradienten (d) werden mit dem ArcGIS-Tool BTM (Benthic Terrain Modeler) erstellt. Die Benthic Terrain Classification (e) definiert geomorphologische Zonen auf der Grundlage der morphologischen Parameter Bathymetrie: GeoSeaPortal URL <https://www.geoseaportal.de/mapapps/resources/apps/bathymetrie/index.html?lang=de> (accessed 27.5.2019).

## Hangneigung des Meeresbodens

Die morphologischen Gradienten des Meeresbodens sind ein wichtiges Element für die Interpretation von Erosions- und Sedimentationsräumen. Sie werden auch bei der Klassifizierung von Lebensraumtypen, z. B. speziell der Bänke genutzt. Die Hangneigung gibt das Gefälle oder die Steilheit des Meeresbodens an. Die Steigungswerte verdeutlichen die Bandbreite der morphologischen Meeresbodengradienten in einem Untersuchungsgebiet. Sie reichen von flachem Gelände bis hin zu steileren Bereichen, die durch höhere Neigungswerte repräsentiert werden. Gemäß des Greene Codes (1999, 2005, 2007, 2008) werden die Steigungen des Meeresbodens in fünf Klassen eingeteilt: flach ( $0-5^\circ$ ), moderat abfallend ( $5-30^\circ$ ), steil abfallend ( $30-60^\circ$ ), vertikal ( $60-90^\circ$ ) und Überhang ( $>90^\circ$ ).

Die Hangneigungen für das Untersuchungsgebiet lassen sich aus den morphologischen Daten, im vorliegenden Fall dem digitalen Geländemodell (DTM) des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH, das in einer Auflösung von  $50 \times 50$  m) vorliegt, berechnen. Danach weist der Meeresboden der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee lediglich Neigungen von  $0^\circ - 4,7^\circ$  auf. Nach Greene befindet er sich damit in der Klasse mit den geringsten Hangneigungswerten. Um dennoch eine geeignete Differenzierung der Hangneigungswerte für das Untersuchungsgebiet darzustellen, wird hier eine weitere Unterteilung von lediglich dieser ersten Klasse vorgeschlagen. Diese Unterteilung wurde mit den Datenklassifikationsmethoden in ArcGIS berechnet.

Für die erste Klasse werden vier Unterklassen vorgeschlagen, in denen die Klassen neu organisiert werden. Die Equal-Intervall-Methode (Abbildung 11a) teilt die Werte in gleich große Intervalle ein. Diese Anwendung zeigt wenig Variation und hat damit wenig Aussagekraft für das Untersuchungsgebiet (Abbildung 11b). Im Gegensatz dazu teilt die Natural Breaks Methode in ungleich große Intervalle auf (Abbildung 11c). Die „Natural Breaks (Jenks) Methode“ definiert Grenzen, die die Klassen in Gruppen mit ähnlichen Werten unterteilen und so die Unterschiede zwischen den Klassen maximieren. Die Grenzen der Klassen wurden dort gesetzt, wo es relativ große Unterschiede in den Datenwerten gibt. Diese Einteilung zeigt eine bessere Verteilung der Klassengrenzen im Vergleich zur Methode mit gleichen Intervallen (Abbildung 11c und d). Auf der Grundlage der Natural Break Methode wird vorgeschlagen, die Unterteilungen der Klasse „flach“ (flat) (Greene et al., 2005, 2007) weiter zu differenzieren. Es werden vier Unterklassen vorgeschlagen: sehr flach ( $0^\circ-0,20^\circ$ ), flach ( $0,21^\circ-0,65^\circ$ ), mäßig flach ( $0,66^\circ-1,5^\circ$ ) und leicht flach ( $1,51^\circ- 5,0^\circ$ ).

Gebiete mit einem starken Relief befinden sich in Küstennähe, während flache und ebene Gebiete häufiger in den Becken anzutreffen sind (Abbildung 12). In den zentralen Teilen der Mecklenburger Bucht, in der Kieler Bucht und in der mittleren Flensburger Förde ist der Meeresboden sehr flach mit nur geringen Neigungswerten bis hin zu leicht ansteigenden Werten ("mäßig flach" - bis zu  $1^\circ$ ). Die seewärtigen Flanken im Bereich der Sagasbank liegen zwischen  $0^\circ$  und  $1,2^\circ$  ("sehr flach bis flach"), wobei die größten Neigungswerte entlang einer Rinne (in einigen Fällen  $> 1^\circ$ ) und an der Ostflanke der Plattform (bis zu  $1^\circ$ ) zu verzeichnen sind. Die morphologischen Neigungen in der Flensburger Förde reichen von  $0^\circ$  bis  $4,5^\circ$ , wobei hier die größten Neigungswerte in Küstennähe (bis zu  $4,5^\circ$ ) auftreten. Generell weisen steile Flanken häufig auf Erosion hin, während tiefer liegende, ebene Flächen häufig mit Sedimentationsräumen gekoppelt sein können (innere Mecklenburger Bucht). Gerade im Bereich der südwestlichen Ostsee, wo sich große Bereiche der Küste im Rückgang befinden, können geringe Hangneigungen auch auf ebene Abrasionsflächen

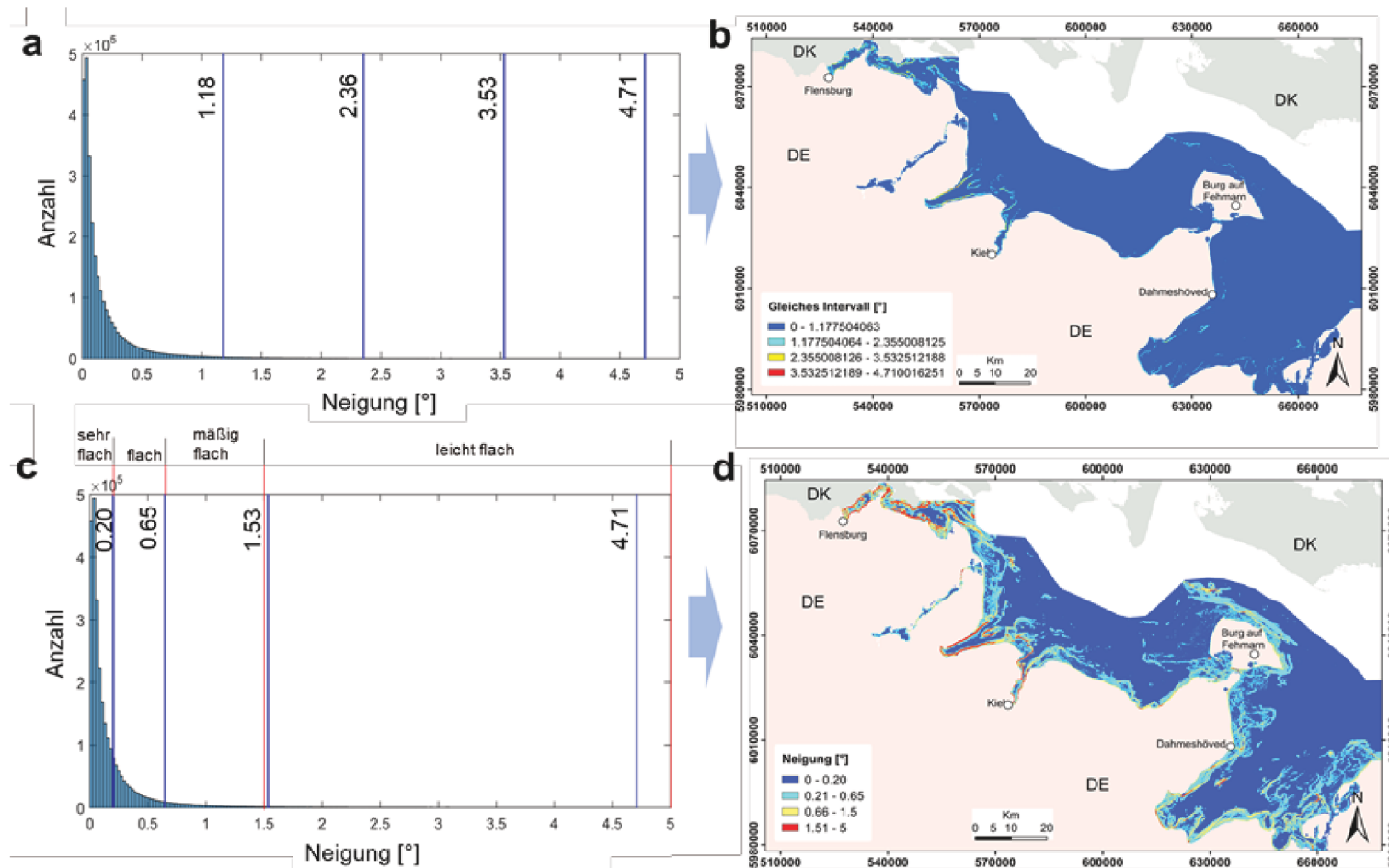


Abbildung 11: In der Equal-Interval-Methode werden für das gesamte Spektrum die Werte für die morphologischen Neigungen in regelmäßige Intervalle klassifiziert. b) Visualisierung der Equal-Intervall-Methode für das Untersuchungsgebiet. c) Die Klassen werden anhand der Natural-Break-Klassifizierung aufgeteilt. d) Visualisierung der Natural-Break-Methode mit manuell angepassten und definierten Klassen im Untersuchungsgebiet.

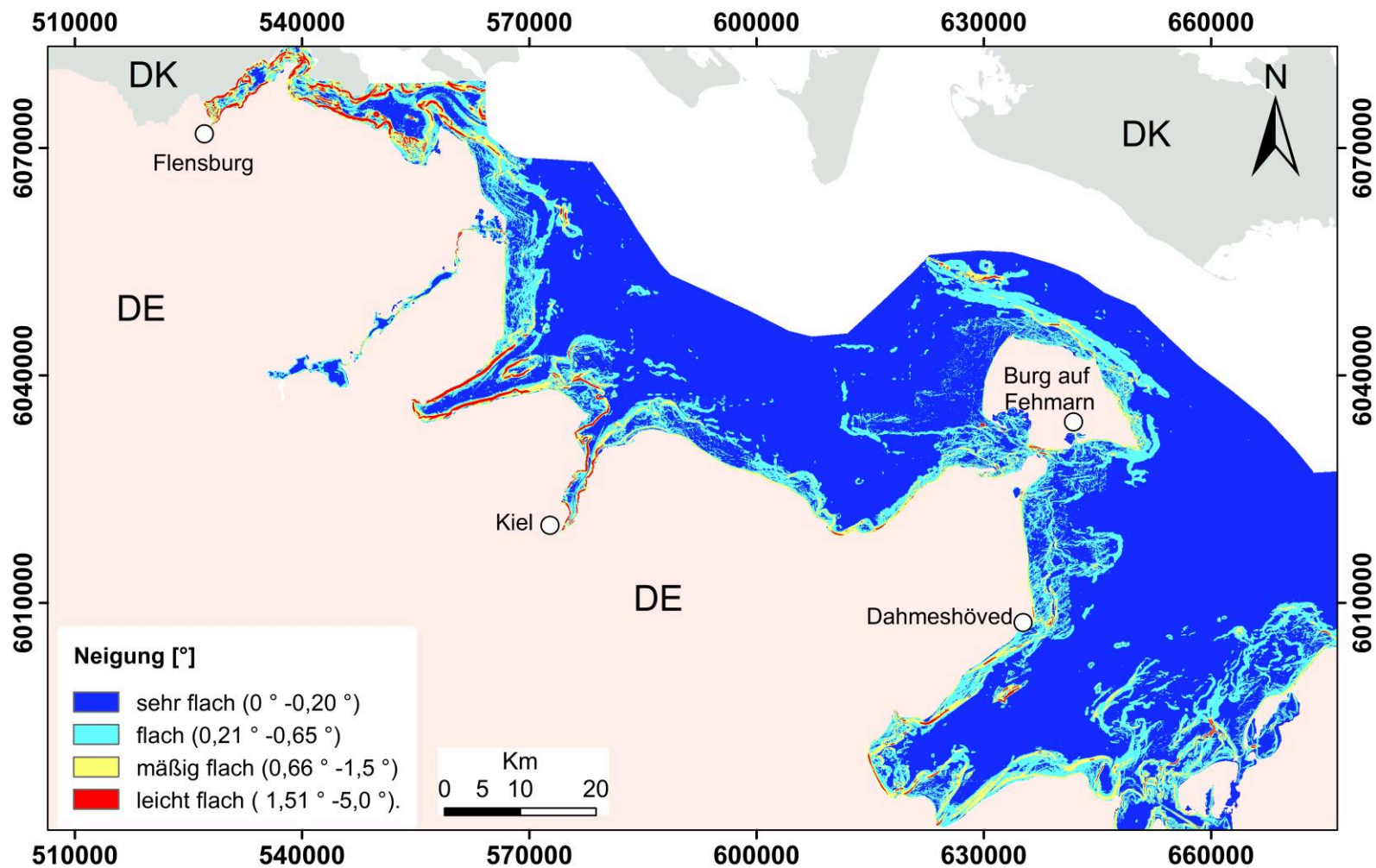


Abbildung 12: Hangneigungswerte (Grad) im Untersuchungsgebiet, berechnet in ArcGIS® auf der Basis von Bathymetriedaten mit einer Gitterzellengröße von 50 m  
 Bathymetrie: GeoSeaPortal URL <https://www.geoseaportal.de/mapapps/resources/apps/bathymetrie/index.html?lang=de> (accessed 27.5.2019).



hinweisen, wie es besonders deutlich für die Abrasionsfläch westlich von Fehmarn zu erkennen ist (Abbildung 12).

### **Rauheit**

Die Rauheit ist ein wichtiger, geomorphologischer Parameter für die Beschreibung des Meeresbodens, der einen Einfluss auf das Strömungsgeschehen und Ausbreitung von Wasserkörpern hat. Letzteres ist gerade für die westliche Ostsee von Bedeutung, da hier über die meiste Zeit des Jahres ein geschichteter Wasserkörper vorliegt, der zeitlich und räumlich sehr variabel ist. Hohe Rauheiten haben einen stärkeren Einfluss auf die Strömung als geringe Rauheiten. Zur Berechnung der Oberflächenrauheit wurde ein Zellen-gitter mit einer Kantenlänge von 50 m genutzt. Daher werden die Variationen der Rauheit des Meeresbodens lediglich in einem sehr großen Maßstab betrachtet, wodurch auch die morphologische Situation wiedergespiegelt wird.

Bei der Greene-Klassifikation ist die Rauheit in 5 Gruppen unterteilt, mit einem Wertebereich von 1 (sehr niedrige Rauheit) bis 2 (sehr hohe Rauheit). Die für das Untersuchungsgebiet ermittelten, dimensionslosen Werte für die Rauheit reichen von 1 bis ~1,0035. Sie liegen damit alle in der ersten Kategorie der „Greene-Klassifikation“ (Greene et al., 2005, 2007), die einer sehr niedrigen Rauheit („very low rugosity“) entspricht. Sie wird in dem Greene Klassifikationssystem mit dem Buchstaben „A“ bezeichnet. Während bei Greene vier weitere Unterklassen mit höheren Rauheitswerten vorgegeben werden, wird für das hier vorliegende Arbeitsgebiet die Klasse A feiner unterteilt. Es wird eine Unterklassifikation der ersten Klasse von Greene et al., (2005, 2007) vorgeschlagen. Die Unterteilung wird mit den Datenklassifikationsmethoden von ArcGIS berechnet. Die Abbildung 15 zeigt dazu 2 Möglichkeiten.

Die "Natural-Break-Methode" definiert Grenzen, innerhalb derer die Klassen in Gruppen mit ähnlichen Werten unterteilt werden. So werden die Unterschiede zwischen den Klassen maximiert (Abbildung 13a, b). Demgegenüber werden bei der Quantil-Datenklassifizierungsmethode die Werte in Gruppen verteilt, die eine gleiche Anzahl von Werten enthalten. Die Abbildung 13 zeigt, dass für die „Quantil-Methode“ (Abbildung 13c, d) im Vergleich zur „Natural-Break-Methode“ (Abbildung 13a, b) eine bessere Klasseneneinteilung der Rauheitswerte im Untersuchungsgebiet möglich ist. Vier weitere Unterklassen werden auf der Grundlage der Quantil-Statistik angepasst und definiert (A.A, A.B, A.C und A.D) (Abbildung 14).

Basierend auf den Rauheitswerten kann das Untersuchungsgebiet in ebene und unebene Gebiete unterteilt werden, mit den entsprechenden Zwischenstufen. Weite Bereiche des Meeresbodens entsprechen flachen Gebieten mit unverfestigtem Sediment, meist unterhalb von -20 m NHN. Sie zeigen die geringsten Werte für die Rauheit. Demgegenüber stehen an die Küste angrenzende Abrasionsplattformen, isolierte Aufragungen wie z.B. ein namenloser morphologischer Rücken in der Geltinger Bucht, der Mittelgrund in der Eckernförder Bucht, der Stollergrund zwischen Eckernförder Bucht und Kieler Förde, das Gabelsfach in der Kieler Bucht oder der Walkyriengrund in der Lübecker Bucht. Hohe Rauheitswerte zeigt ebenfalls das aus Sanden und Kiesen bestehende Riesenrippelfeld am Westausgang des Fehmarnbelts zur Kieler Bucht (Feldens et al., 2009).

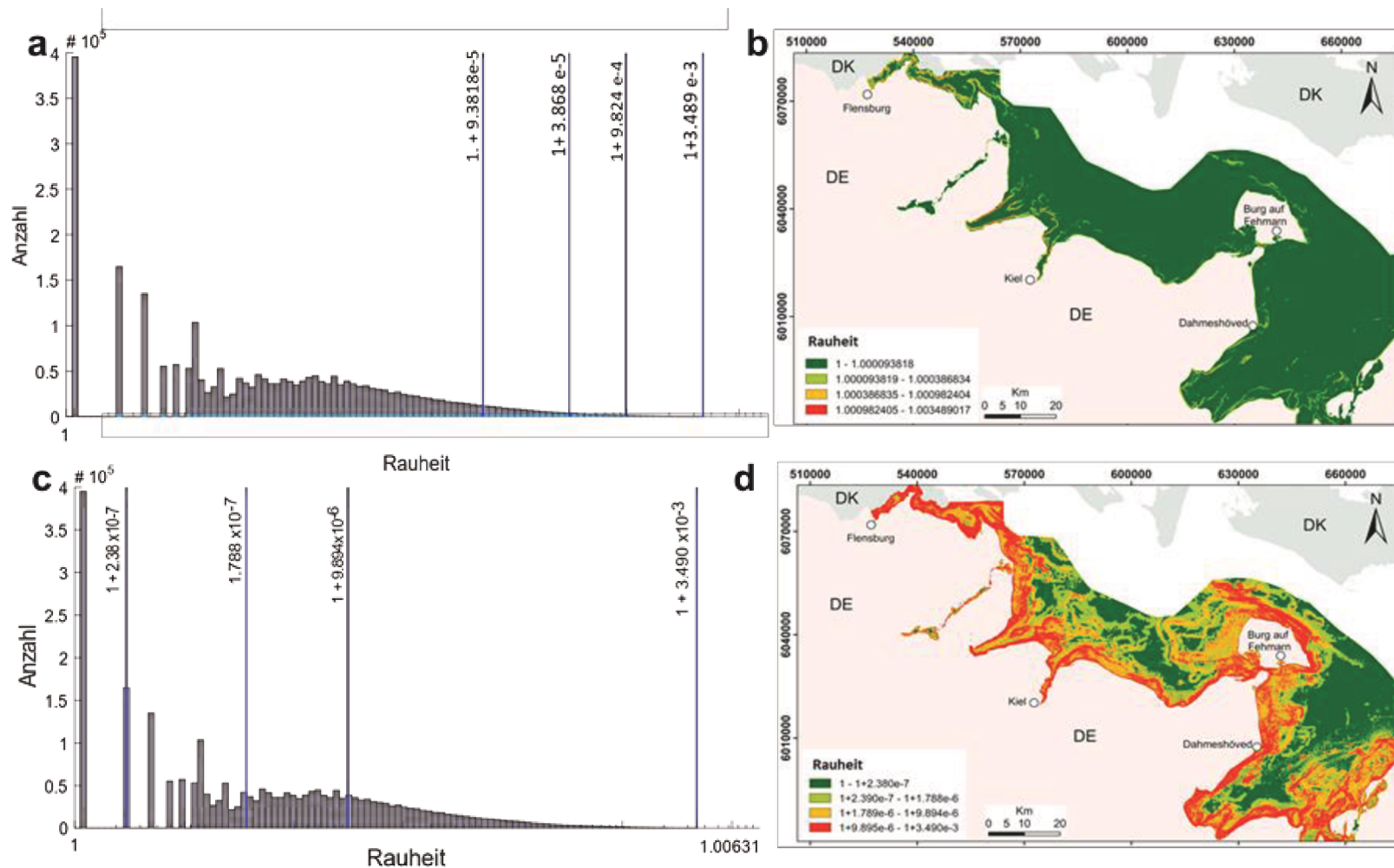


Abbildung 13: Klassifikation der Rauheitswerte mit der Natural-Break-Methode (logarithmische Skala). b) Visualisierung der Natural-Break-Methode im Untersuchungsgebiet. c) Die Klassen werden entsprechend der Klassifikation der Quantilmethode eingeteilt (logarithmische Skala). d) Visualisierung der Quantilmethode im Untersuchungsgebiet.

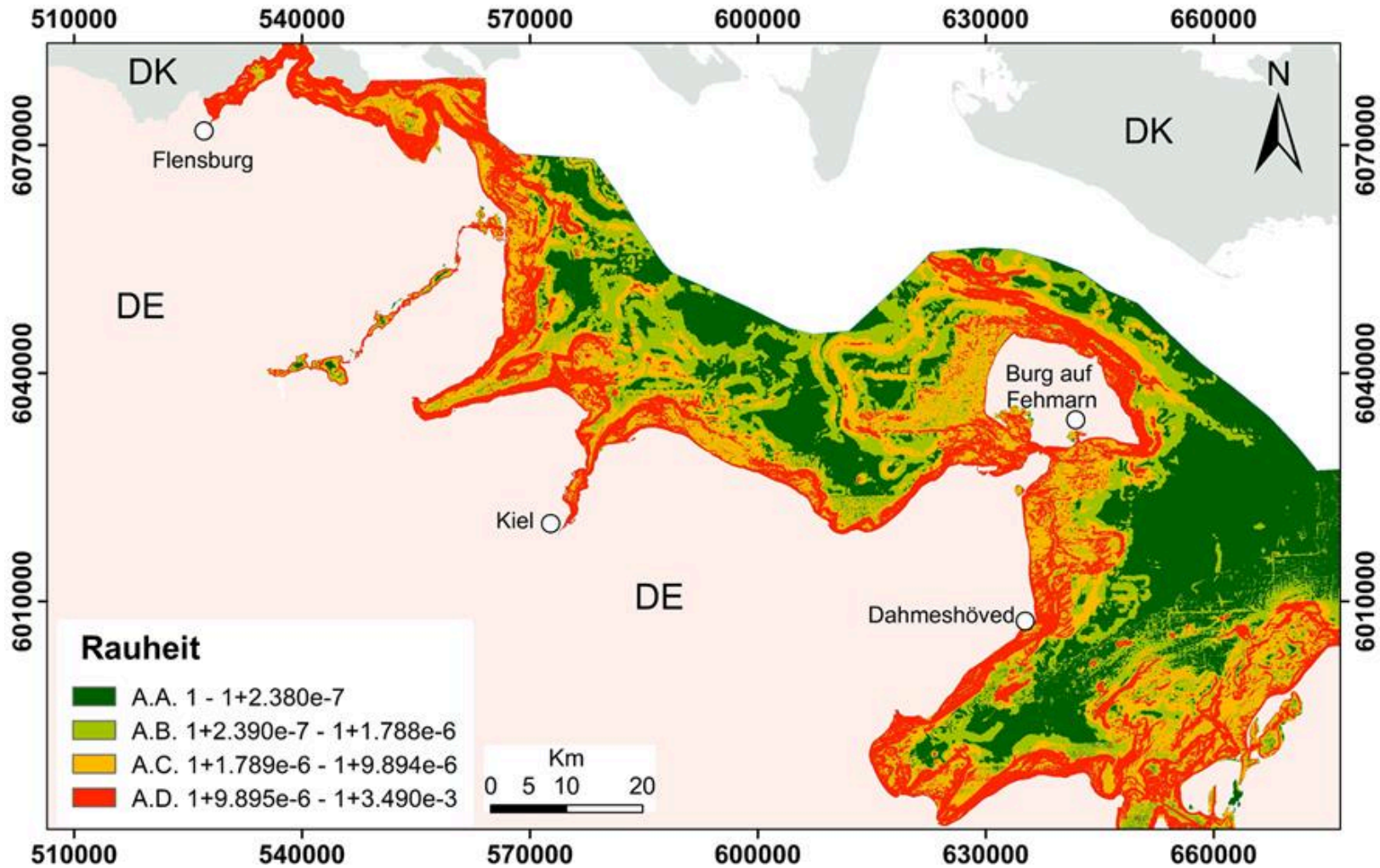


Abbildung 14: In ArcGIS® berechnete Rauheitswerte (Grad) des Untersuchungsgebietes unter Verwendung einer Bathymetriedatengitterzellengröße von 50 m Bathymetrie: GeoSeaPortal URL <https://www.geoseaportal.de/mapapps/resources/apps/bathymetrie/index.html?lang=de> (accessed 27.5.2019).

Abrasionsplattformen, wie z.B. Fehmarn West, die Sagasbank oder das Steinriff vor dem Brodtener Ufer befinden sich in Wassertiefen von 0 bis zu -20 m NHN. Sie zeigen hohe Rauheiten der Meeresbodenoberfläche. Die seewärtigen Grenzen von Abrasionsflächen, die durch steile Flanken repräsentiert werden, zeigen ebenfalls hohe Rauheitswerte. Einige Bereiche zeigen eine 2-Teilung der Abrasionsfläche. Eine innere Plattform mit überwiegend hohen Rauheitswerten ist von einer äußeren Plattform mit geringeren Rauheitswerten getrennt. Diese Unterteilung wird besonders deutlich an der Westseite der Insel Fehmarn; sie ist aber auch vor Schleimünde zu beobachten. Damit liefern die Rauheitswerte Erkenntnisse über die Abrasionsplattformen, die häufig dem FFH-Lebensraumtyp Riff zugeordnet werden, die allein aus der Darstellung der Hangneigung oder des BPI nicht zu erhalten sind. Die feinere Differenzierung innerhalb des Greenecodes liefert damit wertvolle Informationen für die schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee.

Zu den weiteren Merkmalen des Meeresbodens gehören Rinnen und Kanäle, die teilweise in Abrasionsplattformen einschneiden. Eine solche Rinne ist die Wattenbergrinne, die die Abrasionsplattform vor Schleimünde in eine küstennahe Plattform und eine tiefere Plattform trennt. Die tiefsten Regionen dieser Bereiche zeigen meist nur eine geringe Rauheit.

#### **4.2. SSS-Mosaik**

Die Abbildung 15 zeigt erstmals ein weitestgehend zusammenhängendes SSS-Mosaik für die schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostseeküste, das für diesen Bericht aus vielen SSS-Teilmosaik vorangegangener Untersuchungen (z. B. Schwarzer u. Feldens, 2010, Schwarzer et al., 2014b,c; Schwarzer u. Heinrich, 2016, 2017; Schwarzer u. Unverricht, 2020a,b) zusammengestellt wurde (s. Tabelle 1). Die Zusammenfassung der SSS-Mosaik liefert detaillierte Informationen aus einem breiten Spektrum von Rückstreuungsmustern des Meeresbodens für die schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee. Hohe Rückstreuintensitäten (dunkle Farben) zeigen in der Regel gröberes Material auf dem Meeresboden an. Häufig, aber nicht zwingend ist dies an Erhöhungen des Meeresbodens gebunden. Umgekehrt stehen niedrige Rückstreuintensitäten (hellere Farben) für feinere Sedimente, die einen weichen Meeresboden in den tieferen Teilen von Rinnen und Becken, aber auch in flachen, geschützten Bereichen ausbilden können. Weite helle Flächen finden sich aber auch dicht an der Küste, wo sie Sandflächen repräsentieren können.

In diesem zusammenhängenden SSS-Mosaik ist deutlich die Ausrichtung großer zusammenhängender Gebiete mit ähnlichen Rückstreuereigenschaften zu erkennen. Auffällig sind ausladende Flächen mit einer hohen Rückstreuung, die sich weit in den Seebereich erstrecken. Typisch ist dies, wo die Küste durch Steilufer begrenzt wird, wie z.B. vor Schönhagen und Stohl in der Kieler Bucht oder dem Brodtener Ufer in der Lübecker Bucht. Es gibt aber auch weit ausladende Flächen hoher Rückstreuereigenschaften vor Niederungsgebieten, wie etwa der Probstei.

Helle Streifen innerhalb einer primär dunklen Fläche lassen sich auf der Abrasionsplattform westlich von Fehmarn und auf der Abrasionsfläche südlich der Insel Fehmarn zwischen Staberhuk und Großenbrode beobachten. Der Unterschied dieser hellen Streifen besteht in ihrer Ausrichtung. Sind sie auf der Abrasionsfläche westlich Fehmarn NNE – SSW ausgerichtet, so zeigen sie südlich von Fehmarn eine deutliche E – W – Ausrichtung. In beiden Fällen handelt es sich um sandige Sedimente. In allen morphologischen Analy-



sen sind diese Strukturen nicht erkennbar. Weitere, textuelle Merkmale in den Rückstreumustern, wie heterogen, homogen, gepunktet, fleckig, gefleckt und gebändert variieren über das gesamte Untersuchungsgebiet. Einige dieser Muster können auf anthropogene Aktivitäten zurückgeführt werden, wie etwas Fischereispuren oder Verklappungen von Sediment, die besonders deutlich in den tieferen Bereichen der Mecklenburger Bucht zu beobachten sind.

Generell dominieren in dem Gesamt-SSS-Mosaik dunkle Bereiche gegenüber hellen Bereichen, was die Dominanz eines Meeresbodens mit hohen Rückstreueigenschaften (Hartsubstraten, grobes Sediment) zeigt. Hier muss aber ausdrücklich betont werden, dass viele der zu untersuchenden Verdachtsflächen für den Lebensraumtyp Riffe (Schwarzer et al., 2008) nach FFH-Kriterien selektiv ausgewählt wurden. Einige Strukturen aus den morphologischen Analysen werden auch im SSS-Mosaik sichtbar. So erscheinen z.B. tiefe Rinnen mit einer hellen Rückstreuung. Aus den Rückstreuwerten des SSS-Mosaiks, unterstützt durch Sedimentanalysen, werden primär Sedimenteigenschaften abgebildet, nicht so sehr die Morphologie. Das SSS-Mosaik liefert daher für die Interpretation der Meeresbodeneigenschaften primär zusätzliche sedimentologische Information, die in den Greene-Code eingehen.

### **4.3. Harmonisierung der Sedimentklassen**

In den bisherigen Berichten der LRT-Kartierserie wurden die sedimentologischen und geomorphologischen Kriterien für FFH-Lebensraumtypen dargestellt, die Informationen aus den sedimentologischen Analysen aber nicht immer zu Sedimentverteilungskarten zusammengestellt. Dies ist im Rahmen der hier vorliegenden LRT-Synthese erstmals erfolgt. Die Abbildung 16 zeigt die Sedimentverteilung im Untersuchungsgebiet, die aufgrund der Übersichtlichkeit auf die wesentlichen Klassen reduziert ist. Feinere Unterteilungen wie z.B. für den Fehmarnbelt (Schwarzer u. Unverricht, 2020a) sind möglich und können in den Greene-Code integriert werden (s. dazu Anhang 1). Die räumliche Ausweisung und sedimentologische Charakterisierung der Oberflächensedimente basiert auf der Auswertung der SSS-Mosaik, der Analyse von Sedimentproben durch die verschiedenen Verfahren und der anschließenden Klassifikation nach Folk (1954). Die Beschreibung der Sedimentproben im Gelände unmittelbar nach der Entnahme und die Validierung durch optische Methoden (UW-Video) ergänzen die Analyse und die Zuordnung zu bestimmten Sedimentklassen.

Danach werden im Rahmen dieses Berichtes die Oberflächensedimente in der südwestlichen Ostsee sedimentologisch hauptsächlich in vier Klassen einheitlich unterteilt (Abb. 16): Grobsedimente aus Kies und Sand (CSed), Mischsedimente, in denen sowohl Kies und Sand, aber auch feinere Partikel enthalten sind (MXSed), Sand (S) und Feinsedimente, in denen der Schluffanteil dominiert (FSed). Dort, wo Gebiete aneinandergrenzen, traten gelegentlich zusammenfallend mit der Grenze Unterschiede in den Sedimentklassen auf. Dies kann mehrere Ursachen haben. Neben einer zeitlichen Differenz in der Datenaufnahme war es auch möglich, dass bei einer Gebietsgrenze das Nachbargebiet noch nicht kartiert war. In diesem Fall wurde das Segment aus dem SSS-Mosaik, das durch eine Sedimentprobe repräsentiert ist, bis an die jeweilige Gebietsgrenze ausgedehnt. Lag in der zeitlich später stattfindenden Kartierung des räumlich angrenzenden Gebietes eine etwas andere Rückstreuung vor sowie eine ähnliche, aber nicht die gleiche Sedimentzusammensetzung, so erfolgte eine Harmonisierung über die visuelle Einschätzung der Grauwerte, bzw. Grauwertgradienten im SSS-Mosaik.

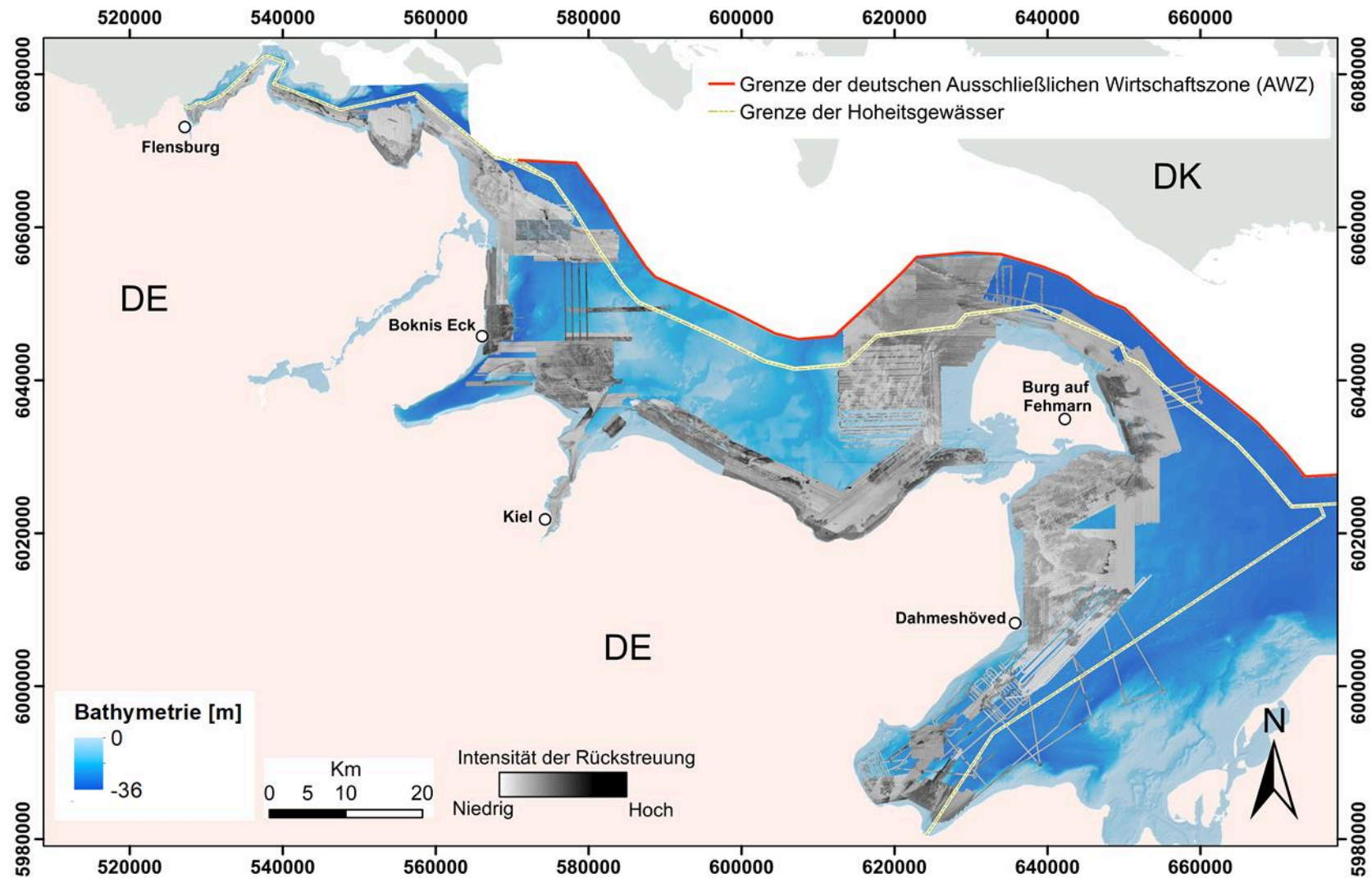


Abbildung 15: Zusammenstellung von SSS-Mosaiken für die schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee. Seit 2007 werden Meeresbodenkartierungen für verschiedene Aufgaben mit verschiedenen hydroakustischen Geräten (Seitensichtsonare) durchgeführt. Hohe Rückstreuintensitäten stehen für gröbere / härtere Sedimente, helle Rückstreuintensitäten repräsentieren feinere / weiche Sedimente. Weitere Erläuterungen s. Text. Bathymetrie: GeoSeaPortal URL <https://www.geoseaportal.de/mapapps/resources/apps/bathymetrie/index.html?lang=de> (accessed 27.5.2019).

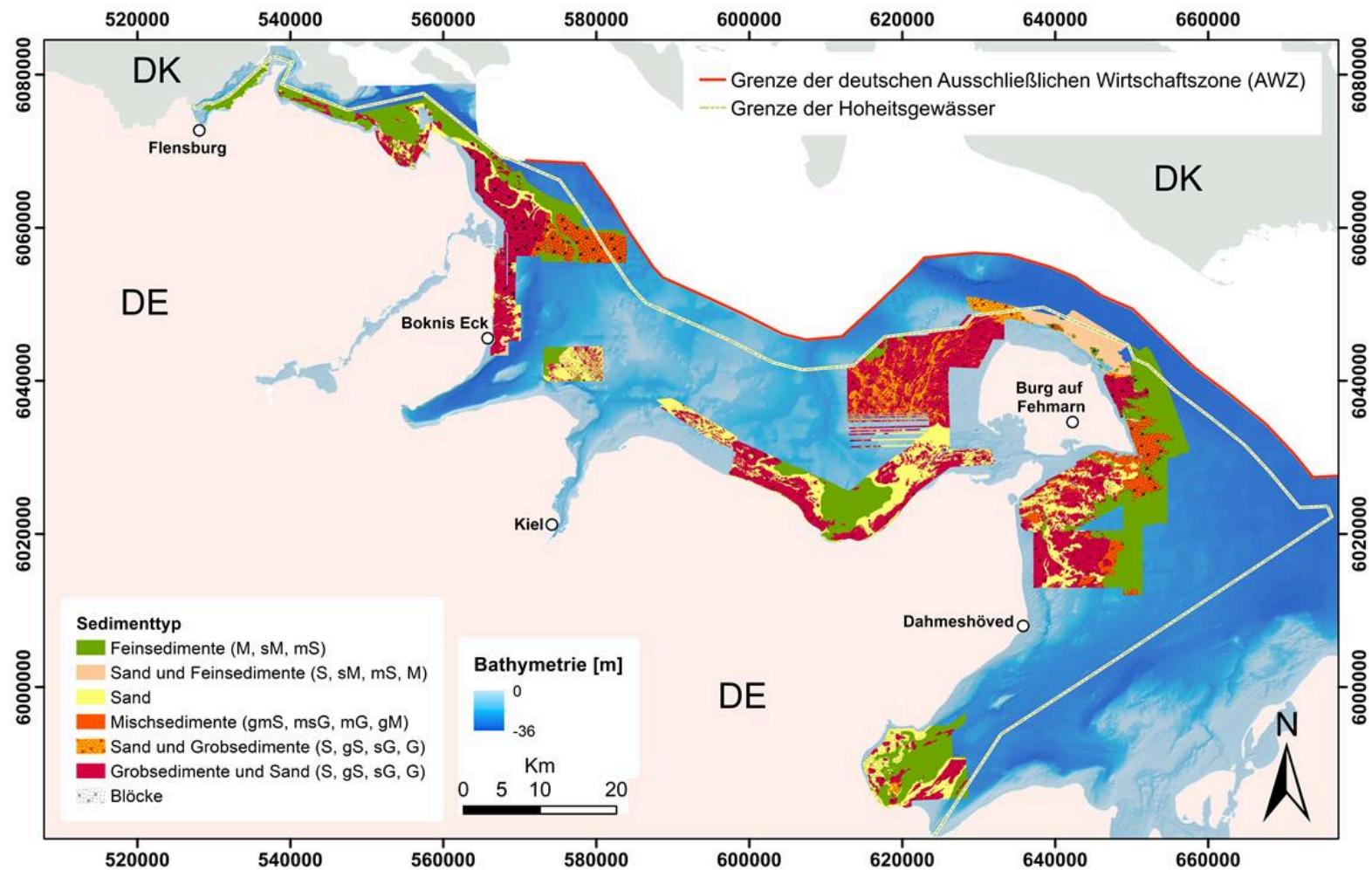


Abbildung 16: Die Sedimentverteilung in ausgewählten Bereichen der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee basierend auf der Klassifikation nach Folk (1954). **Feinsedimente** M = Mud (Schlick), sM = sandy Mud (sandiger Schlick), mS = muddy Sand (schlickiger Sand), S = Sand, Mischsedimente: gM = gravelly Mud (kiesiger Schlick), gmS = gravelly muddy Sand (kiesig-schlickiger Sand), msG = muddy sandy Gravel (schlickig-sandiger Kies), mG = muddy Gravel (schlickiger Kies). **Grobsedimente** gS = gravelly Sand (kiesiger Sand), sG = sandy Gravel (sandiger Kies), G = Gravel (Kies). Bathymetrie: GeoSeaPortal URL <https://www.geoseaportal.de/mapapps/resources/apps/bathymetrie/index.html?lang=de> (accessed 5.27.2019).

Die Karte der Sedimentverteilung (Abbildung 16) zeigt, dass ein genereller Trend, wonach die Feinanteile mit zunehmender Wassertiefe zunehmen, nicht überall vorhanden ist. Sowohl die Exposition der Küste zur Hauptwellen- und -Windrichtung, aber auch das eiszeitliche Ausgangsmaterial, das am Meeresboden teilweise noch freiliegt und den Einwirkungen von Wellen und Strömungen ausgesetzt ist, bilden die Ursache für diese Heterogenität. So zeigt die Flensburger Förde gegenüber den anderen Küstenbereichen generell feinere Sedimente bis dicht an die Küste. Die Ursache dafür kann in der geringeren Energieeinwirkung durch Wellen und Strömungen liegen. Es ist aber auch bekannt, dass in den Steilufern im Bereich der Flensburger Förde geologisch ältere Formationen mit einem höheren Feinkornanteil enthalten sind, die als Sedimentquelle dienen. Die Karte zeigt weiterhin, dass die Westseite der Insel Fehmarn sedimentologisch anders aufgebaut ist als die Ostseite. Feinsedimente sind auf der Westseite nicht zu finden, wohl aber auf der Ostseite, teilweise bis dicht an die Küste. Hier sind die Gebiete, die im SSS-Mosaik eine hohe Rückstreuung aufweisen, durch Mischsedimente und Sand bis Grobsedimente repräsentiert. Im Bereich Schleimünde treten Sand bis Grobsedimente bis dicht an die Küste auf der Abrasionsplattform auf. Der weiter seewärts liegende tiefere und flache Bereich der Abrasionsplattform wird durch Sand bis Grobsedimente repräsentiert. Die Rauheit (Abbildung 14) spiegelt diese Zweiteilung der Abrasionsfläche ebenso wieder.

#### **4.4. Vorkommen von Steinen und Blöcken**

Steine und Blöcke als ein wichtiger Bestandteil der Meeresbodensedimente der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee sind ein ökologisch wertvolles Habitat für das Phyto- und Zoobenthos, besonders in Gebieten, die keinen felsigen Untergrund besitzen. In den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee wurden bis Anfang der 1970er Jahre Steine vom Ostseeboden durch die sogenannte Steinfischerei entnommen (Bock et al., 2003, Karez et al., 2005), was den übriggebliebenen bzw. jetzt vorkommenden Steinen und Blöcken noch einmal eine höhere Bedeutung zukommen lässt. Die Identifizierung und Klassifizierung von Gebieten mit Steinen und Blöcken zeigt, dass diese hauptsächlich in Küstennähe vor Steiluferbereichen und auf Abrasionsplattformen, die in der Regel aus Geschiebemergel aufgebaut sind, vorkommen. Akkumulationen von Steinen/Blöcken (> 5 Blöcke) sind typisch für Abrasionsplattformen, wo sie oft zusammen mit Restsedimenten auftreten. Ein Beispiel für eine Stein/Blockverteilung wurde für die Sagasbank (Mecklenburger Bucht) erstellt (Abbildung 17). Danach wird diese Abrasionsplattform von Blöcken dominiert, deren Vorkommen bis zu 20 m Wassertiefe hinabreicht. Offensichtlich findet in diesem Bereich keine Sedimentation statt.

Vereinzelte Steine/Blöcke kommen vor allem in den Übergangsbereichen von den Abrasionsflächen zu den Sandflächen vor. Hier ragen sie gelegentlich durch das sandige Oberflächensediment hindurch. Sie werden als durchspießende Steine als erweiterter Schlüsselparameter zum Habitat-Code aufgenommen (s. Tabelle 4). Regionen ohne Blöcke befinden sich zumeist in den tieferen Regionen wie im zentralen Bereich der Flensburger Förde, der Mecklenburger Bucht oder in den tieferen Rinnenbereichen wie der Breitgrundrinne nordöstlich der Geltinger Birk oder dem Vinds Grav nordwestlich von Fehmarn.

Seit einigen Jahren findet in verschiedenen Arbeitsgruppen (BLANO, Sediment-AWZ (das ist eine Forschungs Kooperation zwischen dem BSH und einigen Forschungsinstituten)) ein Prozess zur Erarbeitung einer Kartieranweisung statt, um diese Bereiche nach einem Standardverfahren zu erfassen. In den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der



Ostsee werden derzeit Steine und Blöcke (Durchmesser > 50 cm) nach einheitlicher Vorgehensweise erfasst. Bereiche in denen Steine/Blöcke ab einer Größe von 50 cm auftreten, werden dann als Steinfeld bezeichnet, wenn > 5 Steine/Blöcke in einer Rasterzelle von 25 x 25 m auftreten. Bei weniger als 5 Steinen/Blöcken wird der Bereich lediglich als Stein/Blockvorkommen (einige Steine/Blöcke) bezeichnet. Diese Erfassungsmethode erfordert die Erhebung von Sonardaten mit hoher Qualität, um SSS-Mosaik mit einer hohen Auflösung generieren zu können. Das Vorkommen von Steinen/Blöcken ist im Greene Code integriert (Anhang 1).

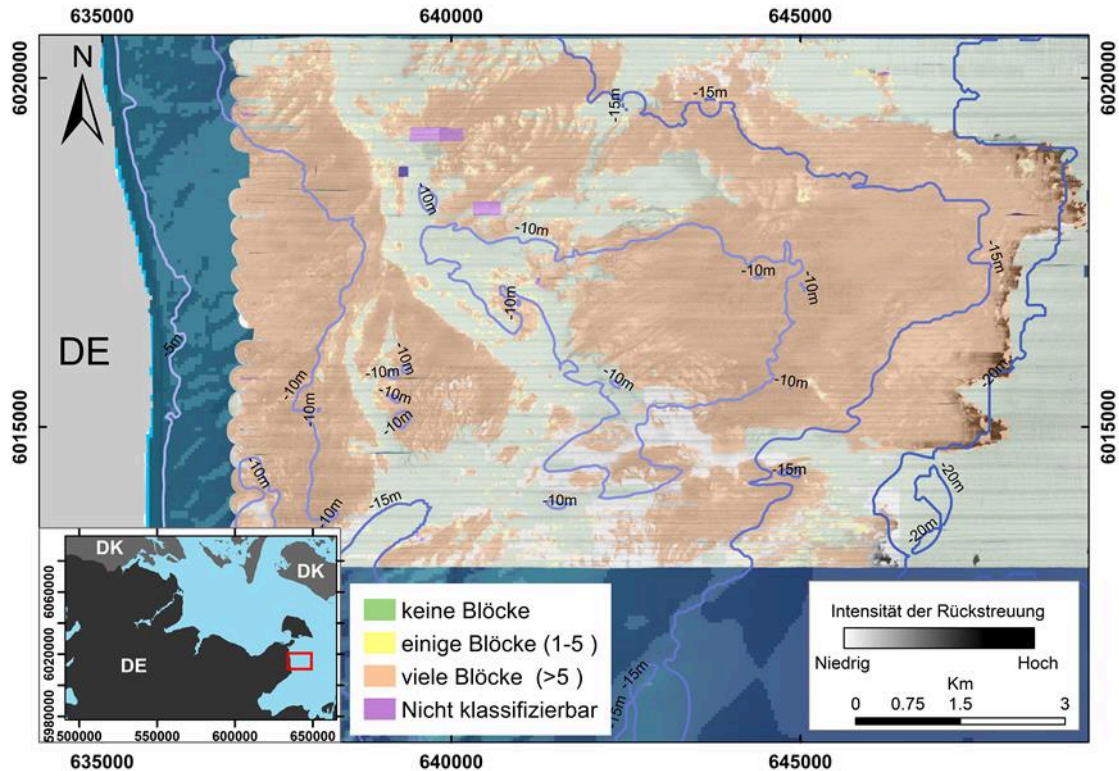


Abbildung 17: Beispiel der Blockverteilung auf der Sagasbank. In der Klassifikation werden Gebiete mit "viele Blöcke (>5)", "einige Blöcke (1-5)" und keine Blöcke unterschieden. Das Raster hat eine Zellengröße von 25 m.

#### 4.5. Zusammenstellung der Lebensraumtypen nach der FFH-Richtlinie

Bei der Habitatklassifizierung werden in den flachmarinen Küstenbereichen der südwestlichen Ostsee überwiegend die beiden FFH-Lebensraumtypen "Riff" (LRT 1170) und "Sandbank" (LRT 1110) unterschieden. In der südwestlichen Ostsee sind geogene Riffe an Abrasionsplattformen, die häufig die seewärtige Fortsetzung von Steiluferbereichen darstellen, und auch an vereinzelt vorkommende Moränenrücken gekoppelt. Letztere sind vom Uferbereich abgelöst und von allen Seiten den Wellen und Strömungsbedingungen ausgesetzt. Die Abbildung 18 zeigt eine Zusammenstellung der geogenen Lebensraumtypen gemäß der FFH-Richtlinie teilweise auf der Grundlage von Informationen aus früheren Kartierungen sowie neuer Kartiererergebnisse, z.B. aus der Hohwachter Bucht und dem Bereich südlich der Insel Fehmarn (s. Tabelle 1). Zusätzlich zu diesen Lebensraumtypen sind in der Abbildung 18 Sandflächen sowie die überwiegend aus Silt bestehenden Schlickbereiche dargestellt. Die Identifizierung als geogene Riffstrukturen basiert bisher primär auf der Auswertung sedimentologischer und geologisch/geomorphologischer Daten, unterstützt durch visuelle Beobachtungen durch Unterwasservideos.

Der FFH-Lebensraumtyp Riff (1170) ist im Untersuchungsgebiet den Bereichen zugeordnet, die mit groben Sedimenten, Steinen und Blöcken belegt sind und die gegebenenfalls sessilen Organismen als Substrat dienen können. Auf den Abrasionsflächen befinden sich häufig dünne, mobile Sandschleier mit einer Mächtigkeit von nur wenigen Dezimetern, die je nach Wellen- und Strömungsbedingungen gelegentlich einen Teil der Hartsubstrate überdecken können. Der Bereich Fehmarn West ist dafür ein typisches Beispiel. Derartige Sandschleier treten speziell im südwestlichen Ostseeraum auf, wo die Sandverfügbarkeit aufgrund geologischer Vorprägung gering ist. Diese Sandschleier sind als Parameter in die Tabelle 4 mit aufgenommen und können als zusätzliches geomorphologisches Kriterium im Greenecode bei Kartendarstellungen oder Gebietsbeschreibungen genutzt werden.

An den Rändern der Abrasionsflächen kommt es ebenfalls zu Sandakkumulationen, die durchaus eine Mächtigkeit von mehreren Metern erreichen können. Diese Sandkörper stellen aber keine morphologischen Erhebungen über den Meeresboden dar, wie es die Kartieranweisung für den FFH Lebensraum Sandbank erfordert (s. Kapitel 2.3). Sie werden in der Abbildung 18 lediglich als „Sand“ bezeichnet. Die Anwendung des BPI zeigt jedoch für den Südteil der Abrasionsfläche westlich Fehmarns positive Werte in dem Bereich der Sandakkumulation (vgl. dazu Abbildung 9). Auch dieser Parameter lässt sich in der Anwendung von Greene mit nutzen.

Im Korngrößenspektrum unterscheiden sich die unterschiedlichen Sande (Sandschleier, Sandakkumulation) sehr deutlich voneinander (Abbildung 19). Während die Sandschleier ein sehr heterogenes Kornspektrum aufweisen, das sich über den gesamten Sandbereich (Fein- bis Grobsand) erstreckt und sogar noch Kiesanteile enthalten kann, bestehen die Sandakkumulationen an den Rändern von Abrasionsflächen lediglich aus Feinsand und sind durch ein enges Kornspektrum (gut sortiert) charakterisiert. Die Anwendung des Kartiercodes von Greene (1995, 1999, 2005, 2007, 2008) sollte hier zu einer klaren Differenzierung dieser beiden von der Genese und Mobilität sehr unterschiedlichen Sandkörper führen.

Sandkörper mit dem für den FFH- Lebensraumtyp Sandbank (1110) typischen morphologischen Charakter und der entsprechenden Sedimentzusammensetzung (feiner bis mittlerer Sand) befinden sich in der Flensburger Förde, in der Geltinger Bucht, vor Schleimünde und im Fehmarn Belt. Auch auf der Sagasbank gibt es derartige Sandkörper, die den sedimentologischen Kriterien einer Sandbank genügen und morphologisch erhalten sind. Sie keilen aber mit einer Flanke auf den Abrasionsflächen aus. Eine klare Abgrenzung zwischen Sandflächen und Sandbänken ist dort nicht möglich (Schwarzer et al., 2014b). Auf der Sagasbank sind weiterhin mächtige Sandflächen (Mächtigkeit > 40 cm) vorhanden, die überwiegend an morphologische Rinnen gekoppelt sind, die durch diese Sandkörper teilweise verfüllt werden (Schwarzer, 2015).

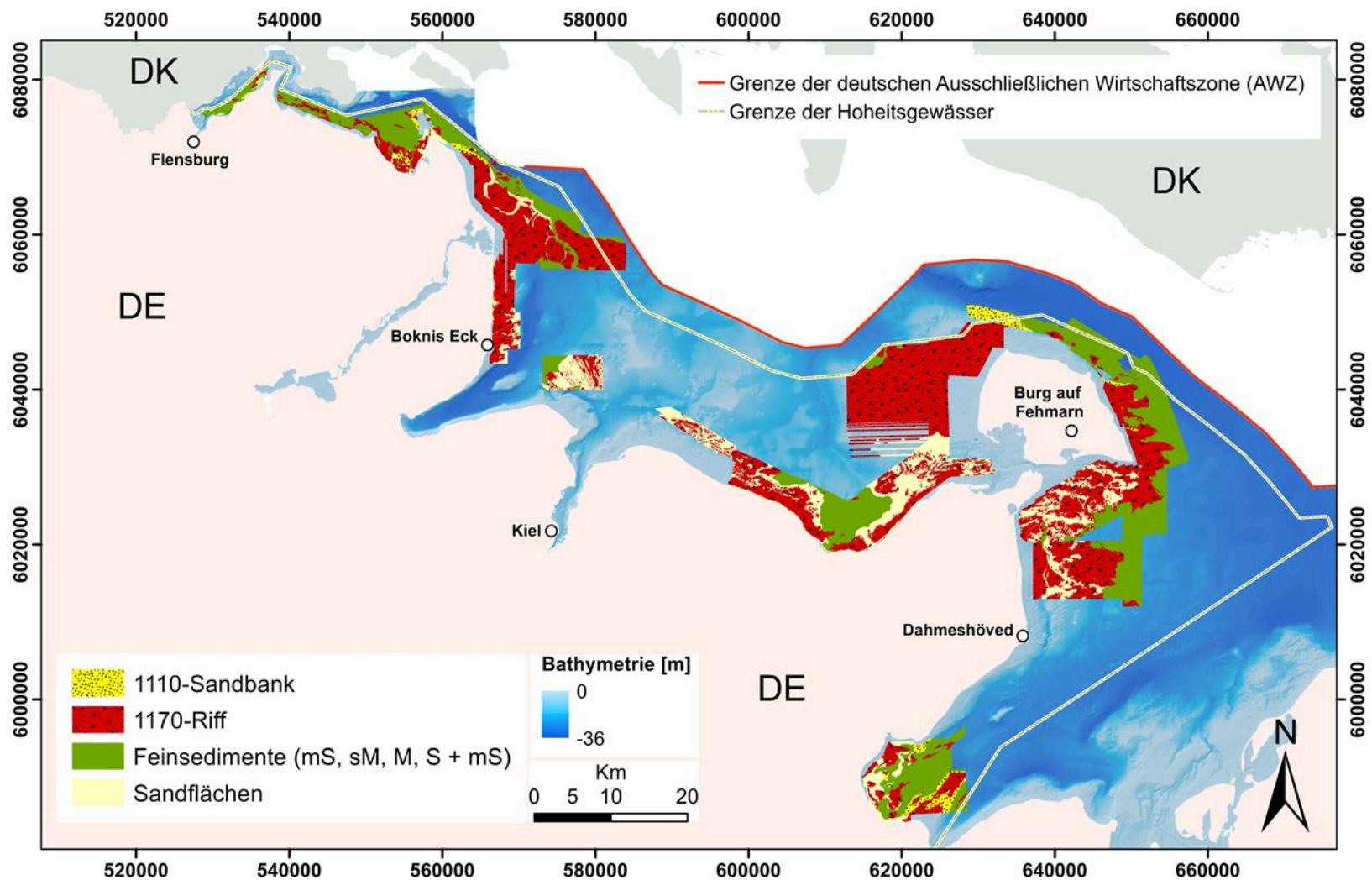


Abbildung 18. Vorkommen von Sandbänken (FFH-Lebensraumtyp 1110), Sandflächen und Riffen (FFH-Lebensraumtyp 1170) in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee auf der Grundlage von Informationen aus früheren FFH-LRT- Kartierungen. (s. Tabelle 1). Weitere potentielle Riffgebiete sind auf der Grundlage von Informationen aus Schwarzer u. v. Rönn, 2020; May, 2008; Mosch, 2008 angegeben. Bathymetrie: GeoSeaPortal URL <https://www.geosea-portal.de/mapapps/resources/apps/bathymetrie/index.html?lang=de> (accessed 5.27.2019).

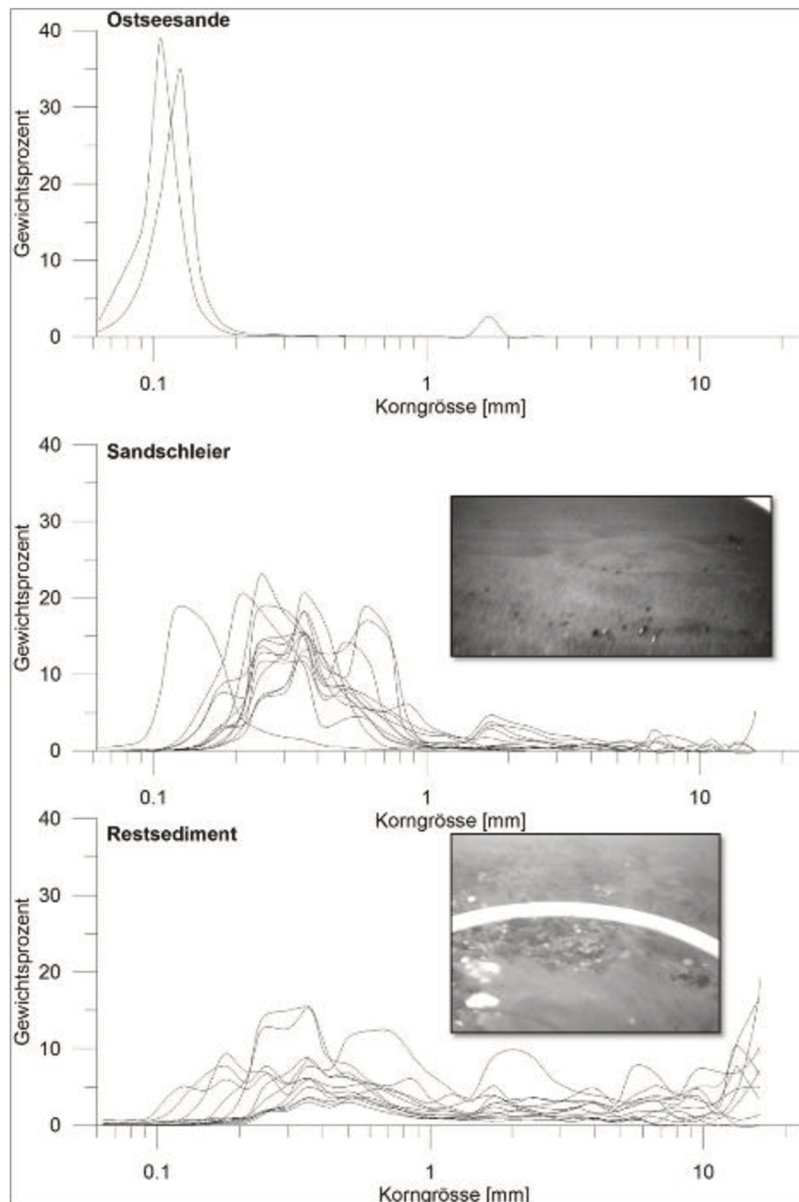


Abbildung 19. Ergebnisse der Korngrößenanalyse für Sandakkumulation an der Südflanke der Abrasionsplattform westlich Fehmarn, den Sandschleiern und den Restsedimenten auf der Abrasionsplattform. Für diese Bereiche liegen Videoaufnahmen vor (aus: Schwarzer et al., 2014b).

#### 4.6. Klassifikation von Lebensräumen nach Greene et al (1995, 1999, 2005, 2007, 2008) dargestellt an einem Beispiel der Flensburger Förde

Die Kartierung, Darstellung und Beschreibung von Habitaten erfolgt auf der Grundlage einer Vielzahl von messbaren und beobachtbaren Eigenschaften eines Meeresraumes. Zu den grundlegenden Daten gehören geomorphologische Daten wie Bathymetrie, Geologie, Geomorphologie, Neigungsgradienten und Bodeneigenschaften. Die Abbildung 20 zeigt an einem Beispiel aus der Mecklenburger Bucht einige solcher Daten, wie sie bei Felduntersuchungen erhoben werden. Der zugehörige Greene-Code ist in der Bildunterschrift zu der Abbildung 20 aufgeführt. Die dargestellten Merkmale korrespondieren mit Parametern, die in dem Klassifikationscode für die Habitats nach Greene et al. (1995, 1999, 2005, 2007, 2008) erforderlich sind.



Die Anwendung eines solchen Klassifikationsschlüssels ist beispielhaft in der Abbildung 21 für einen Teil der Flensburger Förde dargestellt. Die Karte zeigt eine Kombination von Sedimenttypen, benthischer Besiedlung, Bathymetrie, Beobachtung mit optischen Methoden und Informationen aus den Sedimentproben. Die Attributtabelle zu dieser Karte ist in Tabelle 5 dargestellt. Sie enthält Informationen über Sedimenttypen, das Mega-Habitat, die Härte, Makro- oder Meso-Habitat, Modifikator, die Hangneigung, die Rauheit und in einigen Fällen Daten durch die Verifikation durch Sedimentanalysen. Eine Spalte mit dem Namen "Greene" (Spalte 8 in Tabelle 5, blaue Schrift) entspricht dem von Greene et al., (1995, 1999, 2005, 2007, 2008) vorgeschlagenen Code. Dieser GIS-basierte hierarchische Ansatz ermöglicht die Integration weiterer Parameter und Attribute. Damit können durch die Kombination mehrerer Layer mit den gewünschten Informationen benutzerorientierte Karten erstellt werden, die helfen Habitate oder andere Lebensräume nach expliziten Anforderungen zu identifizieren.

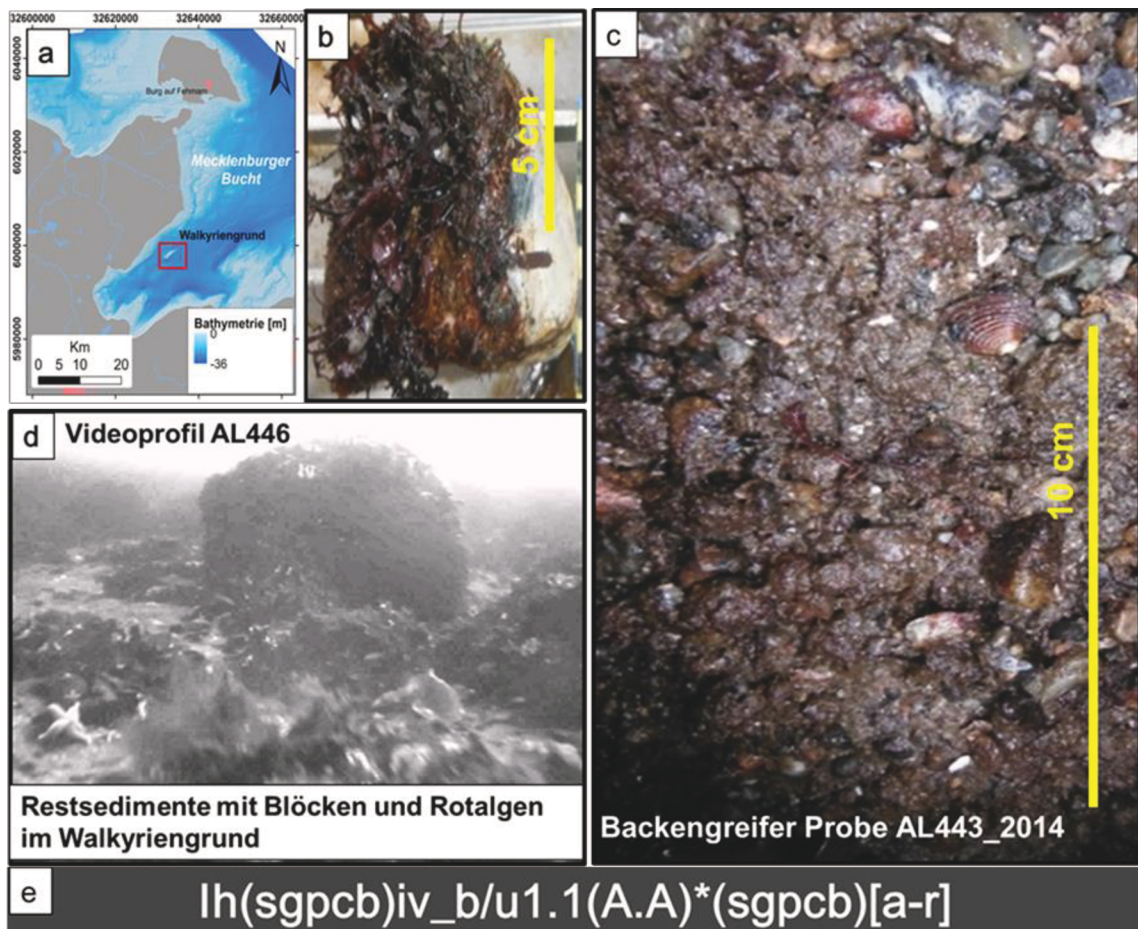


Abbildung 20: Beispiel aus der Mecklenburger Bucht zur Erläuterung des Attributcodes nach Greene (vgl. dazu auch Abb. 7 u. 8). Einige der notwendigen Informationen lassen sich aus den Bildern ableiten. a) Lokation des Walkyriengrund. b) Stein mit Rotalgen bedeckt. c) Greifprobe mit grobem Sediment (Sand und Kies). d) Unterwasservideo, das Blöcke und Vegetation zeigt. e) Greene Code: lh(sgpcb)iv\_b/u1.1(A.A)\*(sgpcb)[a-r]. Mega-Lebensraum: I (Binnenmeere, Fjorde, enge Buchten; Bild a). Bodenbeschaffenheit: h(hart Boden), sgpcb (Sand, Kies, Steine, Blöcke; Bild c). Makrohabitat: iv (eisstruktur / besiedelt; Bild b). Modifikator: \_b/u (konglomeratisch/unkonsolidiertes Sediment; Bild c). Neigung: 1.1 (sehr flach). Rauheit: A.A (sehr geringe Rauheit; aus Bild a, Datensatz zur Morphologie): Direkte Beobachtung: \*(sgpcb): (Silt, Sand, Kies, Steine, Blöcke; Bild d) [a-r]: Rotalgen; Bild b.

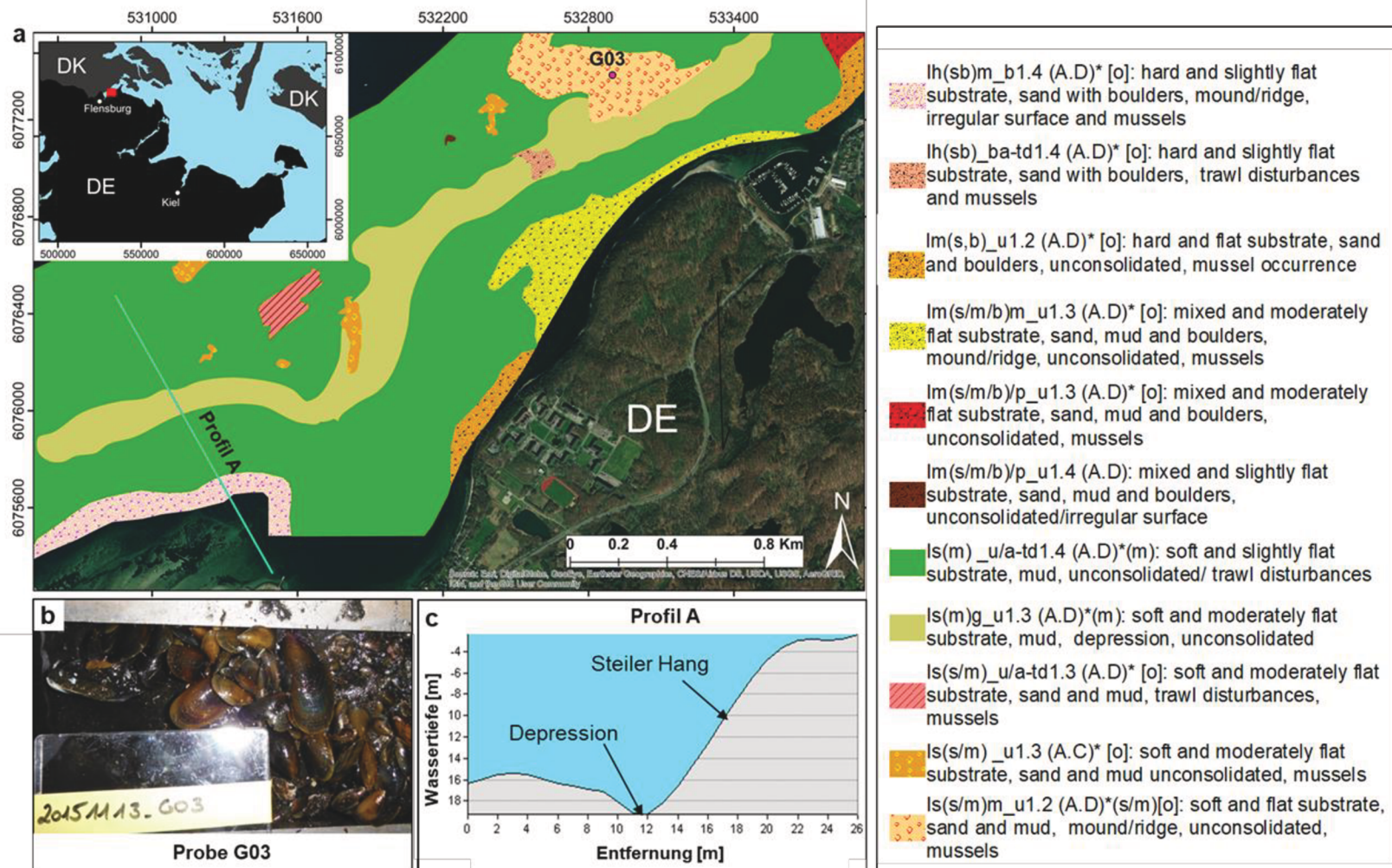


Abbildung 21: Beispiel aus der Flensburger Innenförde für die Klassifikation nach Greene et al., (1995, 1999, 2005, 2007, 2008) (Daten modifiziert nach Schwarzer und Heinrich, 2016).



Tabelle 5: Beispiel für die Greene-Attributcode-GIS-Tabelle. Der Attributcode ist in der Tabelle 4 und im Anhang 1 erläutert.

Depth (m)	1_MegalID	Mega	2_BottomID	Ind	3_MesoID	Mes_Mac	4_Modifier	Modifier	5_Slope	SlopeClass	6_Rugosity	GeologicID	BiologyID	Ground Truthing	Greene	Hab_Desc
-8.5	l	Fjord and narrow inlet	h(sb)	hard	m	Mound/ridge	b	mixed	1.4	Slightly flat	(A.D)		[o]	mussel	lh(sb)m_u1.4 (A.D)* [o]	hard and slightly flat substrate, sand with boulders, mound, irregular surface and mussels
-14,8	l	Fjord and narrow inlet	h(sb)	hard			b/a-td	mixed/ trawl disturbances	1,4	Slightly flat	(A.D)		[o]	mussel	lh(s,b)_b/a-td1.4 (A.D)* [o]	hard and slightly flat substrate, sand with boulders./ trawl disturbances, mussels
-6.7	l	Fjord and narrow inlet	h(sb)	hard			u	unconsolidated	1.2	Flat	(A.D)		[o]	mussel	lm(s,b)_u1.2 (A.D)* [o]	hard and flat substrate, sand and boulders, unconsolidated, mussel
-9.7	l	Fjord and narrow inlet	m(s/m/b)	mixed	m	Mound/ridge	u	unconsolidated	1,3	Moderately flat	(A.D)		[o]	mussel	lm(s/m/b)m_u1.3 (A.D)* [o]	mixed and moderately flat substrate, sand, mud and boulders/ mound, ridge, unconsolidated, mussels
-12.4	l	Fjord and narrow inlet	m(s/m/b)	mixed	m	Mound/ridge	u	unconsolidated	1,3	Moderately flat	(A.D)		[o]	mussel	lm(s/m/b)/p_u1.3 (A.D)* [o]	mixed and moderately flat substrate, sand, mud and boulders, unconsolidated, mussel
-13,7 7	l	Fjord and narrow inlet	m(s/m/b)	soft	p	Pinna- cle	u	unconsolidated	1,4	Slightly flat	(A.D)				lm(s/m/b)/p_u1.4 (A.D)	mixed and slightly flat substrate, sand, mud and boulders, unconsolidated/irregular surface
-13,8	l	Fjord and narrow inlet	s(m)	soft			u/a-td	unconsolidated/ trawl disturbances	1,4	Slightly flat	(A.D)	(m)		mud	ls(m)_u/a-td1.4 (A.D)*(m)	soft and slightly flat substrate, mud, unconsolidated/ trawl disturbances
-16.1.	l	Fjord and narrow inlet	s(m)	soft	g	depression	u	unconsolidated	1,3	Moderately flat	(A.D)	(m)		mud	ls(m)g_u1.3 (A.D)*(m)	soft and moderately flat substrate, mud, depression, unconsolidated
-16.1	l	Fjord and narrow inlet	s(s/m)	soft			a-td	trawl disturbances	1.3	Moderately flat	(A.D)		[o]	mussel	ls(s/m)_u/a-td1.3 (A.D)* [o]	soft and moderately flat substrate, sand and mud, trawl disturbances, mussels
-13.5	l	Fjord and narrow inlet	s(s/m)	soft			u	unconsolidated	1.3	Moderately flat	(A.D)		[o]	mussel	ls(s/m)_u1.3 (A.C)* [o]	soft and moderately flat substrate, sand and mud unconsolidated, mussels
-11.8 4	l	Fjord and narrow inlet	s(s/m)	soft	m	Mound/ridge	u	unconsolidated	1.2	Flat	(A.D)	(s/m)	[o]	Sand/mud mussel	ls(s/m)m_u1.2 (A.D)*(s/m)	soft and flat substrate, sand and mud, mound/ridge, unconsolidated, mussel

Die Tabelle 6 gibt einen Überblick über die in den einzelnen Projekten zur Kartierung der FFH-Lebensraumtypen bearbeiteten Gesamtflächen sowie über die Größe der Flächen in den einzelnen Gebieten, die nach den Kriterien für die FFH-Lebensraumtypen „Riffe“ (1170) und „Sandbänke“ (1110) darstellen. Von dem gesamten schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee (3116,62 km<sup>2</sup>) sind bisher ca. 40,2 % kartiert worden. Etwas mehr als 50% dieser kartierten Fläche entsprechen den Kriterien für den FFH-Lebensraumtyp Riff, aber lediglich 2,77 % entsprechen den Kriterien des FFH-Lebensraumtyps Sandbank (Abbildung 18).

Tabelle 6: Verteilung der FFH-Lebensraumtypen Riff- und Sandbank in den einzelnen Untersuchungsgebieten der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee auf der Basis der durchgeführten FFH-Lebensraumtypen-Kartierungen.

	<b>Kartierte Gesamtfläche [km<sup>2</sup>]</b>	<b>Riff-1170 Fläche [km<sup>2</sup>]</b>	<b>Riff-1170 Fläche [%]</b>	<b>Sandbank-1110 Fläche [km<sup>2</sup>]</b>	<b>Sandbank-1110 [%]</b>
LRT II	189,10	175,37	92,74%	0,0	0,0
LRT III	87,18	60,06	68,89%	0,0	0,0
LRT IV	181,23	112,78	62,23%	2,87	1,58%
LRT V	66,78	12,20	18,27%	4,29	6,42%
LRT VI	214,76	53,10	24,73%	13,77	6,41%
Insgesamt Gebiete LRT Projekten	739,05	413,51	55,95%	20,93	2,83%
Zusätzliche Bereiche (LLUR/CAU und CAU)	513,64	215,69	41,99%	13,83	2,69%
<b>Gesamtfläche LRT VII-Harmonisierung (diese Synthese)</b>	<b>1252,69</b>	<b>629,20</b>	<b>50,23%</b>	<b>34,76</b>	<b>2,77%</b>

### Digitale Daten (im Anhang)

Ergebnisse zu den Sedimenttypen gemäß des Codes nach Greene et al. (1999, 2005, 2007, 2008), Informationen zu den FFH-Lebensraumtypen Sandbank (1110) und Riff (1170) und zusätzliche Beschreibungen sind in einem Shapefile mit dem Namen "**LRT\_Ostsee.shp**" aufbereitet. Eine detaillierte Spezifikation der GIS-Attributtabelle zu diesem Shapefile ist in der Tabelle in Anhang 1 enthalten. Die Tabelle gibt einen Überblick über die zugeordneten Attribute und deren Beschreibung.

Zu diesem Bericht wurden weiterhin 3 Karten im Maßstab A0 mit dem Koordinatensystem „EPSG\_25832 / ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_32N“ angefertigt:

- Anhang 2: Zusammenstellung von Seitensichtsonar-Mosaiken für die schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee.
- Anhang 3: Sedimentverteilung in ausgewählten Bereichen der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee basierend auf der Klassifikation nach Folk (1954).
- Anhang 4: Vorkommen von Sandbänken, Sandflächen und Riffen in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee auf der Grundlage von Informationen aus früheren FFH-LRT-Kartierungen.



Zusätzlich ist eine Sammlung von Geotiffs (TIFF-Format) in digitalem Format enthalten. Sie entsprechen den Seitenansicht - Sonar-Mosaiken, über die in dieser Synthese berichtet wird.

## 5. Diskussion

### 5.1. Räumliche Merkmale der Sedimentverteilung in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee

Die räumliche Verteilung der Oberflächensedimente im gesamten Untersuchungsgebiet (Abbildung 16) steht in engem Zusammenhang mit der Morphologie des Meeresbodens und dem geologischen Aufbau des Untergrundes. Das entspricht den Kenntnissen aus früheren Kartendarstellungen (Seibold et al., 1971; Hermansen u. Jensen, 2000; Zeiler et al., 2008). Der Grad der Exposition gegenüber Strömungen und Wellen ist ebenso von Bedeutung als Faktor für die Verteilung und Umlagerung der Meeresbodensedimente, da Wellentätigkeit, Windrichtung und -dauer proportional zur Menge der an einem bestimmten Ort eingetragenen Energie sind (Dette u. Stephan, 1979; Hupfer et al., 2003). Außerdem zeigt die Verteilung der Sedimente eine starke Beziehung zur Wassertiefe (Seibold et al., 1971). Grobe Sedimente, die mit Steinen und Blöcken vorkommen, finden sich vor allem in den flacheren Bereichen und auf lokalen, aus pleistozänem Geschiebemergel aufgebauten Hochflächen. Umgekehrt bedecken Feinsedimente die tiefsten Gebiete.

Mit den jetzt erarbeiteten Sedimentverteilungskarten, denen flächendeckende SSS-Kartierungen zu Grunde liegen, kann ein wesentlich detaillierteres Bild der Sedimentverteilungen gezeigt werden. Gebiete mit Restsedimenten auf Geschiebemergel korrelieren gut mit den Karten von Seibold et al. (1971) und auch Hermansen u. Jensen (2000). In den exponierten Bereichen liegen aber bis zu -20 m NHN Steine und Blöcke vor, was dem Gradienten der Sedimentverfeinerung hin zu größeren Wassertiefen für einige Gebiete widerspricht. Auf den Abrasionsflächen sind Restsedimente das Ergebnis unterschiedlicher Erosion der unterlagernden glazialen Ablagerungen und des anschließenden Abtransports des Feinmaterials in größere Wassertiefen (Niedermeyer et al., 2011, Schwarzer et al., 2020). Zusammen mit den Restsedimenten kommen Sandschleier auf Abrasionsflächen vor, wie sie westlich von Fehmarn beobachtet wurden. Sie tauchen in keiner der bisherigen Karten auf. Ein Sedimenttyp, der aus bisherigen Untersuchungen ebenso nicht beschrieben ist, ist die Kombination von groben Sedimenten, sogar Steinen und Blöcken mit siltigem Material, wie es z. B. im Fehmarn Belt anzutreffen ist. Dies mag dem dicht unter der Sedimentoberfläche oder in der näheren Umgebung anstehenden Geschiebemergel geschuldet sein. Es ist offensichtlich aber eine untypische Sedimentkombination, die allein durch Strömungsvorgänge nicht erklärt werden kann. Wann die Steine in den größeren Wassertiefen freigelegt wurden, ob zu einer früheren Ostseephase oder erst in der jüngeren Vergangenheit, kann derzeit nicht erklärt werden. In den Übergangsbereichen von den Abrasionsflächen zu den tieferen Bereichen können einzelne Steine und Blöcke als durspießende Steine in den Sandflächen beobachtet werden. Auch hier ist ungeklärt, ob und wann die Steine und Blöcke freigelegt wurden oder ob sie in einem Bereich liegen, in dem aktuell Sediment akkumuliert. Das Freilegen dieser Steine und Blöcke, die aus dem Geschiebemergel stammen, kann zu einer früheren Ostseephase stattgefunden haben, als der Meeresspiegel tiefer lag. Das erneute Überdecken mit Sediment geschah dann nach dem Freilegen. Ob diese Steine derzeit weiter überdeckt werden oder weiter freigelegt werden, ist nicht bekannt.

Dort, wo der Meeresbereich vor Wellen- und Strömungsaktivität stark geschützt ist, wie zum Beispiel in weiten Bereichen der Flensburger Förde, treten wesentlich kleinräumigere Sedimentverteilungsmuster auf. Hier liegen überwiegend feinere Sedimente. Es dominiert weiträumig der Ostseeschlick, und das Vorkommen von grobem Material (grober Sand und Kies), Steinen und Blöcken ist begrenzt.

## 5.2. Sandkörper

Sand wird durch Strömungen transportiert, verteilt und lagert sich in unterschiedlichen geomorphologischen Formen im Untersuchungsgebiet ab. Eine Zusammenstellung solcher Sandkörper zeigt die Abbildung 22. Ausgeprägte Akkumulationszonen feiner Sande werden an den oberen Flanken der Abrasionsplattformen, am Rand von Rinnen, aber auch am Boden lokaler Rinnen abgelagert (Abbildung 22f). Der Sand resultiert aus der Abrasion des Geschiebemergels im marinen Bereich (Niedermeyer-Lange u. Werner, 1988; Schwarzer u. Krause, 2008) und wird über die jeweilige Plattform transportiert. Sand wird zudem durch die Küstenerosion eingetragen (Schwarzer et al., 2020). Die Sandkörper an den Rändern der Abrasionsplattformen weisen Internstrukturen auf, die sie als Transport- und Schüttungskörper definieren (Abbildung 22g). Es ist jedoch ungeklärt, ob diese Strukturen rezent mobil sind oder ob es sich um heute ruhende Transportkörper handelt, was für die Besiedlung durch benthische Organismen von Bedeutung sein kann. Es ist vorstellbar, dass ein mobiles Sediment weniger stark besiedelt wird, als ein sich in Ruhe befindliches Sediment.

Mächtige Sandablagerungen aus Fein- bis Mittelsand mit einer Mächtigkeit zwischen 2 und 3 m treten im Küstenvorfeld der Probstei auf (Pansengrau, 2008). Ausgedehnte Sandflächen im Südwesten der Abrasionsfläche westlich Fehmarns mit einer Mächtigkeit bis zu 4 m werden von Schwarzer et al., (2014b) als Sandakkumulationszonen angesprochen. In diesem Bereich hat bereits Bressau (1953) Sandanhäufungen festgestellt, sie aber hinsichtlich Ausdehnung und Mächtigkeit nicht bestimmen können.

Dünne Sandschichten bedecken gelegentlich die Abrasionsplattformen. Sie werden als Sandschleier interpretiert. Sind sie engräumig begrenzt und länglich ausgerichtet, werden sie auch als Sandbänder bezeichnet. Gemeinsam ist ihnen eine nur geringe Mächtigkeit von wenigen Dezimetern. In den Karten von Seibold (1971) oder Hermannsen und Jensen (2000) sind sie nicht dargestellt. Auf der äußeren Plattform bei Schleimünde von -10 m bis -20 m NHN kommen längliche Sandkörper mit nur geringer Mächtigkeit vor (Schwarzer und Heinrich et al., 2017). Auch fächerförmige Sandbänder, die sowohl NW-SE als auch SW-NE streichen, wurden von Schwarzer et al., (2014b), Feldens et al., (2015) und Szczygielski (2010) im Westen Fehmarns beschrieben. Ihre Orientierung korrespondiert sehr gut mit der Richtung der Oberflächen- (NW) und Bodenströmungen (SE) und deren häufigen Umkehrungen (Mittelstaedt et al., 2008; Feldens et al. 2015). In Richtung Nordosten könnten Veränderungen der Strömungsgeschwindigkeit und des Angebotes an verfügbarem Sand den Übergang von den Sandbändern zu den subaquatischen Dünen im Fehmarnbelt erklären (Feldens et al. 2015; Belderson et al., 1982). Das Sedimentangebot dieser Transportkörper ist im Vergleich zum Dünenfeld geringer. Die Sandschleier bzw. Sandbänder werden von der Abrasionsplattform genährt, während die subaquatischen Dünen möglicherweise auch aus umgearbeitetem Sediment von ertrunkenen, aus einer

Frühphase der Ostsee stammenden, küstennahen Sandakkumulationen gespeist werden (Feldens et al., 2015).

Sandkörper unterschiedlichster Mächtigkeit und Form kommen im gesamten schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee vor. Ein wesentliches Kriterium, um diese Sandkörper als FFH-Lebensraumtyp Sandbank zu kennzeichnen, ist ihre morphologische Erhebung, ihre Ausdehnung (10.000m<sup>2</sup>) und ihr Sedimentbestand, der sowohl Silt als auch Kies beinhalten kann. Ein weiteres entscheidendes Kriterium ist die Abhängigkeit der Fauna und Flora von dem Substrat (LLUR, 2007 – Steckbriefe und Kartierhinweise für Lebensraumtypen; BiotopV SH 2019). Rinnenfüllungen und auch die Sandkörper an den Rändern der Abrasionsflächen erfüllen nicht die geomorphologischen Kriterien für den FFH-Lebensraumtyp Sandbank, können aber gleichwohl vergleichbare Lebensräume sein.

Die Kombination verschiedener Parameter, die in der GIS-Attributtabelle enthalten sind (Tabelle 4), kann zur Identifizierung der Sandablagerungen bzw. von Sandkörpern verwendet werden. Zum Beispiel gibt das zweite Zeichen im Greene-Attributcode (1995, 1999, 2005, 2007, 2008) Auskunft über den Sedimenttyp (s = Sand). Ebenso entspricht das dritte Zeichen des Attributcodes von Greene (Abbildung 8 und Tabelle 4) einem Deskriptor der geomorphologischen Struktur und der Sedimentmerkmale (w = Sandschleier). Das fünfte Zeichen gibt Auskunft über die Hangneigung. Mit diesen Informationen ist es möglich, Sandablagerungen und die damit verbundenen geomorphologischen Merkmale im gesamten Untersuchungsgebiet zu identifizieren. Daher kann der Attributcode im wesentlichen zur Charakterisierung potenzieller Lebensräume verwendet werden, um die Identifizierung und Darstellung charakteristischer Strukturen des Meeresbodens zu erleichtern.

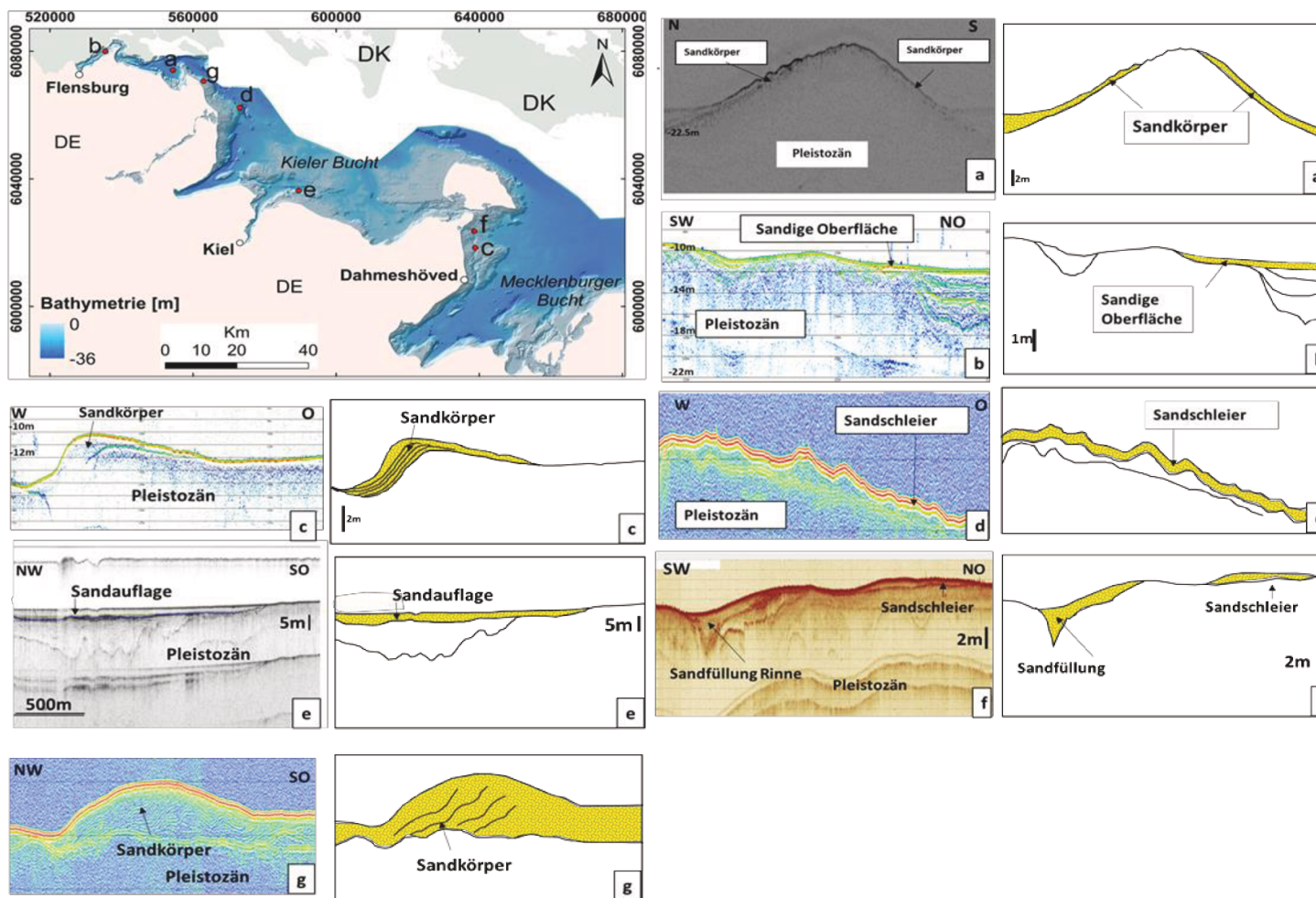


Abbildung 22: Seismische Profile von verschiedenen Sandkörpern im Untersuchungsgebiet. a) Sandablagerungen an den Flanken von aufragendem Geschiebemergel b) dünne Sandbedeckung in der Geltinger Bucht und der Flensburger Außenförde (Schwarzer u. Heinrich, 2016) c) Sandkörper an den Flanken von Rinnen und Abrasionsplattformen auf der Sagasbank (Schwarzer et al., 2014b) d) Sandschleier auf der Abrasionsplattform vor Schleimünde (Schwarzer u. Heinrich, 2017) e) ausgedehnte Gebiete mit Sandbedeckung vor der Probstei (Pansegrau, 2008) f) mit Sand verfüllte Rinnen und Sandschleier auf der Abrasionsplattform vor Großenbrode g) Sandkörper mit Internstruktur der Schüttungsrichtungen anzeigt (Schwarzer u. Heinrich, 2016).



### **5.3. Verteilung der FFH - Lebensraumtypen im Bereich der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee**

Der FFH-Lebensraumtyp Riff unterscheidet sich häufig morphologisch und sedimentologisch von der Umgebung. Er stellt hauptsächlich erhöhte Gebiete dar und ist durch das Vorkommen von Steinen und Blöcken und auch Muschelablagerungen gekennzeichnet. Schwarzer et al., (2008) ordnen weite Bereiche der schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee dem Lebensraumtyp Riff, und hier dem Status I und II zu (Schwarzer et al., 2008). Lediglich für einige Bereiche der Kieler Bucht und in der Lübecker Bucht (Steinriff vor dem Brodtener Ufer) wurde entsprechend des Monitoring Kennblattes zur Bewertung von FFH-Lebensraumtypen (1170) der Status III vergeben. Die Abbildung zeigt für die schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee eine Aktualisierung der Gebiete, die - basierend auf den aktualisierten geowissenschaftliche Untersuchungen, die mit dieser Synthese erstmals zusammenfassend ausgewertet wurden - den geomorphologischen Kriterien der FFH-Lebensraumtypen Sandbank (1110) und Riff (1170) entsprechen. Die Gebiete sind in der Abbildung 23 auf die Karte von Schwarzer et al. (2008) projiziert.

In der Flensburger Innenförde werden einige Gebiete mit dichtem Muschelvorkommen als Lebensraumtyp Riff klassifiziert (1170), obwohl sie nicht den typischen geogenen Charakter einer Abrasionsplattform und eine exponierte Lage aufweisen (Schwarzer u. Heinrich, 2016). Diese Bereiche entsprechen auch den artenreichen Kies-, Grobsand- und Schillgründen im Meeres- und Küstenbereich (BiotopV SH 2019). Weiterhin wurden in der Flensburger Förde, der Gelting-Bucht, vor Schleimünde, Schönhagen und Boknis Eck, auf dem Stollergrund, in der Hohwacht-Bucht und in der Lübecker Bucht geogene Strukturen entlang morphologischer Erhebungen identifiziert, die von Restsedimenten, groben Sedimenten und Steinen und Blöcken bedeckt sind. Sie entsprechen alle den geogenen Kriterien für den Lebensraumtyp Riff. Sie sind teilweise mit einer Sandfazies verzahnt (Schwarzer u. Heinrich, 2016).

Weitere Bereiche, die aus geologischer Sicht dem FFH-Lebensraumtyp Riff (1170) entsprechen, finden sich auch auf den Abrasionsplattformen westlich, östlich und südlich der Insel Fehmarn, auf der Sagasbank und dem Steinriff vor dem Brodtener Ufer. Sie zeichnen sich durch ein signifikantes Vorkommen von groben Sedimenten mit großen Steinen und Blöcken aus. Im Bereich vor Schleimünde (zwischen Falshöft und Schönhagen) und auch am Fuß der Sagasbank in der Mecklenburger Bucht zieht sich der FFH-Lebensraumtyp Riff (1170) von der Abrasionsfläche bis in - 20 m NHN herunter.

Zwischen -10 m und -20 m NHN treten auf den Abrasionsflächen Sandbänder mit nur geringer Mächtigkeit auf (Schwarzer und Feldens, 2010, 2011; Schwarzer et al., 2014b; Schwarzer u. Heinrich et al., 2017). Diese auch als Sandschleier bezeichneten Strukturen sind typische Transportkörper auf Abrasionsplattformen. Es gibt sie auf der Abrasionsplattform westlich von Fehmarn, auf der Sagasbank und auch auf dem Steinriff vor dem Brodtener Ufer. Diese dünnen länglichen und dynamischen Transportkörper unterliegen keiner Klassifizierung als Lebensraumtyp, sondern sind geomorphologische Elemente, die mit dem Vorkommen des FFH-Lebensraumtyps Riff verbunden sind.

Sandkörper in der Flensburger Förde, der Geltinger Bucht und vor Schleimünde erfüllen auf der Grundlage geowissenschaftlicher Untersuchungen (Schwarzer u. Heinrich, 2016,

2017) die Kriterien, um sie als FFH-Lebensraumtyp „Sandbank“ (1110) zu charakterisieren. Sie wurden an der Ostküste der Flensburger Innenförde, entlang der Flanken des Kalkgrundes in der Flensburger Außenförde und im Süden der Geltinger Bucht mit dem Lebensraumtyp Riff (1170) verzahnt vorgefunden (Schwarzer u. Heinrich, 2016). In dem Seegebiet vor Schleimünde befindet sich der FFH-Lebensraumtyp Sandbank an der Nordflanke der Abrasionsfläche bei Falshöft (Schwarzer u. Heinrich et al., 2017). Auf der Sargasbank und dem Gebiet südlich von Fehmarn kommen entlang von Rinnenstrukturen sandige Bereiche vor, die eine Mächtigkeit von 40 cm überschreiten. Sie streichen jedoch auf der Abrasionsfläche aus und werden nicht den Sandbänken zugerechnet (Schwarzer et al., 2014c). Der Lebensraumtyp „Flache große Meeresarme und Buchten (1160)“ wurde für den Bereich der Flensburger Innen- und Außenförde identifiziert (Schwarzer u. Heinrich, 2016).

Die Tabelle 6 gibt einen Überblick über die in den einzelnen Projekten zur Kartierung der FFH-Lebensraumtypen bearbeiteten Gesamtflächen sowie über die Größe der Flächen in den einzelnen Gebieten, die nach den Kriterien für die FFH-lebensraumtypen „Riffe“ (1170) und „Sandbänke“ (1110) darstellen. Von dem gesamten schleswig-holsteinischen Küstengewässer (3116,62 km<sup>2</sup>) sind bisher ca. 40,2 % kartiert worden. Etwas mehr als 50% dieser kartierten Fläche entsprechen den Kriterien für den FFH-Lebensraumtyp Riff, aber lediglich 2,77 % entsprechen den Kriterien des FFH-Lebensraumtyps Sandbank.

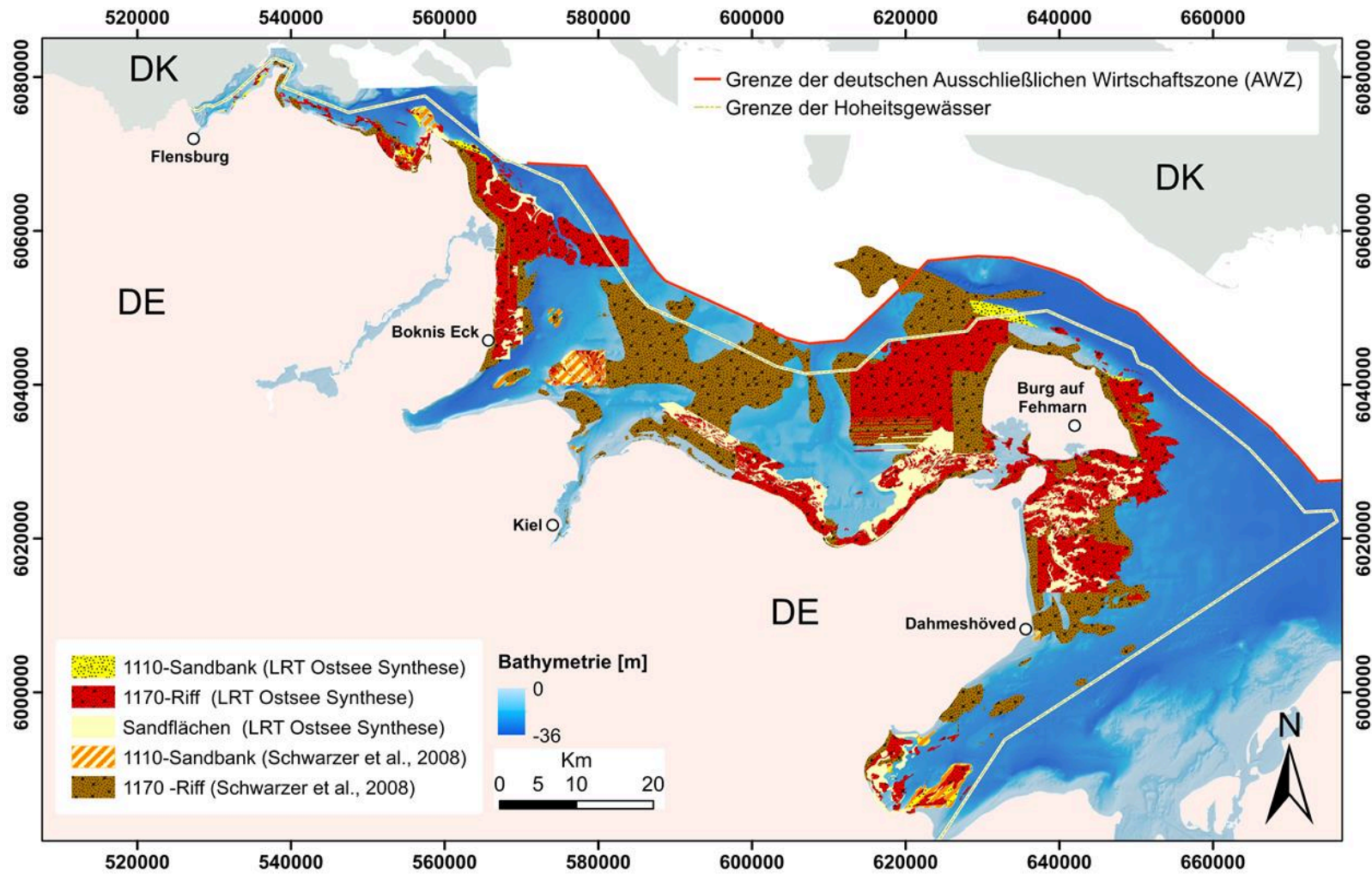


Abbildung 23. Vorkommen der Lebensraumtypen Sandbank (1110) und Riff (1170) in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee. Die Abbildung zeigt den Vergleich des aktuellen Kenntnisstandes (diese Synthese) mit dem Kenntnisstand von 2008 (Schwarzer et al., 2008). Zur Datengrundlage s. Tabelle 1. Bathymetrie: GeoSeaPortal URL <https://www.geoseaportal.de/mapapps/resources/apps/bathymetrie/index.html?lang=de> (accessed 5.27.2019).

#### 5.4. Der Vorteil der Anwendung der Greene-Ansatzes bei der Charakterisierung von Habitaten

Es gibt verschiedene Klassifizierungssysteme zur Charakterisierung von Habitaten und marinen Lebensräumen (Abbildung 24), und häufig kann ein abgegrenzter Lebensraumtyp nicht mit einem anderen Lebensraumtyp, dem ein anderes Klassifizierungssystem zu Grunde liegt, kombiniert werden (Strong et al., 2018). Ebenso überlappen sich Habitats, wie es bei den im Anhang I der Habitat-Richtlinie aufgelisteten Lebensräumen der Fall ist. Im Rahmen der FFH-Lebensraumtypen Charakterisierung kann das Gebiet eines Lebensraumtyps innerhalb eines anderen Lebensraumtyps liegen. So kann z.B. der Lebensraumtyp 1160 – „Große flache Meeresarme und Buchten“ Gebiete von Lebensraumtyp 1110 – „Sandbänke, die ständig leicht von Meerwasser bedeckt sind“ und Lebensraumtyp 1170 – „Riffe“ umfassen, und so zu Überschneidungen führen (Evans u. Arvela, 2011). Es wird daher angestrebt, eine Übertragbarkeit von Parametern, die für ein bestimmtes Klassifizierungssystem erhoben werden, auch für andere Klassifizierungssysteme nutzbar zu machen. Es wurden in der Vergangenheit zahlreiche Anstrengungen unternommen, dies über eine gemeinsame „Sprache“ zwischen den verschiedenen Klassifikationen zu ermöglichen (Evans et al., 2014) und Querbeziehungen zu schaffen, die Übergänge zwischen den verschiedenen Lebensraumklassifikationen unterstützen. Mehr Flexibilität bei der Verwendung und der Mischung verschiedener Attribute würde den spezifischen Zielen der jeweiligen Nutzer gerecht werden.

Hartsubstrat-Lebensräume werden in allen Klassifizierungsschemata identifiziert, aber sie enthalten nicht alle die gleichen Kriterien. Zum Beispiel besteht ein typisches Hartbodensubstrat der südwestlichen Ostsee aus groben Sedimenten (Kies und grober Sand), Steinen und Blöcken und ist mit sessilen Organismen wie der Miesmuschel (*Mytilus edulis*) bedeckt. Dieser Lebensraum könnte als "Riff" (1170) gemäß Anhang 1 der Lebensraumtypen im Interpretationshandbuch der FFH-Richtlinie der EU beschrieben und mit dem Lebensraum Steine und biogene Riffe („Rocks and biogenic reefs“) in der MSRL in Verbindung gebracht werden (Abbildung 24). In der EUNIS-Klassifikation könnte dieser Lebensraum mit vielen Klassen der marinen Lebensräume verbunden sein, die den infralittoralen und zirkalittoralen biogenen Riffen, Felsen und anderen harten Substraten und sublittoralen biogenen Riffen entsprechen, während HELCOM diesen Lebensraumtyp als „Rock and boulders“ klassifiziert.

Das hierarchisch und verschachtelt aufgebaute Greene-System zur Charakterisierung des Meeresbodens hat das Potenzial zur Verwendung verschiedener Parameter auf mehreren Ebenen. Es wurde entwickelt, um sowohl bessere Vergleiche zwischen unterschiedlichen Charakterisierungsschemata, als auch um ein besseres Verständnis zwischen den jeweiligen Bearbeitern zu ermöglichen. Diese von Greene et al. (1995, 1999, 2005, 2007, 2008) erarbeitete Klassifikation kann angepasst und mit den verschiedenen anderen Klassifikationen in Beziehung gesetzt werden (Abbildung 24), da der Attributcode Parameter enthält, die die Eigenschaften des Habitattyps beschreiben (z.B. Substrathärte, Sedimenttyp, Wassertiefe, Bodenneigung, biologische Besiedlung und Komplexität). Auch die Kombination von mehreren GIS-Ebenen, die eine Reihe von wesentlichen Parametern repräsentieren (z.B. BPI, Neigung, Rauheit), sind bei der Analyse der marinen Umwelt und der Identifizierung von marinen Habitaten hilfreich (s. Kap. 4:1).



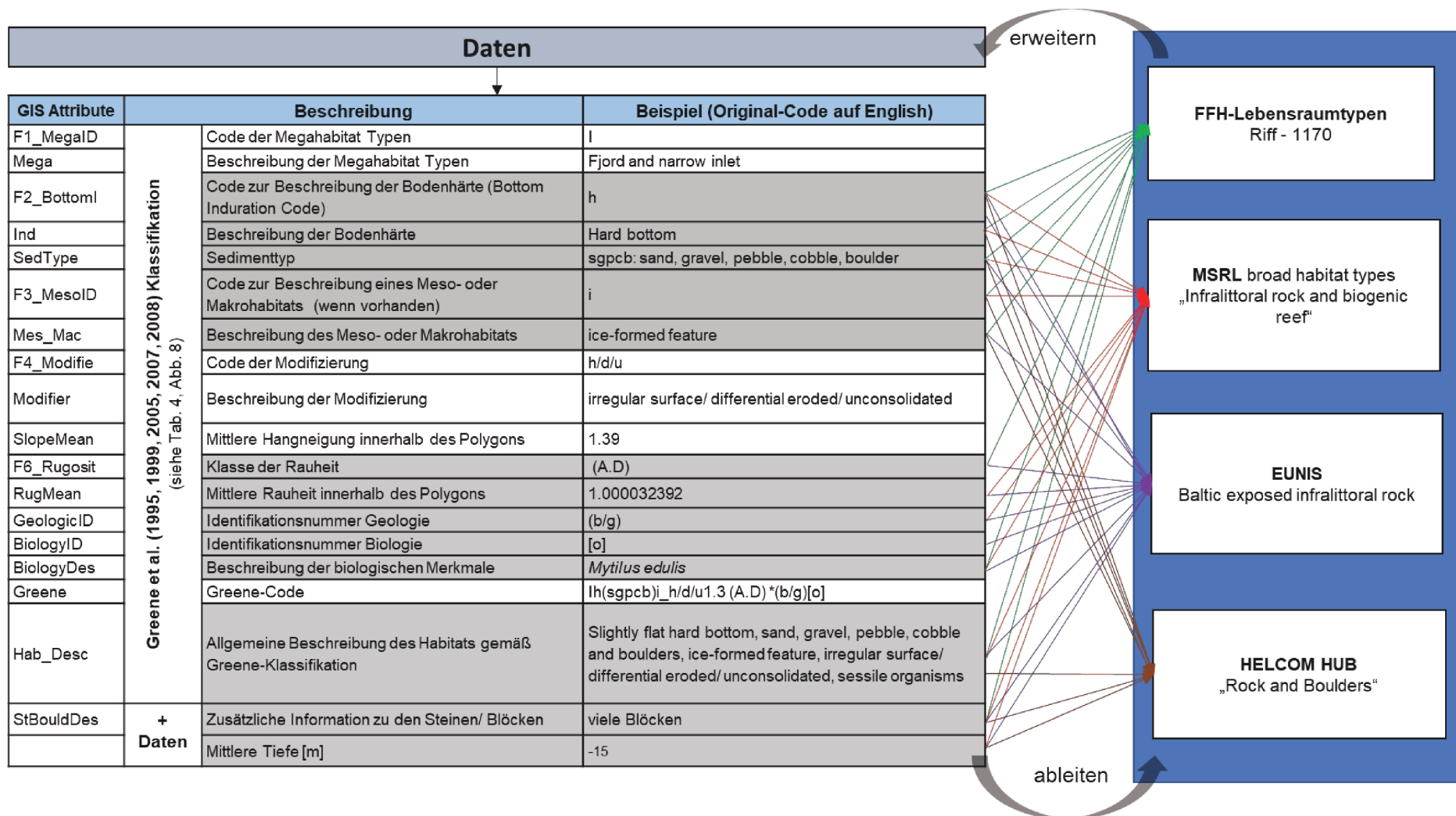


Abbildung 24. Beispiel für die Verwendung von Daten aus der GIS-Attributtabelle (Anhang 1), die als Eingabeinformationen zur Identifizierung potenzieller Lebensraumtypen dienen. Die Abbildung zeigt ein Beispiel für Riffe und wie die verschiedenen Parameter des Greene-Klassifizierungsschemas möglicherweise zur Identifizierung von Lebensräumen gemäß der verschiedenen Richtlinien und Konventionen beitragen können.

## 6. Zusammenfassung

Seit 2007 wurden im Rahmen verschiedener Projekte von der Arbeitsgruppe Küstengeologie und Sedimentologie der Universität Kiel, teilweise im Auftrag aber auch in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR), die schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee mit dem Ziel kartiert, FFH-Lebensraumtypen zu erfassen. Dabei wurden die jeweiligen Untersuchungsgebiete mit verschiedenen hydroakustischen Messsystemen immer gebietsweise flächendeckend kartiert. Auf der Basis dieser Kartierungen erfolgten Sedimentbeprobungen und Beobachtungen des Meeresbodens mit optischen Systemen. Dieser umfassende, aus vielen Einzelprojekten bestehende Datensatz aus mehr als 12 Jahren Kartierarbeit ist in dem vorliegenden Abschlussbericht „Synthese Lebensraumtypen Ostsee“ harmonisiert worden. Die Zusammenführung der Informationen führte zu einer umfassenden Erfassung, Zusammenstellung und Auswertung von SSS-Mosaiken, die in einer Karte in diesem Bericht und im digitalen Anhang dargestellt werden. Eine zusammenfassende Sedimentverteilungskarte konnte im Rahmen dieser Synthese erstmals für alle kartierten Bereiche erstellt werden. Weiterhin beinhaltet die Harmonisierung die Identifikation von FFH-Lebensraumtypen auf der Basis geowissenschaftlicher Informationen gemäß den Bestimmungen der Habitat-Richtlinie. Ein weiteres Ergebnis dieser Synthese ist die Differenzierung unterschiedlicher Sandkörper, die über das gesamte Arbeitsgebiet verteilt sind. Diese Sandkörper stellen teilweise mächtige Akkumulationen von Sand dar, sind aber teilweise morphologisch kaum erhaben. Sie könnten den Anforderungen als Lebensraum für benthisch lebende Organismen genauso gerecht werden wie der FFH-Lebensraumtyp Sandbänke.

Ein weiteres Ziel war, das von Greene et al. (2007 u. a.) entwickelte codierte Klassifikationsschema zur Charakterisierung von Habitaten für die schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee nutzbar zu machen. Die Parameter für die Greene Klassifikation umfassen relevante Informationen wie Morphologie, Geländeparameter, Sedimenttypen, In-situ-Beobachtungen, die Biologie, etc..

Für die Nutzung des Greene-Ansatzes werden typische Parameter für die schleswig-holsteinischen Küstengewässer der Ostsee erarbeitet. So ist es z.B. notwendig, für die Hangneigung für die unterste Klasse „flat“ weitere Unterteilungen zu errechnen, da nur diese Klasse in den schleswig-holsteinischen Küstengewässern der Ostsee vorkommt. Ähnlich ist es mit der Rauheit. Der Ansatz zur Habitatklassifizierung für das Untersuchungsgebiet schleswig-holsteinische Küstengewässer der Ostsee nach dem Attributcode nach Greene et al. (1995, 1999, 2005, 2007, 2008) wird an einem Beispiel aus der Flensburger Förde vorgestellt. Der Attributcode erweist sich für die Ostseeküste als praktikabel. Darüber hinaus ermöglicht die Klassifikation den Benutzern die Verwendung relevanter Attribute durch die Kombination mehrerer GIS-Ebenen, die eine Reihe von abiotischen Parametern für die Untersuchung der Lebensräume am Meeresboden repräsentieren.

Die Anwendung der Greene Klassifikation verbessert die Möglichkeiten, für unterschiedliche Gewässer den unterschiedlichen Anforderungen verschiedener EU-Richtlinien, Konventionen oder nationaler Bestimmungen leichter und besser gerecht zu werden.

## 7. Literaturverzeichnis und Verzeichnis der Arbeitsgrundlagen

- Belderson, R.H., Johnson, M.A., Kenyon, N.H., 1982. Bedforms. In: Stride, A.H. (Ed.), *Offshore Tidal Sands, Processes and Deposits*, pp. 27–57.
- BioConsult, 2010. *Marine Landschaftstypen der deutschen Nord- und Ostsee*. F+E-Vorhaben im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz (BfN). – 58 S., Anhänge.
- BiotopV SH 2019, 2019. Landesverordnung über gesetzlich geschützte Biotope (Biotopverordnung) v. 13. Mai 2019, Fundstelle: GVOBl.2019 146.
- Björck, S., 2008. The late Quaternary development of the Baltic Sea basin. – In: H. von Storch (Ed.), *Assessment of climate change for the Baltic Sea Basin*, 398-407, (Springer).
- Blott, S.J. and Pye, K. 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. - *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 1237-1248.
- Bock, G. F., Thiermann, H., Rumohr, H., Karze, R., 2003. Ausmaß der Steinfischerei an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste. – Jahresbericht Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, LANU, 111 – 116.
- Boedeker, D., Krause, J.C., von Nordheim, H., 2006. Interpretation, identification and ecological assessment of the NATURA 2000 habitats “sandbank” and “reef,”. In: von Nordheim, H., Boedeker, D., Krause, J.C. (Eds.), *Progress in Marine Conservation in Europe*, 47 – 64 (Springer) [https://doi.org/10.1007/3-540-33291-X\\_4](https://doi.org/10.1007/3-540-33291-X_4)
- Boedeker, D., Heinicke, K., 2018. BfN-Kartieranleitung für „Riffe“ in der deutschen ausschliesslichen Wirtschaftszone (AWZ), 70 S.
- Bressau, S., 1957. Abrasion, Transport und Sedimentation in der Beltsee. - *Die Küste* 6 (1), 64 - 102.
- BSH, 2016. Anleitung zur Kartierung des Meeresbodens mittels hochauflösender Sonare in den deutschen Meeresgebieten. BSH Nr. 7201.
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), 2019. BSH WMS Seevermessung Meeresboden\_DGM.
- Cogan, C.B., Todd, B.J., Lawton, P., Noji, T.T., 2009. The role of marine habitat mapping in ecosystem-based management. - *ICES J. Mar. Sci.* 66, 2033–2042. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp214>
- Davies, C.E., Moss, D. and Hill, M.O., 2004. EUNIS habitat classification revised 2004. Report to: European Environment Agency-European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity, pp.127-143.
- Detle, H.-H., Stephan, H.-J. 1979. About waves and wave-induced effects in the nearshore zone of the Baltic Sea,. - *Mitt. Leichtweiss-Inst. d. TU Braunschweig*, 65, 89 - 136.
- Evans, D. and Arvela, M., 2011. Assessment and reporting under Article 17 of the Habitats Directive. Explanatory Notes & Guidelines for the period 2007-2012. *European Commission, Brussels*.
- Evans, D., Condé, S. and Royo Gelabert, E., 2014. Crosswalks between European marine habitat typologies—a contribution to the MAES marine pilot. *ETC/BD Report for the EEA*.
- EU, 1992. Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. OJ L, 206, 22.7.1992, 7–50.
- EU, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. OJ L 327, 22.12.2000, 1–73.

- EU, 2007. Interpretation manual of European Union habitats-EU27. *European Commission-DG Environment*.
- EU, 2008. Directive 2008/56/EC des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt (Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie), L164/19 – L164/40.
- EU, 2013. Interpretation manual of European Union habitats–EUR28. *European Commission-DG Environment*, 144.
- Feldens, P., Schwarzer, K. and Diesing, C.H.M., 2009. Genesis and sediment dynamics of a subaqueous dune field in Fehmarn Belt (south-western Baltic Sea). *Ergebnisse aktueller Küstenforschung. -Marburger Geographische Schriften*, 145, 80 – 97.
- Feldens, P., Diesing, M., Schwarzer, K., Heinrich, C. and Schlenz, B., 2015. Occurrence of flow parallel and flow transverse bedforms in Fehmarn Belt (SW Baltic Sea) related to the local palaeomorphology. - *Geomorphology*, 231, pp.53-62. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.11.012>
- Folk, R.L., 1954. The Distinction between Grain Size and Mineral Composition in Sedimentary-Rock Nomenclature. - *J. Geol.* 62, 344–359. <https://doi.org/10.1086/626171>
- Greene, H.G., Yoklavich, M.M., Sullivan, D., Cailliet, G.M., 1995. A geophysical approach to classifying marine benthic habitats: Monterey Bay as a model. In: O’Connell, V.M., Wakefield, W., eds., *Applications of Side-scan Sonar and Laser-line Systems in Fisheries Research: Alaska Department of Fish and Game*, SI, 9, 15-30.
- Greene, H.G., Yoklavich, M.M., Starr, R.M., O’Connell, V.M., Wakefield, W.W., Sullivan, D.E., McRea Jr., J.E., and Cailliet, G.M., 1999. A classification scheme for deep sea-floor habitats: - *Oceanologica Acta*, 22 (6), 663-678.
- Greene, H.G., Bizzarro, J.J., Tilden, J.E., Lopez, H.L., Erdey, M.D., 2005. The benefits and pit-falls of geographic information systems in marine benthic habitat mapping. In: Wright, D.J., Scholz, A.J., eds.. *Place Matters Geospatial Tools for Marine Science, Conservation, and Marine Management in the Pacific Northwest: Oregon State Univ. Press, Corvallis, OR*, 34-46.
- Greene, H. G., Bizzarro, J.J., O’Connell, V.M., Brylinsky, C.K., 2007. Construction of Digital Potential Marine Benthic Habitat Maps using a Coded Classification Scheme and its Application. – In: Todd, B.J., Greene, H.G. (Eds.), *Mapping the Seafloor for Habitat Characterization*, Geological Association of Canada Special Paper 47, 141 – 155.
- Greene, H. G., O’Connell, V., Brylinsky, C., Reynolds, J., 2008. Marine Benthic Habitat Classification: What’s Best for Alaska?, in: Reynolds, J., Greene, H. (Eds.), *Marine Habitat Mapping Technology for Alaska*. Alaska Sea Grant, University of Alaska Fairbanks, pp. 169–184. <https://doi.org/10.4027/mhmta.2008.12>
- HELCOM (2013). HELCOM HUB - Technical report on the HELCOM Underwater Biotope and habitat classification. *Balt. Sea Environ. Proc. No. 139*, 96pp.
- Hermansen, B., Jensen, J. (2000): *Digital Sea Bottom Map around Denmark 1:500.000*.- Hrsg.: GEUS (Geological Survey of Denmark and Greenland); Kopenhagen.
- Gregg, E.J., Ahrens, A.L., Perry, R.I., 2012. Reconciling classifications of ecologically and biologically significant areas in the world’s oceans. – *Marine Policy*, 36, 716 – 726.
- Harff, J., Meyer, M., 2011. Coastlines of the Baltic Sea – Zones of Competition Between Geological Processes and a Changing Climate: Examples from the Southern Baltic, in: Harff, J., Björck, S., Hoth, P. (Eds.), *The Baltic Sea Basin*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 149–164. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-17220-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-642-17220-5_7)
- Harris, P., Baker, E.K., 2012. Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat. *Geohab Atlas of Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats*. 900 S. (Elsevier).



- Harris, P.T., Baker, E.K., 2020. Why map benthic habitats? In: *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat*. Elsevier, pp. 3–15. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814960-7.00001-4>
- Hupfer, P., Harff, J., Sterr, H., Stigge, J.-J., 2003. Die Wasserstände an der Ostseeküste, Entwicklung – Sturmfluten – Klimawandel. – *Die Küste*, 66, 331 S.
- Intelmann, S.S. Cochrane, G.R., 2006. Benthic habitat mapping in the Olympic Coast National Marine Sanctuary: Classification of side scan sonar data from survey HMPR-108-2002-01: Version I.
- Jordan, A., Lawler, M., Halley, V. and Barrett, N., 2005. Seabed habitat mapping in the Kent Group of islands and its role in marine protected area planning. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15(1), 51-70.
- ISO 14688-1:2017. Geotechnical investigation and testing — Identification and classification of soil — Part 1: Identification and description
- Karez, R., Schories, D., 2005. Die Steinfischerei und ihre Bedeutung für die Wiederansiedlung von *Fucus vesiculosus* in der Tiefe. – *Rostocker Meeresbiologische Beiträge*, 14, 95 – 107.
- Kolp, O., 1966. Die Sedimente der westlichen und südlichen Ostsee und ihre Darstellung. - *Beiträge zur Meereskunde* 17–18, 9–60.
- LANU-Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, 2007. Steckbriefe und Kartierhinweise für FFH-Lebensraumtypen. 1. Fassung, Flintbek.
- LLUR, 2015. Erläuterungen zur Kartierung der gesetzlich geschützten Biotope in Schleswig-Holstein (nach § 30 BNatSchG i. V. m. § 21 LNatSchG), 131.
- Lund, K., Wilbur, A.R., 2007. Habitat Classification Feasibility Study for Coastal and Marine Environments in Massachusetts [WWW Document]. URL /paper/Habitat-Classification-Feasibility-Study-for-and-in-Lund-Wilbur/f9cc0b8c2bf36fa643f9984791413fd86e3d5000 (accessed 11.19.19).
- Lundblad, E.R., Wright, D.J., Miller, J., Larkin, E.M., Rinehart, R., Naar, D.F., Donahue, B.T., Anderson, S.M., Battista, T., 2006. A Benthic Terrain Classification Scheme for American Samoa. *Mar. Geod.* 29, 89–111. <https://doi.org/10.1080/01490410600738021>
- Mittelstaedt, E., Klein, H., König, P., 2008. Current observations in the Western Baltic Sea. In: Feistel, R., Nausch, G., Wasmund, N. (Eds.), *State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005: A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 121–141.
- Niedermeyer, R.O., Lampe, R., Jahnke, W., Schwarzer, K., Duphorn, K., Kliewe, H., Werner, F., 2011. *Die deutsche Ostseeküste*. 2. völlig neu bearbeitete Auflage. Gebr. Borntraeger (370 pp.).
- Niedermeyer-Lange, R., Werner, F., 1988. Flachseismische sonographische Aufnahmen im Küstenvorfeld der Hohwachter Bucht (westl. Ostsee) und ihre glazialgeologische Interpretation. - *Senckenbergiana Marit.*, 20, 59 – 79.
- Penrose, J.D., Siwabessy, P.J.W., Gavrilov, A., Parnum, I., Hamilton, L.J., Bickers, A., Brooke, B., Ryan, D.A. and Kennedy, P., 2005. Acoustic techniques for seabed classification. Cooperative Research Centre for Coastal Zone Estuary and Waterway Management, Technical Report, 32.
- Reimers, H.-C., 2008. Sea Bottom Sediment Map of the Western Baltic, State Agency for Nature and Environment Schleswig-Holstein; based on Hermansen & Jensen (2000): Digital Sea Bottom Sediment Map around Denmark and data of the Federal Maritime and Hydrographic Agency, Germany (BSH) and the Christian-Albrechts-University of Kiel; compiled by Sekinker, A. (2002).

- Ruck, K., 1952. Seegrundkartierung der Lübecker Bucht. – *Die Küste* 1 (2), 55 – 57.
- Rumohr, J., Walger, E., Zeitschel, B., 1987. Seawater-Sediment Interactions in Coastal Waters. - *Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies*, 13, 338 S.
- Schiele, K., S., Darr, A., Zettler, M. L., Friedland, R., Tauber, F., v. Weber, M., Voss, J., 2015. Biotope map of the German Baltic Sea. - *Marine Pollution Bulletin*, 96, 127 – 135, <https://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.038>.
- Schwarzer, K., 1989. Sedimentdynamik in Sandriffsystemen einer tidefreien Küste unter Berücksichtigung von Rippströmen. *Berichte – Reports, Geol. Paläont. Inst. Univ. Kiel*, 33, 270 S.
- Schwarzer, K., Diesing, M., Larson, M., Niedermeyer, R.-O, Furmanczyk, K., 2003. Coastal evolution in different time scales - examples from the Mecklenburg Bight (Baltic Sea). - *Mar. Geol*, 194, 79 - 101.
- Schwarzer, K. Krause, R., 2008. Untersuchungen zur Morpho- und Sedimentdynamik im Hinblick auf eine Küstensicherungs- und Hochwasserschutzmaßnahme im Bereich Timmendorfer Strand. – *Bericht AG Sedimentologie, Küsten- und Schelfgeologie*, 58 S. (unveröff.).
- Schwarzer, K., Themann, S., Krause, R., 2008. Zusammenstellung der marinen Lebensraumtypen nach FFH. Institut für Geowissenschaften Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Abschlussbericht, doi:10.13140/2.1.3342.4164
- Schwarzer, K., Bohling, B., Heinrich, C., 2014a. Submarine hard-bottom substrates in the western Baltic Sea – human impact versus natural development. - *J. Coast. Res.* 70, 145–150. <https://doi.org/10.2112/SI70-025.1>
- Seibold, E., Exon, N., Hartmann, M., Kögler, F.-C., Krumm, H., Lutze, G.F., Newton, R.S., Werner, F., 1971. Marine Geology of Kiel Bay, in: Müller, G. (Ed.), *Sedimentology of Parts of Central Europe: Guidebook to Excursions Held During the VIII International Sedimentological Congress 1971 in Heidelberg, Germany*. Kramer, Frankfurt a.M., pp. 209–235.
- Seifert, G., 1952. Der Aufbau und die geologische Entwicklung des Brodtener Ufers und der angrenzenden Niederungen. – *Die Küste*, 1 (2), 15 – 20.
- Strong, J.A., Clements, A., Lillis, H., Galparsoro, I., Bildtsein, T., Pesch, R., 2018. A review of the influence of marine habitat classification schemes on mapping studies: inherent assumptions, influence on end products, and suggestion for future developments. - *ICES Journal of marine Science*, doi:10.1093/icesjms/fsy161
- von Rönn, G.A.; Schwarzer, K.; Reimers, H.-C.; Winter, C.2009. Limitations of Boulder Detection in Shallow Water Habitats Using High-Resolution Sidescan Sonar Images. - *Geosciences*, 9, 390.
- Walbridge, S., Slocum, N., Pobuda, M. and Wright, D.J., 2018. Unified geomorphological analysis workflows with Benthic Terrain Modeler. *Geosciences*, 8(3), p.94.
- Wentworth, C.K., 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. - *The Journal of Geology* 30, 377–392, <https://doi.org/10.1086/622910>
- Werner, F., 1967. Sedimentation und Abrasion am Mittelgrund (Eckernförder Bucht, westl. Ostsee. - *Meyniana*, 17, 101 – 110.
- Werner, F., Altenkirch, J., Newton, R.S., Seibold, E., 1976. Sediment patterns and their temporyl variation on abrasion ridges in a moderate flow regime (Stoller Grund, Western Baltic). - *Meyniana* 28, 95 – 105.
- Wright, D. J., E. R. Lundblad, E. M. Larkin, R. W. Rinehart, J. Murphy, L. Cary-Kothera, and K. Draganov. 2005. ArcGIS Benthic Terrain Modeler. Corvallis, Oregon, Oregon State University, Davey Jones Locker Seafloor Mapping/Marine GIS Laboratory and

NOAA Coastal Services Center. Accessible online at: <http://maps.csc.noaa.gov/digitalcoast/tools/btm>.

Zeiler, M., Schwarzer, K., Ricklefs, K. and Bartholomä, A., 2008. Seabed morphology and sediment dynamics. - Die Küste, 74 ICCE, (74), pp.31-44.

## Arbeitsgrundlagen

Bressau, S., 1953. Die geologischen Untersuchungen in dem Raum Fehmarn - Wagrien und in den Gewässern um Fehmarn (Teilbericht 3). Abschnitt II. Seegrundkartierung der Gewässer um Fehmarn. 39 S., 52 Abb. (unveröff.).

Feldens, P., 2008. Genese und Sedimentdynamik eines Riesenrippelfeldes im Fehmarn Belt, Diplomarbeit, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 98 S. (unveröff.).

Dehde, B. 2000. Quartärgeologische Kartierung an der Neustädter Bucht. Diplomarbeit: Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 58 S., (unveröff.).

Harders, R. 2004. Quartärgeologische Großkartierung in der nördlichen Lübecker Bucht mittels hydroakustischer Methoden und Sondierungen bei Pelzerhaken. - Dipl.-Arbeit: Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 122 S. (unveröff.).

Jesußek, A., 2008, Aufbau des Seegrundes in der Inneren Lübecker Bucht (westliche Ostsee) - Pleistozänoberfläche, holozäne Ablagerungen und Oberflächensediment-Verteilung. Diplomkartierung Inst. f. Geowissenschaften d. Univ. Kiel (unveröff.)

Kampmeier, M., 2014. Holocene development of the Sagasbank (Mecklenburg Bay) – based on hydroacoustic measurements and sediment core. MSC-Arbeit, Christian-Albrechts Universität zu Kiel, Inst. f. Geowissenschaften, 102 S. (unveröff.).

König, J., 2010. Seegrundkartierung eines Riesenrippelfeldes im Fehmarn Belt (SW Ostsee). Diplomkartierung Christian-Albrechts-Univ. zu Kiel, Inst. f. Geowissenschaften, 50 S. (unveröff.).

Langenbacher, J. M. 2007. Pleistozänoberfläche, Holozänaufbau und Verteilung von Oberflächensedimenten in der inneren Lübecker Bucht – Seegrundkartierung in der westlichen Ostsee. - Kurzkartierung: Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel; 70 S. (unveröff.).

May, H. 2008. Seegrundkartierung und Analyse der Entwicklung subaquatischer Steinfelders mittels hydroakustischer Methoden bei Boknis Eck (Eckernförder Bucht). – Diplomarb., Math.-Naturwis. Fak. der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 108 S.

Mosch, T. 2008: Veränderungen der Sedimentverteilungen auf dem Stoller Grund seit den siebziger Jahren. - Diplomarbeit an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität, 91 S. (unveröff.).

Pansegrau M., 2008. Probstei – Ostsee. Kurzkartierung. Univ. Kiel, Inst. f. Geowissenschaften, 39 S. (unveröff.).

Riethdorf, J.-R. 2007. Quartärgeologische Seegrundkartierung in der südlichen Lübecker Bucht (westliche Ostsee. – Kurzkartierung: Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel; Kiel.

Rohde, V. 2007. Rekonstruktion der spätglazialen und holozänen Entwicklung und Verteilung der Oberflächensedimente in der inneren Lübecker Bucht – Quartärgeologische Seegrundkartierung – Kurzkartierung: Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel; 184 S. (unveröff.).

Schwarzer, K., Bohling, B., 2008. Bericht zu dem Forschungsvorhaben: Regeneration

- subaquatischer Steinfeld in der westlichen Ostsee. Institut für Geowissenschaften Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 31 S. (unveröff.).
- Schwarzer, K., Themann, S., Krause, R., 2009. Abschlussbericht: Auswertung von Sedimentklassifizierungsdaten der Nord- und Ostsee Schleswig-Holsteins: Institut für Geowissenschaften Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 40 S. (unveröff.).
- Schwarzer, K., Feldens, P., 2010. Seitensichtsonar-Kartierung der Abrasionsplattform seewärts des Brodtener Ufers, Abschlussbericht. Christian-Albrechts Universität zu Kiel, 18 S. (unveröff.).
- Schwarzer, K., Heinrich, C., 2010. Abschlussbericht: Auswertung von Sedimentklassifizierungsdaten der Nord und Ostsee Schleswig- Holsteins. Institut für Geowissenschaften Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel.
- Schwarzer, K., Heinrich, C., Feldens, P., 2014b. Identifizierung mariner Lebensraumtypen in der Kieler Bucht westlich Fehmarn, Abschlussbericht. - Institut für Geowissenschaften Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24 S. (unveröff.).
- Schwarzer, K., Heinrich, C., Papenmeier, S., 2014c. Identifikation mariner Lebensraumtypen in der Mecklenburger Bucht (Kartierung der Sagasbank), Abschlussbericht. - Christian-Albrechts Universität zu Kiel, Kiel, 39 S. (unveröff.).
- Schwarzer, K., 2015. Identifizierung von Riffkompensationsflächen auf der Sagasbank (Mecklenburger Bucht). – Bericht, Christian-Albrechts- Universität zu Kiel, 9 s. (unveröff.).
- Schwarzer, K., Heinrich, C., 2016. Lebensraumtypen V - Kartierung der Flensburger Förde, Abschlussbericht. - Institut für Geowissenschaften Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 44 S. (unveröff.).
- Schwarzer, K., Heinrich, C., 2017. Identifikation mariner Lebensraumtypen vor Schleimünde (Lebensraumtypen IV), Abschlussbericht,. Christian-Albrechts Universität zu Kiel, 36 S. (unveröff.).
- Schwarzer, K., von Rönn., 2020. GeoHab – BALDESH. Institut für Geowissenschaften Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Abschlussbericht (in Vorbereitung).
- Schwarzer, K., Unverricht, D., 2020a. Lebensraumtypen VI – Kartierung Fehmarn Ost. Abschlussbericht Institut für Geowissenschaften Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 62 S. (unveröff.).
- Schwarzer, K., Unverricht, D., 2020b. Lebensraumtypen VIII – Kartierung Fehmarn Süd. Institut für Geowissenschaften Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (in Bearbeitung).
- Schwarzer, K., Avers, T., Hinrichsen, A., Hofstede, J., Reimers, H.-C., 2020. Sedimentbudget Ostsee , 51 S. + Anhang, Abschlussbericht (unveröff.).
- Steinfeld , N., 2017. Flächenhafte Kartierung des Meeresbodens zwischen Staber Huk (Fehmarn) und Fehmarnsund mittels hydroakustischer Methoden. Bachelor-Arbeit. Christian-Albrechts-Univ. zu Kiel, Inst. f. Geowissenschaften. Kiel, 41 S. (unveröff.).
- Strutz, T.J. 2008. Quartärgeologischer Aufbau und Sedimentverteilung in der Travemünder Bucht (innere Lübecker Bucht). Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität; Kiel.
- Szczygielski, A., 2010. Sedimentvorkommen und dynamik im Seegebiet im Westen von Fehmarn. Diplomkartierung Christian-Albrechts-Univ. zu Kiel, Inst. f. Geowissenschaften. Kiel, 52 S. (unveröff.).
- Tauber, F. 2014. Regionalized classification of seabed sediments in the German Baltic Sea. The 12th Colloquium on Baltic Sea Marine Geology, Abstract Volume, (Rostock: Leibniz Institute for Baltic Sea Research, Warnemünde), 79.
- Themann, S. 2002. Quartärgeologischer Aufbau und Sedimentverteilung in der Kieler Förde. Diplomarbeit an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der



Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 108 S., (unveröff.).

## **V e r m e r k**

### **Bewertung Riffunde im Fehmarn Belt durch den NABU (Schubert et al. 2019, Fa. Submaris) im Rahmen der Klageschrift (BVerwG)**

#### **Hintergrund / Anlass:**

Die Abteilung 4 „Gewässer“, Dezernat 45 „Küstengewässer“ im LLUR ist im Auftrag des MELUND für die Erfassung der marinen benthischen Lebensräume in Schleswig-Holstein verantwortlich und führt daher seit vielen Jahren die Kartierung der FFH-Lebensraumtypen in Abstimmung mit der Abteilung 5 „Naturschutz und Forst“ und mit Hilfe von Auftragnehmern durch.

Zu den aktuellsten Untersuchungen zählt der LRT-Kartierauftrag „Fehmarn Ost“ (Vergabe: 0608.451720 vom 29.09.2017) durch das Institut für Geowissenschaften der CAU Kiel. Das Untersuchungsgebiet dieses Auftrags erstreckt sich bis in den Bereich vor Puttgarden.

Jüngst wurden auf Initiative und als Material für die Klage vor dem BVerwG durch den NABU Tauchuntersuchungen (Schubert et al. 2019, Fa. Submaris) im Nahbereich Puttgardens in Auftrag gegeben und im Juli 2019 als Anlage zur Klagebegründung beim Bundesverwaltungsgericht eingereicht. Am 05.09.2019 wurde es durch den NABU veröffentlicht.

Die Ergebnisse aus Schubert et al. 2019 zeigen über weite Bereiche rifftypische Strukturen, wie dichte Vorkommen größerer Steine mit typischer Besiedlung.

Bei den im Bericht von Submaris (im Auftrag des NABU) vorgestellten Untersuchungen handelt es sich ausschließlich um Auswertungen von Bildmaterial entlang einzelner Tauchtransekte (Abbildung 1). Die Videoaufnahmen sind von sehr guter Qualität und zeigen beeindruckende Bilder von Riffstrukturen. Da es sich aber um nur vier Transekte handelt, ist eine flächenbezogene Aussage auf dieser Grundlage zu den vorgefundenen Strukturen nicht hinreichend möglich.

Das APV hat das MELUND mit Mail vom 20. August 2019 um eine fachliche Einschätzung der Untersuchungen durch Submaris / NABU gebeten.

Zum Zeitpunkt des Vorliegens der Ergebnisse aus dem Bericht von Schubert et al. 2019 bzw. der Veröffentlichung durch den NABU lagen dem LLUR keine detaillierten Kenntnisse aus diesem Bereich vor.

Aus diesem Grund wurde im LLUR entschieden den Bereich vor Marienleuchte (Abbildung 2) im Rahmen der ohnehin geplanten Haithabu-Ausfahrt Hai19VE2 vom 23.-26.09.2019 aktuell zu kartieren, um die Aussagen von Schubert et al. 2019 zu prüfen, ggf. mit Flächeninformationen zu versehen und die Datenlücken im Rahmen der operativen LRTERkundung zu schließen. Durch die Ausfahrt Hai19VE2 sollte primär die „Verdachtsfläche 2“ (nordöstlich Puttgarden/Marienleuchte) aus Schubert et al. 2019 untersucht werden.

Für die „Verdachtsfläche 1“ (nordwestlich Puutgarden) bestand der Bedarf nicht, da dieser Bereich bereits im Rahmen des LRT-Kartierauftrags „Fehmarn Ost“ durch die CAU erfasst wird (vergl. Seite 3/4, Kartierauftrag Nr. 5).

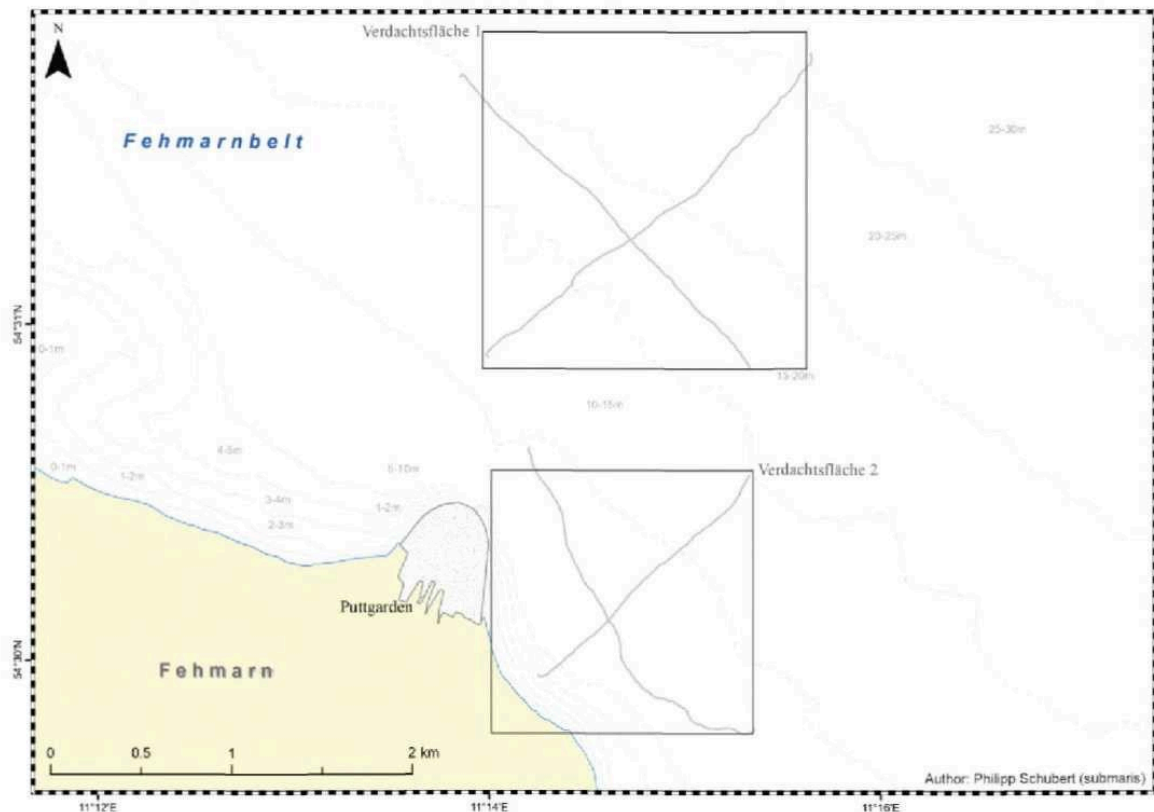


Abbildung 1: Lage der Tauchtransekte in dem Bericht von Schubert et al. 2019.

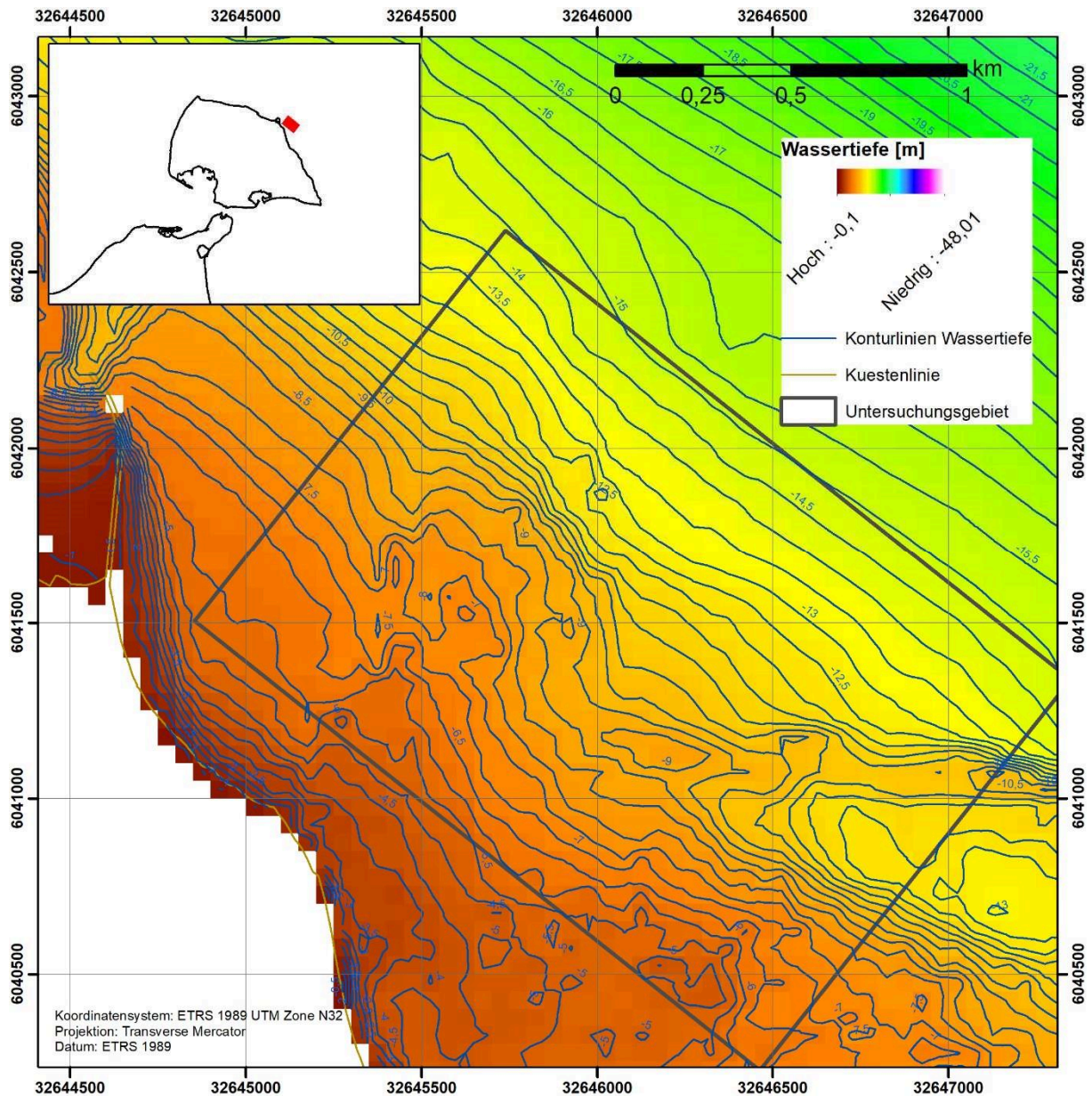


Abbildung 2: Darstellung des geplanten Untersuchungsgebiets für die Kartierungsarbeiten am 25.09.2019 (Hai19VE2) zusammen mit bathymetrischen Informationen (BSH).

### **Methoden –Felduntersuchung (Hai19VE2)**

Für die Erkundung der Meeresbodenstrukturen kamen ein Seitensichtsonar (Starfish 452F) in einer Schleppvorrichtung zum Einsatz (Abbildung 3). Die Messeinheit wurde während der Messungen mit ca. 5 Knoten hinter der MS Haithabu über den A-Galgen geschleppt. Der Range wurde auf 50 m eingestellt. Das Vorgehen entspricht den Methoden der BSH Kartieranleitung (Anleitung zur Kartierung des Meeresbodens mittels hochauflösender Sonare in den deutschen Meeresgebieten, 2016) Für das Grundtrathing wurden dann bei guten Sichtbedingungen hochauflösende GoPro-Aufnahmen mit einem Videoschlitten gemacht (Leihgabe des Bundesamtes für Naturschutz). Eine zusätzliche Beprobung der Sedimente fand nicht statt.





Abbildung 3: Seitensichtsonar „Starfish 452F“ in Schleppvorrichtung.



Abbildung 4: Unterwasservideoschlitten (Leihgabe des Bundesamt für Naturschutz) mit GoPro Kamerasystem.

## **Methoden –Auswertung (Hai19VE2)**

Die Seitensichtsonar-Daten wurden anschließend mit Hilfe der Software SonarWiz Version 7 georeferenziert (DGPS-Schiff), prozessiert und zu einem Mosaik (Graustufenbild der akustischen Rückstreuintensitäten) zusammengeführt. Anschließend wurden das sogen. Seitensichtsonar-Mosaik in ArcGIS durch manuelles Digitalisieren (Maßstab 1:2500) segmentiert und qualitativ die vorgefundenen Rückstreuintensitäten und Strukturen beschrieben. Im Anschluss wurden dann die Ergebnisse mit bathymetrischen Informationen des Untersuchungsgebiets verschnitten (50 m Grid des BSH). Um den Vergleich zu den Berichtsinformationen von Schubert et al. 2019 machen zu können, wurden die Karten aus dem Bericht herauskopiert, georeferenziert und manuell digitalisiert (Maßstab 1:2000). Zum visuellen Abgleich wurden diese Informationen dann in ArcGIS mit den eigenen Kartierungsergebnissen zusammengeführt. Des Weiteren wurde ein PDF mit

den vorläufigen Kartierungsständen im LRT-Kartierauftrag „Fehmarn Ost“ ebenfalls georeferenziert als Overlay mit den eigenen Daten dargestellt.

### **Vorläufige Ergebnisse (Hai19VE2)**

Die Messkampagne Hai19VE2 mit der MS Haithabu fand vom 23.09.-26.09.2019 statt. Im Rahmen dieser Ausfahrt wurde am 25.09.2019 das Gebiet vor Marienleuchte mittels Seitensichtsonar und Unterwasservideo-Transekten kartiert. Es wurde dabei eine Fläche von rund 3 km<sup>2</sup> mit dem Seitensichtsonar flächendeckend erfasst (Abbildung 5).

#### **LRT Riff (1170) Verdacht**

Die Segmentierung des Mosaiks in Bereiche ähnlicher Rückstreuintensitäten und beobachteter Strukturen und Objekte führt zu klar abgrenzbaren Bereichen (Abbildung 6). Hierbei zeigt sich, dass sich in der küstenzugewandten Seite ein großer Bereich höherer Rückstreuintensität befindet, in dem sich in großer Vielzahl und Dichte Objekte mit ausgeprägten akustischen Schatten zeigen (vergl. Abbildung 6, Abbildung 7). In diesen Bereichen zeigen die Unterwasservideodaten eine große Anzahl an dicht besiedelten Steinen und Blöcken. In den wenigen Zwischenräumen sind vereinzelt sandig-kiesige Grobsedimente auszumachen. Ohne das Sediment durch Greifer beprobt zu haben, lässt sich dennoch vermuten, dass es sich hier um ausgedehnte Restsedimentflächen einer Abrasionsfläche handelt. Vergleicht man die Ausdehnung dieser steinigen Grobsedimentfläche mit den bathymetrischen Informationen, so wird deutlich, dass der Bereich zudem gegen sein Umfeld erhaben ist, dabei aber auch Teil der Südflanke des Fehmarn Belts ist (vergl. Abbildung 2). Die morphologischen Daten sprechen dafür, dass sich die Abrasionsfläche nach S-SW in Richtung Küste weiter fortsetzt (Abbildung 11).

**Nach einem ersten Augenschein erfüllt der angesprochene Bereich mit der hohen Steindichte, den Grobsedimentvorkommen, der Morphologie und der dichten Besiedlung die Kriterien für einen FFH-Lebensraumtyp Riff (1170) und hat mindestens die in Abbildung 10 dargestellte Ausdehnung.**

Die genauere Abgrenzung nach den jüngst im Rahmen der BLANO AGs ausgearbeiteten, aber noch nicht formell eingeführten Abgrenzungskriterien für Steinvorkommen ist hier noch nicht angewendet worden (Raster basierter Ansatz mit einem Auszählgitter von 25 cm Zellgröße). Demnach könnten nach eingehender Prüfung die Riffverdachtsbereiche noch um den Stein-/Block-führenden Bereich mit geringer und mittlerer akustischer Rückstreuung (Abbildung 6) erweitert werden.

#### **LRT Sandbank (1110) Verdacht**

Im östlichen Bereich des Untersuchungsgebiets findet man einen größeren Bereich mit mittleren Rückstreuintensitäten und einer sehr homogenen Textur (vergl. Abbildung 6, Abbildung 8). Die Unterwasservideo-Daten zeigen für diese Bereiche ein sandiges und gut sortiertes Substrat. Dieses sandige Material bildet eine Art W-E streichenden Rücken, der sich an die Flanke der Abrasionsfläche angegliedert hat, sich aber durch eine deutliche Senke von dieser morphologisch abgrenzt (Abbildung 11).

Vorläufige Ergebnisse (aus noch nicht verifizierten Rohdaten) des Kartierauftrags „Fehmarn Ost“ der CAU Kiel haben in der Fortführung dieser Struktur (Abbildung 13) eine Mächtigkeit von mehreren Metern nachgewiesen. Demnach sprechen das Material, die Mächtigkeit, die Ausdehnung sowie die morphologisch erhabene Form für einen LRT Sandbank (1110).

#### Sonstige Bereiche

Die restlichen Bereiche werden eher durch niedrige Rückstreuintensitäten charakterisiert und zeigen auch sonst ein sehr homogenes Erscheinungsbild in den Seitensichtsonardaten, wobei eine geringfügige Veränderung der Intensitäten in Richtung Fehmarn Belt Rinne hin zu größeren Wassertiefen auszumachen ist.

Eine Besonderheit dagegen bildet ein kleines Areal nahe des Fährhafens im äußersten Westen des Untersuchungsgebiets. Hier ist ein Bereich zu finden, in dem ein fleckiges Muster im Sonar-Mosaik auffällig ist (vergl. Abbildung 5, Abbildung 6). Leider liegen bisher für diesen Bereich keine Groundtruth-Informationen vor, doch könnten diese Strukturen ggf. biologischen Ursprungs sein. Hier wäre eine weitere Information aus Video- oder Greiferdaten sehr hilfreich. Aber auch digitale Orthophotos könnten bei den geringen Wassertiefen weiterhelfen.

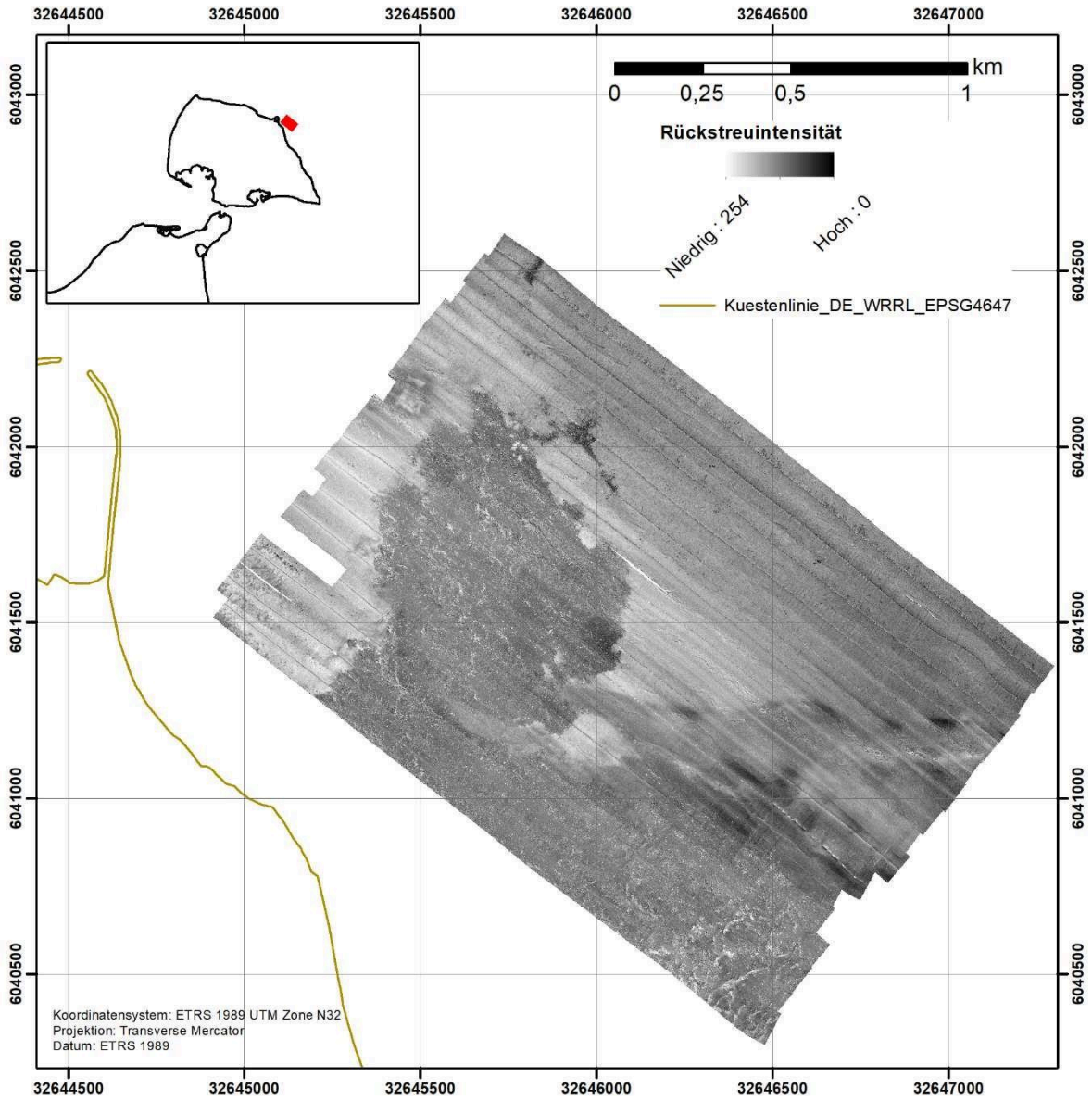


Abbildung 5: Darstellung der Rückstreuintensitäten aus der Seitensichtsonarkartierung in Form eines Graustufenbildes. Hohe Rückstreuintensitäten werden durch dunkle Farbtöne gekennzeichnet und stehen i. d. R. für ein grobes Sediment und eine hohe Oberflächenrauheit. Helle Farbtöne repräsentieren demnach eher feinkörnige, weiche Sedimente. Bereits in dieser Übersicht lassen sich Bereiche mit unterschiedlicher Farbgebung und Textur ausmachen.



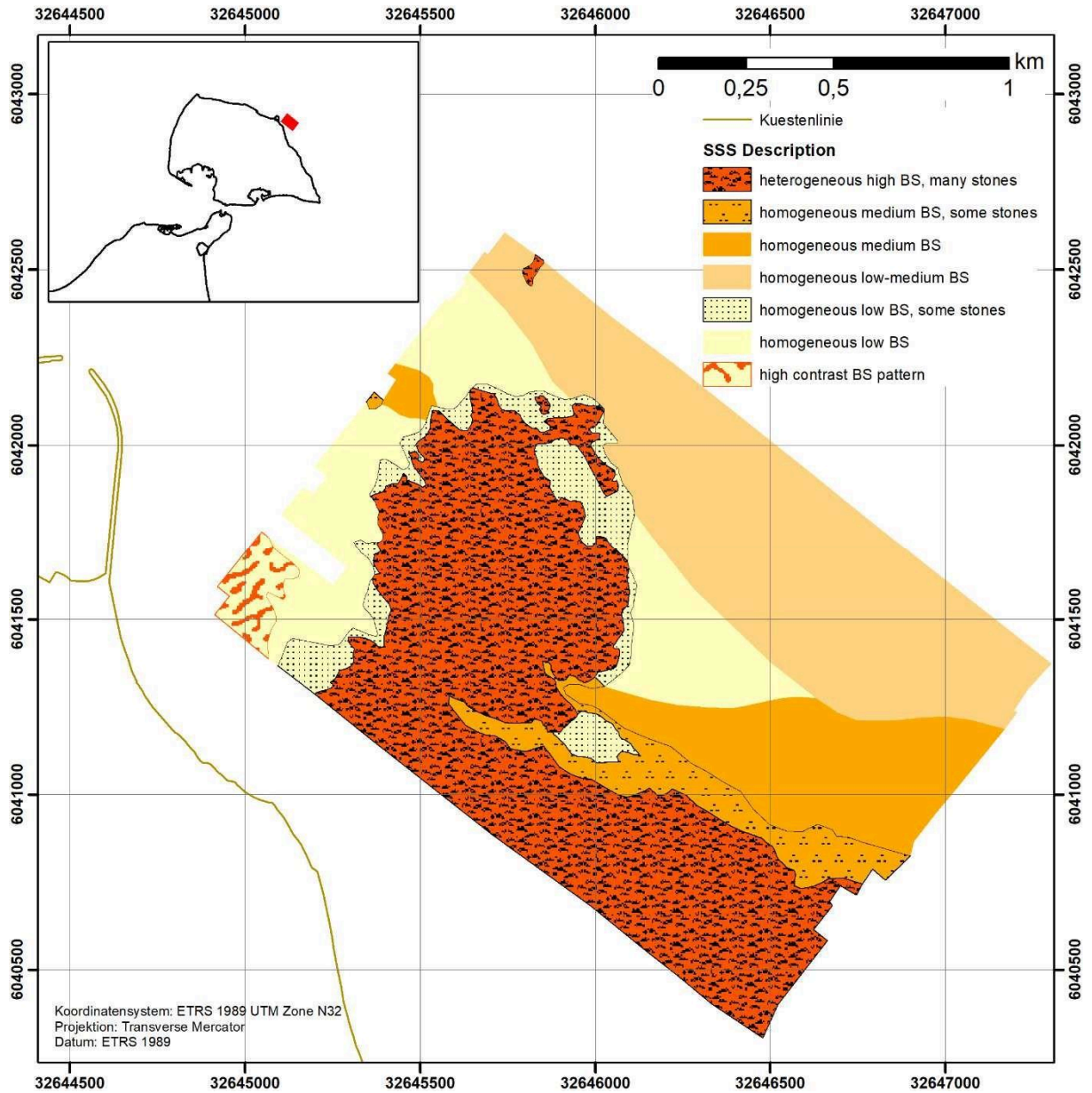


Abbildung 6: Darstellung der durch manuelle Digitalisierung erzeugten Segmentierung des Seitensichtsonar-Mosaiks (Abb. 5). Die Segmente wurden nach ihrer qualitativen Beschreibung der Rückstreuintensität und Strukturen eingefärbt. BS steht in diesem Fall für Rückstreuintensität (engl. Backscatter).

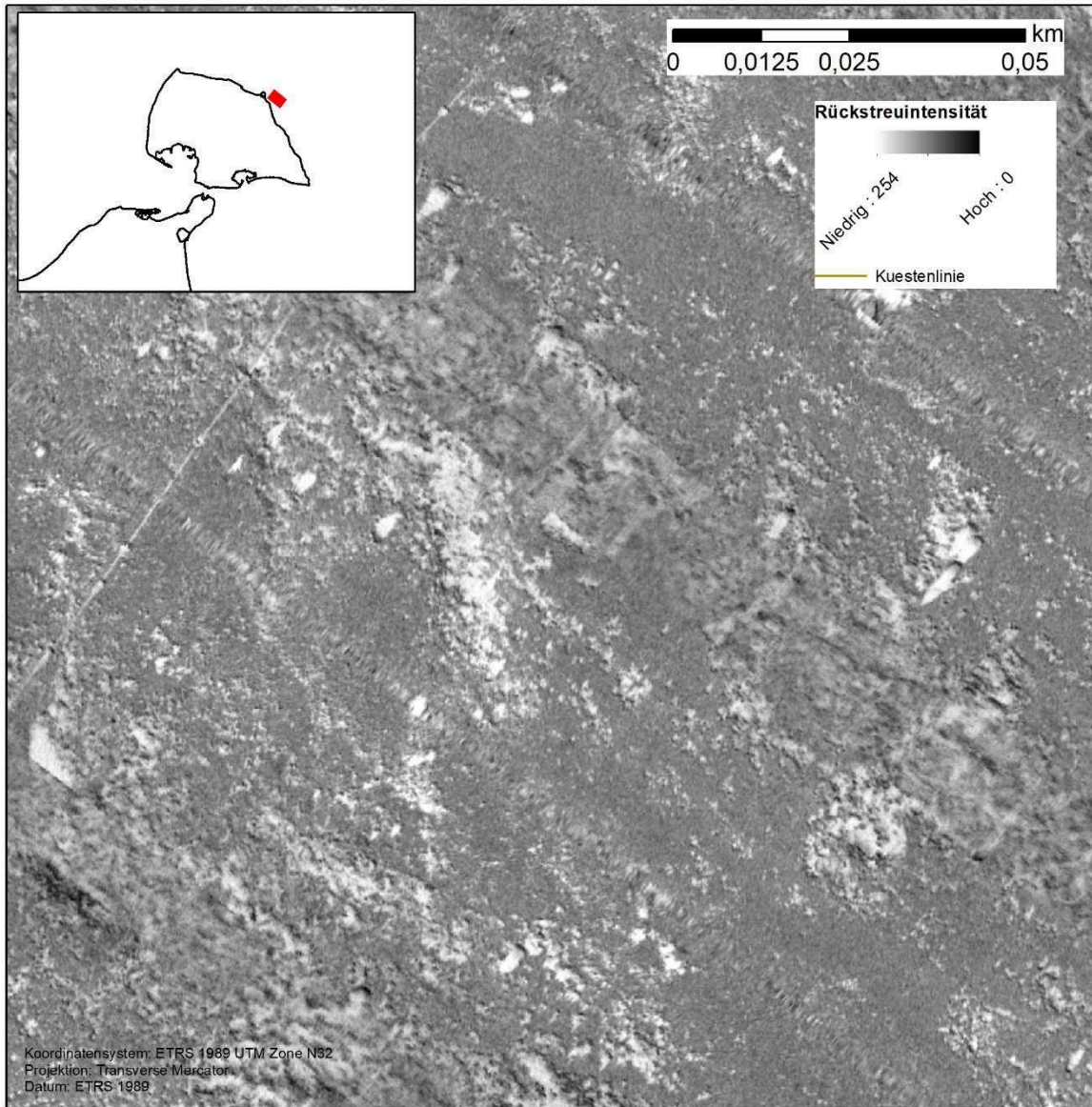


Abbildung 7: Beispiel für den Bereich hoher akustischer Rückstreuung, der in Abb. 5 durch die Klasse „heterogeneous high BS, many stones“ beschrieben ist. Besonders auffällig sind eine Reihe großer Steine/Blöcke (deutliche Schattenbildung erkennbar).

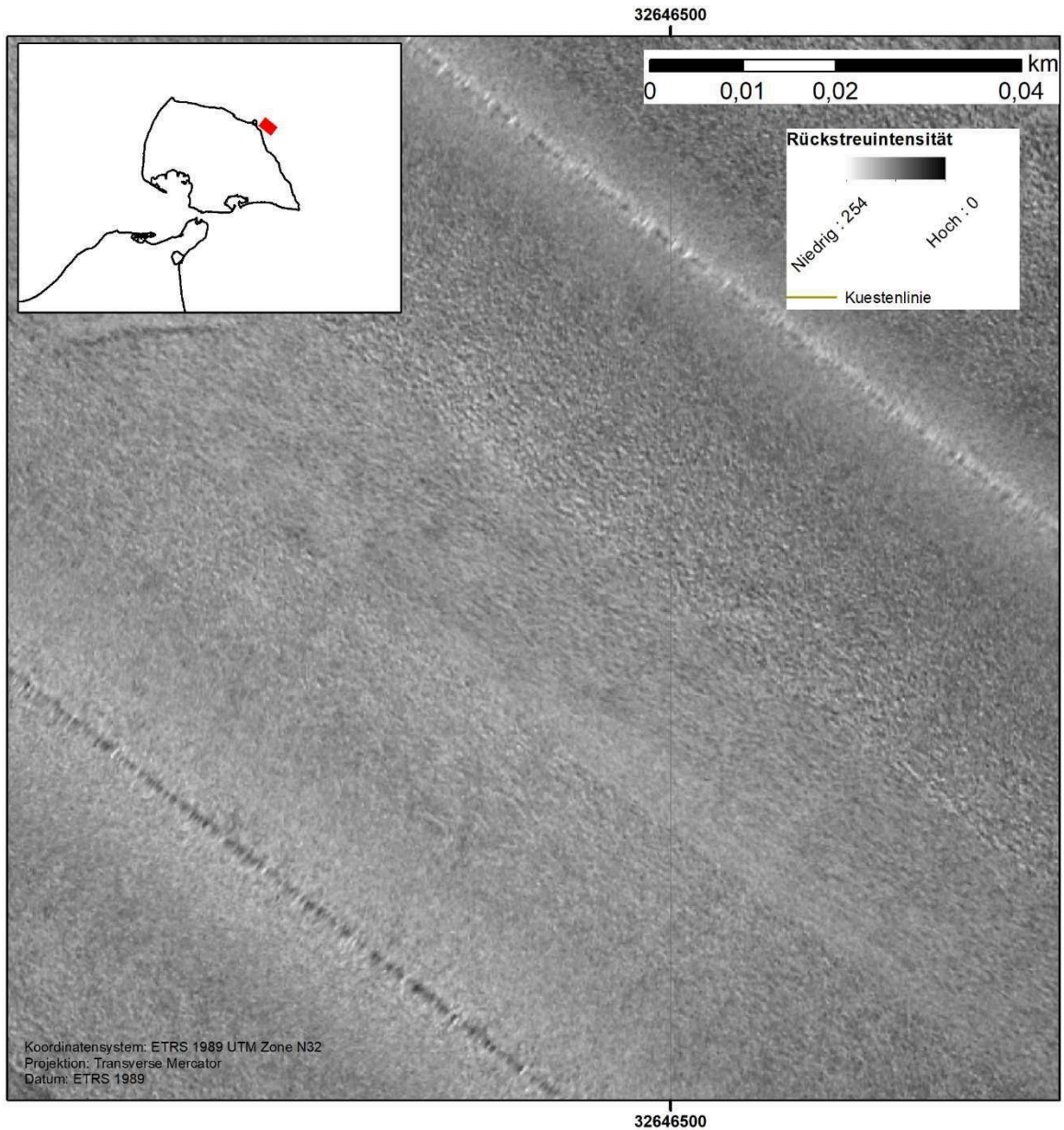


Abbildung 8: Beispiel für den Bereich mittlerer akustischer Rückstreuung, der in Abb. 5 durch die Klasse „homogeneous medium BS“ beschrieben ist. Es sind keine Steine/Blöcke erkennbar.



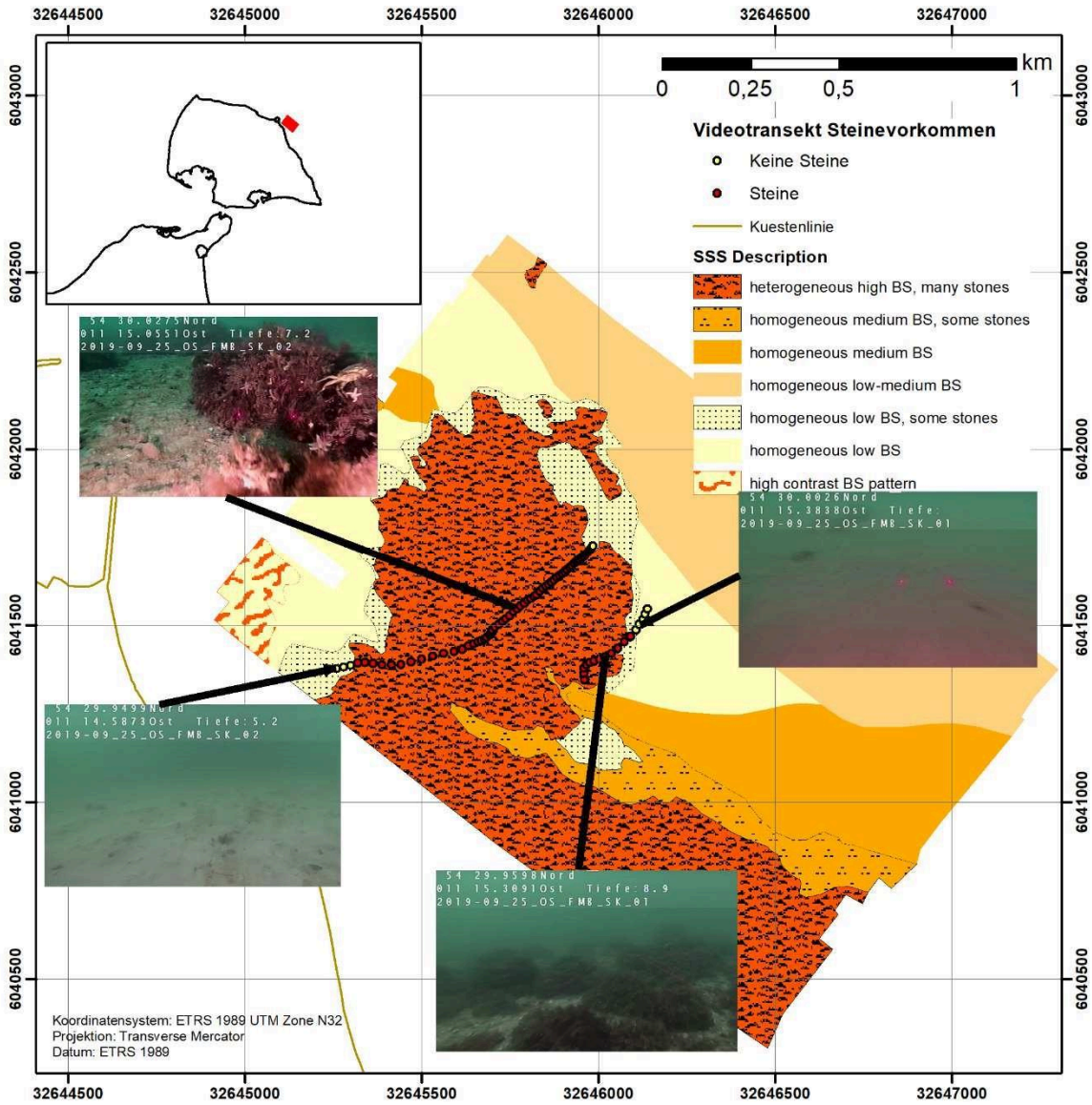


Abbildung 9: Darstellung der Videotransekte aus der Ausfahrt Hai19VE2 mit Beispielscreenshots als Overlay zu den beobachteten Strukturen aus dem Seitensichtsonar.



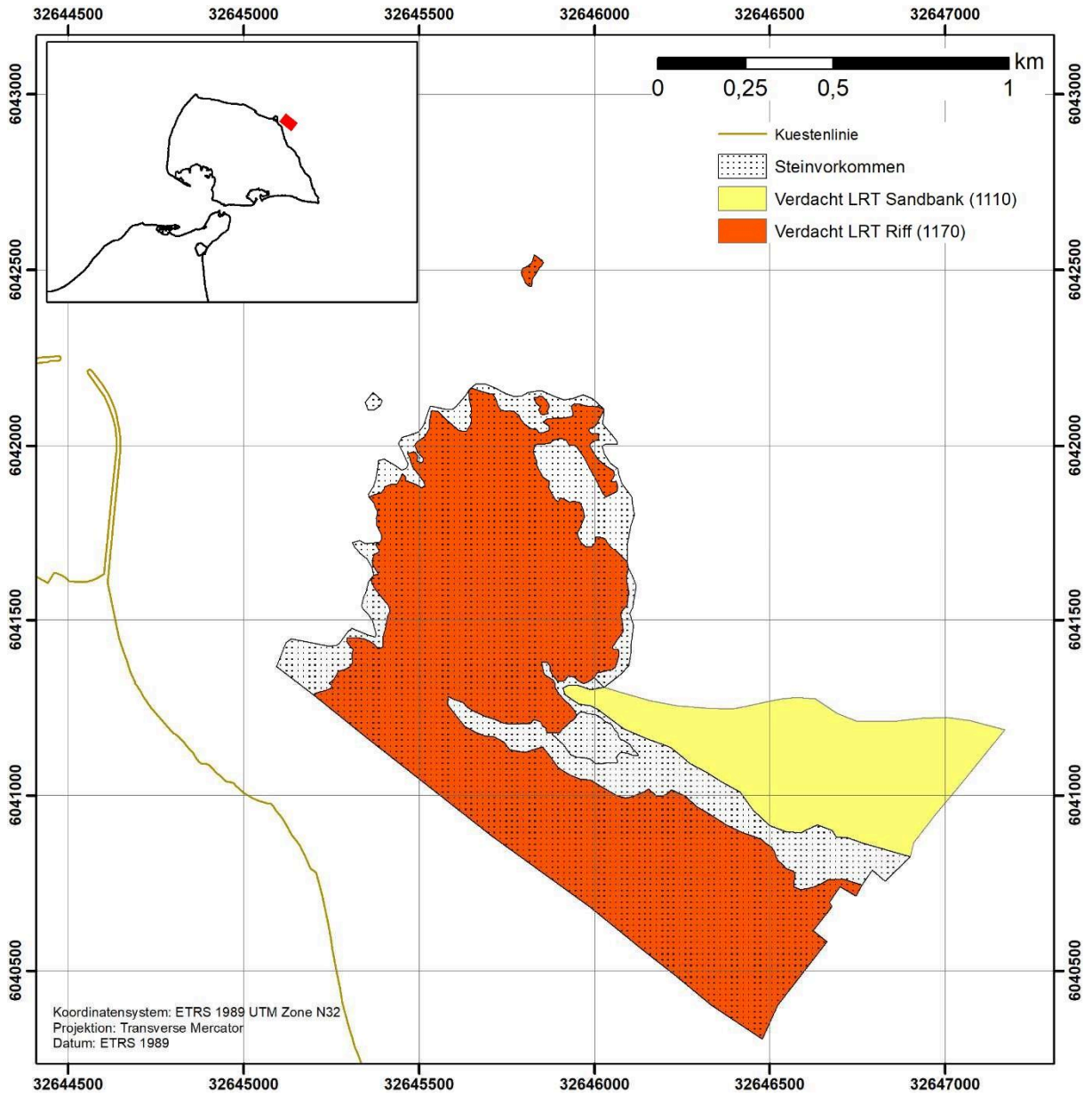


Abbildung 10: Darstellung einer Entwurfsfassung der LRT-Verdachtsflächen für Riff (1170) –orange- und Sandbank (1110) – gelbim Untersuchungsgebiet anhand der Ergebnisse der Ausfahrt Hai19VE2.

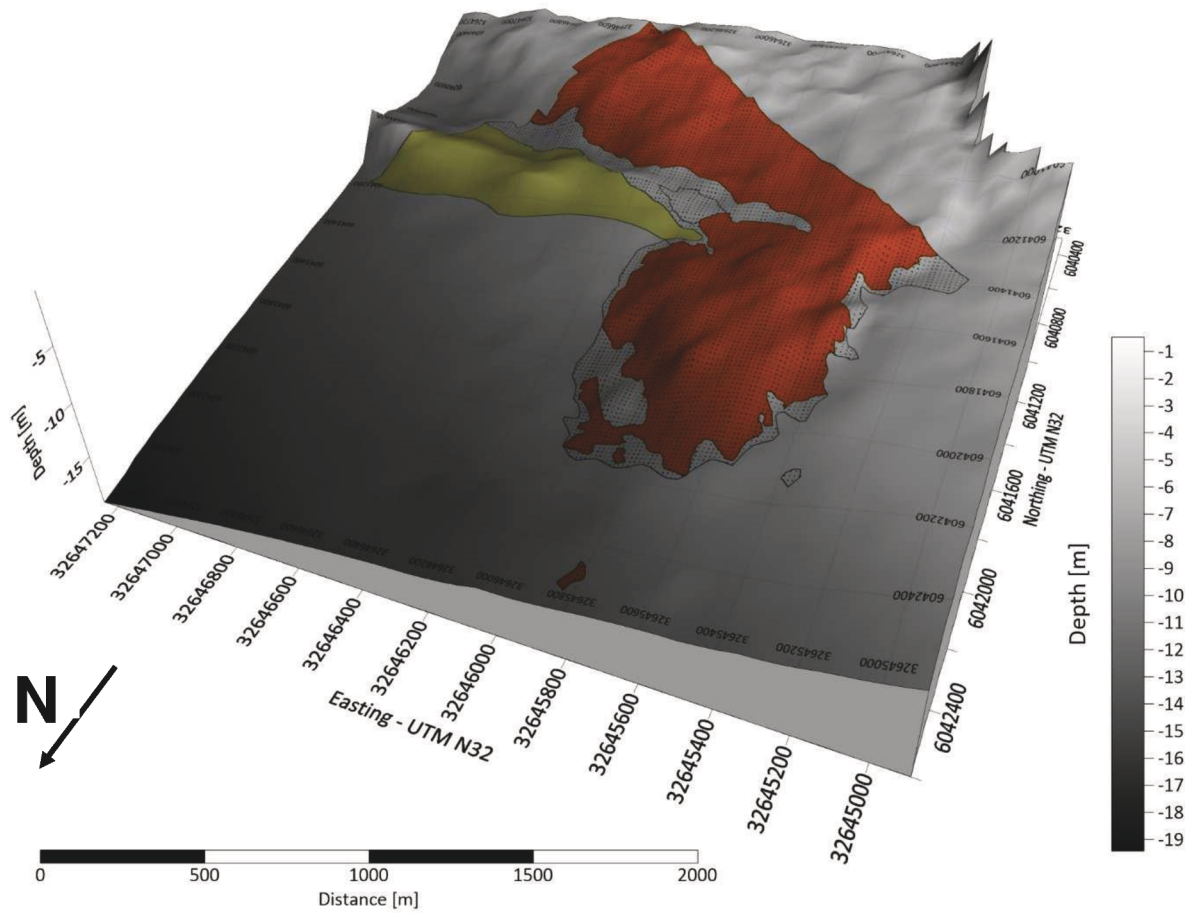


Abbildung 11: Kartierte Verdachtsbereiche für Riff 1170 (Rot) und Sandbank 1110 (Gelb) im Gebiet Marienleuchte. Bereiche mit Steinvorkommen sind gepunktet dargestellt.

## Vergleich der Datensätze (Schubert et al. 2019, Hai19VE2 und LRT-Kartierungen Fehmarn Ost der CAU Kiel)

### **a) „Verdachtsfläche 2“ (Schubert et al. 2019) vs. Hai19VE2 vs. vorläufige Ergebnisse (nicht verifizierte Rohdaten) aus dem LRT-Kartierauftrag „Fehmarn Ost“ (CAU Kiel)**

Vergleicht man nun die Ergebnisse von der Ausfahrt Hai19VE2 mit den Ergebnissen zur „Verdachtsfläche 2“ aus Schubert et al. 2019, so zeigt sich eine große Übereinstimmung. Die flächendeckende Sonarkartierung bestätigt die auf den Tauchtransekten beobachteten Strukturen und deren Ausdehnung (z.B. Steinvorkommen). Die SonarDaten sowie die Erkenntnisse aus den eigenen Videoaufnahmen legen nahe, dass es sich hier wie von Schubert et al. 2019 dargelegt um eine ausgedehnte Riffstruktur handelt. Die vom LLUR gewonnenen Daten beschreiben ergänzend dazu die genaue Ausdehnung dieser Fläche und deren mögliche Fortsetzung in Richtung Küste.

**Anzumerken ist an dieser Stelle, dass es im Nahbereich der „Verdachtsfläche 2“ laut den bisher noch nicht abschließend ausgewerteten und bisher unveröffentlichten Ergebnissen aus dem LRT-Kartierauftrag „Fehmarn Ost“ eine weitere potentielle Rifffläche gibt, die sich fast unmittelbar im geplanten Trassenverlauf befindet (Abbildung 13).**

Hierzu liegen jedoch keine ausreichenden Daten vor, um die Geometrie der Struktur vollständig zu erfassen. Des Weiteren bleiben die abschließenden Auswertungen zu dieser Struktur der CAU Kiel vorbehalten.

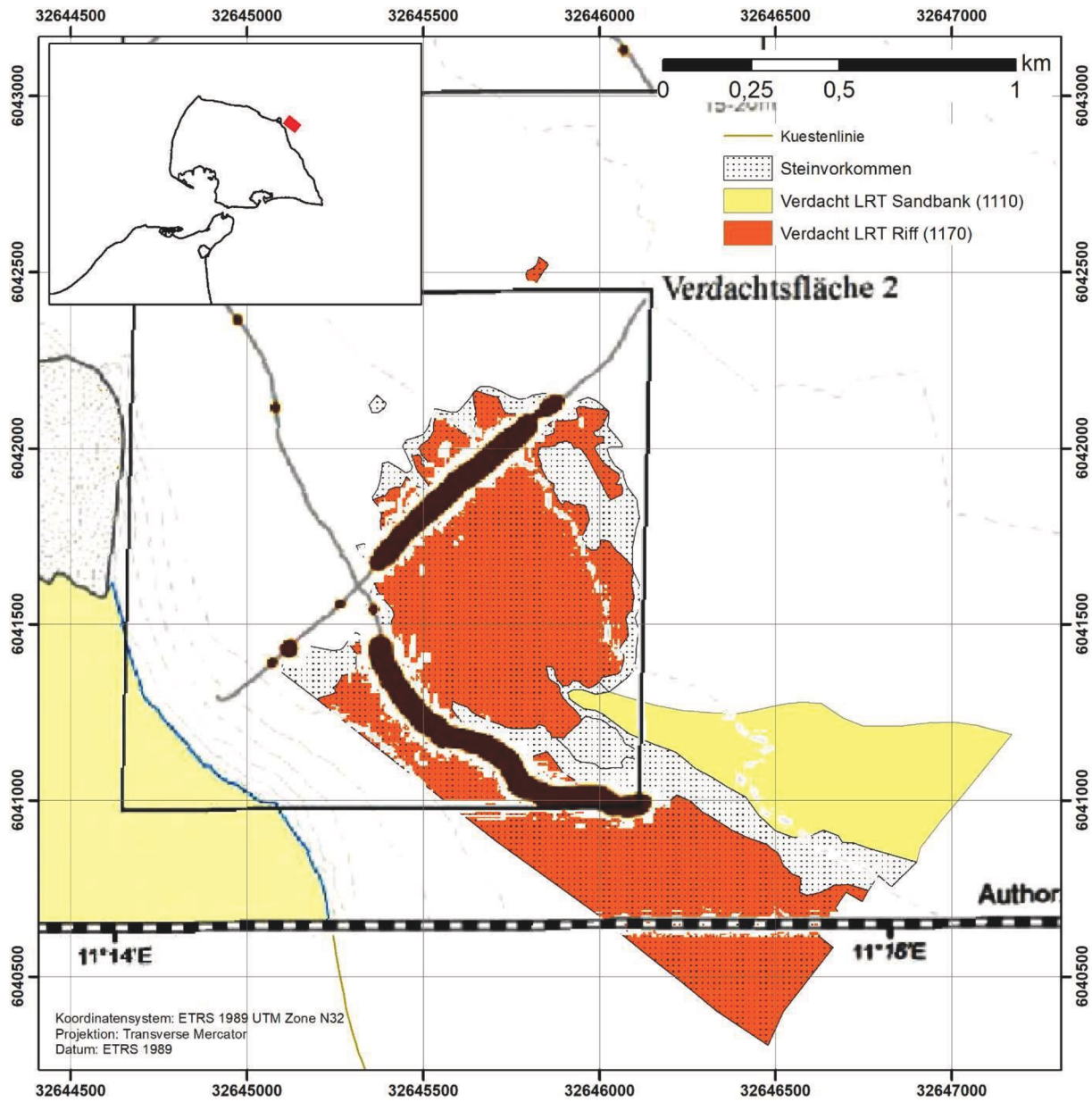


Abbildung 12: Overlay aus Lage der Tauchtransekte und beobachteten Steinvorkommen aus Schubert et al. 2019 (modifiziert) und der in der Ausfahrt Hai19VE2 vorgefundenen Verdachtsbereiche für die LRT Riff und Sandbank, sowie die im Seitensichtsonar identifizierten Steinvorkommen.

### b) „Verdachtsfläche 1“ (Schubert et al. 2019) vs. vorläufige Ergebnisse aus dem LRT-Kartierauftrag „Fehmarn Ost“ (CAU Kiel)

Auch für den Bereich der „Verdachtsfläche 1“ aus Schubert et al. 2019 zeigt sich ein ähnliches Bild (Abbildung 13). Die Rohdaten der CAU Kiel, die im Rahmen des LRTKartierauftrags „Fehmarn Ost“ für das LLUR erhoben wurden, bestätigen, dass es eine ausgedehnte Riffverdachtsfläche im Bereich der „Verdachtsfläche 1“ gibt.

Der von der CAU Kiel vorläufig abgegrenzte Bereich erfüllt nach geowissenschaftlichen



Gesichtspunkten die Kriterien für ein Riffvorkommen. Eine biologische Validierung beider Gebiete steht noch aus, wobei die Videodaten aus Schubert et al. 2019 ein starkes Indiz für das Vorhandensein eines Riffs auch aus biologischer Sicht sind.

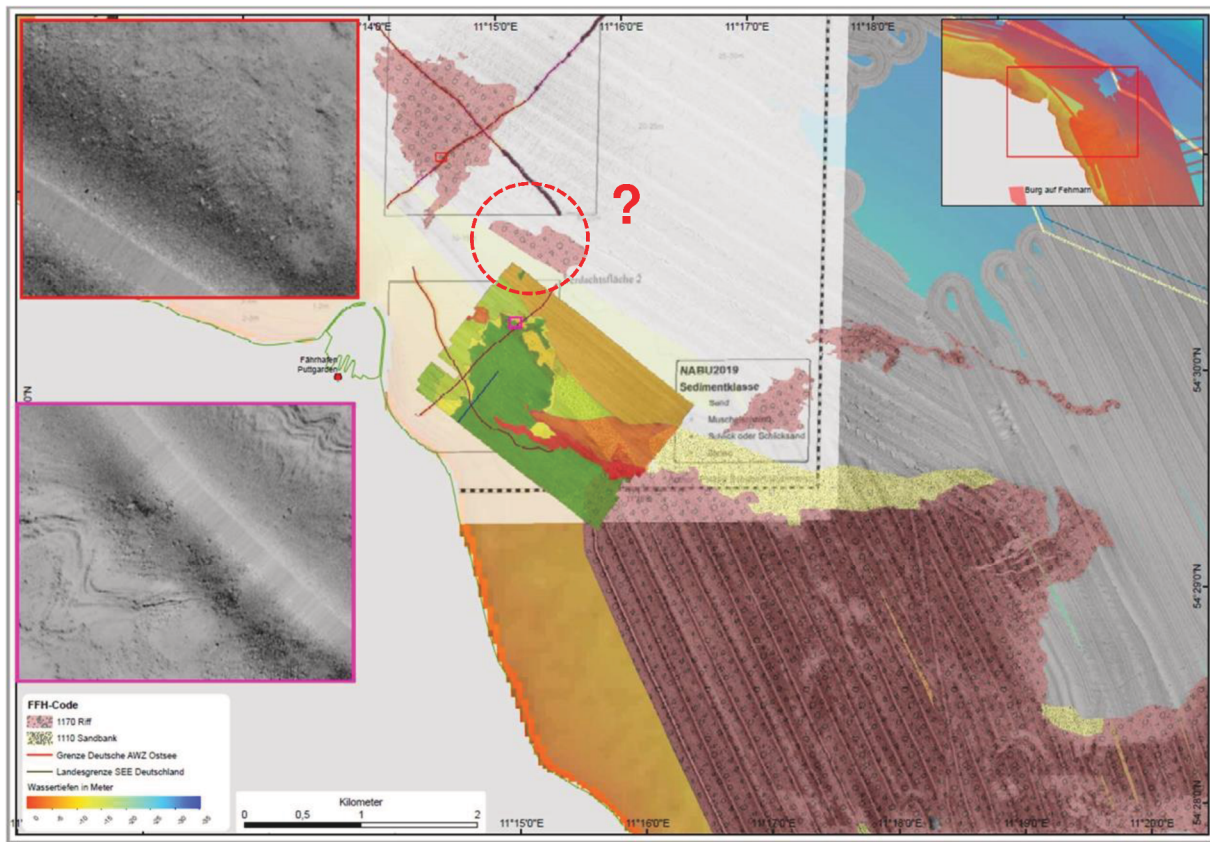


Abbildung 13: Diese Karte zeigt ein Overlay der Arbeiten von Schubert et al. 2019, den vorläufigen Kartierergebnissen der CAU und den Erkenntnissen aus der Ausfahrt Hai19VE2. Der Rot-gestrichelt markierte Bereich zeigt in den Daten der CAU einen weiteren bisher nicht diskutierten Riffverdacht. Man beachte aber weiterhin, dass es sich bei den CAU Daten um vorläufige Ergebnisse handelt.

### **Zusammenfassung / Fazit / weiteres Vorgehen:**

Die vom NABU veröffentlichten Riffunde aus Schubert et al. 2019 werden durch die vom LLUR kurzfristig durchgeführten Kartierungsarbeiten (Hai19VE2) und durch die Vorauswertung der Rohdaten des LRT-Kartierauftrags „Fehmarn Ost“ der CAU bestätigt, wobei die räumliche Ausdehnung der Strukturen erst durch die Sonar-Kartierungen deutlich wird.

Die Vorkommen sind nach derzeitigem Kenntnisstand aller Voraussicht nach mindestens dem Erkundungsstatus „Riff - Status 2<sup>1</sup>“ zuzuordnen.

Die Unterwasservideoaufnahmen sprechen auch ohne biologische Untersuchungen sehr deutlich für Riffstrukturen des Status 3.

<sup>1</sup> Status-1-Lebensräume sind potentiell FFH-Lebensräume, wenn die geo- und hydrologischen Basisinformationen validiert werden.

Status-2-Lebensräume sind aus geo- und hydrologischer Sicht potentiell FFH-Lebensräume, in denen die biologische Validierung jedoch noch aussteht (Biodiversität).

Die vorläufigen Rohdaten der CAU Kiel zeigen zudem noch eine weitere Riffverdachtsfläche im Nahbereich der Trassenführung FBQ auf.

Diese Erkenntnisse liegen seit Jahresbeginn 2020 dem MELUND vor. Vor einer Weitergabe an die zuständige und beklagte Planfeststellungsbehörde (APV) sollten eigentlich die zuletzt für Ende März/Anfang April angekündigten abschließenden Ergebnisse des Kartierungsauftrags „Fehmarn Ost“ und der „Ostsee-Synthesebericht“ abgewartet und in die abschließende Bewertung mit einbezogen werden. Leider verzögert sich die Übergabe der Abschlussberichte durch die CAU, nicht zuletzt nunmehr auch wegen der Corona-Situation voraussichtlich bis Mitte Juni 2020.

Unabhängig dessen werden die vorläufigen Erkenntnisse für hinreichend eindeutig erachtet, dass sie im Hinblick auf die Unterstützung des APV bei der Erwidern der Klagen gegen den Planfeststellungsbeschluss der Fehmarnbeltquerung und der Vorbereitung auf die mündliche Verhandlung vor dem BVerwG im September / Oktober 2020 dem APV schon zur weiteren Verwendung zur Verfügung gestellt werden können. In einem Gespräch zwischen MELUND und APV am 29.05.2020 wurde daher die Vereinbarung getroffen, diese vorläufigen Ergebnisse mit dem vorliegenden Bericht schon vor der abschließenden Verifizierung an das APV zu geben.

Status-3-Lebensräume sind geologisch, hydrologisch und biologisch validierte FFH-Lebensräume.