

Projektbericht

WATThochDrei

Untersuchungen zur räumlichen Verbreitung und Veränderungen
sublitoraler Habitate, ihrer benthischen Lebensgemeinschaften und
Entwicklung einer Methodik zu Erfassung der Unterwasserschall-
Landschaft im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer



Nationalpark
Wattenmeer
SCHLESWIG-HOLSTEIN



**M.Sc. Saskia Kühn¹, Dr. Ulrike Schückel², M.Sc. Anne Trampe¹
& Dr. Katja Heubel¹**

Juni 2024

¹ Forschungs- und Technologiezentrum Westküste der Christian-Albrechts-Universität zu
Kiel ² Nationalparkverwaltung Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer

Büsum, 30.6.2024

Dr. Katja Heubel, Projektleiterin

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
1.1	Zielsetzung.....	2
1.2	Arbeitspakete	3
1.3	Definitionen der Lebensräume	4
2.	Lage der Untersuchungsgebiete	7
3.	Methodik.....	8
3.1	Aktive hydroakustische Messungen (Seitensichtsonar).....	8
3.2	Sedimentbeprobung & Korngrößenanalyse.....	10
3.3	Dredgebeprobung der Muschelvorkommen.....	11
3.4	Detektion sublitoraler Habitate	12
3.5	Benthosbeprobung & -analyse.....	16
3.6	Passive hydroakustische Messungen (Hydrophon).....	16
4.	Ergebnisse.....	20
4.1	Räumlich-zeitliche Veränderung sublitoraler Habitate	20
4.1.1	Räumlich-zeitliche Veränderung Norderhever, Heverstrom & Süderhever	20
4.1.2	Räumlich-zeitliche Veränderung Hörnumtief.....	26
4.1.3	Räumlich-zeitliche Veränderung Norderaue/Föhrer Ley	28
4.1.4	Räumlich-zeitliche Veränderung Gröde	30
4.1.5	Räumlich-zeitliche Veränderung Muschelbank Dwarsloch	31
4.1.6	Räumlich-zeitliche Veränderung Muschelbank Föhr.....	33
4.2	Zusammensetzung der benthischen Lebensgemeinschaften sublitoraler Habitate	35
4.2.1	Artenspektrum.....	35
4.2.2	Artenzahl, Neobiota, Biodiversität und Rote Liste Arten in den unterschiedlichen Untersuchungsgebieten.....	35
4.2.3	Gemeinschaftsanalyse	36
4.2.4	Charakterarten.....	37
4.3	PAM im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer	39
4.3.1	Einfluss der Tiden	39
4.3.2	Unterschiede Schall-Habitate.....	40
4.3.3	Einfluss anthropogener Schall	41
5.	Diskussion & Schlussfolgerungen	42
6.	Literaturverzeichnis.....	61

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Übersicht über die bisher vom FTZ untersuchten Sublitoralbereiche (rot umrandet).	1
Abb. 2: Die drei Säulen des WATThochDrei Projektes zur Untersuchung sublitoraler Habitatstrukturen: Watt'n Ground, Watt'n Life und Watt'n Sound.	3
Abb. 3: Lage der Untersuchungsgebiete des WATThochDrei Projektes (grüne Flächen) 2021 bis 2023.	7
Abb. 4: Einsatzschema eines Seitensichtsonars. Der untere Teil zeigt das resultierende Sonogramm (Eingedeutschte, bearbeitete Abb. des USGS).	8
Abb. 5: Reflexion und Streuung des Sonarsignals bei glattem (links) und rauem (rechts) Meeresboden.	9
Abb. 6: Sonarmosaik mit klar gegeneinander abgegrenzten Flächen von Fein-, Mittel- und Grobsand.	10
Abb. 7: Auf der EGIDORA eingesetzter Van-Veen-Backengreifer.	10
Abb. 8: Grobfraction einer Sedimentprobe in der Spülwanne mit 5 mm Lochblechboden.	10
Abb. 9: Foto der für die Beprobung der Muschelflächen genutzte Dredge mit schwerem Kettenvorläufer.	11
Abb. 10: Klassifikation der schlickigen, sandigen und kiesigen Sedimente (Folk, 1954).	12
Abb. 11: Grobsande weisen hier eine hohe Rückstreustärke und weniger stark ausgeprägte Rippel auf. Gegenüber Mittelsand nimmt die Körnigkeit der Textur zu (rot umrahmte Vergrößerung).	13
Abb. 12: Hochauflösende "Wasserfall-Darstellung" einer kiesführenden Fläche mit Steinen. Sichtbar ist die raue Textur (roter Punkt = Greiferprobe mit hauptsächlich Kies).	13
Abb. 13: Sonarmosaik einer Schillbank in einem flachen Nebenriel der Norderaue. Auffällig ist die vergleichsweise hohe Rückstreustärke sowie die unruhig wirkende Meeresbodenoberfläche.	14
Abb. 14: Sonarmosaik mit sichtbaren Blöcken (helle Rückstreuzentren & akustischer Schatten (inneres Hörnumtief).	14
Abb. 15: Sonarmosaik einer mehrjährigen Muschelbank. Die Abbildung verdeutlicht, dass sich der Bereich der Bank aufgrund der hohen Rückstreustärke und der typischen Textur deutlich vom umgebenden Meeresgrund abhebt.	15
Abb. 16: Sedimentverteilung im nördlichen Teil der Norderhever 2021/2022. Grün umrandet ist die Grobsandfläche von 2010.	20
Abb. 17: Sedimentverteilung des südlichen Teils der 2021/2022 untersuchten Norderhever. Grün umrandet ist der Bereich, der 2010 im Süden als Grobsand, im mittleren Teil als kies- und schillführend und im Norden als schill-, kies- und steinführend kartiert wurde. Dargestellt sind ebenfalls die Kiesanteile 5-20%, 20-30% und 30-80%.	21
Abb. 18: Sedimentverteilung des untersuchten Teils des Kolumbuslochs 2022 und der Übergang zum Heverstrom. Grün umrandet ist der Bereich, der 2013 als Grobsandfläche kartiert wurde. Dargestellt sind ebenfalls die Kiesanteile 5-20%, 20-30% und 30-80%.	22
Abb. 19: Sedimentverteilung des untersuchten Teils des Kolumbuslochs 2022 und der Übergang zum Heverstrom. Grün umrandet ist der Bereich, der 2013 als Grobsandfläche kartiert wurde. Dargestellt sind ebenfalls die Schillanteile 5-15%, 15-30% und 30-80%.	23
Abb. 20: Bathymetrische Karte (Easy-GSH, 2021) des Übergangs vom Kolumbusloch in den Heverstrom. Schraffiert ist die als längliche, aufragende Struktur sichtbare Sandbank 2022, schwarz gestrichelt die kartierte Sandbank 2013.	24
Abb. 21: Sedimentverteilung des untersuchten Teils im inneren Heverstrom 2022. Grün umrandet ist der Bereich, der 2013 als Schillvorkommen kartiert wurde. Dargestellt sind ebenfalls die Schillanteile 5-15% und 15-30%.	25
Abb. 22: Verbreitung steinführender Sedimente der Süderhever 2022 im Vergleich zur 2016 detektierten Fläche (rot umrandet).	25
Abb. 23: Kartierte Muschelvorkommen 2022 (blau), steinführendes Sediment 2022 (gelb gestrichelt) und aggregierte Flächen steinführender Sedimente 2010, 2014 und 2018 (rot) im Hörnumtief. Oben	

links: Probeninhalt mit zahlreichen Miesmuscheln (<i>Mytilus edulis</i>) und daneben ein Ausschnitt des anschließenden Bereichs mit Fischereispuren.....	26
Abb. 24: Greiferprobe aus dem nördl. Nebenarm. Deutlich sichtbar ist die fast flächendeckende Bedeckung mit Kies, der von Bryozoen bedeckt ist.....	27
Abb. 25: Kartierte Grobsand-, Kies und Schillflächen 2022 im Vergleich zu den 2010/18 kartierten KGS-Flächen, 2016 aktualisiert & von NPV bereitgestellt (grüne Flächen). Dargestellt sind ebenfalls die Anteile von Kies in den Greiferproben.	28
Abb. 26: Kartierte Grobsand-, Kies und Schillflächen in der Norderaue 2023 im Vergleich zu den 2012 kartierten KGS-Flächen (grüne Flächen). Übersichtlichkeitshalber wurde auf die Darstellung der Schillvorkommen auf Kies verzichtet.	29
Abb. 27: Verteilung von Sedimenten und Habitaten vor Gröde 2023. Dargestellt sind zudem die Muschelvorkommen 2023 (rote Linie) im Vergleich zu 2020 (grün gestrichelte Linie) sowie Schillvorkommen.	31
Abb. 28: Von <i>Balanoiden</i> , <i>Hydrozoen</i> , <i>Bryozoen</i> und Seeanemonen besetzte Gehäuse und Muschelschalen (links) und Besiedlung einer Auster durch juvenile Miesmuscheln (rechts) im Dwarsloch 2023. Sichtbar sind die Byssusfäden, mit denen sich die Miesmuscheln an das Hartsubstrat heften.	32
Abb. 29: Sonarmosaik des Muschelvorkommens Dwarsloch 2023. Die verschiedenfarbigen Polygone geben die Verbreitung von Muscheln in verschiedenen Jahren wieder.	33
Abb. 30: Handflächengroße und stark bewachsene Austern (links) und mittelgroße Miesmuscheln von Pantoffelschnecken umschlossen (rechts) auf der Föhrer Muschelbank 2023.	34
Abb. 31: Sonarmosaik des Muschelvorkommens bei Föhr 2023. Die verschiedenfarbigen Polygone geben die Verbreitung von Muscheln in verschiedenen Jahren wieder.	34
Abb. 32: Boxplots zu Taxazahl (S) und Shannon Wiener Diversität (H) in den unterschiedlichen Untersuchungsgebieten.....	36
Abb. 33: Clusteranalyse basierend auf transformierter (2. Wurzel) Abundanzdaten gruppiert nach Untersuchungsgebiet (oben) und Biotop (unten).....	37
Abb. 34: Spektrogramm Darstellung Muschelbank Dwarsloch, Geogenes Riff und Schill Sediment Habitat Hörnumtief aus dem Jahr 2022. Dargestellt sind 25 Stunden Aufnahmen (x-Achse). Die y-Achse zeigt die Frequenz in Hertz (Hz). Die Farbkodierung stellt die Amplitude, also die Lautstärke des Schalls dar. Die Sterne zeigen den Zeitpunkt von Niedrig- bzw. Hochwasser. Die Wasserstanddaten geben den Stand der zur Hydrophon-Station nächstgelegenen Messstation (Software WXTide32). Hanning FFT 65536.....	39
Abb. 35: Lautstärke Stauwasser versus ab/auflaufendes Wasser. A) Figur aus Master These „THE EFFECTS OF BOAT SOUND AND TIDAL ENERGY ON THE MARINE UNDERWATER SOUNDSCAPE IN THE SCHLESWIG-HOLSTEIN WADDEN SEA NATIONAL PARK“ Jan Jeuschede, 2023. B) Beispiel Einfluss der Hoch- und Niedrigwasser über verschiedenen Frequenzen: Dwarsloch – Muschelbank, Heverstrom – Sand, Heverstrom – Feinsand, Hörnumtief – Grobsand, und Hörnumtief – geogenes Riff + Kies. Die y-Achse stellt die Amplitude (Kalibrierung basierend auf Informationen der Website des Herstellers), hier Schalldruckpegel (SPL dB re 1 μ Pa) dar. Die x-Achse sind die 1/3 Oktaven-Bänder.	40
Abb. 36: Spektrale Daten. Stauwasser Zeiten Muschelbank Dwarsloch (Links) und geogenes Riff Hörnumtief (Rechts). Die y-Achse stellt die Amplitude (Kalibrierung basierend auf Informationen der Website des Herstellers), hier Schalldruckpegel (SPL dB re 1 μ Pa) dar. Die x-Achse sind die 1/3 Oktaven-Bänder bis 12,5 bis 20000 Hz (Mittelfrequenzen). Linien: Blau = Mittelwert, Grün = Median, Rot und Gelb = 1. und 5. Perzentil, Violett und Dunkelrot = 95. und 99. Perzentil.	41
Abb. 37: Einblick Einfluss Bootslärm auf den Hintergrundschaall im Wattenmeer. a) Spektrogramm einer Bootspassage. b) Differenz Schalldruckpegel (SPL) zwischen Bootspassagen und Hintergrundschaall im Wattenmeer. x-Achse zeigt sechs 1/3 Oktaven Level mit den Frequenzen 63 - 10000 Hz. 63 Hz und 125 Hz (in rot markiert) sind die gängigen Lärmmonitorings – Frequenzen für Unterwasserschaall. Abbildung b aus der Master These „THE EFFECTS OF BOAT SOUND AND TIDAL ENERGY ON	

THE MARINE UNDERWATER SOUNDSCAPE IN THE SCHLESWIG-HOLSTEIN WADDEN SEA NATIONAL PARK" Jan Jeuschede, 2023.	41
Abb. 38: Bathymetrische Karte (Easy-GSH, 2021) der Norderaue. Schwarz gestrichelt ist die 2012 kartierte Sandbank dargestellt, grau schraffiert ist eine längliche, aufragende Struktur, die von tieferem Meeresboden umgeben ist. Sichtbar ist, dass Teile dieser Fläche bei Niedrigwasser trockenfallen.	42
Abb. 39: Torfvorkommen (braun), Muschelbänke (blau), Schillvorkommen (blau gestrichelt) und Pantoffelschnecken (orangene Linie) in der Föhrer Ley 2023.	44
Abb. 40: Übersicht über die aktuellen Flächen steinführender Sedimente (rote Flächen a-d und gelbgestrichelte Fläche in e) im Vergleich zu den ehemals als steinführendes Sediment/geogenes Riff kartierten Flächen. a) Süderhever/Rochelsteert 2016 vs. 2022, b) Norderhever 2010 vs. 2021/22, c) Norderaue 2012 vs. 2023, d) Kolumbusloch 2022, e) Hörnumtief Ost 2010/14/18 vs. 2022. In d) gab es in Altdaten keine flächenhafte Ausweisung von Steinen/Blöcken. In e) handelt es sich bei den roten Flächen um die aggregierten Ergebnisse steinführender Sedimente aus 2010, 2014 und 2018.	45
Abb. 41: Greiferproben aus dem als „potentiell KGS“ eingestuften Bereichen mit Kies und Schill (2, 4) der Norderhever. Kies und Schill sind größtenteils unbewachsen. Lediglich die Probe nahe steinführender Sedimente weist Bewuchs auf.	47
Abb. 42: Greiferproben aus dem als „KGS“ eingestuften Bereichen mit Kies und Schill (3, 8) der Norderhever 2022. Kies und Schill sind größtenteils bewachsen.	48
Abb. 43: Übersicht über die als „KGS“-Flächen (lila) und „potentiell KGS“ (weiß) detektierten Flächen 2021/2022 in der Norderhever im Vergleich zu den 2010 als KGS detektierten Flächen (grün).	49
Abb. 44: Übersicht über die als „KGS“-Flächen (lila) und „potentiell KGS“ (weiß) detektierten Flächen 2022 im Kolumbusloch im Vergleich zu den 2013 als KGS detektierten Flächen (grün).	50
Abb. 45: Greiferproben aus dem als „KGS“ eingestuften Bereichen mit Grobsand, Schill sowie Kies, Schill (2, 3) im Kolumbusloch 2022. Kies und Schill sind unbewachsen.	50
Abb. 46: Greiferproben aus dem als „KGS“- Schill eingestuften Bereich (1, 2) im Heverstrom 2022. Der Schill ist großflächig bewachsen.	51
Abb. 47: Übersicht über die als „KGS“-Flächen (lila) detektierten Flächen 2022 im Heverstrom im Vergleich zu den 2013 als KGS detektierten Flächen (grün).	51
Abb. 48: Greiferproben aus dem als „KGS“ eingestuften Bereich im Hörnumtief 2022. Kies und Schill sind großflächig bewachsen.	52
Abb. 49: Übersicht über die als „KGS“-Flächen (lila) und „potentiell KGS“ (weiß) und „unklar“ (gelb) detektierten Flächen 2022 im Hörnumtief im Vergleich zu den 2010/2018 als KGS detektierten Flächen (grün). Der ehemalige KGS-Datensatz wurde um die geogenen Riffe reduziert, da es nicht zu einer Doppelbelegung kommen kann.	53
Abb. 50: Übersicht über die als „KGS“-Flächen (lila) detektierten Schill-Flächen 2023 bei Gröde im Vergleich zu den 2020 als KGS detektierten Flächen (grün). In rot dargestellt sind die Muschelvorkommen 2023.	54
Abb. 51: Greiferproben aus dem als „KGS“ eingestuften Kies/Schill-Flächen in der Norderaue 2023.	55
Abb. 52: Übersicht über die als „KGS“-Flächen (lila) und „potentiell KGS“ (weiß) detektierten Flächen 2023 in der Norderaue im Vergleich zu den 2012 als KGS detektierten Flächen (grün).	55
Abb. 53: Greiferprobe mit dichtem <i>Janice</i> -Vorkommen im Süden der Norderhever 2021/2022.	57
Abb. 54: Flächenhaft kartierte <i>Janice</i> felder mit dichtem <i>Janice</i> -Bestand sowie <i>Janice</i> in Proben der Norderhever/Kolumbusloch 2021/22.	57
Abb. 55: <i>Janice</i> in Proben sowie Schillvorkommen eines Gebietes im Heverstrom 2022.	58
Abb. 56: Flächenhaft kartierte <i>Janice</i> felder mit dichtem <i>Janice</i> -Bestand sowie <i>Janice</i> in Proben im Hörnumtief 2022.	58
Abb. 57: Flächenhaft kartierte <i>Janice</i> felder mit dichtem <i>Janice</i> -Bestand sowie <i>Janice</i> in Proben in der Norderaue 2023.	59
Abb. 58: Beispiel zukünftiger Clusteranalysen zur Charakterisierung verschiedener Schall-Habitate.	60

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
BASEWAD	Projekt "BALancing SEdiment deficits in the WADden Sea"
BmBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
GES	<i>Good Environmental Status</i>
FFH-RL	Flora- und Fauna Habitat-Richtlinie
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
FTZ	Forschungs- und Technologiezentrum Westküste
GIS	Geographisches Informationssystem
IfG	Institut für Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität Kiel
JOMOPANS	Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea
KGS	Kies, Grobsand, Schill
LKN-SH	Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein
LRT	Lebensraumtyp
MSRL	Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie
MTHW	Mittleres Tidehochwasser
NPV	Nationalparkverwaltung
OSPAR	Oslo-Paris-Kommission für die Nordsee
PAM	<i>Passive Acoustic Monitoring</i>
RMS	<i>Root-Mean-Square</i>
SKN	Seekartennull
TVG	<i>Time Varied Gain</i>
SPL	Schalldruckpegel
WAV-Format	<i>Waveform Audio File Format</i>
WoRMS	World Register of Marine Species

1. Einleitung

Durch die Implementierung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL) und die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL) hat die Europäische Meerespolitik die Grundlage für den Schutz der biologischen Vielfalt in den heimischen Meeren geschaffen. Zentrale Schwerpunkte beider Richtlinien liegen auf den Lebensräumen und Biotopen des Meeresbodens sowie der Biodiversität assoziierter Lebensgemeinschaften, die fortwährend untersucht und überwacht werden (*Monitoring*), um die Entwicklung des ökologischen Zustandes der Meere zu bestimmen. Dabei berücksichtigt die MSRL die Gesamtheit abiotischer und biotischer Verhältnisse und Strukturen (Landesportal Schleswig-Holstein, 2022).

Durch eine Vielzahl von Projekten, die seit 2009 finanziell von der Europäischen Union, dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BmBF) sowie dem Land Schleswig-Holstein unterstützt wurden, konnte eine umfassende Übersicht über die Sedimentverteilung und die Verbreitung verschiedener Lebensräume im Sublitoral des Schleswig-Holsteinischen Wattenmeeres erarbeitet werden (Abb. 1). Darunter fallen biogene und geogene Riffstrukturen (LRT 1170) sowie subtidale Sandbänke (LRT 1110), wie sie in der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie der Europäischen Union aufgeführt sind. Hinzu kommen solche Meeresbodenareale, die hinsichtlich ihres Substrates nach nationaler Gesetzgebung (§30 (2) 6. Satz - BNatSchG) als „artenreiche“ Kies-, Grobsand- und Schillflächen (KGS) als besonders schützenswert gelten. Die bisherige Grundaufnahme des Meeresbodens beruht allerdings ausschließlich auf geowissenschaftlichen Untersuchungen ohne eine Beurteilung der dort vorkommenden benthischen Lebensgemeinschaften, da bisherige geowissenschaftliche und ökologische Untersuchungen unabhängig voneinander stattgefunden haben.

Dabei stellt die geowissenschaftliche Grundaufnahme eine wertvolle Basis für derzeitige und zukünftige ökologische Forschungen dar und bietet die Möglichkeit, die räumliche Ausdehnung verschiedener Habitate zu detektieren, während eine Beurteilung der Artenvielfalt ohne entsprechende biologische Untersuchungen nicht möglich ist. Besonderes Augenmerk gilt im **WATthochDrei** Projekt daher der Verknüpfung der unterschiedlichen Fachdisziplinen und der Untersuchung von Riff-Habitaten (biogen und geogen), Sandbänken sowie Hartsubstraten wie Grobsand, Kies- und Schillgründen. Untersucht werden soll in diesem Zusammenhang zudem, inwieweit sich die ausgewählten Lebensräume nicht nur hinsichtlich der Beschaffenheit des Untergrundes und der Besiedlung, sondern auch in ihrer akustischen sublitoralen Landschaft (*Soundscape*) unterscheiden (Pijanowski et al 2011).

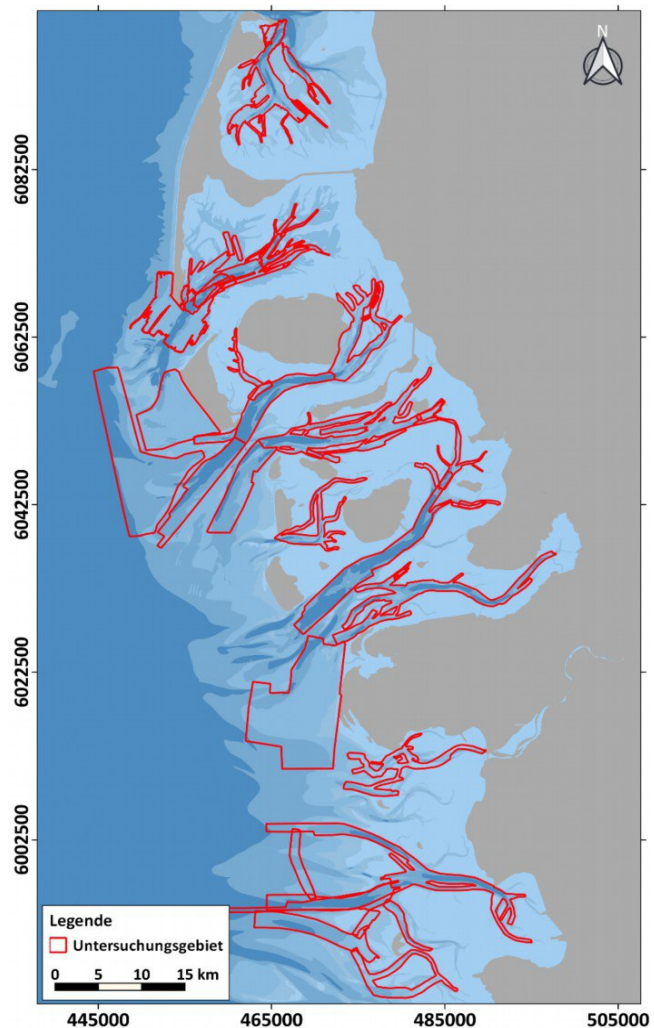


Abb. 1: Übersicht über die bisher vom FTZ untersuchten Sublitoralbereiche (rot umrandet).

Zu den Deskriptoren der Meeresstrategierahmenrichtlinie (2008/56/EG) zur Beschreibung eines guten Umweltzustandes (GES) gehört auch D11 (Unterwasserlärm). Natürliche Schallquellen wie Wind und Wellenbewegung, aber auch die Beschaffenheit des Untergrundes, Strömung und Riffstrukturen bzw. Besiedlungsmuster, bilden den Hintergrundschall im Meer (Wenz, 1962). Zu dieser natürlichen „akustischen Landschaft“ kommen anthropogene kontinuierliche und intermittierende Schalleinträge, hauptsächlich von der Schifffahrt, sowie temporäre impulshafte Lärmeinträge, wie etwa bei Rammarbeiten, hinzu. Indikatoren und Schwellenwerte wurden - abgesehen von Belastungskriterien für marine Säuger im Zusammenhang mit der Einrichtung von Offshore Windparks (BSH, 2013) - noch nicht erarbeitet. Lärmbelastung kann zu massiven organischen Schäden, physiologischen Veränderungen, bis hin zu Störungen der Räuber-Beute Beziehungen, Kommunikation und Orientierung führen (Duarte et al. 2021). Grundlegend für Entscheidungen, wie, wo und in welchem Maße eine Reduktion anthropogener Schallemissionen erfolgen sollte, muss zunächst der Hintergrundschallpegel, der für das Wattenmeer noch nicht bekannt ist, bestimmt werden. OSPAR hat dazu Empfehlungen für die offene Nordsee erarbeitet (*ambient noise monitoring* OSPAR, 2015) und im Rahmen des JOMOPANS Projektes (Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea) einen Untersuchungsrahmen erstellt (Dekeling et al. 2014; Kinneging & Gersonius, 2021). Dieser soll nun in Aufbau, Organisation, Messmethodik und Auswertungsroutine an das Wattenmeer angepasst werden.

1.1 Zielsetzung

Das Projekt **WATThochDrei** (01.07.2021 - 30.06.2024) ist ein gemeinschaftliches Kooperationsprojekt zwischen dem Forschungs- & Technologiezentrum Westküste der Universität Kiel (FTZ) und der Nationalparkverwaltung Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer (NPV) zur Untersuchung ausgewählter sublitoraler Habitats durch die Kombination von abiotischen und biotischen Elementen mit einer engen Verknüpfung der geowissenschaftlichen und biowissenschaftlichen Fachdisziplinen, bei dem die Zusammensetzung, Dynamik und Interaktionen benthischer Lebensgemeinschaften auf und mit dem Substrat und der akustischen Landschaft zeitgleich untersucht und verknüpft wird.

Aufgrund der Vielschichtigkeit und Dynamik des Wattenmeeres können Fragen der Populationszusammensetzung und Veränderlichkeit von benthischen Lebensgemeinschaften zwangsläufig nicht ohne Kenntnisse der Veränderlichkeit der abiotischen Verhältnisse des Lebensraumes beantwortet werden. Im Zuge der bisherigen geowissenschaftlichen Arbeiten sind zwar biologisch bedeutende Hartsubstratareale sowie Riffstrukturen biogenen oder geogenen Ursprungs und Sandbänke detektiert und ausgewiesen, ihre Veränderlichkeit aber nur am Beispiel einzelner biogener Riffe untersucht worden.

Eine grundlegende Aufgabe des Forschungsvorhabens besteht darin, mit Hilfe aktiver hydroakustischer Messmethoden und begleitender Probenentnahme ehemals als LRT 1170, 1110 und §30-Verdachtsflächen (KGS) klassifizierte Gebiete erneut zu erfassen, um Veränderungen in der Lage, Ausdehnung und Beschaffenheit der Flächen seit der Ersterfassung zu detektieren. Zudem soll nicht nur das Substrat untersucht, sondern zeitgleich auch die benthischen Lebensgemeinschaften auf und im Substrat dokumentiert werden. Ein weiteres Ziel dieses Projektes ist es, eine Methodik zur Kartierung des Unterwasserschalls im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer zu entwickeln, zu erproben und darüber hinaus erste Unterwasserschall-Aufnahmen verschiedener Lebensräume in unterschiedlichen Tidebecken zu machen, wobei die Informationen der Lebensgemeinschaften und des Substrates wichtige Hinweise bei der Unterwasserschall-Kartierung liefern.

1.2 Arbeitspakete

Das **WATThochDrei** Projekt beinhaltet drei Arbeitspakete (AP, Abb. 2), in deren Rahmen der Unterwasserbereich des Nationalparks Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer mit verschiedenen Schwerpunkten untersucht wurde. Die drei Arbeitspakete wurden dabei in gemeinsamen Feldkampagnen weitestgehend zeitgleich bearbeitet und können so in einem gemeinsamen Ansatz unter maximaler Nutzung von Synergien hinsichtlich Schiffszeiten, Personaldecke, Materialeinsatz und gegenseitiger Information durchgeführt werden. Das Projekt dient zum einen der wissenschaftlichen Grundlagenforschung für ökologische und bioakustische Modellierungen (Ansatz der Uni Kiel) und zum anderen als Ausgangspunkt für ökologische Bewertungen (Ansatz der NPV) für Richtlinien und Konventionen.



Abb. 2: Die drei Säulen des WATThochDrei Projektes zur Untersuchung sublitoraler Habitatstrukturen: Watt'n Ground, Watt'n Life und Watt'n Sound.

AP1 Watt'n Ground widmete sich den geowissenschaftlichen Untersuchungen zur Verbreitung, Ausbildung und zeitlich-räumlichen Stabilität von gesetzlich geschützten Bereichen unter Anwendung hydroakustischer Methoden (Seitensichtsonar). Das generelle Ziel war es, neue bislang unbekannte Erkenntnisse bezüglich der räumlichen Stabilität bzw. Veränderlichkeit von bestimmten Biotopen und sedimentologisch-morphologisch relevanten Meeresbodenstrukturen zu erlangen.

Ziel von **AP2 Watt'n Life** war die Erfassung der benthischen Lebensgemeinschaften (wirbellose Fauna) ausgewählter Lebensräume. Diese Daten bilden die Grundlage für die ökologische Zustandsbewertung. Die benthische Wirbellosenfauna ist ein bedeutsames prägendes und charakterisierendes Element der Lebensraumtypen „Riff“, „Meeresarme und Buchten“ sowie artenreiche Grobsand-, Schill- und Kiesgründe (KGS Biotop). Die Erfassung von qualitativen (Artenspektrum, Funktionalität) und quantitativen (Abundanz und Biomasse) Veränderungen der Benthosgemeinschaften ist für die Bewertung des Erhaltungszustandes dieser Lebensräume notwendig.

Ziel des **AP3 Watt'n Sound** war die Entwicklung einer Methodik zur Untersuchung von Unterwasserschall für das Schleswig-Holsteinische Wattenmeer und der ersten Aufnahme der Unterwasserschall-Landschaft ausgewählter Lebensräume. Dazu soll im ersten Jahr ein *best-practise* Beispiel zur Schallmessung und Datenauswertung von Hydrophonaufnahmen im Wattenmeer erarbeitet und erprobt werden. In den Folgejahren sollen anhand der neu entwickelten Methodik testweise akustische Charakteristika von abiotischen und biotischen Geräuschen ausgewählter sublitoraler Habitate sowie anthropogen verursachten Schallquellen im Wattenmeer identifiziert werden.

Durch die zeitgleiche Bearbeitung der Arbeitspakete kann zukünftig die Verknüpfung der akustischen Landschaft zur abiotischen und biotischen Charakteristik unmittelbar hergestellt und validiert werden.

1.3 Definitionen der Lebensräume

Sandbänke (LRT 1110)

Ständig vom Wasser überspülte Sandbänke sind Lebensräume, die durch die von Wellen und Strömung transportierten und umgelagerten Sedimente geprägt sind (Nationalpark Wattenmeer Niedersachsen, 2022). Das „Interpretation Manual of European Union Habitats“ (European Commission DG Environment, 2013) definiert den FFH Lebensraumtyp 1110 Sandbänke wie folgt:

“Sandbanks are elevated, elongated, rounded or irregular topographic features, permanently submerged and predominantly surrounded by deeper water. They consist mainly of sandy sediments, but larger grain sizes, including boulders and cobbles, or smaller grain sizes including mud may also be present on a sand-bank. Banks where sandy sediments occur in a layer over hard substrate are classed as sandbanks if the associated biota are dependent on the sand rather than on the underlying hard substrata. “Slightly covered by sea water all the time” means that above a sandbank the water depth is seldom more than 20 m below chart datum. Sandbanks can, however, extend beneath 20 m below chart datum. It can, therefore, be appropriate to include in designations such areas where they are part of the feature and host its biological assemblages.”

Weiterhin ist in dem gutachterlichen Kartierentwurf für die Abgrenzung sublitoraler Sande als LRT 1110 (Sandbank) (Argument, 2003) folgendes beschrieben:

- Bänke sind als eigene Struktur erkennbare Erhebungen des Meeresbodens.
- Sie sind überwiegend von Hängen größer 0,5 Grad Hangneigung begrenzt.
- Ihre Grenze verläuft am Hangfuß am Übergang zum ebenen Meeresboden.
- Ihre Grenze im Flachbereich verläuft auf gerader Linie zwischen den Hangenden.
- Das Längenverhältnis zwischen Hanggrenze und Flachbereich ist größer als 3:1.

Für die Kartierung von Sandbänken werden solche Bänke entsprechend der FFH-Definition („*permanently submerged*“) ausgeschlossen, die in Teilen trockenfallen. Zudem müssen Bänke in Verbindung zu eulitoralen Sandflächen in Einzelfällen geprüft werden, ob sie dem Charakter „*predominantly surrounded by deeper water*“ entsprechen. Ein weiteres Kriterium, dass Sandbänke einen Übergang zum ebenen Meeresboden haben sollen, kann nur in dem Sinne erfüllt sein, als dass Akkumulationskörper in Rinnen mit inselartiger Struktur, die sich topographisch vom umliegenden Meeresboden abheben und ständig überflutet sind, als Sandbänke gelten. Das liegt insbesondere daran, dass der Meeresboden des Wattenmeeres kaum ebene Flächen aufweist (Ricklefs & Trampe, 2021).

Biogene & geogene Riffe (LRT 1170)

Gemäß dem „Interpretation Manual of European Union Habitats“ (Europäische Kommission DG Umwelt, 2013) beschreiben die „Steckbriefe und Kartierhinweise für FFH-Lebensraumtypen“ (LLUR, 2007) des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein den FFH-Lebensraumtyp 1170 „Riff“ wie folgt:

„Vom Meeresboden in das Sublittoral aufragende oder von dort bis in die Gezeitenzone (Littoral) reichende, von der Umgebung topographisch deutlich abgesetzte biogene oder geogene Hart-

ubstratkomplexe. Meist mit benthischen Lebensgemeinschaften festsitzender und freilebender Tier- und Pflanzenarten, z. B. aus Großalgen und Muscheln, v.a. in der Ostsee auch mit höheren Pflanzen. [...] Bei Niedrigwasser können Riffe teilweise trockenfallen (z.B. Felswatt bei Helgoland, Windwatt der Ostseeküste).

Geogene Riffsubstrate der Nord- und Ostsee sind v.a. Fels und Felsschutt (z.B. Buntsandstein), Geschiebe, Weich- und Sedimentgesteine wie Kreide, Kalk- und Tonmergel sowie Blöcke und Steine (Durchmesser i.A. > 64 mm).

Unter **biogenen Riffstrukturen** sind Verklumpungen, Verwachsungen, Verhärtungen und andere Anhäufungen lebender oder abgestorbener mariner Organismen (z. B. Sandkorallen-Riffe des Sand-Röhrenwurms *Sabellaria spinulosa*, Muschelbänke, Muschelschill) zu verstehen, die als biogenes Hartsubstrat von epibiotisch lebenden Tieren und Pflanzen besiedelt werden können.“

Blöcke und Steine treten nur dort auf, wo eiszeitliche Ablagerungen so hoch anstehen, dass sich rezente Gezeitenrinnen erosiv einschneiden konnten. **Geogene Riffstrukturen** kommen im Wattenmeer daher weitestgehend nur in besonders tiefen Bereichen vor, die sich allerdings topographisch nicht unbedingt von ihrer Umgebung abheben. Gemäß der Definition im EU-Interpretation Manual und in Absprache mit der Nationalparkverwaltung Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer werden also solche Bereiche des Sublitorals als „geogenes Riff“ interpretiert, wo flächenhaft Steine und Blöcke vorkommen (Ricklefs & Trampe, 2021).

Gemäß der geltenden Praxis in Deutschland werden Muschelbänke nur dann als **biogene Riffstrukturen** betrachtet, wenn sie von der heimischen Miesmuschel (*Mytilus edulis*) aufgebaut werden oder Mischbänke, die in signifikantem Maße von Miesmuscheln besiedelt sind. Muschelbänke, die ausschließlich aus invasiven Pazifischen Felsenaustern (*Magallana gigas*) bestehen, werden bisher nicht als biogene Riffe nach FFH-Richtlinie (LRT 1170) angesehen (Ricklefs & Trampe, 2021). Weitere Kriterien zur Einstufung von Miesmuschelvorkommen als biogene Riffstruktur LRT 1170 gehen aus dem Kartieranleitungsentwurf der „Unabhängigen Arbeitsgemeinschaft Lebensraumtypen“ (unveröffentlichte Mitteilung aus der Nationalparkverwaltung des LKN-SH) hervor:

- Die Miesmuschelbänke müssen deutlich vom Meeresboden unterscheidbar und mit gängigen technischen Methoden detektierbar sein.
- Sie müssen über mehrere Jahre bestehen.
- Ihre Bedeckung sollte analog zum Eulitoral (QSR 2004) mehr als 5 % betragen.
- Wenn der Abstand zwischen einzelnen Muschelbänken mehr als 25 m ist, wird der Komplex als zusammenhängendes Riff gewertet.

Bisherige Untersuchungen biogener Riffstrukturen haben gezeigt, dass Flächen besiedelt mit Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) und/oder pazifischen Austern (*Magallana gigas*) immer dann gleichbedeutend mit **Muschelbank/biogenes Riff** mit dem Seitensichtsonar detektiert werden können, wenn sie ausgeprägte und etwas höher aufragende Strukturen am Meeresboden bilden. Andere Ansammlungen lebender Muscheln, die sich in den Sonaraufnahmen nicht oder nur in Ansätzen abzeichnen, also keine sichtbar höher aufragende Struktur bilden, unter Umständen aber durch Probenahmen nachgewiesen sind, werden folgend als „**Muschelvorkommen**“ bezeichnet (Ricklefs & Trampe, 2021). Nach gängiger nationaler Praxis werden Gebiete, die aus Muschelschill bestehen nicht als biogene Riffstruktur angesehen. Allerdings gelten artenreiche Schillflächen sowie Grobsand- und Kiesgründe nach §30 (2) 6. Satz Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) als gesetzlich geschützte Biotope.

Kies-, Grobsand & Schillgründe (KGS)

Biotope, die eine besondere Funktion bzw. Bedeutung haben, werden nach Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) gesetzlich geschützt. Unter §30 (2) 6. Satz sind als schützenswerte Biotope „[...] *Fels- und Steilküsten, Küstendünen und Strandwälle, Strandseen, Boddengewässer mit Verlandungsbereichen, Salzwiesen und Wattflächen im Küstenbereich, Seegraswiesen und sonstige marine Makrophytenbestände, Riffe, sublitorale Sandbänke, Schlickgründe mit bohrender Bodenmegafauna sowie artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe*“ aufgeführt.

Hierbei ist zum derzeitigen Zeitpunkt allerdings nicht definiert, ab wann eine Kies-, Grobsand- oder Schillfläche als „artenreich“ gilt, welche Artenzusammensetzung charakteristisch ist oder wie viele Arten mindestens vorkommen sollten. Aufgrund dessen fand die bisherige Abgrenzung der Flächen ausschließlich auf Basis der Substratinformation statt.

Weiterhin ist nicht festgehalten, welchen Anteil Kies-, Grobsand- und/oder Schill die Fläche aufweisen muss, um als „KGS“ eingestuft zu werden, oder ob es sich dabei um ein Rein- oder Mischvorkommen handeln kann. In der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) umfasst der Biotoptyp Rein- oder Mischvorkommen von Kies-, Grobsand- oder Schillsedimenten des Meeresbodens, die überwiegend aus Kies, Grobsand oder Schill bestehen und kann in räumlicher Nähe zu den Lebensraumtypen Sandbank (LRT 1110) und Riff (LRT 1170) auftreten (BfN, 2011). Einer vom BfN in Auftrag gegebenen Studie zufolge, trifft dies für Flächen zu, die mehr als 50% KGS aufweisen (BioConsult, 2017), was für reine Grobsandflächen umsetzbar ist. Treten allerdings beispielsweise Sande und Kiese als Gemisch auf, ist der gemessene Kiesanteil neben dem tatsächlichen Vorkommen maßgeblich von der Probenentnahme abhängig (große Probenmengen durch Kies, Sedimentverlust durch nicht vollständig geschlossene Greifer). Zudem kann Kies ähnlich wie Schill als Sohlpflaster vorliegen und die Oberfläche bedecken, während darunter Sande das Substrat bilden. Bezogen auf den Gesamtinhalt würde hier wahrscheinlich ein geringerer Anteil als 50% erreicht werden, obwohl die Oberfläche nahezu komplett bedeckt sein kann (Ricklefs & Trampe, 2021).

Aufgrund dessen werden bisher in der gängigen Praxis - folgend der Klassifizierung nach Folk (1954) 30-80% Kiesanteil $\triangleq$ sandiger Kies, > 80% Kiesanteil $\triangleq$ Kies - solche Flächen, die mehr als 30% Kiesanteil aufweisen als sandiger Kies/Kies (KGS) bezeichnet.

Flächen mit einem Kiesanteil von 20-30% werden als potentielle KGS-Flächen aufgeführt, deren Entwicklung bei künftigen Untersuchungen einbezogen werden soll. Bei Mischvorkommen sollten Kies und Schill zusammen mindestens 50% ergeben (mündliche Absprache mit NPV, 2024). Kies, Grobsand und Schill treten häufig auf geogenen Riffstrukturen auf. Da diese Flächen bereits über den Lebensraumtypen 1170 abgedeckt sind, werden sie nicht zusätzlich als KGS-Fläche ausgewiesen.

2. Lage der Untersuchungsgebiete

Im **1. Jahr (01.07.2021 – 30.06.2022)** des WATThochDrei Projektes wurden großräumig Abschnitte der Norderhever und des Heverstroms befahren (Abb. 3), wo früher Hartsubstrate detektiert wurden. Das sind insbesondere die tieferen Bereiche der Rinne der Norderhever und das Kolumbusloch. Im Heverstrom im Übergang zum Kolumbusloch wurde zudem die Sandbank und nahe Pellworm der Heverstrom nach Schillvorkommen untersucht. Zusätzlich wurde die Muschelbank Dwarsloch und eine ehemals als geogenes Riff kartierte Fläche der Süderhever beprobt.

Im **2. Jahr (01.07.2022 – 30.06.2023)** lag der Fokus auf geogenen Riffstrukturen und KGS-Flächen im Hörnumtief, und zwar der Bereich, der weder im Projekt „Balancing SEdiment deficits in the WADden Sea“ (BASEWAD) 2018/2019 noch im SubMu8 Projekt (inneres Hörnumtief) abgedeckt wurde. Dieser Bereich wurde letztmals 2009 im Projekt „Südsylter Rückseitenwatt“ vom Institut

für Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität Kiel (IfG) und dem FTZ untersucht, wobei großräumig geogene Riffe, Kiese und Grobsande detektiert wurden. Biologische Untersuchungen im Rahmen des BASEWAD Projektes haben gezeigt, dass diese Hartsubstrate *Hotspots* der Artenvielfalt darstellen, wo unter anderem zahlreiche Rote Liste Arten vorkommen.

Im **3. Jahr (01.07.2023 – 30.06.2024)** wurden Bereiche vermuteter Hartsubstrate sowie Kies- und Grobsandflächen der 2012 untersuchten Norderaue erfasst. Blöcke und Steine führende Kiese und Grobsande kamen in vergangenen Projektarbeiten besonders in der Nähe zu den pleistozänen Inselsockeln von Amrum und Föhr sowie in den zentralen, tieferen Abschnitten der Norderaue vor. Von weiterem Interesse waren die in der nördlichen Norderaue auftretenden Torfvorkommen, die in den strömungsgeschützten Bereichen stellenweise von Muscheln besiedelt waren. Zusätzlich wurden die Muschelbänke Föhr, Dwarsloch und Gröde hinsichtlich der Ausdehnung und Ausprägung der Muschelvorkommen erfasst. Bei Gröde handelte es sich in der Vergangenheit (2020) um ein im Sonar als diffus sichtbares Vorkommen weniger Miesmuscheln und Austern. Zudem wiesen weite Teile südlich von Gröde eine hohe Schillbedeckung auf.

Die Beprobung des Makrozoobenthos wurde 2022 und 2023 durchgeführt. Im Jahre 2022 erfolgte die Beprobung der Eidermündung, Dwarsloch, Heverstrom und Norderhever im Zeitraum vom 03.05 - 04.05.2022 und die Beprobung im Hörnumtief im Zeitraum vom 14.06 - 22.06.2022. Im Jahre 2023

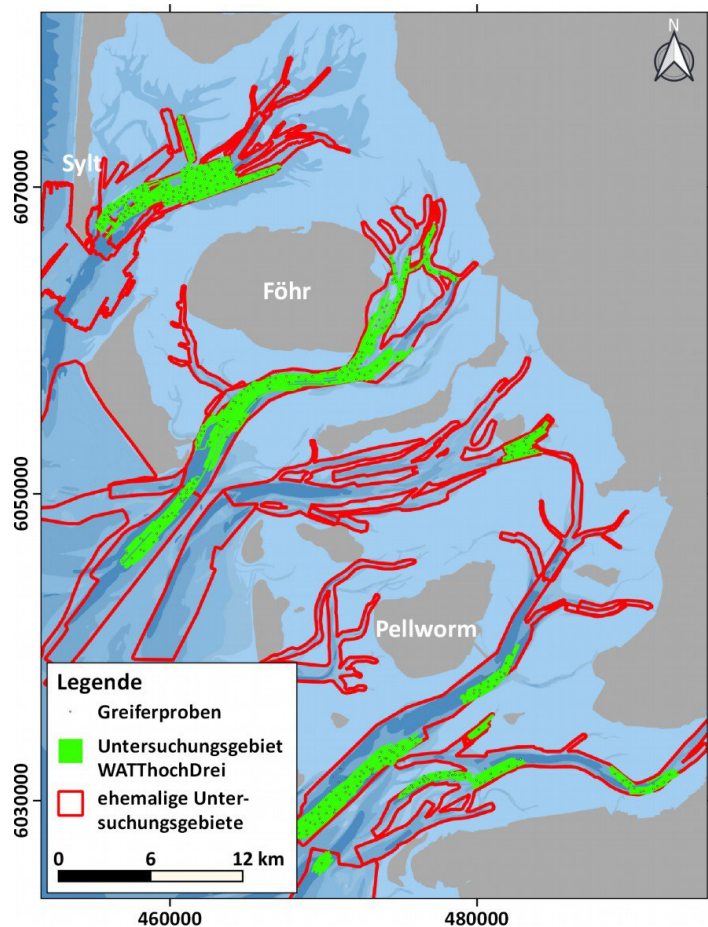


Abb. 3: Lage der Untersuchungsgebiete des WATThochDrei Projektes (grüne Flächen) 2021 bis 2023.

wurden die sublitoralen Muschelbänke bei Gröde, Föhrer Schulter und dem Dwarsloch im Zeitraum vom 02.05 - 12.05.2023 sowie 12.06 - 16.06.2023 beprobt.

Tabelle 1: Informationen zu den hydroakustischen (aktiv & passiv) Befahrungen 2021 bis 2023

Zeitraum	Gebiet	Vom Sonar erfasste Fläche [km ²]	Sedimentproben	Dredgezüge	Hydrophonstationen
1. Sep., 12. - 18. Okt. 2021	Norderhever	10.72	50	---	---
26. April - 11. Mai 2022	Norderhever Heverstrom	16.00	63	---	6
03. Mai 2022	Muschelbank Dwarsloch	0.79	1	1	1
15. - 22. Juni 2022	Hörnuntief	19.07	115	---	7
01. Mai 2023	Muschelbank Dwarsloch	0.82	1	4	1
03. - 10. Mai 2023	Gröde	3.05	17	1	---
05. - 15. Juni 2023	Norderaue Föhr	31.81	131	3	1
13. Juni 2023	Muschelbank Föhr	0.55	1	3	1

3. Methodik

3.1 Aktive hydroakustische Messungen (Seitensichtsonar)

Für die Identifizierung von Sedimentverteilungsmustern und marinen Lebensraumtypen wurden für die flächenhafte Aufnahme der Meeresbodenoberfläche aktive hydroakustische Messungen mit Seitensichtsonaren sowie Probenahmen mit Hilfe von van-Veen Backengreifer oder Dredge zur Verifizierung der Kartierung angewendet. Durch diese flächenhaften Aufnahmen ist es im Gegensatz zu punkthaften Beprobungen möglich, die tatsächliche Ausdehnung verschiedener Lebensräume zu erfassen (Ricklefs & Trampe, 2020). Bei der flächendeckenden Aufnahme zur Detektion der verschiedenen Lebensraumtypen und KGS-Flächen kamen im Projekt verschiedene Seitensichtsonare zum Einsatz. Der sogenannte Sonar-Fisch wird entweder "frei fliegend" in der Wassersäule geschleppt (Klein 4900: 450 kHz, 900 kHz) oder aufgrund der oft geringen und sich schnell ändernden Wassertiefen bis zu einer Wassertiefe von 7 m fest an einem Kohlefaserpfahl (StarFish 452F: 450 kHz, 90 cm Eintauchtiefe) am Rumpf montiert eingesetzt. Um eine stabilere Lage zu erreichen ist das Klein Sonar mit einem ca. 35 kg schweren Gewicht mit Stabilisierungsflügeln befestigt. Die zwei gegenüberliegend am „Fisch“ montierten Schallwandler (Transducer) senden zeitsynchronisiert Schallimpulse aus (Abb. 4). Treffen die ausgesandten Schallimpulse auf den

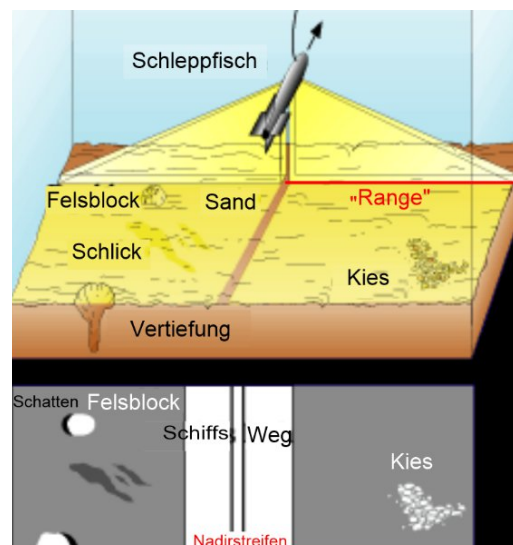


Abb. 4: Einsatzschema eines Seitensichtsonars. Der untere Teil zeigt das resultierende Sonogramm (Eingedeutschte, bearbeitete Abb. des USGS).

Meeresboden, wird der größte Teil der Schallenergie entsprechend des Einfallswinkels von der Schallquelle weg reflektiert/gespiegelt. In Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit wird jedoch auch ein Anteil davon zurück zu den *Transducern* des „Sonarfisches“ gestreut (Abb. 5). Die Stärke des zum Sonar zurückkommenden Signals wird zeitabhängig verstärkt (TVG) und aufgezeichnet, wodurch man entlang einer Linie, die senkrecht zur Ebene der jeweiligen Schallquelle bzw. des Sonarfisches verläuft, eine Verteilung der Rückstreustärke bekommt. Den einzelnen Datenpunkten einer Linie wird dann ein farbcodierter Wert der Rückstreustärke sowie auf der Basis von zeitsynchron aufgenommenen Positionsdaten eine geografische Koordinate zugeordnet. Reiht man solche Linieninformationen aneinander, ergibt sich ein auf eine ebene Fläche projiziertes Bild der Meeresbodenoberfläche. Nach Blondel (2009) bestimmen in absteigender Bedeutung die folgenden Faktoren die Intensität der Rückstreustärke:

- **Geometrie des Seegrunds und der Schallquelle**

Zur Schallquelle geneigte Flächen erzeugen ein stärkeres Rückstreuungssignal als ebene Flächen. Von der Schallquelle weg geneigte Flächen liefern entsprechend eine geringere Rückstreuung.

- **Rauigkeit des Meeresbodens**

Im Vergleich zur Wellenlänge des Schallsignals erzeugen raue Flächen durch ihre Inhomogenität eine stärkere Rückstreuung als ebene Flächen.

- **Spezifische Eigenschaft des Meeresbodens**

Dazu gehören Korngröße, Dichte, Porosität und Konsolidierungsgrad, Kornzusammensetzung und Textur, die eine größere Eindringtiefe ermöglichen können und so durch Volumenstreuung zu einem stärkeren Rückstreusignal führen können.

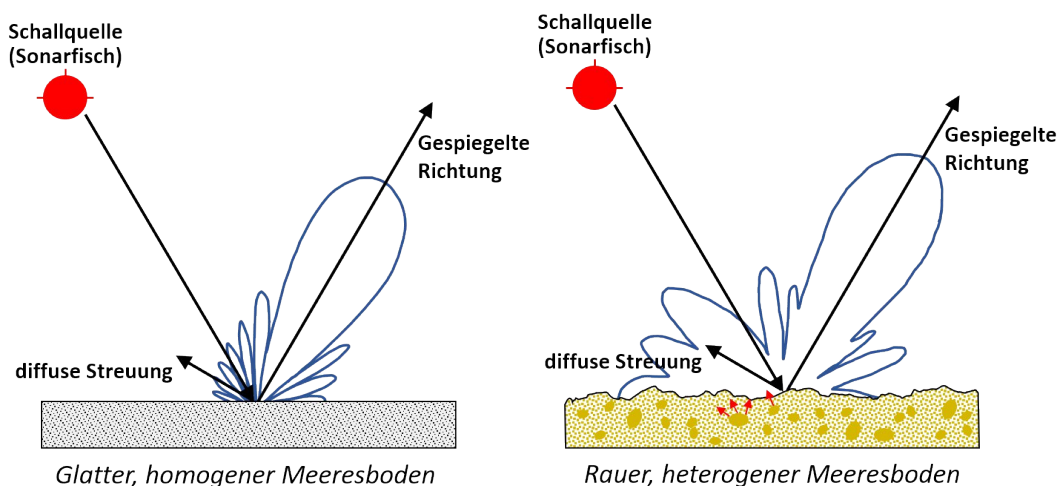


Abb. 5: Reflexion und Streuung des Sonarsignals bei glattem (links) und rauem (rechts) Meeresboden.

Um für die Erfassung von kleineren Habitatstrukturen eine ausreichende Auflösung der Sonaraufzeichnungen zu erreichen, muss mit einer relativ geringen Erfassungsbreite und somit einer vergleichsweise hohen *Ping Rate* des Sonars gearbeitet werden. Für die Untersuchung wurde ein *Range* (Erfassungsbreite zu einer Seite) von 50 m gewählt. Bei einer Schiffsgeschwindigkeit von 5 kn (2,5 m/s), einer Gesamt-Reichweite von 100 m und einer *Ping Rate* von 1 ergibt sich eine Auflösung von rund 17 cm in Fahrtrichtung, wodurch Objekte wie beispielsweise Steine detektierbar sind (Ricklefs & Trampe, 2021).

Die aufgenommenen, georeferenzierten Sonarstreifen (Sonogramm) werden mithilfe verschiedener Korrekturprozeduren zur räumlichen Entzerrung und wegabhängigen Korrektur der Daten sowie best-

möglicher Darstellung (Kontraste und Farbintensitäten) im Softwarepaket SonarWiz bearbeitet und zu einem sogenannten Mosaik zusammengefügt. Bereiche mit geringer akustischer Rückstreustärke (z.B. Schattenbereich hinter einem großen Stein oder feinkörnige, locker gelagerte Sedimente) werden dabei dunkel dargestellt, während Elemente mit hoher Rückstreustärke (z.B. die dem Sonar zugewandte Seite eines Steins oder gröbere Sedimente mit rauen Oberflächen) hell abgebildet werden (Abb. 6).

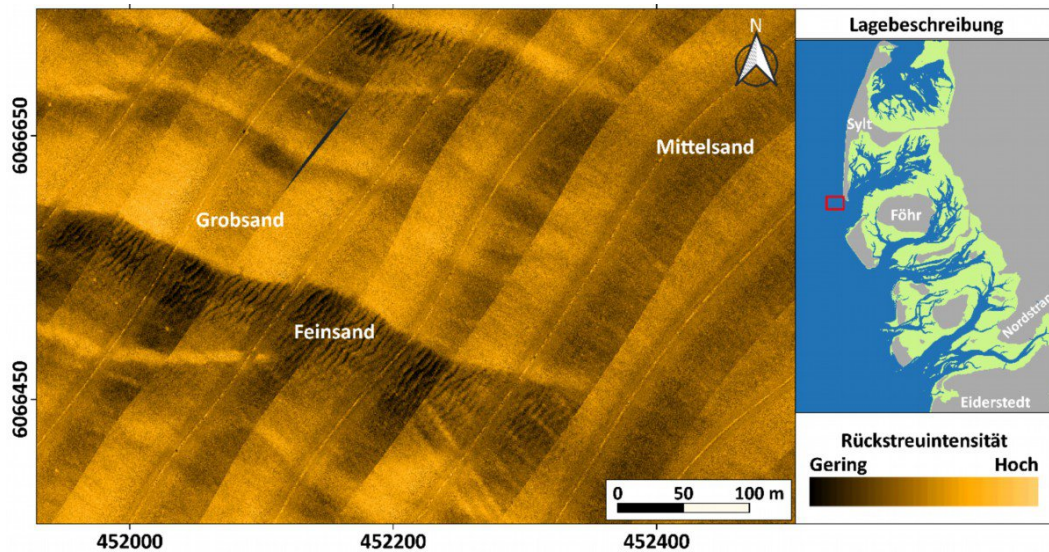


Abb. 6: Sonarmosaik mit klar gegeneinander abgegrenzten Flächen von Fein-, Mittel- und Grobsand.

3.2 Sedimentbeprobung & Korngrößenanalyse

Zur Verifikation der Seitensichtsonar-Signaturen wurden an ausgewählten Positionen Proben mit einem Van-Veen-Backengreifer genommen (Abb. 7). Der auf der EGIDORA eingesetzte Backengreifer hat bei einem Gewicht von etwa 45 kg eine Öffnungsweite von 35 cm x 31 cm. Zur besseren Sichtung der größeren Komponenten des beprobten Materials wird der Inhalt des Greifers über einer Wanne mit 5 mm Lochblechboden geleert und durchgespült (Abb. 8).

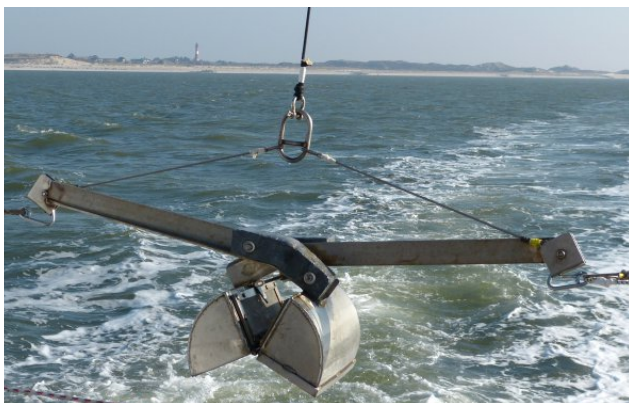


Abb. 7: Auf der EGIDORA eingesetzter Van-Veen-Backengreifer.

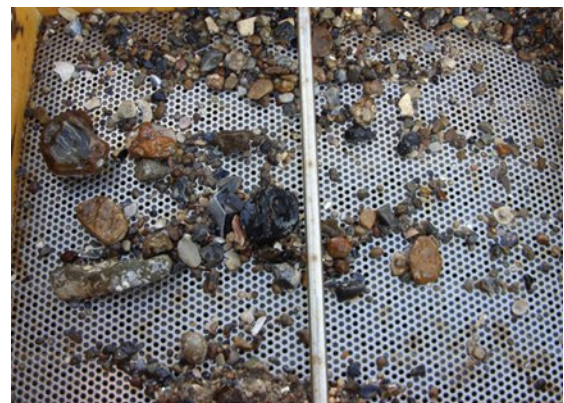


Abb. 8: Grobfraction einer Sedimentprobe in der Spülwanne mit 5 mm Lochblechboden.

Direkt an Bord erfolgt eine standardisierte Grobansprache des Probenmaterials, deren Ergebnisse zusammen mit Positionsdaten an Bord mit Hilfe eines Computerprogramms archiviert werden. Zudem wird jede Probe fotografisch dokumentiert. Hinsichtlich der Beurteilung von KGS-Flächen werden nicht nur die in den folgenden Laboruntersuchungen ermittelten Fraktionsanteile in die Analyse ein-

bezogen, sondern auch die Greiferbilder und die Angaben der Grobansprache, beispielsweise zum Schillgehalt an der Oberfläche und Kies. Denn es macht einen Unterschied, ob der Schill in der Sedimentprobe von beispielsweise Schillbruch aus dem gesamten Greifer stammt oder von einem „Schillpflaster“, das die gesamte Oberfläche und darunter liegende Sande bedeckt. Schill, der als Sohlpflaster vorliegt, weist in den Sonarsignaturen meist eine hohe Rückstreuintensität auf und bietet besiedelnden Organismen eine andere Siedlungsgrundlage als gleichmäßig mit Sand vermischter Schillbruch. Für die Korngrößenanalyse wird eine möglichst repräsentative Probe entnommen.

Die Untersuchungen der entnommenen Sedimentproben erfolgten im Sedimentlabor des Forschungs- und Technologiezentrum Westküste in Büsum. Bestimmt werden die prozentualen Anteile der Kies-, Sand- und Feinfraktion (6,3-2 mm, 2-0,063 mm und < 0,063 mm) sowie der Anteil an Schill > 2 mm und die Zusammensetzung des Sandanteils ($\frac{1}{4}$ Phi-Schritte).

Die feuchten Rohproben werden zunächst getrocknet, gewogen (Gesamttrockengewicht [g]) und anschließend mit einer 10%-igen Wasserstoffperoxid-Lösung versetzt, was die Disaggregation der kompaktierten Sedimente bewirkt. Danach werden die Schluff- und Tonfraktionen durch Nasssiebung abgetrennt. Im Anschluss wird die Probe ein weiteres Mal getrocknet und gewogen (Sandtrockengewicht [g] → Gesamtsandanteil [%]), um dann in $\frac{1}{4}$ Phi-Schritten (0,063-2 mm) gesiebt und gewogen zu werden. Der im Topf des Siebturms aufgefangene Teil entspricht dem Teil des Feinanteils < 0,063 mm, der nicht vollständig durch die Nasssiebung abgetrennt wurde und wird prozentual vom Gesamtanteil Sand abgezogen und dem Feinanteil < 0,063 mm zugerechnet. Die mineralische Fraktion > 2 mm wird vom Schill getrennt und ebenfalls gewogen (Gesamtkiesgewicht [g] → Kiesanteil [%], Gesamtschillgewicht > 2 mm [g] → Schillanteil > 2 mm [%]).

3.3 Dredgebeprobung der Muschelvorkommen

Die Beprobung der Muschelvorkommen erfolgte für ca. 5-6 Minuten mit Hilfe einer kleinen Dredge (Abb. 9). Diese hat eine Öffnungsweite von etwa 70 cm und eine Maschenweite des Netzes von 12 mm. Die Dredge wurde mit einem 4 m langen schweren Kettenvorläufer ausgestattet, damit sie nicht über größere Muschelklumpen hinwegrutscht.

Der Inhalt der Dredge wird an Bord entleert und schätzungsweise der Lebendanteil [%] sowie der Schillanteil [%] und die Schillzusammensetzung protokolliert. Die Muscheln werden dann sortiert, genauer gesichtet und der Anteil [%] an lebenden Miesmuscheln (*Mytilus edulis*), Pazifischen Felsenaustern (*Magallana gigas*) und Pantoffelschnecken (*Crepidula fornicata*) geschätzt und Angaben zur Verteilung adulter und juveniler Muscheln gemacht. Ein weiteres Detail, das hinsichtlich der Besiedlungsformen auf Muschelflächen relevant ist, ist ob Pantoffelschnecken in Verwachsungen mit Miesmuscheln vorkommen, also größere Miesmuschel-Exemplare von Pantoffelschnecken umschlossen sind, oder ob das Gehäuse der Pantoffelschnecken von juvenilen Miesmuscheln besiedelt wird. Zusätzlich werden Angaben zu weiteren Muschelvorkommen sowie geogenen Vorkommen (Sedimenten, Kies, Steinen, Torf) gemacht. Pro Muschelbank wird je eine repräsentative Probe der Miesmu-

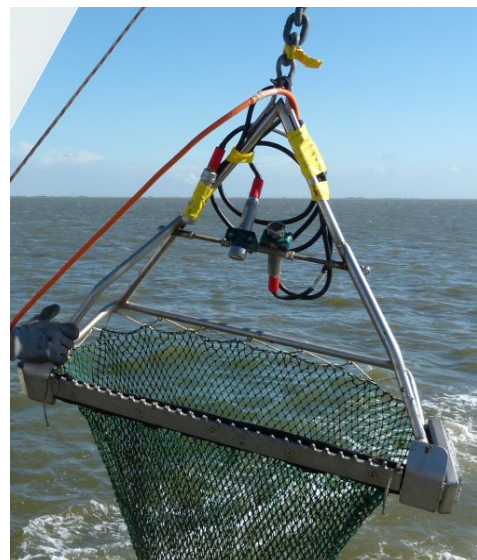


Abb. 9: Foto der für die Beprobung der Muschelflächen genutzte Dredge mit schwerem Kettenvorläufer.

scheln und der Austern für die Analysen des Forschungs- und Consulting-Büros BioConsult SH genommen. Für Forschungsarbeiten am FTZ wird ein 5l Eimer mit Pantoffelschnecken gefüllt.

3.4 Detektion sublitoraler Habitate

Auf der Basis von Expertenwissen lassen sich aus den Sonaraufzeichnungen Rückschlüsse auf die Sedimentverteilung und Verbreitung von Habitaten schließen. Die Bildgebung in Form eines Sonogrammes ergibt sich dabei durch Unterschiede in der Textur, Farbe, Schattenwurf, Form, Höhe und Kontrast. Im ersten Schritt der Sedimentklassifikation werden Areale mit ähnlichen Sonarsignaturen identifiziert, abgegrenzt und bestimmten Klassen zugeordnet. Innerhalb dieser "Signaturklassen" werden gezielt Sedimentproben entnommen, die im Labor hinsichtlich ihrer Korngrößenzusammensetzung analysiert werden. Auf diese Weise werden den "Signaturklassen" Korngrößenkennwerte zugeordnet. Die Korngrößenkennwerte basieren auf der Einteilung nach Folk (1954), bei der die prozentualen Anteile der Fein- ($< 63 \mu\text{m}$, Schlick), Sand- ($63\text{-}2000 \mu\text{m}$) und Kiesfraktion ($> 2000 \mu\text{m}$) zueinander in Beziehung gesetzt werden (Abb. 10).

Um Gebiete sandiger Ablagerungen untergliedern und Grobsande von anderen Sanden unterscheiden zu können, wird die mittlere Korngröße der Sandfraktion nach Folk & Ward (1957) verwendet: $63\text{-}125 \mu\text{m}$ sehr feiner Sand, $125\text{-}250 \mu\text{m}$ Feinsand, $250\text{-}500 \mu\text{m}$ Mittelsand, $500\text{-}2000 \mu\text{m}$ Grobsand.

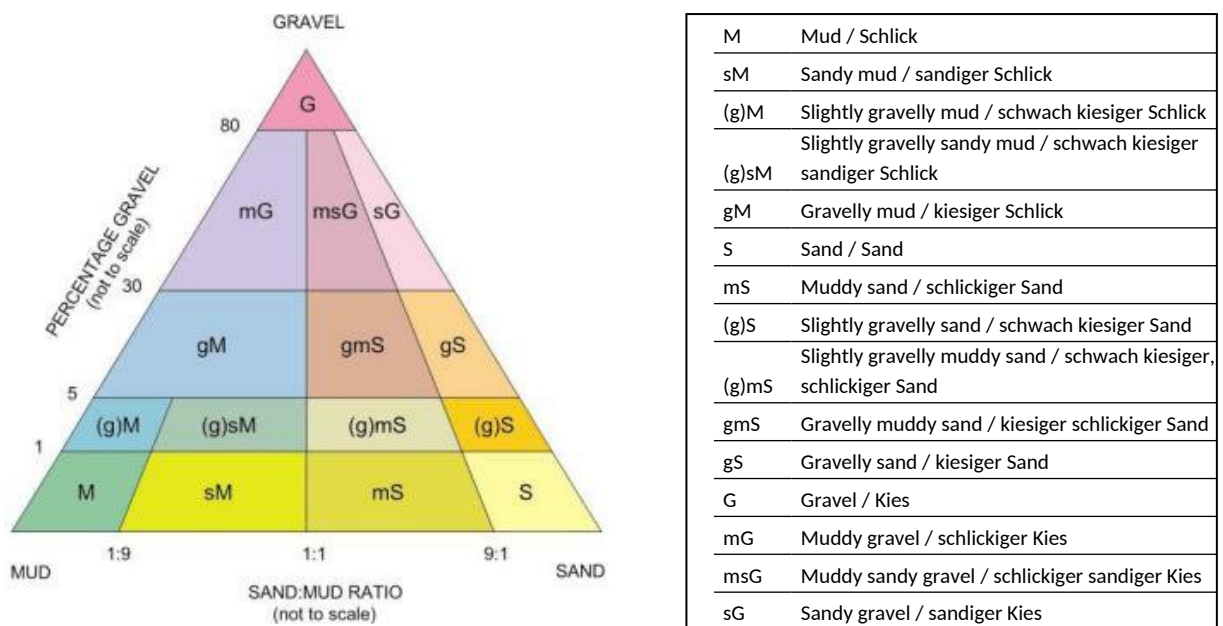


Abb. 10: Klassifikation der schlickigen, sandigen und kiesigen Sedimente (Folk, 1954).

Detektion von Kies-, Grobsand- & Schillgründen (KGS)

Als Folge von Strömungen und Wellen prägen Sande fast überall im Wattenmeer Sohltransportkörper (Rippeln) aus. Feinkörnig, kohäsive Sedimente sowie Kiese bilden kaum welche aus, sodass Sohltransportkörper ein erstes Indiz auf das Substrat geben können. Allgemein scheint die Meeresbodenoberfläche von Grobsanden weniger stark durch Sohltransportkörper geprägt zu sein als beispielsweise Mittelsande. Die Rückstreustärke ist ebenfalls von der Korngrößenzusammensetzung abhängig, sodass eine Unterscheidung der verschiedenen Sande aufgrund der Helligkeits- und Texturunterschiede möglich ist. Feinere Sande weisen eine geringere Rückstreuung auf als grobe Sande. Zudem ist das

menschliche Auge in der Lage, die Rauigkeit/Körnigkeit der Textur durch Farbvariationen benachbarter Pixel wahrzunehmen. Mit zunehmender Korngröße nimmt die Körnigkeit zu (Abb. 11).

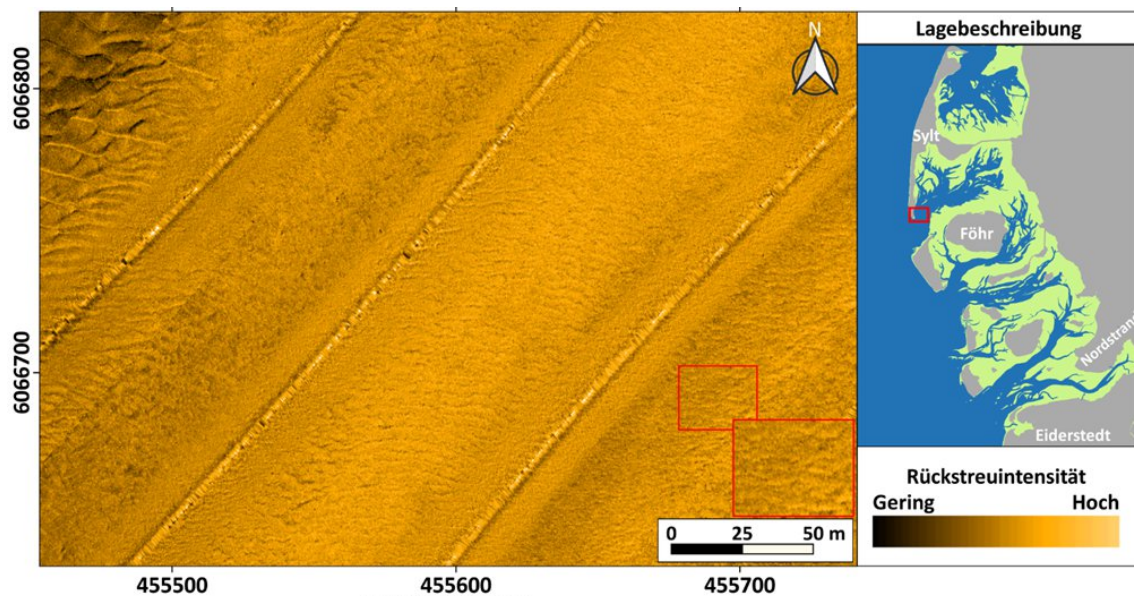


Abb. 11: Grobsande weisen hier eine hohe Rückstreustärke und weniger stark ausgeprägte Rippel auf. Gegenüber Mittelsand nimmt die Körnigkeit der Textur zu (rot umrahmte Vergrößerung).

Kiese treten insbesondere dort auf, wo durch erosive Prozesse - wie beispielsweise in den tieferen und strömungsdominierten Abschnitten einer Rinne - eiszeitliche Ablagerungen angeschnitten werden. Aufgrund der Auflösung von 17 cm, sind Kiesbestandteile (2-63 mm) nicht einzeln im Sonarmosaik detektierbar. Die Rückstreustärke ist meist mittel bis hoch und der Meeresboden recht eben, wobei die Textur eine gewisse Rauigkeit und oft höhere Variationen benachbarter Pixel aufweist (Abb. 12). In den zahlreichen, durch Proben nachgewiesenen, kiesführenden Sedimenten, kamen in den Sonaraufnahmen häufig einzelne schwarze Pixel ohne angrenzendes Zentrum hoher Rückstreuung vor. Folgend der Klassifizierung nach Folk (1954) - 30-80% Kiesanteil $\triangleq$ sandiger Kies, > 80% Kiesanteil $\triangleq$ Kies - werden solche Flächen, die mehr als 30% Kiesanteil aufweisen als sandiger Kies/Kies (KGS) bezeichnet.

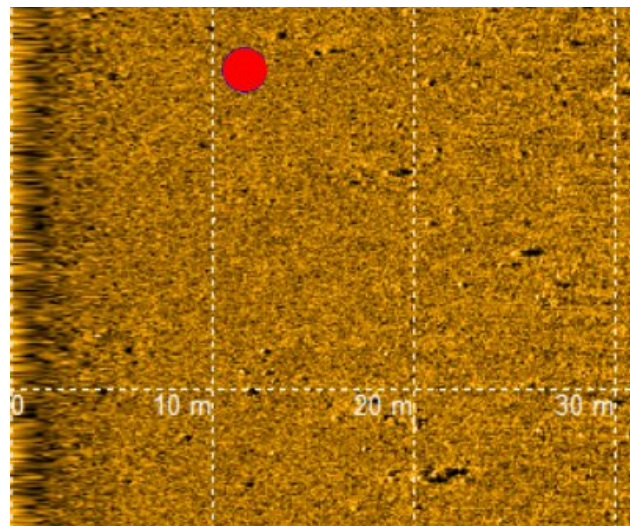


Abb. 12: Hochauflösende "Wasserfall-Darstellung" einer kiesführenden Fläche mit Steinen. Sichtbar ist die raue Textur (roter Punkt = Greiferprobe mit hauptsächlich Kies)

Schillreiche Ablagerungen zeichnen sich durch eine deutlich höhere Rückstreustärke im Gegensatz zu ihrer Umgebung und teilweise hellen Rückstreuzentren aus. Schillflächen weisen zudem eher unruhige, „wolkig“ aussehende Oberflächen mit rauer Textur in der Sonaraufnahme auf (Abb. 13). Wenn Schill zusammen mit gröberen Sanden, Kies oder Steinen vorkommt, ist die Sonarsignatur oft unspezifisch. Aufgrund der durch den Schill verursachten Rauigkeit ist daher eine Abgrenzung zu feineren Sedimenten eindeutiger als zu gröberen Sedimenten. Da Schill und Kies in den meisten Fällen auf sandigem Substrat vorkommen und als Einzelobjekte nicht detektierbar sind, sind Informationen der Fraktionsanteile aus Sedimentproben für die Zuordnung zu „KGS“ relevant. Kies, Grobsand und Schill

kommen häufig verzahnt mit geogenen Riffen vor. In diesem Fall wird die Fläche als geogenes Riff und nicht zusätzlich als KGS erfasst.

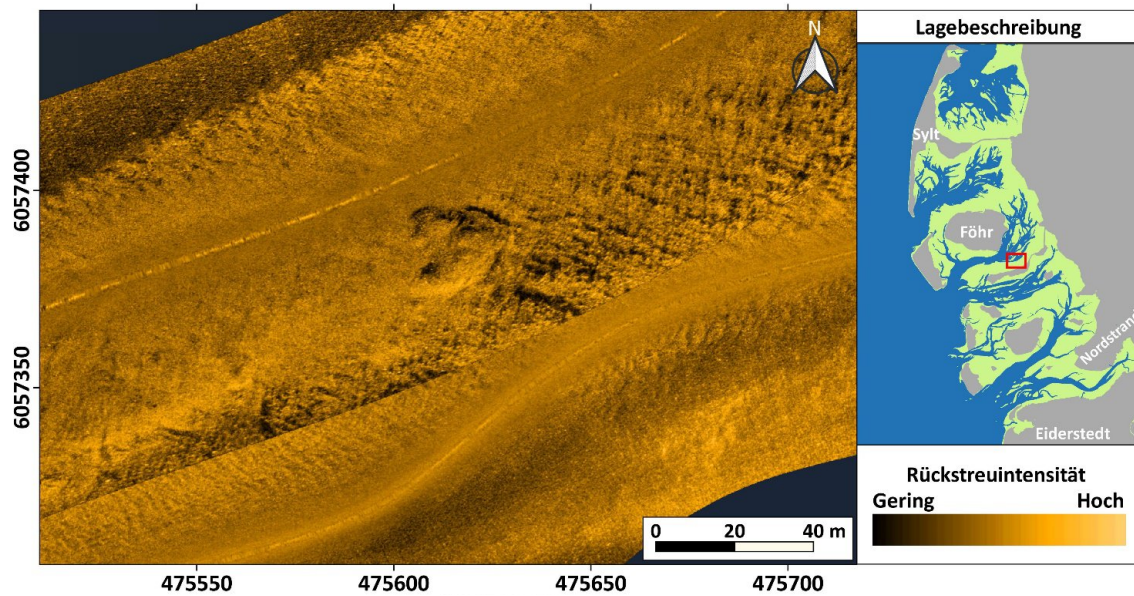


Abb. 13: Sonarmosaik einer Schillbank in einem flachen Nebenpriel der Norderaue. Auffällig ist die vergleichsweise hohe Rückstreustärke sowie die unruhig wirkende Meeresbodenoberfläche.

Detektion geogener Riffe

Geogene Riffe bzw. steinführende Sedimente werden auf Basis der im Seitensichtsonar erkennbaren, aufragenden Steine und Blöcke flächenhaft abgegrenzt, wenn sie einigermaßen zusammenhängende Strukturen bilden. Die dem Sonar zugewandte Seite hat eine hohe Rückstreustärke, wohingegen sich ein Schallschatten hinter dem Objekt bildet (Abb. 14). Nach DIN 4022 haben „Steine“ einen Durchmesser zwischen 63 und 200 mm. Um „Blöcke“ handelt es sich bis zu einem Durchmesser von bis zu 630 mm. Entsprechend der erreichbaren räumlichen Auflösung von 17 cm in den Sonaraufnahmen können jedoch nur größere Steine und Blöcke detektiert werden. Unter günstigen Bedingungen sind insbesondere aufgrund der Unterschiede benachbarter Pixel bei Steinvorkommen auch kleinere Objekte vom umliegenden Sediment abgrenzbar (Ricklefs & Trampe, 2021).

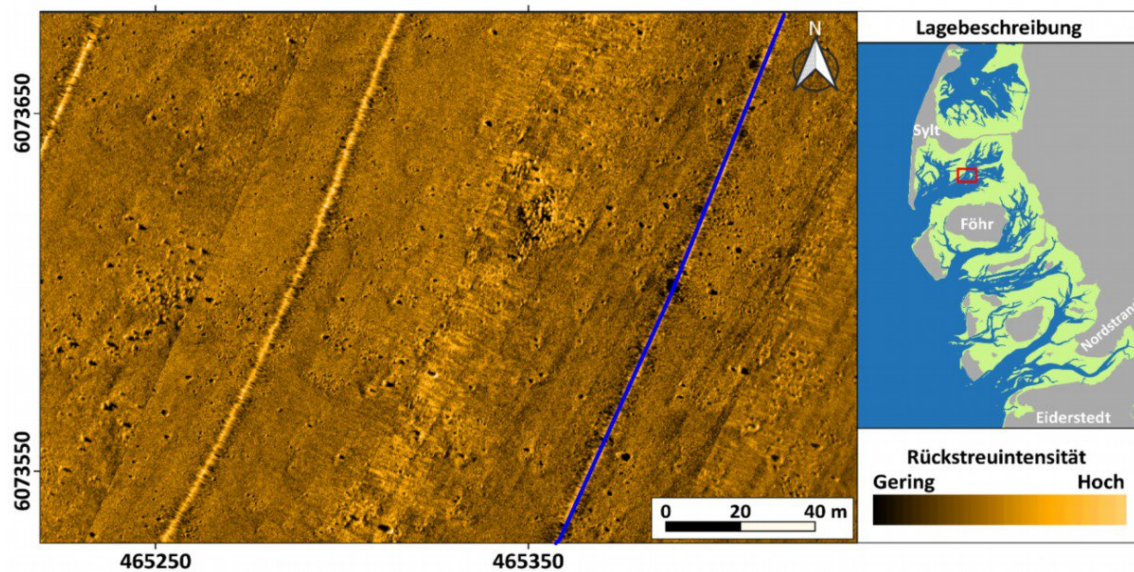


Abb. 14: Sonarmosaik mit sichtbaren Blöcken (helle Rückstreuzentren & akustischer Schatten (inneres Hörnumtief)).

Detektion biogener Riffe

Nach gängiger Praxis werden in Deutschland Verklumpungen, Verwachsungen, Verhärtungen und Anhäufungen heimischer mariner Arten als „biogene Riffstrukturen“ bezeichnet. Diese bilden charakteristische Sonarsignaturen aus, die sich optisch von den umliegenden, oft feineren Sedimenten abheben. Sie bilden zudem in den meisten Fällen aufragende Strukturen aus. Auffallend auf detektierbaren Mischbänken sind hohe Rückstreustärken, zahlreiche sehr starke Rückstreuzentren, hohe Rauigkeit und aufragende Strukturen (Abb. 15). Allein aufgrund dieser spezifischen Signatur lassen sich allerdings noch keine biogenen Riffe detektieren. Wichtig sind Informationen über das Vorhandensein von Miesmuscheln (*Mytilus edulis*), anderer Muschelarten und/oder Pantoffelschnecken und das Verhältnis lebender Muscheln zu toten Muschelschalen, die durch Dredgezüge gewonnen werden. Zu den biogenen Riffstrukturen zählen auch *Sabellaria*-Riffe (Röhren-Sandkoralle), die in der Vergangenheit jedoch nur als vereinzelte Bruchstücke im Vortrapptief nachweisbar waren (Ricklefs & Trampe, 2021).

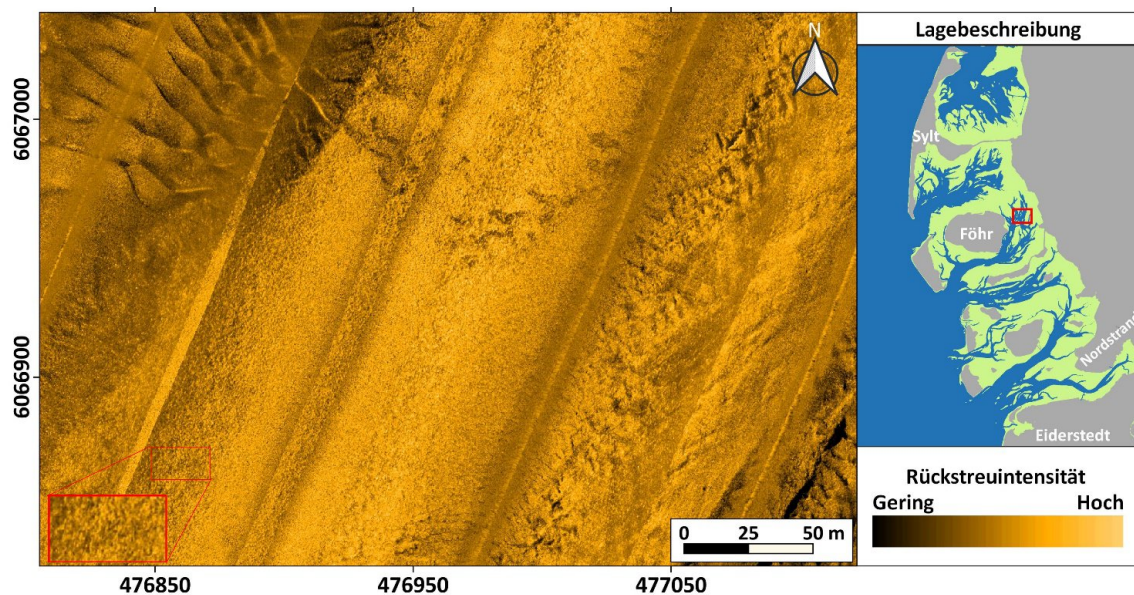


Abb. 15: Sonarmosaik einer mehrjährigen Muschelbank. Die Abbildung verdeutlicht, dass sich der Bereich der Bank aufgrund der hohen Rückstreustärke und der typischen Textur deutlich vom umgebenden Meeresgrund abhebt.

Detektion von Sandbänken

Eine Detektion von Sandbänken ist nur mithilfe bathymetrischer Daten möglich, mithilfe derer die aufragenden inselartigen Strukturen erkennbar sind. Mit GIS-Software können die Sonarmosaik den bathymetrischen Daten (hier bezogen von EasyGSH-DB) überlagert und das Sonarmosaik in 3D betrachtet werden, um die Sandbank abzugrenzen. Die Grenzziehung der Sandbank soll hin zum ebenen Meeresboden erfolgen. Da ein solcher ebener Meeresboden im Wattenmeer nicht wirklich vorkommt, werden in der 3D-Darstellung die Isolinien herausgesucht, die am Ehesten den Übergang zum umgebenen ebenen Sediment kennzeichnen. Aus den bathymetrischen Daten lassen sich über Analysewerkzeuge zudem Hangneigungs-Raster erstellen, wodurch geprüft werden kann, ob die kartierte Sandbank entsprechend der Kriterien eine Hangneigung von mehr als 0.5° hat. Es werden darüber hinaus nur solche Strukturen als Sandbänke klassifiziert, die zu jeder Zeit vollständig mit Wasser bedeckt sind. Sollte beispielsweise ein Teil im Zentrum der scheinbaren Sandbank bei Niedrigwasser trockenfallen, wird die gesamte Struktur nicht als sublitorale Sandbank gewertet.

3.5 Benthosbeprobung & -analyse

Zur quantitativen Probenahme des Makrozoobenthos wurde ein Van-Veen-Greifer von 0,1 m² Grundfläche eingesetzt. Das mittels Van-Veen-Greifer gewonnene Material wurde in eine große Maurerbalje überführt. Der Baljeninhalt wurde mit Seewasser aufgespült und der Überstand jeweils über ein Sieb mit 1 mm Maschenweite gegeben. Proben, die im Bereich von Kies-, Schill und Grobsandflächen genommen wurden, wurden vorab dekantiert. Der Dekantiervorgang wird mindestens 5-mal pro Greifer durchgeführt und im Anschluss der Schill, vorhandene Steine und Kies nach aufsitzender Fauna kontrolliert. Zur Beprobung der sublitoralen Miesmuschelbänke kam 2023 zudem eine Dredge zum Einsatz. Hier wurde pro Gebiet ein Dredgezug genommen und die Proben semi-quantitativ ausgewertet. Alle Siebrückstände und Dredgeproben wurden in beschriftete Kunststoff-Weithalsflaschen überführt und mit 96% Ethanol konserviert.

Das in jeder einzelnen Greiferprobe enthaltene Makrozoobenthos wurde im Labor zunächst nach Großtaxa vorsortiert. Jedes Individuum bzw. jede Kolonie wurde anschließend unter dem Binokular bzw. Mikroskop soweit möglich bis auf das Artniveau bestimmt und die Anzahl der Individuen pro Art notiert. Die Namensgebung der Arten, Gattungen etc. entspricht dem aktuellen Stand nach WoRMS (*World Register of Marine Species*). Die in den Proben enthaltenen Arten der „Rote Liste der gefährdeten Tiere Deutschlands“ wurden auf Basis der Liste von Rachor et al. (2013) für die Nordsee identifiziert. Die statistische Gemeinschaftsanalyse, Berechnung der Biodiversität und der Charakterarten erfolgte mit R Core Team (2021) und dem R *package* „vegan“ (Oksanen et al. 2019).

3.6 Passive hydroakustische Messungen (Hydrophon)

Hydrophonspezifikationen, Aufbau und Einsatz

Ein Hydrophon ist ein Unterwassermikrofon, das dazu verwendet wird, Schallwellen unter Wasser aufzunehmen. Es funktioniert nach dem Prinzip der Umwandlung von akustischen Signalen in elektrische Signale. Ein typisches Hydrophon besteht aus einem piezoelektrischen Material, das sich bei Druckänderungen verformt. Wenn Schallwellen auf das Hydrophon treffen, erzeugen sie Druckänderungen, die das piezoelektrische Material verformen und dadurch elektrische Signale erzeugen. Diese Signale können dann aufgezeichnet und analysiert werden.

Der für Watt'n Sound verwendete Rekorder war der μ AURAL (micro-Autonomous Underwater Recorder for Acoustic Listening; L 45 cm, $\varnothing$ 8cm; Multi-Electronique (MTE), Canada). Das enthaltende Hydrophon (HTI-96-MI) hat eine Standardempfindlichkeit von -164 dB bei 1 V/ μ Pa. Der μ AURAL wurde auf 96 kHz *Samples* pro Sekunde (*Sampling-Rate*) eingestellt, um sicherzustellen, die höchste Frequenzauflösung zu erhalten (hier bis zu 48 kHz). Hochfrequente biologische Schallquellen, wie zum Beispiel die „clicks“ von Schweinswalen (> 100 kHz), konnten somit nicht detektiert werden. Andere Säuger im deutschen Wattenmeer jedoch, wie der Seehund (*Phoca vitulina*), erzeugen Rufe in einem Frequenzbereich innerhalb des Ausnahmebereiches (Sørensen et al. 2018; Van Parijs et al. 1997). Für das passive akustische Monitoring (PAM) ist es grundsätzlich entscheidend, die *Sampling-Rate* so zu wählen, dass die Laufzeit autonomer Rekorder ausreichend ist, um die gestellten Forschungsfragen zu beantworten. Dabei liegt der Kompromiss zwischen der Frequenzauflösung und der Aufnahmedauer. Bei PAM-Untersuchungen, die sich auf anthropogene Quellen konzentrieren, welche hauptsächlich im niederfrequenten Bereich dominieren, kann die *Sampling-Rate* niedriger eingestellt werden, um längere Aufnahmen zu ermöglichen. Gekabelte *Setups* bieten beispielsweise mehr Flexibilität im Fre-

quenzbereich, da die Aufnahmedauer nicht limitiert ist. Empfehlungen für geeignete Einstellungen im Wattenmeer werden am Ende dieses Berichtes gegeben (siehe 5. Diskussion & Schlussfolgerungen).

Audio-Dateien wurden im WAV-Format gespeichert. Der Rekorder wurde für kontinuierliche Aufnahmen an verschiedenen Standorten im Dwarsloch (2022, n = 1; 2023, n=1), Norderaue (2023, n = 1), Heverstrom (2022, n = 4), Hörnumtief (2022, n= 7), und Föhr (2023, n = 1), für mindestens ~ 25 und höchstens 219 Stunden (~ 9 Tage) eingesetzt, um mindestens 2 vollständige Gezeitenzyklen aufzuzeichnen (siehe Tabelle 2). Der Rekorder befand sich in einem speziell angefertigten Edelstahlkäfig von 1,1 m Breite, 0,4 m Höhe und 0,4 m Tiefe und wurde mit Bungee-Seilen im Käfig befestigt, um Bewegungsfreiheit zu gewährleisten und so mögliche Phantomgeräusche zu reduzieren. Phantomgeräusche unter Wasser, die durch die im Wattenmeer typischen Gezeitenströmungen verursacht werden, sind akustische Signale, die durch die Bewegung des Wassers um feste Objekte wie Hydrophone oder andere Unterwasserstrukturen entstehen. Diese Strömungen erzeugen Turbulenzen und Druckschwankungen, die als Rauschen oder andere Geräusche wahrgenommen werden, obwohl keine tatsächliche Schallquelle vorhanden ist. Solche Phantomgeräusche (~ 50 Hz) können die Aufzeichnung und Analyse echter akustischer Ereignisse stören und müssen daher bei Unterwasserstudien berücksichtigt und möglichst reduziert werden.

Das Käfig-Rekorder-Setup wurde im Rahmen der WATThochDrei-Kampagnen mithilfe des Forschungskatamarans EGIDORA (FTZ Büsum) ausgebracht. Das Käfig-Rekorder-Setup wurde an einer Boje befestigt, deren Tiefe entsprechend der (Hoch-) Wassertiefe plus 2 Meter angepasst wurde. Eine weitere Boje, gekennzeichnet mit den Kontaktdaten des FTZs, wurde mit derselben Seillänge an einem 50 kg Gewicht befestigt, das wiederum am Boden mit dem Käfig verbunden war.

Bei jeder Ausbringung und Bergung wurden zusätzlich zu Datum und Zeit, Temperatur, Salzgehalt, und Windstärke notiert. Generell beeinflussen Temperatur und Salzgehalt die Schallausbreitung im Wasser. Diese Faktoren sollten während der Hydrophon-Aufnahmen beachtet und dokumentiert werden, da sie die Interpretation der aufgezeichneten akustischen Daten beeinflussen können.

Hydrophonstationen

Tabelle 2: Übersicht Watt'n Sound Stationen 2022/ 2023

Jahr	Gebiet	Datum	W3Code	Koordinaten	Habitat	Stunden.Mi- nuten
2022	Heverstrom	02.05.2022	HSt22_004_Hyd	54°25.72 8°40.123	Feinsand	25h 43m
2022	Heverstrom	03.05.2022	HSt22_001_Hyd	54°25.9348 8°40.26	Grobsand, Schill	25 h 6m
2022	Heverstrom	04.05.2022	HSt22_002_Hyd	54°26.06001 8°42.5653	Sandbank, Feinsand	25 h 18 m
2022	Dwarsloch	09.05.2022	DW22_001_Hyd	54°27.5893117 8°41.618329	Muschelbank, biogenes Riff	25 h
2022	Heverstrom	10.05.2022	HSt22_003_Hyd	54°25.706021 8°52.7244222	schlickiger Feinsand mit Schill und <i>Lanice</i>	24 h 25 m
2022	Hörnumtief	15.06.2022	Ht22_021_Hyd	54°50.14311 8°29.61732	Feinsand, Schill	25 h 15 m
2022	Hörnumtief	16.06.2022	Ht22_016_Hyd	54°48.529040 8°27.592254	geogenes Riff, Kies	25 h 9 m
2022	Hörnumtief	17.06.2022	Ht22_009_Hyd	54°47.109236 8°24.69215	sandiger Schlick	25 h 9 m
2022	Hörnumtief	19.06.2022	Ht22_006_Hyd	54°46.53741 8°23.3341600	geogenes Riff, Kies	25 h 42 m
2022	Hörnumtief	20.06.2022	Ht22_008_Hyd	54°46.21596 8°23.784877	kiesiger Sand, <i>Lanice</i> , Krebse, Schill	25 h 7 m

2022	Hörnumtief	21.06.2022	Ht22_022_Hyd	54°46.511036 8°24.935209	Grobsand, Schill	25 h 1 m
2022	Hörnumtief	22.06.2022	Ht22_006.2_Hyd	54°46.532930 8°23.35807	geogenes Riff, Kies	23 h 20 m
2023	Dwarsloch	01.05.2023	Dw23_001_Hyd	54°27.54590 8°41.6094	Muschelbank, biogenes Riff	218 h 27 m
2023	Föhr	06.06.2023	Foe23_001_Hyd	54°44.9583138 8°38.46972712	Muschelbank, biogenes Riff	185 h 30 m
2023	Norderaue	14.06.2023	Naue23_000_Hyd	54°40.1857160 8°33.23138061	Kies, Schill	25 h 56 m

Analyse - Spektrogramme

Der Rekorder produzierte kontinuierlich 10- oder 20-minütigen WAV-Dateien (10 Min = 220 MB). Zur Visualisierung der Zeit-, Frequenz- und Amplitudenverteilung der Schallaufzeichnungen von jedem Standort wurden zweistündige Audiosegmente (vorbereitet in Audacity-Audio-Software (Version 3.2.4) in die Software SpectraPlus-SC Acoustics and Vibration (Version 5.2.0.14) importiert und Spektrogramme erstellt. Noch einmal: Ein Spektrogramm ist eine visuelle Darstellung der Frequenzzusammensetzung eines Schallsignals über die Zeit. Es zeigt, wie sich die Amplituden der verschiedenen Frequenzen im Laufe der Zeit ändern.

Die zweistündigen Spektrogramme wurden dann zusammengeführt, um ein kontinuierliches Spektrogramm für jede vollständige Aufzeichnung zu erstellen (siehe Ergebnisse Abb. 34). Die *Sampling-Rate* (96 kHz) bestimmt, wie oft ein Signal pro Sekunde gemessen wird und beeinflusst daher die maximale darstellbare Frequenz (Nyquist-Frequenz = $96 \text{ kHz} / 2$). Eine höhere *Sampling-Rate* ermöglicht eine bessere Erkennung hoher Frequenzen. Die FFT-Größe (*Fast Fourier Transform*) bestimmt, wie viele Datenpunkte für die Frequenzanalyse verwendet werden, was die Auflösung in der Frequenzdomäne in Spektrogrammen verbessert, aber gleichzeitig die Zeitauflösung verringert, da größere Zeitfenster analysiert werden. Bei der Analyse von Unterwasserschall ist es oft vorteilhaft, eine hohe Frequenzauflösung zu haben, um die unterschiedlichen Frequenzkomponenten von beispielsweise Walgesängen oder technischen Geräuschen präzise zu identifizieren. Eine hohe Zeitauflösung wäre hingegen nützlich, um schnelle Änderungen oder kurze Signale, wie Klicklaute von Schweinswalen, genau zu erfassen. Die Einstellungen sind daher abhängig von der Fragestellung.

Noch ist dieser manuelle Prozess zeitintensiv, führte jedoch dazu Wattenmeer-spezifische Schallaufnahmen detailliert zu studieren. Wir wollen hier noch einmal unterstreichen, dass dies das erste uns bekannte Projekt ist, welches weiträumig den IST-Zustand der Schalllandschaft spezifischer Wattenmeer-Habitate *monitoren* möchte. Daher sind anfängliche *Workflows* oft manuell – sollen jedoch zukünftig automatisiert werden.

Analyse - Python

Für zukünftige spektrale Schall-Analysen haben wir einen für Watt'n Sound spezifischen Code in Python (V3.9) geschrieben. Für die Analyse haben wir uns folgende Ordnerstruktur überlegt:

Schallaufnahmen -> Jahr -> Monat -> Station -> Fließ- Stauwasser -> Tide (hier sind die vorher eingeordneten .wav files)

Dem Code geben wir den Pfad zu den **Schallaufnahmen**, welcher dann durch die Ordner iteriert und jedes .wav-File zunächst kalibriert und dann die Schalldruckpegel (SPL dB re $1 \mu \text{ Pa}$) über den 1/3 Oktavenband-Bereich berechnet. 1/3-Oktavbänder sind Frequenzbänder, was eine standardisierte Me-

thode zur Analyse und zum Vergleich von Schallpegeln über verschiedene Frequenzen hinweg ermöglicht (European Commission, 2010).

RMS-Berechnung: Der *Root-Mean-Square* ist eine Maßzahl für die durchschnittliche Stärke eines Signals, berechnet als Quadratwurzel des Mittelwertes der Quadrate der Signalwerte.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{kalibrierte Daten } [i])^2}$$

wobei N die Anzahl der Datenpunkte ist.

SPL-Berechnung: Der Schalldruckpegel gibt die Lautstärke eines Schallsignals in Dezibel (dB) an und wird aus dem Verhältnis des gemessenen Schalldrucks zu einem Referenzdruck berechnet.

$$SPL = 20 * \log_{10} \left(\frac{RMS}{10^{-6}} \right)$$

Hierbei ist 10^{-6} Pa (= 1 µPa) der Referenzdruck in Wasser.

Hiermit wurden kalibrierte SPL-Werte berechnet und als Excel-file als Beispiel wie folgend ausgegeben (Bemerkung: Lat und Lon Informationen wurden im Nachhinein hinzugefügt):

Tabelle 3: Beispiel Excel File Python Output für weitere statistische Analysen

Jahr	Monat	ID	Lat	Lon	Fließ.Stau	Tide	Okt_Level	SPL
2022	May	DW22_001	54°27.58931	8°41.618329	S	Hoch	12,5	73
2022	May	DW22_001	54°27.58931	8°41.618329	S	Hoch	16	74
2022	May	DW22_001	54°27.58931	8°41.618329	S	Hoch	20	73
2022	May	DW22_001	54°27.58931	8°41.618329	S	Hoch	25	73
2022	May	DW22_001	54°27.58931	8°41.618329	S	Hoch	31,5	71
2022	May	DW22_001	54°27.58931	8°41.618329	S	Hoch	40	69
2022	May	DW22_001	54°27.58931	8°41.618329	S	Hoch	50	66
2022	May	DW22_001	54°27.58931	8°41.618329	S	Hoch	63	63
2022	May	DW22_001	54°27.58931	8°41.618329	S	Hoch	80	62
2022	May	DW22_001	54°27.58931	8°41.618329	S	Hoch	100	62
2022	May	DW22_001	54°27.58931	8°41.618329	S	Hoch	125	61

...

Die Struktur des Excel-Output Files wurde so gewählt, um statistische Analysen in z.B. R (R Core Team, 2022) zu vereinfachen, so können SPL Werte über Zeit und Stationen etc. miteinander verglichen und *gemonitored* werden. Hier im Beispiel Excel File in rot markiert die 1/3 Oktaven Bänder 63 und 125 Hz, die üblicherweise zum Lärm-Monitoring genutzt werden (European Commission, 2010).

Analyse - Lärm

Das Detektieren von bestimmten Schallquellen, ob biologisch oder anthropogen, ist noch in vielerlei Hinsicht in Entwicklung, vor allem mit Hilfe von KI. Einige *Packages*, sowie Pypam (Parcerisas, 2023), bieten Methoden an, um automatisch „Lärm“ durch Schiffe zu detektieren. Dies ist praktisch, um zum Beispiel die Anzahl an anthropogenen Schall-Events in diversen Schutzzonen im Wattenmeer zu zählen. Im Rahmen einer Masterarbeit am FTZ, wurde der Einfluss von Schiffsschall auf den Hintergrund-Schall im Wattenmeer studiert (Jeuschede, 2023).

4. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der flächenhaften Kartierung sublitoraler Habitate der Hydroakustik 4.1 (Lage und Ausdehnung), der Analyse der benthischen Lebensgemeinschaften sublitoraler Habitate 4.2 (Artenspektrum, Artenzahl, Neobiota, Biodiversität, Rote Liste Arten, Artengemeinschaft, Charakterarten) sowie erste Erkenntnisse der Schallaufnahmen 4.3 dargestellt.

4.1 Räumlich-zeitliche Veränderung sublitoraler Habitate

Um Veränderungen in der Lage und Ausdehnung sublitoraler Habitate festzustellen, wurden basierend auf den sichtbaren Sonar-Signaturen und Ergebnissen der Sedimentbeprobung Kies-, Grobsand- und Schillflächen sowie Muschelbänke/Muschelvorkommen, steinführende Sedimente/Steinvorkommen und *Lanice*-Vorkommen ausgewiesen. Für die Identifizierung der Sandbänke wurden die Sonarmosaik bathymetrischen Daten überlagert und wie in Kap. 1.3 und Kap. 3.4 abgegrenzt. In einem zweiten Schritt wurden dann die aktuellen Flächen mit Altdaten und dem vom FTZ zusammengestellten „Potentiell KGS-“ und „LRT-Datensatz“ verglichen.

4.1.1 Räumlich-zeitliche Veränderung Norderhever, Heverstrom & Süderhever

Norderhever Nord: Im nördlichen Teil des 2021/2022 untersuchten Bereiches der Norderhever (Abb. 16) befinden sich im östlichen Randbereich des Priels sandiger Schlick und schlickige Feinsande. Daran schließen sich kohäsiv konsolidierte Sedimente in Form von Klei an. In der Nähe eines solchen Ausbisses liegt ein kleiner Bereich mit Mittelsand, der zu 12,7% mit Kies durchsetzt ist. Ansonsten prägen Mittelsande und Grobsande mit Sohltransportkörpern die kartierte Fläche. Bei dem Grobsand handelt es sich um einen feinen, durch Rippel geprägten Grobsand mit mittleren Korngrößen von 501,69 bis 550,64 μm . Im Vergleich zu der 2010 erfassten Grobsandfläche (grün) lässt sich sagen, dass lediglich im zentralen Bereich der ursprünglichen Fläche erneut Grobsand nachgewiesen werden konnte (2010: 1,07 km², 2021/2022: 0,43 km²). Bereits 2010 kamen auf der detektierten Grobsandfläche feine Grobsande und grobe Mittelsande in den Proben vor. Insbesondere die meist fließenden Übergänge erschweren eine klare Grenzziehung der verschiedenen Sandtypen. In einer Probe kamen an der Prielkante 5 *Lanice*-Röhren vor. Eine Signatur, die auf einen dichteren *Lanice*-Bestand hindeutet, konnte allerdings nicht festgestellt werden.

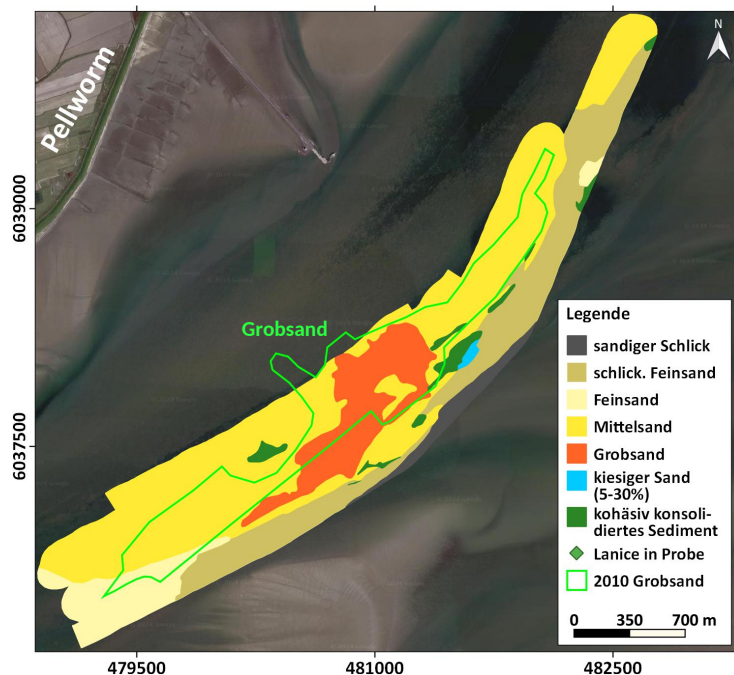


Abb. 16: Sedimentverteilung im nördlichen Teil der Norderhever 2021/2022. Grün umrandet ist die Grobsandfläche von 2010.

Norderhever Süd: Die tieferen Abschnitte der Rinne im Süden der Norderhever (Abb. 17) sind durch Sande geprägt, die großflächig mit Kies und Schill durchsetzt sind. Am Übergang zum Heverstrom befindet sich nördlich des 2010 als „Schill, Kies, Steine“ identifizierten Bereiches eine durch Sohltrans-

portkörper dominierte Grobsandfläche (0,09 km²), an die sich kiesige, schillführende Mittelsande anschließen. Diese sind zum Prielinneren hin kiesiger (21,4%) und schillreicher (15%) als die Bereiche am Übergang zum Heverstrom, wo der kiesige Sand im Sonar darüber hinaus sichtbare Spuren verfestigter schlickiger Bestandteile aufweist. Untersuchungen von Köster (1981) und Temmler (1995) zufolge, sind die grobkörnigen Ablagerungen ein Ergebnis lokaler Aufarbeitung weichselzeitlicher oder eemzeitlicher Sedimente. Im tieferen Bereich schließen sich steinführende Kiese an, die anhand der flächenhaft sichtbaren Steine und Blöcke im Sonar detektierbar sind. Im Vergleich zu Altdaten ist der Bereich steinführender Sedimente (siehe Detaildarstellung in Abb. 17) in ähnlicher Lage wiederzufinden, doch das Gebiet dehnt sich weiter Richtung Osten aus (2010: 0,29 km², 2021/2022: 0,50 km²). Greiferproben in dem durch Steine und Blöcke dominierten Gebiet zeigen zudem Vorkommen von Kies (13,8 - 56,4%), Seesternen, Krebsen und Bryozoen.

An die steinführenden Sedimente schließen sich sandige Kiese mit 52,2 bis 56,4% Kies an. Kies und Schill sind hier teilweise von *Bryozoen* und *Balanoiden* besetzt, teilweise allerdings auch blank. Vergleicht man die als „Schill, Kies, Steine“ (2010) bezeichnete Fläche mit den jetzigen Untersuchungsergebnissen (Abb. 17) ist festzustellen, dass sich kiesige, schillführende Sande nur noch in den tieferen Abschnitten der Rinne in ähnlicher Lage befinden, wobei der Kiesgehalt im Nordosten lediglich zwischen 13,8 und 21% und erst im südlichen Teil über 30% liegt.

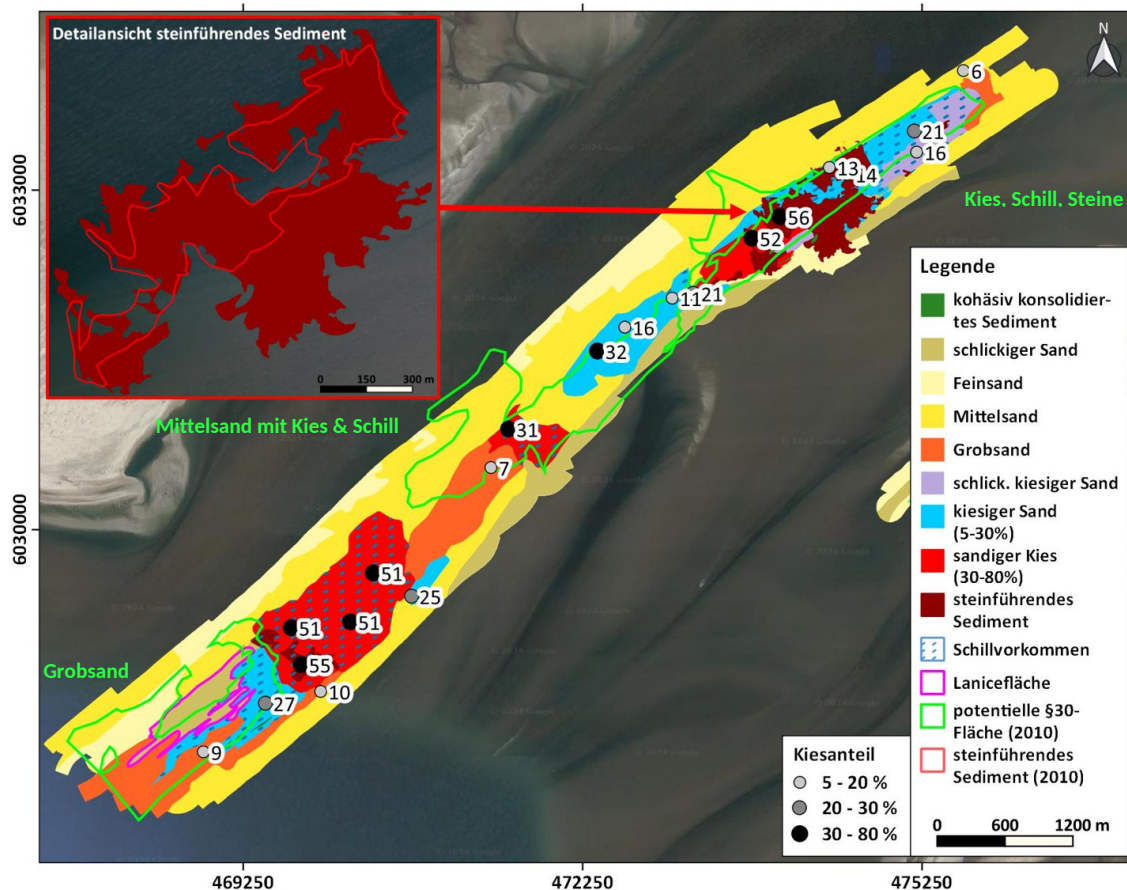


Abb. 17: Sedimentverteilung des südlichen Teils der 2021/2022 untersuchten Norderhever. Grün umrandet ist der Bereich, der 2010 im Süden als Grobsand, im mittleren Teil als kies- und schillführend und im Norden als schill-, kies- und steinführend kartiert wurde. Dargestellt sind ebenfalls die Kiesanteile 5-20%, 20-30% und 30-80%.

Weiter südlich nimmt der Kiesanteil wiederum ab (11,4 - 31,8% Kies). Hier liegt der 2010 als „Mittelsand mit Kies und Schill“ bezeichnete Bereich. Zwar tritt immer wieder mit Kies durchsetzter Sand auf,

doch das Gebiet ist mittlerweile deutlich kleinräumiger und der Kies größtenteils blank. Die Übergänge zu mal mehr mal weniger Kies sind wesentlich fließender, was eine Abgrenzung erschwert. Treten im nördlichen Teil Kiese und Schill auf Mittelsanden auf, so sind es im mittleren Teil des untersuchten Gebietes mehr Grobsande. Im südlichen Teil des als „Mittelsand mit Kies und Schill“ gekennzeichneten Bereiches liegt eine Fläche mit schilldurchsetztem sandigem Kies (30,6% Kies 13,5% Schill). Sowohl Kies als auch Schill sind unbewachsen. An diesen sandigen Kies grenzt im Süden eine durch Sohltransportkörper strukturierte Grobsandfläche (2021/2022: 0,52 km²) an. Südlich dieser Fläche ist ein großflächiger Bereich von 1,16 km² mit sandigem Kies (50,5 - 54,5% Kies) und Schill detektierbar, der in den Proben flächendeckend mit *Byrzoen* und *Balanoiden* bewachsen ist. Im Übergang zum kiesigen Sand sind hier in den Sonaraufnahmen zudem zahlreiche Steine sichtbar.

Im untersten Abschnitt des untersuchten Gebietes wurde 2010 eine Grobsandfläche (grüne Fläche, Abb. 17) klassifiziert, welche sich 2021/2022 aus durch Rippel geprägtem Grobsand im Südosten (2010: 1,14 km², 2021/2022: 0,6 km²), schillführendem sandigem Kies (26,7% Kies 22,3% Schill, 2021/2022: 0,37 km²) mit *Bryozoen* im Nordosten und *Lanice* auf schlickigem Feinsand zusammensetzt. Aufgrund der eindeutigen Signatur und flächendeckender *Lanice* in den Greiferproben konnte eine 0,29 km² große *Lanice*-Fläche abgegrenzt werden. Auf dem schlickigen Feinsand befinden sich zudem Seesterne und Anemonen.

Kolumbusloch: Neben der Norderhever wurde 2022 das Kolumbusloch auf das Vorkommen von Hartsubstraten, Riffstrukturen und Sandbänke untersucht. Bei dem 2013 als „potentielle KGS-Fläche“ ausgewiesenen Gebiet (grüne Fläche) handelte es sich um grobsandige Ablagerungen (Abb. 18). Erkennbar ist, dass aktuell gröbere Ablagerungen aus schillführenden Grobsanden und Kiesen, die teils steinführend sind, die tieferen Abschnitte des Kolumbuslochs charakterisieren. Im Gegensatz zur 2013 kartierten Fläche befinden sich die gröberen Ablagerungen etwas nördlicher in einer schmaleren Struktur bestehend auch aus teilweise größerem Sediment (2013: 0,89 km² Grobsand, 2022: 0,65 km² davon: 0,44 km² Grobsand/Schill, 0,04 km² kiesiger Sand/Schill, 0,09 km² sandiger Kies, 0,08 km² steinführendes Sediment).

Diese kiesigen Sande/sandigen Kiese sind durch Kiesgehalte zwischen 21,8% auf kiesigem Sand und bis zu 55,9% auf sandigem Kies geprägt. Bei dem Kies handelt es sich zum größten Teil um Mittel- bis Grobkies, der auf dem kiesigen Sand und im Übergang zum Grobsand kaum, in der Nähe zum steinführenden Sediment jedoch bewachsen ist.

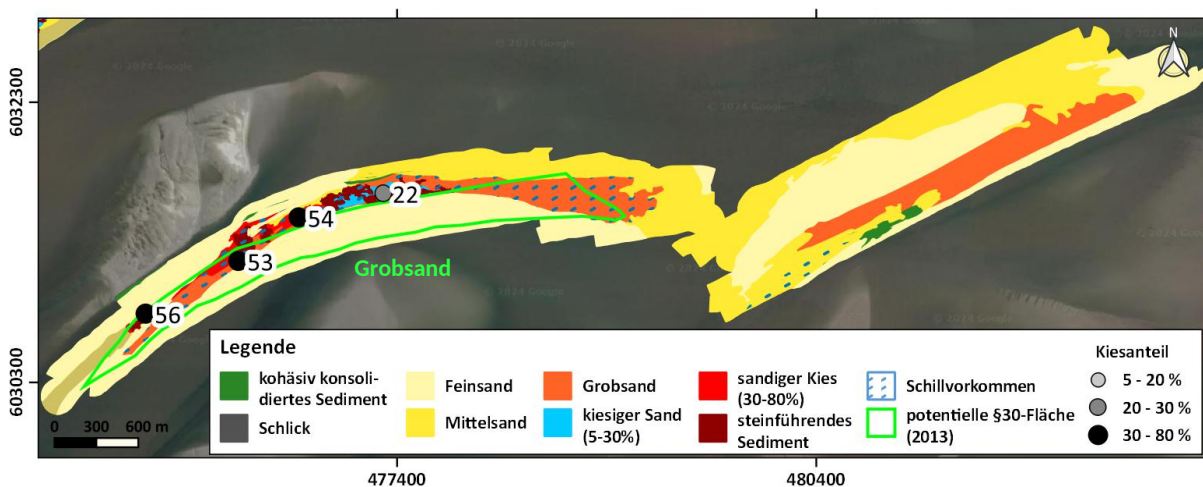


Abb. 18: Sedimentverteilung des untersuchten Teils des Kolumbuslochs 2022 und der Übergang zum Heverstrom. Grün umrandet ist der Bereich, der 2013 als Grobsandfläche kartiert wurde. Dargestellt sind ebenfalls die Kiesanteile 5-20%, 20-30% und 30-80%.

Das Sediment im tieferen Abschnitt der Rinne und der angrenzende Grobsand sind von Schill durchsetzt (12,4% - 29,0%), der hauptsächlich als Schillbruch verschiedener Mollusken vorliegt und keinen Bewuchs aufweist (Abb. 19). Angrenzend zu dem kiesführenden Sediment und Grobsand befinden sich im Kolumbusloch Fein- und Mittelsande, die durch Sohltransportkörper strukturiert sind, was auf eine Mobilität des Sedimentes hinweist. Im Übergang zum Heverstrom sind die Mittel- und Grobsande entlang der Prielkante schlickiger (6,6% - 17,9% Feinanteil <63 µm) und anschließend an kohäsiv konsolidiertes Sediment sogar schillführend. Das Schillvorkommen im Übergang zum Heverstrom (21,6% Schill >2mm) hat eine Größe von 0,07 km². In räumlicher Nähe befindet sich schlickiger Grobsand (2022: 0,42 km² 10% Feinanteil < 63 µm), der an die nachfolgend dargestellte Sandbank grenzt.

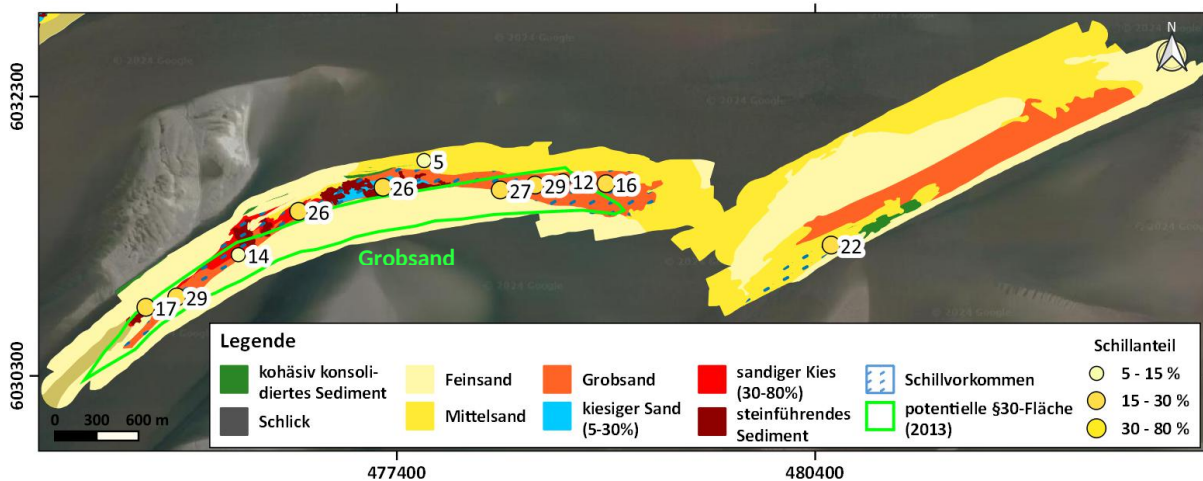


Abb. 19: Sedimentverteilung des untersuchten Teils des Kolumbuslochs 2022 und der Übergang zum Heverstrom. Grün umrandet ist der Bereich, der 2013 als Grobsandfläche kartiert wurde. Dargestellt sind ebenfalls die Schillanteile 5-15%, 15-30% und 30-80%.

Im westlichen Teil des Heverstroms im Übergang zum Kolumbusloch befindet sich eine als Sandbank detektierbare Fläche. Bereits 2013 wurde in diesem Gebiet eine Sandbank ausgewiesen (Abb. 20 schwarz gestrichelte Linie), erkennbar als Mittelgrund, der eine eigenständige, längliche und aufragende Struktur bildete. Solche Analysen sind lediglich auf Basis bathymetrischer Daten (hier Bathymetrie-Raster von Easy-GSH 2021) und Visualisierung der Sonardaten in 3D möglich. 2022 war es uns so möglich, die Sandbank erneut zu detektieren. Es handelt sich dabei um eine durch verschiedene, vorrangig feine Sande geprägte, lange, aufragende Struktur, die von tieferem Wasser umgeben ist. Die Grenze bilden ausgeprägte Hänge hin zum tieferen Meeresboden. Insbesondere im Nordosten und Südwesten laufen die Hangenden zur Prielkante hin aus und sind weniger prägnant. Die Grenzziehung im Süden folgt weitestgehend der -11 m Isobathe und wird nach Nordosten hin indifferent. Im Norden der Sandbank ist der umliegende Meeresboden weniger eben und eine klare Grenzziehung anhand einer spezifischen Tiefenlinie nur schwer möglich. Zu Beginn bildet im Norden die -13 m Tiefenlinie die untere Begrenzung und wird westwärts dann zunehmend indifferent. Im Vergleich zur 2013 kartierten Flächen treten kaum räumliche Veränderungen auf (2013: 1,16 km², 2022: 1,12 km²).

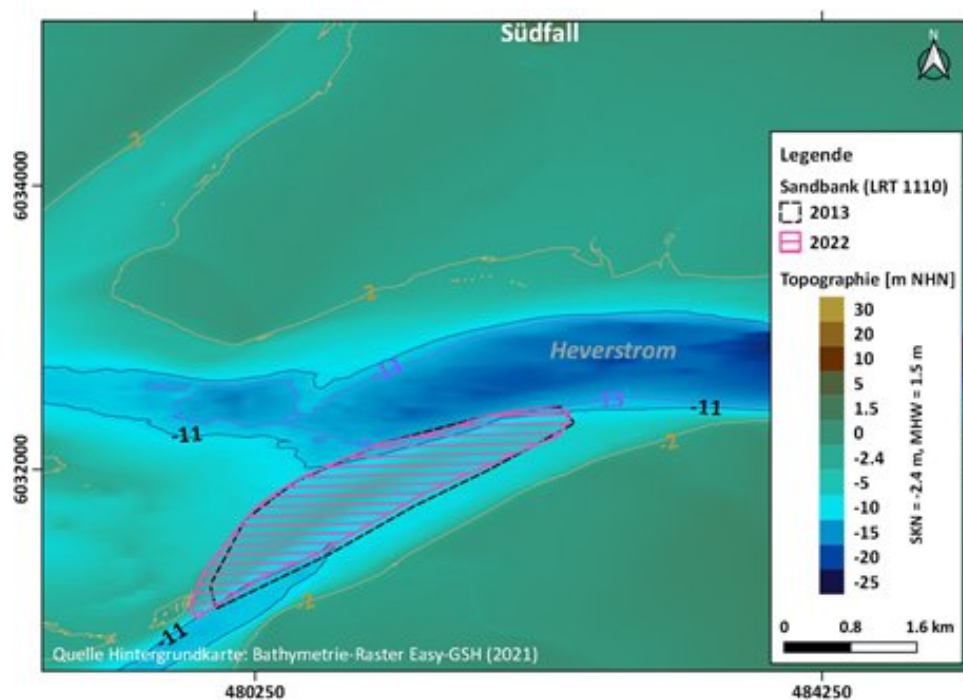


Abb. 20: Bathymetrische Karte (Easy-GSH, 2021) des Übergangs vom Columbusloch in den Heverstrom. Schraffiert ist die als längliche, aufragende Struktur sichtbare Sandbank 2022, schwarz gestrichelt die kartierte Sandbank 2013.

Heverstrom: Sehr feine Ablagerungen, wie schlickiger Sand (10 - 50% Schlick) und sandiger Schlick (50 - 90% Schlick), kommen an den Randbereichen des Heverstroms und im inneren Heverstrom vor (Abb. 21). Das 2013 als Schillfläche kartierte Gebiet im Westen des untersuchten Abschnitts wies 2022 ausschließlich sandigen Schlick mit sehr wenig Schill und einer *Lanice*-Röhre in der Greiferprobe auf (2013: 0,12 km², 2022: /). Zwar lässt der kleinräumige Wechsel niedriger und höherer Rückstreustärke sowie „wolkenartige“ Strukturen vermuten, dass es sich um Schill handeln könnte, doch entsprechende Belege aus Greiferproben fehlen. Ähnliche Ausprägungen schlickiger Sedimente in den Sonaraufnahmen sind ebenfalls aus dem SubMu8 Projekt aus dem Butterloch bekannt, wo schlickige Sedimente diagonal zur Richtung der Tideströmungen verlaufende Strukturen mit hohen Rückstreustärken ausbilden (Ricklefs & Trampe, 2022). Im mittleren Abschnitt des untersuchten Bereiches liegt ein Schillvorkommen (2022: 0,08 km²) von 15,2 - 17,8% Schill vor, wobei der Schill zum größten Teil als Schillbruch im Sediment und in Form bewachsener ganzer Schalen an der Oberfläche vorliegt. In der Greiferprobe treten zudem *Lanice*-Röhren auf. Eine eindeutige Signatur, die *Lanice* zugeschrieben werden könnte, ist aufgrund des Schillvorkommens nicht erkennbar. Auf der 2013 als „Schill mit wenigen Steinen“ klassifizierten Fläche treten nach wie vor großflächig mit Schill durchsetzte schlickige Sande mit *Lanice*-Vorkommen auf, die deutlich vom umliegenden Sediment durch eine hohe Rückstreuintensität und aufragende Strukturen im Sonar sichtbar sind (2013: 0,3 km², 2022: 0,39 km²). Erneut dominiert hier der Schillbruch im Sediment die Greiferprobe sowie ganze bewachsene Klappen und *Lanice* die Oberfläche. Steine oder Blöcke sind in dem untersuchten Abschnitt in den Sonardaten nicht erkennbar.

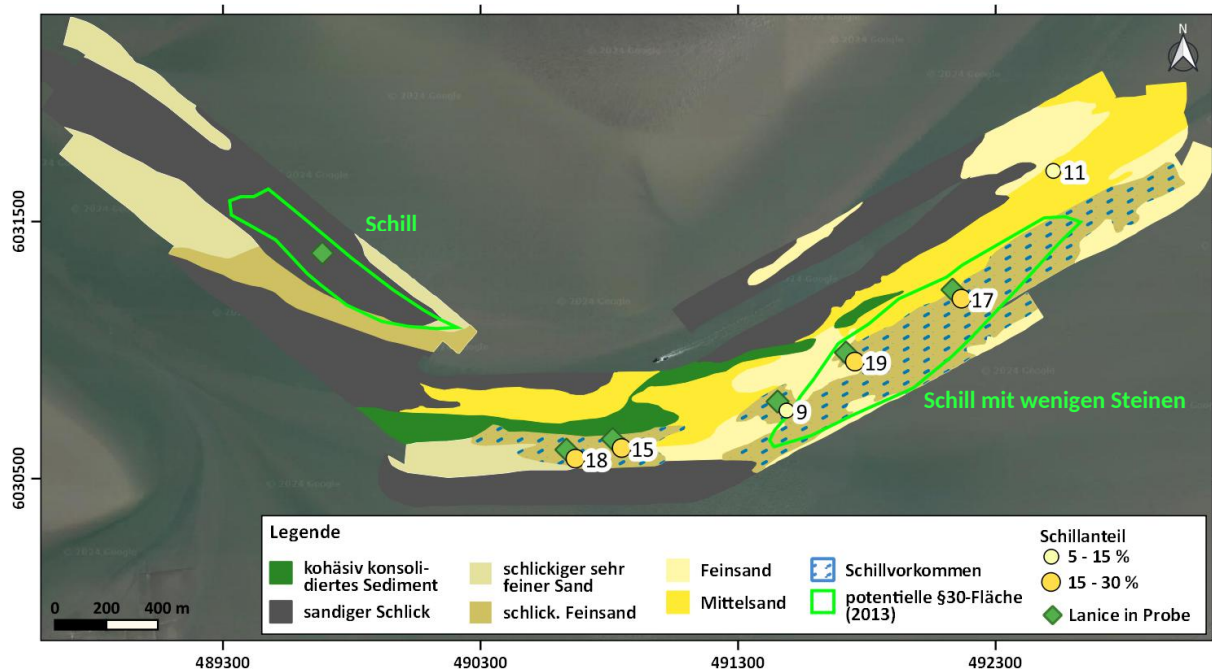


Abb. 21: Sedimentverteilung des untersuchten Teils im inneren Heverstrom 2022. Grün umrandet ist der Bereich, der 2013 als Schillvorkommen kartiert wurde. Dargestellt sind ebenfalls die Schillanteile 5-15% und 15-30%.

Im untersuchten Abschnitt der Süderhever kommen wie schon in den Untersuchungen von 2016 zahlreiche größere Steine und Blöcke vor, die im Sonar anhand der hohen Rückstreuzentren und akustischer Schatten detektierbar sind. Steine und Blöcke ragen sichtbar über dem Sediment auf und treten eng verzahnt mit Kiesen und Schill auf. Im Sonar sichtbar sind im Kontrast zu den angrenzenden rippeldominierten Sanden ebenfalls Strukturen, die auf einen Sedimentmangel hindeuten, was darauf schließen lässt, dass hier Gletscherablagerungen angeschnitten werden. Aufgrund der vorherrschenden sehr starken Strömung war eine Untersuchung an den Vortagen nicht möglich. Die entnommene Greiferprobe in -20 m Tiefe enthielt neben Steinen, größeren Kies (37,5%), Schill unterschiedlicher Zusammensetzung (17,7%), Seesterne und einen Bewuchs der Hartsubstrate mit *Bryozoen*, *Hydrozoen* und *Balanoiden*. Aufgrund des dichten Steinvorkommens kam es zu zahlreichen Fehlgreifern, da Steine die Greiferbacken blockierten. In der Gegenüberstellung der steinführenden Sedimente aus 2016 mit den Daten aus 2022 (Abb. 22) wird deutlich, wie stabil diese Fläche ist. Sowohl in Lage als auch Ausdehnung hat sich das Steinvorkommen kaum verändert (2016: 0,43 km², 2022: 0,38 km²). Im Osten grenzt die Fläche an rippeldominierten Sand, wo in den Rippeltälern immer wieder Steine auftreten. Im Norden und Nordwesten bilden durch Sandmangel gekennzeichnete Bereiche die Lücken zur 2016 kartierten Fläche, ohne sichtbare Steine mit Schattenwurf in den Sonaraufnahmen zu zeigen.

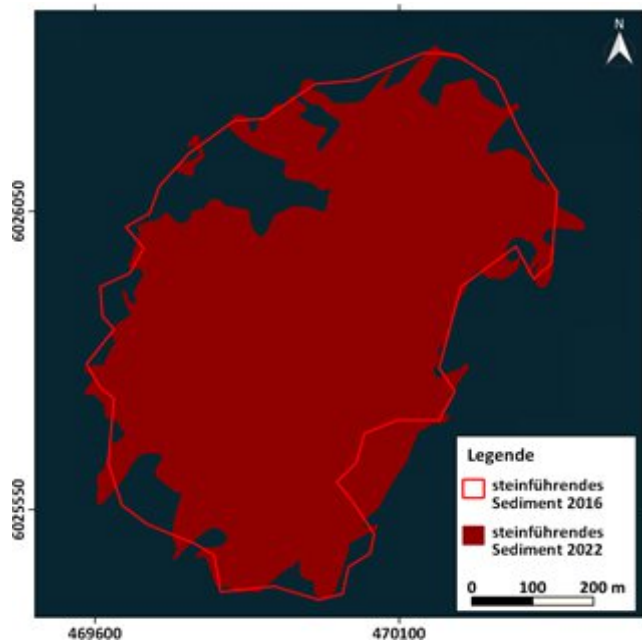


Abb. 22: Verbreitung steinführender Sedimente der Süderhever 2022 im Vergleich zur 2016 detektierten Fläche (rot umrandet).

4.1.2 Räumlich-zeitliche Veränderung Hörnumtief

Im Folgenden werden die aktuellen Ergebnisse (2022) aus einem Teil des Hörnumtiefs im Vergleich zu den aggregierten Flächen steinführender Sedimente der Kartierungen von Schwarzer et al. (2010), Ricklefs & Scheffler (2014), Ricklefs & Trampe (2019) und Ricklefs & Trampe (2022) dargestellt.

In den tiefsten und zentralen Abschnitten des Hörnumtiefs dominieren Sande mit teilweise sehr hohem Kies- und Schillanteil sowie Steine und Blöcke den Meeresboden. Bei den Steinen und Blöcken handelt es sich um „Restsedimente“ erosiv aufgearbeiteter eiszeitlicher Gletscherablagerungen, die ausschließlich in den strömungsdominierten Bereichen erodierter Sedimente erscheinen.

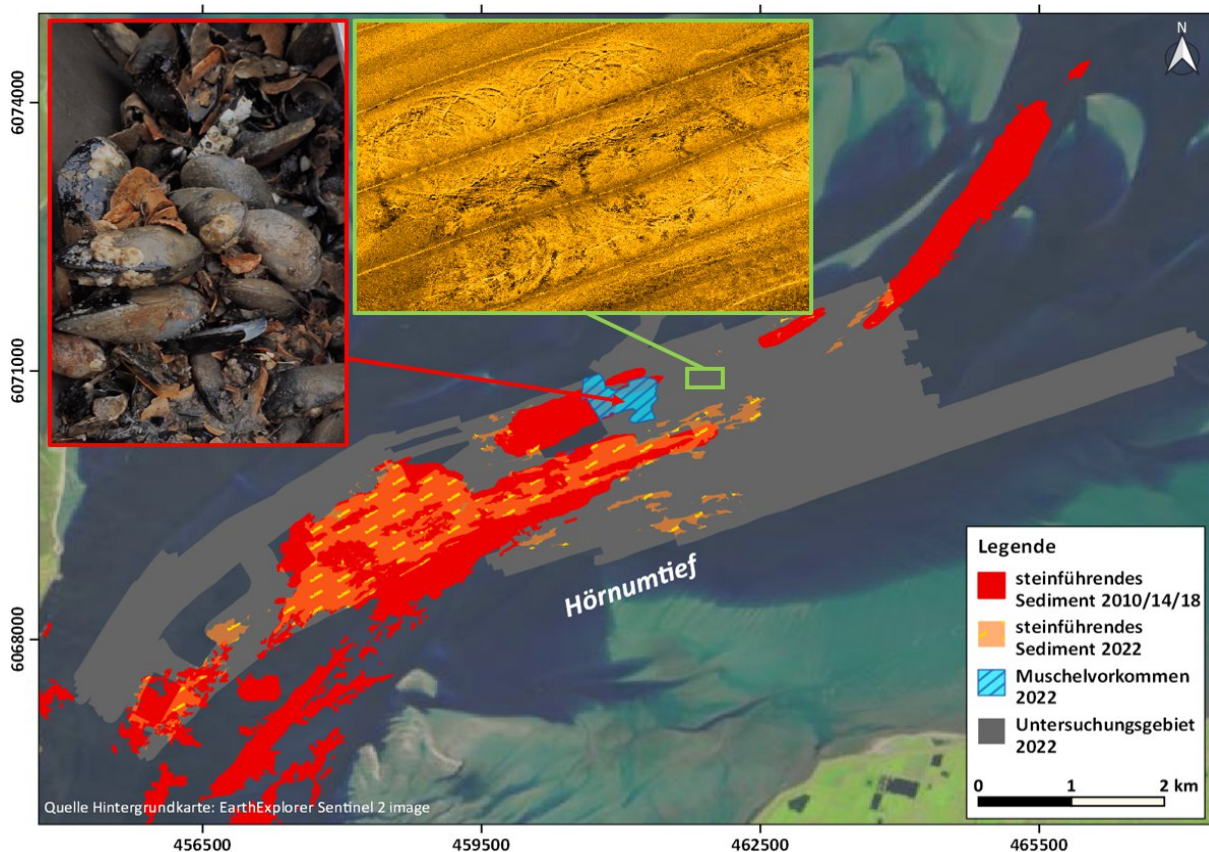


Abb. 23: Kartierte Muschelvorkommen 2022 (blau), steinführendes Sediment 2022 (gelb gestrichelt) und aggregierte Flächen steinführender Sedimente 2010, 2014 und 2018 (rot) im Hörnumtief. Oben links: Probeninhalt mit zahlreichen Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) und daneben ein Ausschnitt des anschließenden Bereichs mit Fischereispiuren.

Die rechteckigen Lückenbereiche der kartierten Fläche (Abb. 23) sind auf Muschelkulturflächen zurückzuführen. Sie befinden sich zum größten Teil auf Gebieten, die aus vorherigen Untersuchungen als „steinführend“ (rote Flächen) hervorgehen. Sichtbar ist zudem, dass sich fast überall, wo diese Muschelkulturflächen sind, angrenzend flächenhaft Steine und Blöcke befinden. Dabei kommen im Allgemeinen nach wie vor auf den Flächen ehemals detektierter steinführender Sedimente Steine und Blöcke vor. Stellenweise sind die Vorkommen auf kiesigem Substrat etwas lückenhafter. Reduziert man den Datensatz aggregierter Steinvorkommen von 2010/14/18 auf die Untersuchungsfläche von 2022 ergibt sich eine Fläche von 3,4 km² (2010/14/18) im Vergleich zu 2,62 km² (2022) auf derselben Fläche. Im südöstlichen Teil des Randbereiches sind in den aktuellen Untersuchungen keine Steine anhand der Sonaraufnahmen mehr detektierbar. Dasselbe gilt für die östlichste Muschelkulturfläche und die angrenzenden Bereiche. Auf der angrenzenden Fläche sind im Sonar eindeutige Signaturen von Muscheln jedoch keine Steine zu erkennen. Die dazugehörige Greiferprobe (siehe linkes Bild Abb.

23) war flächendeckend mit *Mytilus edulis* bedeckt. Hinzu kommt, dass sich anschließend an diese Fläche ein Bereich mit deutlichen Fischereispuren (siehe rechtes Bild Abb. 23) abzeichnet, der auf eine ehemalige Bewirtschaftung der Fläche hindeutet.

Zum Vergleich heutiger Kies-, Grobsand- und Schillgründe mit früheren Ergebnissen wurden die an die Nationalparkverwaltung übermittelten Daten aus BASEWAD (2019) und die von der Nationalparkverwaltung zur Verfügung gestellten KGS-Flächen aus den Untersuchungen von Schwarzer et al. (2010), die 2016 überarbeitet wurden, genutzt. Abbildung 25 verdeutlicht wie kleinräumig sich die Sedimentverteilung gestaltet, wobei die meisten Veränderungen eher graduell verlaufen. Kiesflächen sowie Übergangsflächen zwischen Kies und Grobsand befinden sich in den zentralen Abschnitten der Rinne und treten eng verzahnt mit Steinvorkommen auf. Insgesamt ist der Anteil an Schill auf kies- und steinführendem Sediment in der Rinne sehr hoch und bildet zusammen mit Kies teilweise geschlossene Sohlpflaster aus (übersichtlichkeithalber wurde auf die Darstellung von Schillvorkommen auf Kiesen und steinführenden Sedimenten verzichtet). Sowohl Kies als auch Steine und Schill sind fast überall von Bryozoen und *Balanoiden* besiedelt, was als Zeichen einer nicht andauernden Umlagerung gedeutet werden kann. Im Südwesten ist der Kiesgehalt am höchsten (52,2 - 69,7% Kies) und nimmt zunehmend über den mittleren Abschnitt mit 29,1 bis 65,8% ostwärts (11,1 - 17,1 % Kies) ab. Ein kleines, früher noch nicht detektiertes Kiesvorkommen von 0,06 km² befindet sich im Norden des Untersuchungsgebietes in einem Nebenarm, wo hauptsächlich mit *Bryozoen* bewachsene Kiesbestandteile in der Greiferprobe vorkamen (Abb. 24). Daran anschließend befinden sich im Nebenarm ebenfalls erst 2022 kartierte Schillflächen (0,33 km²) mit 12,8% Schill 13,0% Kies im Norden und 28,0% Schill 4,4% Kies auf der größeren Fläche.



Abb. 24: Greiferprobe aus dem nördl. Nebenarm. Deutlich sichtbar ist die fast flächendeckende Bedeckung mit Kies, der von *Bryozoen* bedeckt ist.

Südlich des Nebenarms und östlich der Muschelkulturflächen handelte es sich bei den damals kartierten KGS-Flächen um Grobsand. 2022 setzt sich dieser Bereich größtenteils aus kiesigen Sanden mit weniger als 20% Kiesanteil, Schillvorkommen im Übergang zum inneren Hörnumtief (21 - 24,9% Schill) und kleineren Grobsandflächen zusammen, die abseits der ehemaligen Flächen Richtung Rinneninneres verlagert sind. Die Bereiche südlich der Muschelkulturflächen waren früher von Grobsand und Kies geprägt und weisen 2022 erneut großflächige Bereiche von Kies und Grobsand auf, die stark mit Schill durchsetzt sind. Im Westen setzen sich die Grobsandflächen nicht mehr so weit nach Norden hin fort.

In der Nähe der beiden östlichen Muschelkulturbänke treten 2022 Mittel- bis Grobsand (teils mit 25,9% Schill), Grobsand und sandiger Kies (13,0 - 25,6% Kies) auf, wo in den bereitgestellten KGS-Daten keine KGS-Flächen aufgeführt wurden.

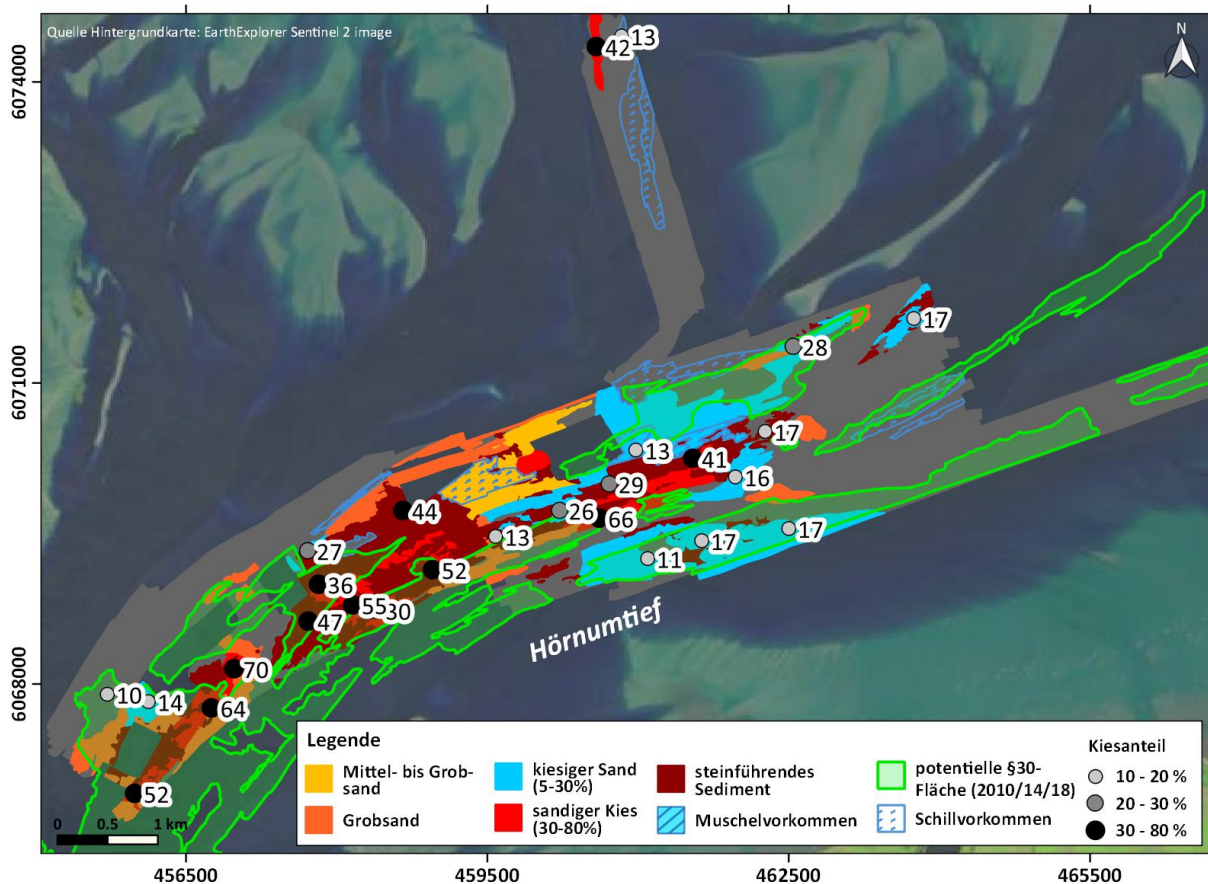


Abb. 25: Kartierte Grobsand-, Kies und Schillflächen 2022 im Vergleich zu den 2010/18 kartierten KGS-Flächen, 2016 aktualisiert & von NPV bereitgestellt (grüne Flächen). Dargestellt sind ebenfalls die Anteile von Kies in den Greiferproben.

Für einen Gesamtvergleich mit den ehemaligen KGS-Flächen wurden diese aggregiert und um die aggregierten steinführenden Sedimente reduziert, da es hier zu Überschneidungen kam. Die KGS-Gesamtfläche 2010/18 betrug somit 4,04 km², zum größten Teil bestehend aus Grobsand und/oder Kies. Die 2022 erhobenen Daten weisen solche Überschneidungen nicht auf. Im Untersuchungsgebiet liegen 0,64 km² Schill (b. = bedeckend), 0,19 km² Schill b. mit Mittel-/Grobsand, 0,23 km² Schill b. mit Kies, 1,33 km² Grobsand und 0,99 km² sandiger Kies mit mehr als 30% Kiesanteil mit Schill vor. Darüber hinaus gibt es Flächen von insgesamt 0,27 km², die einen Kiesanteil zwischen 20-30% aufweisen und als „potentielle KGS-Fläche“ aufgeführt werden. Es treten zudem zwei Flächen auf, die einen Anteil von 17% Kies und mal mehr mal weniger Schillbedeckung aufweisen (0,87 km² und 0,07 km²), sowie eine Fläche von 0,31 km², die nicht eindeutig klassifizierbar ist (Mittel-/Grobsand).

4.1.3 Räumlich-zeitliche Veränderung Norderaue/Föhrer Ley

Kiesführende Sande und Grobsande kommen in der Norderaue besonders in der Nähe zu den pleistozänen Inselsockeln von Amrum und Föhr sowie in den zentralen, tieferen Abschnitten der Norderaue vor. Die größten Ablagerungen mit steindurchsetzten Kiesen treten im Übergang der Norderaue in das Dagebüller Fahrwasser auf (Abb. 26, übersichtlichkeithalber wurde auf die Darstellung der Schillvorkommen auf Kies verzichtet). 2012 wurde eine 0,25 km² große Fläche mit Steinen und Kies detektiert, allerdings nicht als „geogenes Riff“ eingestuft. Zwar sind auch 2023 Steine im Sonar sichtbar, doch treten sie eher in kleineren Komplexen von 0,000006 bis 0,009 km² Größe auf. Der umliegende Bereich (2023: 1,21 km² Kies/Schill) ist stark durch bewachsene Kiese (52,0 - 73,8% Kies) geprägt, wes-

halb der gesamte Bereich eher als „mit Steinen durchsetzter Kies“ anzusehen ist. Im Westen schließt daran kiesiger Sand mit einem Kiesanteil von 28,9% an, der westwärts zunehmend in Sand übergeht (2023: 0,16 km² kiesiger Sand). Aufgrund mangelnder Befahrbarkeit war eine Untersuchung der 2012 detektierten Schillbank (4) nicht möglich.

Im Übergang zur Föhrer Ley befindet sich eine von Sohltransportkörpern geprägte Grobsandfläche (2023: 0,32 km² Grobsand), die aufgrund der fließenden Übergänge der Sande nur schwer abgrenzbar ist. Sie grenzt südlich an die 2012 als „Kies“ (3) bezeichnete Fläche.

Richtung Nordosten setzt sich großflächig sandiger Kies (43,5 - 57,2% Kies) fort, der weitestgehend die 2012 als „Kies“ (3) kartierten Bereiche umfasst und sich dann weit darüber hinaus entlang der Nordkante bis zum Wyker Hafen fortsetzt (2012: 0,62 km² Kies, 2023: 1,00 km² Kies). Kaum im Sonar unterscheidbar, jedoch mit geringerem Kiesanteil, schließen kiesiger Sand (15,9 - 27,2 % Kies, 0,32 km² kies. Sand) und sandiger Kies (2023: 0,22 km² Kies) mit bewachsenem Schill im Nordosten an.

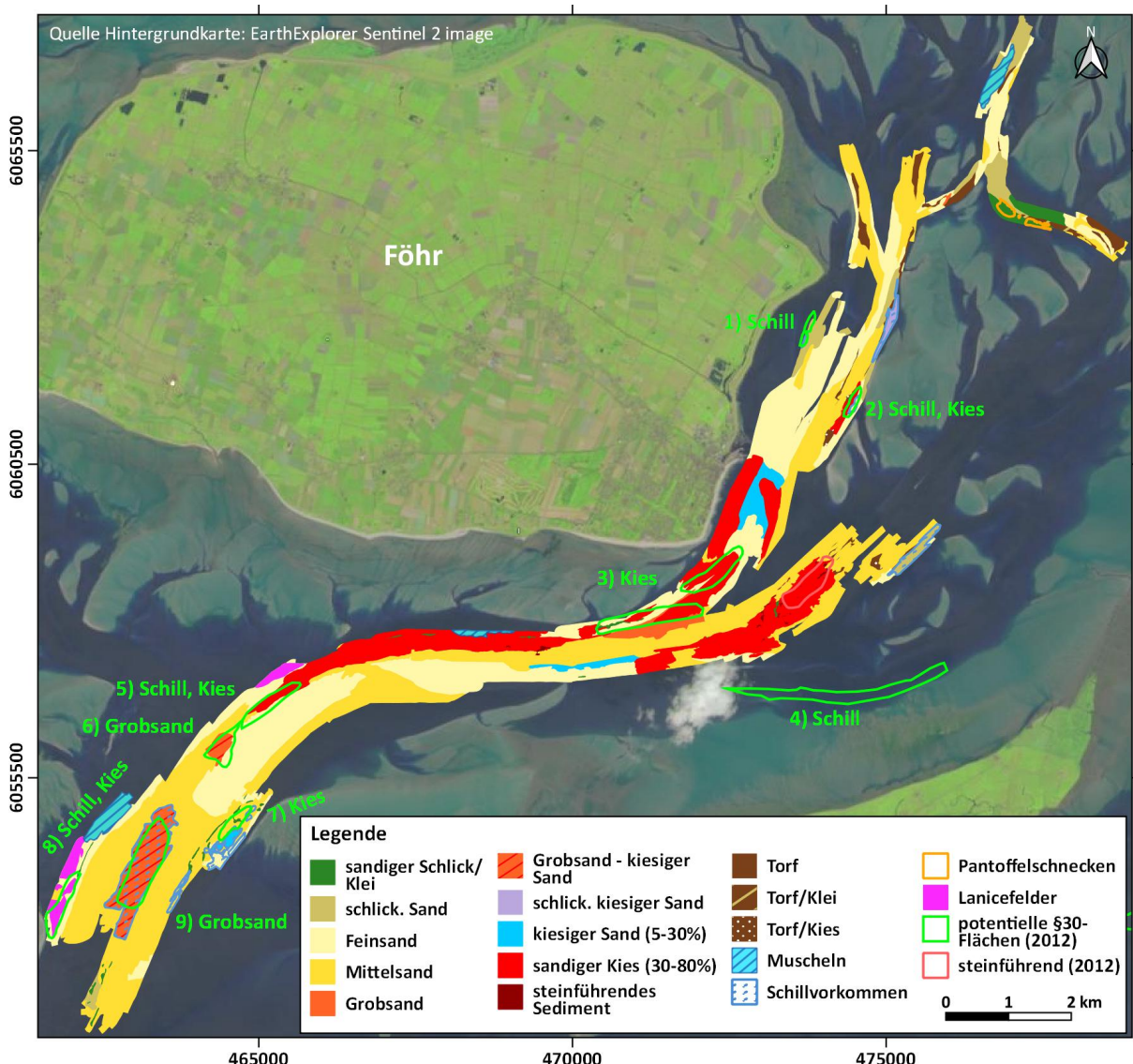


Abb. 26: Kartierte Grobsand-, Kies und Schillflächen in der Norderaue 2023 im Vergleich zu den 2012 kartierten KGS-Flächen (grüne Flächen). Übersichtlichkeitshalber wurde auf die Darstellung der Schillvorkommen auf Kies verzichtet.

Die Sande der Norderaue sind durch unterschiedlich ausgebildete Sohltransportkörper geprägt, was auf eine intensive Sedimentdynamik und Umlagerung der Sedimente in der Rinne hinweist. Die Norderaue ist entlang des Nordrandes durch sandige Kiese (33 - 71% Kies, 2 - 15% Schill) strukturiert, an

die sich im Norden Muschelkulturflächen anschließen. Der 2023 1,51 km² große Bereich sandigen Kiesel entlang der Nordkante deckt sich mit Ergebnissen aus Altdaten, die allerdings nicht als gesamte Fläche in die aktualisierten Resultate der STopp Projekte und die zusammengefassten KGS-Flächen des FTZs eingegangen sind. Lediglich eine kleinere Fläche von 0,18 km² „Schill, Kies“ (5) liegt im Datensatz vor. Kies und Schill entlang der Nordkante sind wiederum stark bewachsen. Daran schließt eine kleine Fläche mit kiesdurchsetztem Grobsand mit wenig prägnanter Signatur im Gegensatz zu den umliegenden Sanden in einem Bereich an, der bereits 2012 als „Grobsand“ (6) detektiert wurde (2012: 0,16 km² Grobsand, 2023: 0,12 km² Grobsand). Auch die südlichste Grobsandfläche von 2012 (9) konnte erneut detektiert werden. Sie setzt sich aus Grobsand mit 10,1 bis 19,9% Kies in den Proben und etwas blankem Schill an der Oberfläche sowie unbewachsenem Schillbruch zusammen (2012: 0,55 km² Kies, 2023: 0,86 km² kiesiger Sand/Schill).

Die 2012 kartierte Kiesfläche im Südosten (7) lag 2023 etwas südlicher als kiesiger Sand (13,9% Kies) mit blankem Mittelkies und etwas bewachsenem Schill vor (2012: 0,09 km² Kies, 2023: 0,06 km² kiesiger Sand/Schill). Auch die angrenzenden Sande sind immer wieder mit Schill durchsetzt.

Der Bereich vor Wittdün ist geprägt von *Lanice* unterschiedlicher Größe und Dichte sowie etwas Schill auf feinsandigem Material, der 2012 durch Kies und Schill strukturiert war (2012: 0,18 km² Kies/Schill, 2023: 0,22 km² *Lanice*/Schill).

Ganz anders als die mit grobem Sediment charakterisierte Rinne gestaltet sich der strömungsberuhigte Norden des Untersuchungsgebietes durch feine Sedimente wie sandiger Schlick/schlickiger Sand im inneren Watteinzugsgebiet. Untersuchungen aus 2012 ergaben, dass die in der nördlichen Norderaue auftretenden Torfvorkommen in vor Strömung geschützten Bereichen von Muscheln besiedelt waren. 2023 konnten zahlreiche Torfvorkommen nachgewiesen werden, doch führten Dredgezüge in den meisten Fällen lediglich sandiges Sediment und Torf zutage. Nur die Föhrer Muschelbank grenzt als Muschelvorkommen an Torf sowie flächendeckende Pantoffelschnecken weiter südlich Richtung Dagebüll. Am Übergang des Dagebüllers Fahrwassers in die Norderaue treten in der Nähe zum Torf/Kies Schillvorkommen auf. Gleiches gilt für die südlich gelegenen Torfvorkommen an der Ostkante der Föhrer Ley, die in früheren Untersuchungen als „Schill, Kies“ (2) bezeichnet wurden. Anschließend an die Torfkante kommen hier sandiger Kies (40,4% Kies) mit Schill vor (2012: 0,06 km² Schill/Kies, 2023: 0,09 km² Schill/Kies). Nördlich hiervon tritt entlang der Torffläche stark von *Hydrozoen*, *Bryozoen* und *Balanoiden* besetzter Schill auf schlickig kiesigem Sand auf (2023: 0,09 km² Schill/etwas Kies).

4.1.4 Räumlich-zeitliche Veränderung Gröde

Der überwiegende Teil des Sublitoralbereiches südlich von Gröde war 2023 durch sandigen Schlick und schlickige, sehr feine Sande geprägt (Abb. 27). Im Übergang zur Strandley treten kohäsiv konsolidierte Sedimente auf, die anhand kantiger Strukturen im Sonar erkennbar sind. Im Vergleich zur Kartierung 2020 ist die Sedimentzusammensetzung deutlich feiner und schlickiger geworden, wohingegen Schill kaum noch an den Probenstandpunkten nachgewiesen wurde. Lediglich nordöstlich der Muschelvorkommen (rote Flächen), im Übergang zum Mittelsand und auf schlickigem Feinsand südlich von Gröde konnte durch Greiferproben ein Schillgehalt von 17,1 bis 23,6% nachgewiesen werden. Zum größten Teil handelt es sich um Schillbruch verschiedener Mollusken, der in den Greiferproben die Oberfläche des darunterliegenden Sedimentes bedeckt und einen Aufwuchs mit *Bryozoen* aufweist. Die Schillvorkommen treten entlang der nördlichen Prielkante auf Flächen auf, die bereits 2020

Muschelschill aufwiesen. Allerdings dehnt sich die Fläche nicht mehr so weit in den Priel hinein aus (2020: 1,24 km², 2023: 0,3 km²).

Flächenhaft detektierbare Muschelvorkommen kommen 2023 erneut vor Gröde, und zusätzlich auf einer kleinen Fläche im Übergang zur Strandley vor (rote Flächen) (2020: 0,18 km², 2023: 0,29 km²). Die Muschelvorkommen bestehen überwiegend aus adulten Austern (*Magallana gigas*) und vereinzelten Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) und sind im Norden eine Fortsetzung der eulitoral Bank. Zudem charakterisieren zahlreiche Pantoffelschnecken (*Crepidula fornicata*) die Muschelvorkommen. Die Lage des nördlichen Vorkommens hat sich im Vergleich zu 2020 kaum verändert, wohingegen anschließend ein weiterer Bereich hin zum schilldurchsetzten schlickigen Feinsand erfasst wurde. Die Sonarsignatur ist entgegen anderer Muschelvorkommen wie Dwarsloch und Föhr allerdings nur sehr schwach ausgeprägt. Vereinzelte Pantoffelschnecken und Austern konnten darüber hinaus im schlickigen sehr feinen Sand in Greiferproben ohne signifikante Sonarsignatur nachgewiesen werden. Sie kommen hier versunken im schlickigen Sediment vor.

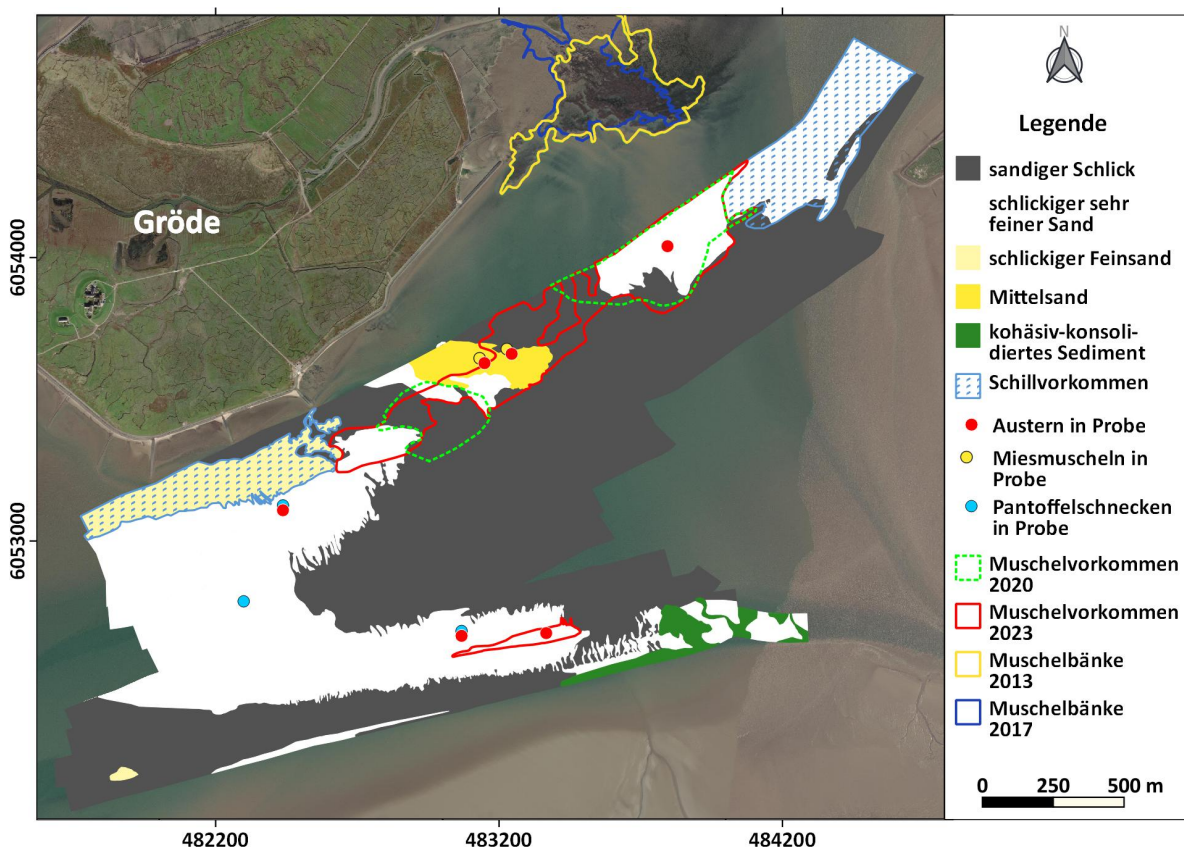


Abb. 27: Verteilung von Sedimenten und Habitaten vor Gröde 2023. Dargestellt sind zudem die Muschelvorkommen 2023 (rote Linie) im Vergleich zu 2020 (grün gestrichelte Linie) sowie Schillvorkommen.

4.1.5 Räumlich-zeitliche Veränderung Muschelbank Dwarsloch

Im Jahr 2023 wurden im Rahmen der Projektarbeiten die biogenen Riffstrukturen im Dwarsloch und bei Föhr, die seit 2012/2013 regelmäßig untersucht werden, erneut kartiert.

Im Dwarsloch heben sich die Muscheln in den Sonaraufnahmen signifikant vom umliegenden Sediment ab, das aus feinen bis schlickigen Sanden besteht und eine geringe Rückstreustärke aufweist. Die hohe Rückstreustärke der Sonarsignatur ist auf Vorkommen von Miesmuscheln, Austern sowie einen hohen Anteil an Pantoffelschnecken und Schill zurückzuführen. Da die Sonaraufnahmen keine detail-

lierten Aussagen über die bankbildenden Arten erlauben, wurden ergänzend Dredgezüge durchgeführt.

Der Großteil des Dredgeinhaltes bestand aus Pantoffelschnecken, die teilweise größere Miesmuscheln umschließen. Miesmuscheln wurden hingegen nur in geringer Zahl gefunden, waren meist mittelgroß und wie auch das Gehäuse der Pantoffelschnecken und die Austernschalen großflächig von *Hydrozoen*, *Bryozoen* und *Balanoiden* besetzt. Juvenile Miesmuscheln besiedelten gelegentlich die Schalen von Austern und nutzten diese als Siedlungssubstrat. Mittelgroße und kleinere Austern traten in den Dredgezügen häufiger als Miesmuscheln auf und waren wie die Pantoffelschnecken oft mit Seeanemonen bewachsen (Abb. 28).



Abb. 28: Von *Balanoiden*, *Hydrozoen*, *Bryozoen* und Seeanemonen besetzte Gehäuse und Muschelschalen (links) und Besiedlung einer Auster durch juvenile Miesmuscheln (rechts) im Dwarssloch 2023. Sichtbar sind die Byssusfäden, mit denen sich die Miesmuscheln an das Hartsubstrat heften.

Im Vergleich zu den kartierten Flächen der Vorjahre (Abb. 29) zeigt sich, dass der Großteil der Muschelbank in Ausdehnung und Lage stabil geblieben ist (2021: 0,29 km², 2023: 0,25 km²). Es ist jedoch anzumerken, dass die Signatur im Laufe der Jahre an Intensität verliert und weniger Miesmuscheln und Austern gefunden werden.

Aufgrund der günstigen Fahrbedingungen und der daraus resultierenden verbesserten Auflösung der Sonardaten konnte das Gebiet im Nordwesten präziser als in den Vorjahren abgegrenzt werden. Entlang der östlichen Prielkante geht die Mischbank in schlickiges Sediment mit Schill über.

Da in früheren Untersuchungen keine Schätzungen zum Vorkommen von Pantoffelschnecken gemacht wurden, können keine Aussagen über deren Entwicklung getroffen werden. Für das WATthochDrei-Projekt wurde das Dredgeprotokoll um Angaben zu Pantoffelschnecken (Schätzwert über den Anteil der Pantoffelschnecken [%] und Bewuchs von Muscheln) erweitert, um zukünftig die Entwicklung der Muscheln und Schnecken detaillierter zu untersuchen.

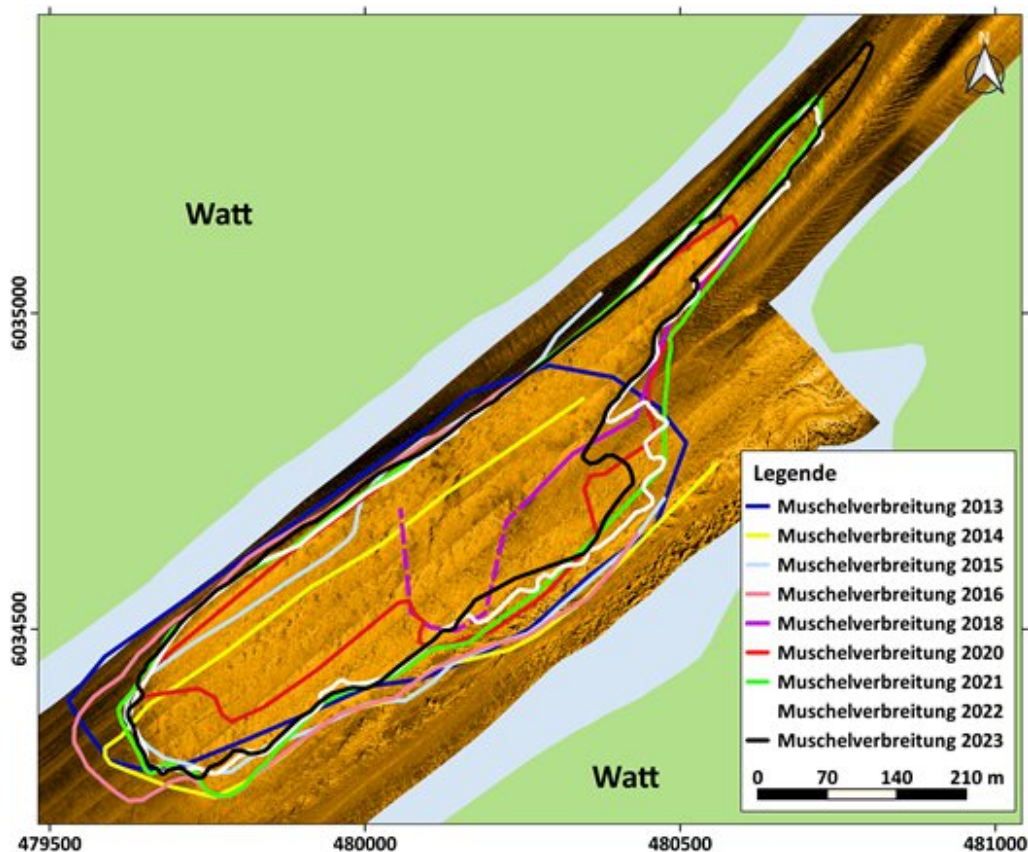


Abb. 29: Sonarmosaik des Muschelvorkommens Dwarsloch 2023. Die verschiedenfarbigen Polygone geben die Verbreitung von Muscheln in verschiedenen Jahren wieder.

4.1.6 Räumlich-zeitliche Veränderung Muschelbank Föhr

Wie schon bei der Mischbank im Dwarsloch zeichnet sich das Verbreitungsgebiet der Muscheln in der Sonaraufnahme bei Föhr (2023) durch eine höhere Rückstreuintensität im Gegensatz zum umliegenden Sediment aus. Im Gegensatz zur Muschelbank im Dwarsloch befindet sich die Föhrer Muschelbank in räumlicher Nähe zu erosiv angeschnittenen Torfvorkommen und geht im Norden und Osten zunehmend in Schill über, der in den Sonarsignaturen ebenfalls durch hohe Rückstreustärken und eine un-stete Oberfläche gekennzeichnet ist.

Miesmuscheln und Austern kommen auf der Föhrer Muschelbank in unterschiedlichen Größen vor, wobei der Anteil an Austern gegenüber dem der Miesmuscheln überwiegt und ungefähr dreifach so hoch ist. Der Großteil der gefundenen Austern ist handflächengroß und teilweise sogar noch größer und zum größten Teil stark bewachsen, darunter ebenfalls von juvenilen Miesmuscheln. Die zahlreich vorhandenen Pantoffelschnecken wurden in den meisten Fällen aus Klumpen/Schneckenstapeln von mehr als 6 Schnecken gefunden, die häufig mittelgroße Miesmuscheln umschlossen (Abb. 30). Der Bewuchs von Pantoffelschnecken auf Miesmuscheln tritt in unseren Untersuchungen aus dem Jahr 2023 stärker auf der Föhrer Muschelbank als im Dwarsloch auf. Die Schalen der Muscheln und die Schneckengehäuse weisen starken Bewuchs von *Hydrozoen*, *Bryozoen* und *Balanoiden* auf. Aufgrund der hohen Wassertemperaturen im Sommer hat sich ein starker Algenteppich gebildet, sodass ein Teil der Dredge mit Algen gefüllt war und der Anteil an Muscheln und Schnecken entsprechend geringer bezogen auf den Gehalt ausgefallen ist. Zukünftig sollen die Untersuchungen biogener Riffstrukturen daher bis spätestens Ende Mai abgeschlossen sein.



Abb. 30: Handflächengroße und stark bewachsene Austern (links) und mittelgroße Miesmuscheln von Pantoffelschnecken umschlossen (rechts) auf der Föhrer Muschelbank 2023.

Vergleicht man das Verbreitungsgebiet der Muscheln der vergangenen Jahre mit aktuellen Untersuchungsergebnissen (Abb. 31) wird deutlich, dass sich die zentrale Fläche in ihrer Ausdehnung und Lage nicht wesentlich unterscheidet. Die Grenzziehung im Norden ist aufgrund des graduellen Übergangs zum Schill und der schwach ausgeprägten Sonarsignatur nur schwer möglich. Nördlich der im Sonar sichtbaren Kante, wo Torf in den Proben vorkam, wurde wie in den Vorjahren ausschließlich Schill gefunden. Es ergibt sich eine Muschelfläche von 0,16 km² im Jahr 2023 (2021: 0,15 km²). Die Fläche stellt sich im Sonar als ebener als die Muschelbank im Dwarsloch dar.

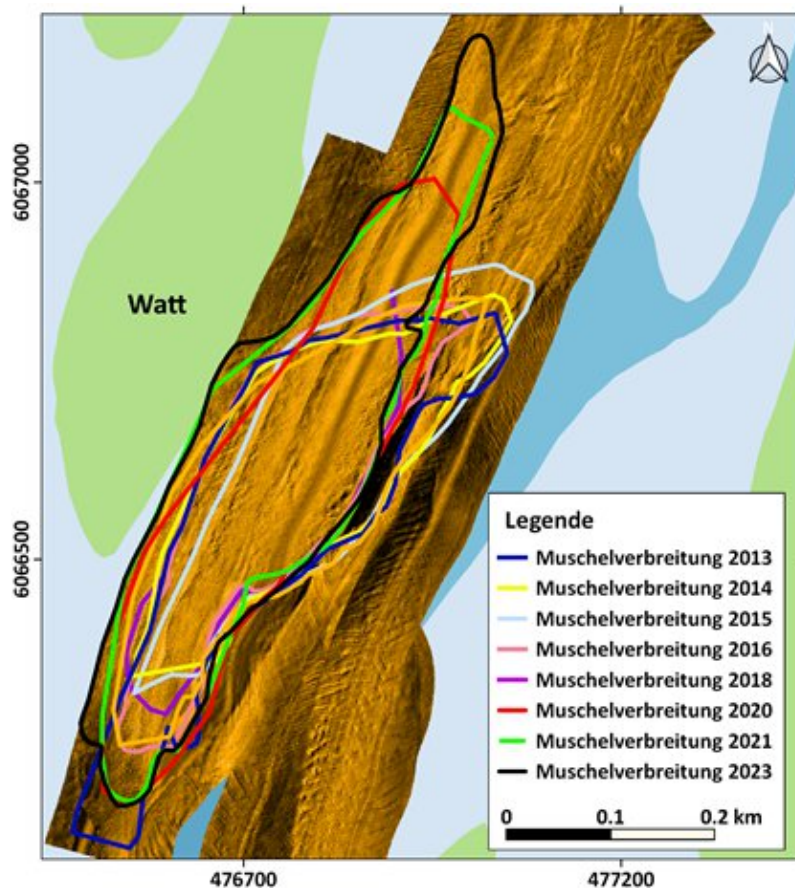


Abb. 31: Sonarmosaik des Muschelvorkommens bei Föhr 2023. Die verschiedenfarbigen Polygone geben die Verbreitung von Muscheln in verschiedenen Jahren wieder.

4.2 Zusammensetzung der benthischen Lebensgemeinschaften sublittoraler Habitate

Die hier dargestellten Ergebnisse stammen aus dem Beprobungsjahr 2022 und beziehen sich ausschließlich auf Greiferproben. Zum Zeitpunkt des Berichtes lagen die Ergebnisse aus dem Untersuchungsjahr 2023 noch nicht vor. Die Beprobung der 26 Stationen (58 Greifer) erfolgte auf 8 unterschiedlichen Lebensraumtypen und MSRL-Biotopen: Biogenes Riff (n = 3), Circalittoral mixed sediments (n=9), Circalittoral sand (n=5), Geogenes Riff (n=9), Infralittoral mud (n=1), Infralittoral sand (n=15), Kies,- Grobsand- und Schillflächen (KGS, n=14), und littoral sediments (n=2).

4.2.1 Artenspektrum

In den insgesamt 58 Greiferproben konnten insgesamt 182 Taxa gefunden werden. Die tatsächliche Artenzahl lag bei 146 Arten und setzte sich aus 15 taxonomischen Großgruppen zusammen. Die höchste Artenzahl mit 52 stellten die *Polychaeta*, gefolgt von den *Crustacea* mit 35 Arten. *Bivalvia*, *Gastropoda* und *Echinodermata* folgten mit 11, 6 und 5 Arten. Auch typische Aufwuchsformen wie die *Hydrozoa* und *Bryozoa*, welche auf Hartsubstrat als Siedlungsunterlage angewiesen sind, waren mit 14 (*Hydrozoa*) bzw. 11 (*Bryozoa*) Arten sehr artenreich. Zudem konnten 4 Asselspinnen-Arten gefunden werden.

Es kamen 10 Arten vor, die eine Stetigkeit von > 35 % aufwiesen. Die stetigste Art mit 67,2% war das Moostierchen *Conopeum reticulum* gefolgt vom *Polychaeta Scoloplos armiger* (65,5%). Ebenfalls > 50% wiesen der *Oligochaet Tubificoides benedii* und *Actiniaria* (53,4%) auf. Vermutlich handelt es sich hierbei um die Gattung *Cylista spp.* Weitere stetige Arten mit > 35% waren *Lanice conchilega*, *Balanus crenatus*, *Carcinus maenas*, *Obelia longissima*, *Sertularia cupressina* und *Electra pilosa*.

4.2.2 Artenzahl, Neobiota, Biodiversität und Rote Liste Arten in den unterschiedlichen Untersuchungsgebieten

Grundsätzlich ist bei der folgenden Betrachtung zu beachten, dass sich die Anzahl der Greifer in den unterschiedlichen Untersuchungsgebieten und Biotopen sehr stark unterscheidet und für eine statistisch signifikante Charakterisierung der unterschiedlichen Lebensraumtypen und Biotope die Anzahl der Greifer zu klein ist. Ein unterschiedlicher Probenaufwand hat maßgeblich Einfluss auf Artenzahl, Anzahl Neobiota, Biodiversität und Anzahl an Rote Liste Arten. Unterschiede in diesen Parametern zwischen den Gebieten müssen mit Vorsicht betrachtet werden.

Die höchste Artenzahl (bei gleichzeitig höchster Anzahl genommener Greiferproben) wurde im Hörnumtief gefunden mit 123 Taxa (Tabelle 4). Dieses Gebiet zeichnet sich auch durch die höchste Anzahl gefundener Rote Liste Arten aus. Hervorzuheben sind hierbei die in Kategorie 2 („stark gefährdet“) und Kategorie 3 („gefährdet“) bewerteten Arten *Cliona celata*, *Buccinum undatum*, *Lepidochitona cinerea*, *Sabellaria spinulosa* und *Ensis magnus*, die alle als einzelne Individuen in den Greiferproben auftraten.

Bei den gefundenen nicht-heimischen Arten handelt es so vor allem um *Crepidula fornicata*, *Hemigrapsus takanoi*, *Magallana gigas*, *Ruditapes philippinarum*, *Petricolaria pholadiformis*, *Tharyx killariensis* und *Austrominius modestus*. *Clymenella torquata*, *Pagurus longicarpus* und *Smittoidea prolifica*

konnten nur im Hörnumtief gefunden werden. Funde von *Pagurus longicarpus* und *Smittoidea prolifica* sind aber aus anderen Tidenbecken im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer bekannt.

Tabelle 4: Darstellung der Greiferanzahl, beprobter Lebensraumtyp/MSRL Biotop und gefundene Anzahl an Arten, Rote Liste (RL)-Arten und Neobiota pro Untersuchungsgebiet.

Untersuchungsgebiet	Greiferanzahl	Lebensraumtyp/ MSRL Biotop	Artenzahl	RL-Arten	Neobiota
Dwarsloch	3	biogenes Riff	36	3	5
Eidermündung	3	geogenes Riff	20	2	2
Heverstrom	14	KGS, Infralittoral mud, circalittoral sand, circalittoral mixed sediments	55	3	6
Norderhever	3	circalittoral mixed sediments	26	2	0
Hörnumtief	35	KGS, Infralittoral sand, circalittoral sand, geogenes Riff, littoral sediments	123	19	6

In Abb. 32 sind Taxazahl und Shannon Wiener Diversität als Boxplots in den verschiedenen Untersuchungsgebieten dargestellt. Bezogen auf die Taxazahl konnten die höchsten Medianwerte für das Dwarsloch (biogenes Riff) und im Hörnumtief gefunden werden. Die höchste Shannon Wiener Diversität (Median) wurde im Hörnumtief gefunden, der niedrigste Medianwert im Dwarsloch (biogenes Riff).

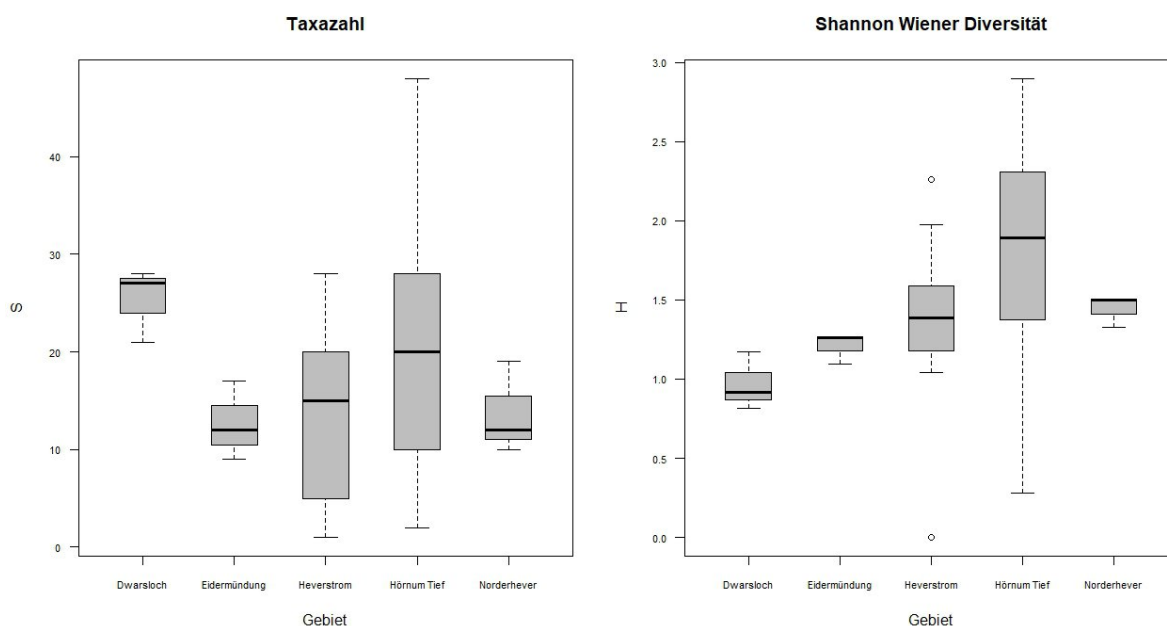


Abb. 32: Boxplots zu Taxazahl (S) und Shannon Wiener Diversität (H) in den unterschiedlichen Untersuchungsgebieten.

4.2.3 Gemeinschaftsanalyse

Die Ergebnisse der multivariaten Analyse sind auf Basis der Arten-Abundanzstruktur der 58 Greifer durchgeführt worden. Die Analyse basiert auf transformierten Abundanzdaten (*square root*). Insgesamt zeichnet sich die Clusteranalyse aus 3 Hauptclustern und 10 Untercluster (13 Greifer) aus. Die 13 Greifer der Untercluster lassen sich keinem Hauptcluster zuordnen. Die Clusteranalyse ist in Abb. 33 sowohl für die Untersuchungsgebiete als auch pro Biotop dargestellt.

Eine klare Trennung nach Gebiet oder Biotop ist nicht darstellbar. Es zeigt sich eine Tendenz, dass alle Greiferproben aus den beprobten KGS-Standorten und den circalittoral mixed sediments im Heverstrom zu einem Cluster gruppieren. Die Greifer des Hörnumtiefs lassen sich in 2 Gruppen teilen. Zum einen in ein Cluster aus 9 Greifern hauptsächlich beprobt in infralittoral sand, KGS und mixed sediments mit etwas leicht höheren Schlickgehalten. Das Hauptcluster aus 27 Greifern beinhaltet die biogenen Riffe im Dwarsloch, geogenen Riffstandort aus dem Hörnumtief und der Eidermündung, aber auch Proben aus dem infralittoral sand und circalittoral mixed sediments im Hörnumtief.

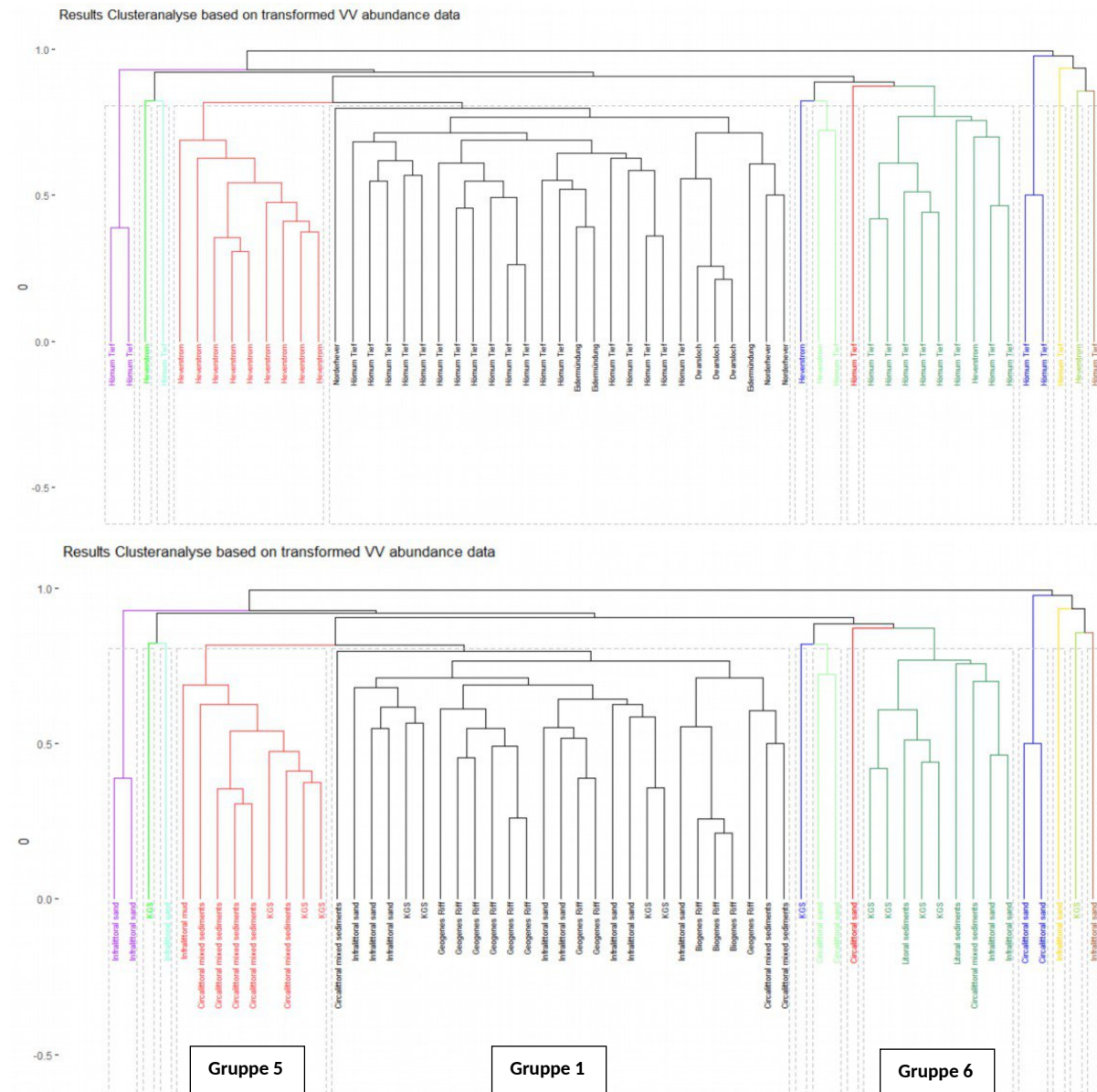


Abb. 33: Clusteranalyse basierend auf transformierter (2. Wurzel) Abundanzdaten gruppiert nach Untersuchungsgebiet (oben) und Biotop (unten).

4.2.4 Charakterarten

Die Charakterarten wurden sowohl für die Biotope mit einem $n > 5$ berechnet, als auch für die 3 Hauptcluster. Für die Untercluster lassen sich keine Charakterarten berechnen.

Die biogenen Riffe (Dwarsloch) werden durch die hohen Dichten an *Balanus crenatus* (575,6 mittlere Ind./0,1 m²) und *Crepidula fornicata* (59,6 mittlere Ind./0,1 m²) charakterisiert. Ein ähnliches Bild zeigt

sich für die geogenen Riffe, die neben *Balanus crenatus* (35 mittlere Ind./0,1 m²), *Actiniaria* (20,6 Ind./0,1 m²), *Tubificoides benedii* (33,5 Ind./0,1 m²), *Nymphon brevirostre* (272, mittlere Ind./0,1 m²) und *Caprella linearis* (23 Ind./0,1 m²) dominiert werden.

Die Charakterarten der circalittoral mixed sediments stellen *Heteromastus filiformis* (56 mittlere Ind./0,1 m²), *Actiniaria* (39,7 mittlere Ind./0,1 m²) und *Alitta succinea* (15,4 mittlere Ind./0,1 m²) dar. Charakterarten des infralittoral sand sind *Balanus crenatus* (38,4 mittlere Ind./0,1 m²), *Pygospio elegans* (0,6 mittlere Ind./0,1 m²), *Tubificoides benedii* (7,3 mittlere Ind./0,1 m²) und *Scoloplos armiger* (3,7 mittlere Ind./0,1 m²). Die Kies-, Schill und Grobsandgebiete zeichnen sich durch *Balanus crenatus* (5,8 mittlere Ind./0,1 m²), *Heteromastus filiformis* (46,7 Ind./0,1 m²), *Scoloplos armiger* (5,2 mittlere Ind./0,1 m²) und *Tharyx killariensis* (15,1 mittlere Ind./0,1 m²) aus.

Die hier beschriebene Überlappung in den Charakterarten erklärt die unklare Trennung der Biotope in der Clusteranalyse. Allerdings muss auch hier darauf hingewiesen werden, dass die Anzahl der Greifer pro Biotop für eine belastbare Aussage zu klein ist.

Die Unterschiede in den drei Hauptclustern beruhen auf Abundanzunterschieden mehrerer Arten, die in Tabelle 5 dargestellt werden. Gruppe 1, die sich aus 27 Greifern zusammensetzt und neben den Riffstandorten im Dwarsloch, Hörnumtief und der Eidermündung auch Proben aus dem Infralitoral und aus Mischsedimenten enthielt, wurde durch die hohen Abundanzen von charakteristischen Harts-ubstratarten wie *Balanus crenatus*, *Actiniaria*, *Nymphon brevirostre* und *Caprella linearis* charakterisiert. Weitere Arten, die vornehmlich im Weichboden vorkommen, wie z.B. *Tubificoides benedii*, *Lanice conchilega* und *Scoloplos armiger*, waren ebenfalls vorzufinden. Gruppe 5 setzte sich aus 9 Greifern aus dem Heverstrom zusammen. Die Unähnlichkeit zu den beiden anderen Gruppen ist durch die hohen Dichten von *Heteromastus filiformis*, *Alitta succinea* und *Tharyx killariensis* zu erklären. Die ebenfalls aus 9 Greifern zusammengesetzte Gruppe 6 enthält Proben aus dem Hörnumtief charakterisiert durch KGS-Standorte und infralitorale Sedimente. Diese Gruppe wird durch höhere Abundanzen von *Pygospio elegans* und *Clymenella torquata* dominiert.

Tabelle 5: Ergebnisse der SIMPER-Analyse aus dem R package „vegan“ zur Ermittlung der Arten, die zu einer Unähnlichkeit der drei Hauptcluster beitragen. Gelistet sind die mittleren Abundanzen, deren Contribution (in %) und der kumulative Beitrag (in %).

Trennarten	Gruppe 1	Gruppe 5	Contrib %	Cum. %
	Av. Abund	AV. Abund		
<i>Heteromastus filiformis</i>	0,96	129,89	30,29	30,29
<i>Balanus crenatus</i>	99,81	4,78	15,33	45,63
<i>Balanidae</i> indet.	0,00	18,00	5,50	51,13
<i>Actiniaria</i>	22,48	11,00	5,30	56,42
<i>Alitta succinea</i>	1,59	19,67	5,20	61,63
<i>Tharyx killariensis</i>	0,63	24,56	4,81	66,44
<i>Tubificoides benedii</i>	16,67	5,00	4,67	71,11
<i>Tharyx</i> spp.	0,00	8,11	2,40	73,50
<i>Nymphon brevirostre</i>	9,74	0,00	2,12	75,62
<i>Lanice conchilega</i>	8,78	1,44	2,06	77,69
	Gruppe 1	Gruppe 6		
<i>Balanus crenatus</i>	99,81	0,11	24,92	24,92
<i>Tubificoides benedii</i>	16,67	0,44	10,47	35,39
<i>Actiniaria</i>	22,48	0,33	10,42	45,82
<i>Corophium volutator</i>	5,15	2,56	4,34	50,16
<i>Lanice conchilega</i>	8,78	1,44	4,28	54,44

<i>Scoloplos armiger</i>	6,85	2,78	4,28	58,72
<i>Nymphon brevirostre</i>	9,74	0,44	4,25	62,96
<i>Pygospio elegans</i>	0,41	4,00	2,86	65,82
<i>Clymenella torquata</i>	1,93	2,11	2,59	68,41
<i>Caprella linearis</i>	7,67	0,00	1,76	70,17
	Gruppe 5	Gruppe 6		
<i>Heteromastus filiformis</i>	129,89	0,00	44,32	44,32
Balanidae	18,00	0,00	8,52	52,85
<i>Alitta succinea</i>	19,67	0,00	8,30	61,14
<i>Tharyx killariensis</i>	24,56	0,00	6,38	67,53
Actiniaria	11,00	0,33	3,64	71,16
<i>Tharyx</i> spp.	8,11	0,00	3,56	74,72
Nereididae	8,11	0,00	2,57	77,29
<i>Balanus crenatus</i>	4,78	0,11	2,33	79,62
<i>Tubificoides benedii</i>	5,00	0,44	2,06	81,68
<i>Pygospio elegans</i>	0,11	4,00	1,85	83,52

4.3 PAM im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer

Insgesamt wurden 730 Stunden Unterwasserschall an 13 verschiedenen Stationen und neun Sediment-Habitaten erfolgreich aufgenommen.

4.3.1 Einfluss der Tiden

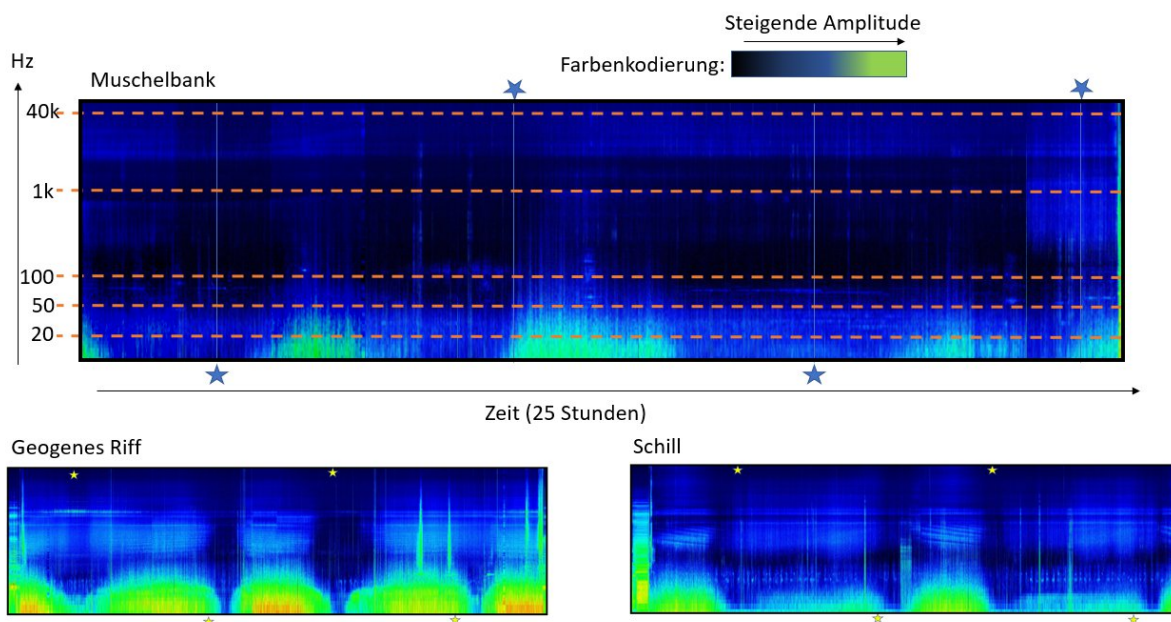


Abb. 34: Spektrogramm Darstellung Muschelbank Dwarzloch, Geogenes Riff und Schill Sediment Habitat Hörnumtief aus dem Jahr 2022. Dargestellt sind 25 Stunden Aufnahmen (x-Achse). Die y-Achse zeigt die Frequenz in Hertz (Hz). Die Farbkodierung stellt die Amplitude, also die Lautstärke des Schalls dar. Die Sterne zeigen den Zeitpunkt von Niedrig- bzw. Hochwasser. Die Wasserstanddaten geben den Stand der zur Hydrophon-Station nächstgelegenen Messstation (Software WXTide32). Hanning FFT 65536.

Zunächst wurden die Schallaufnahmen in Spektrogrammen visualisiert. Abbildung 34 zeigt hier eine typische Unterwasserschallaufnahme aus dem Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer. Auffällig hier-

bei ist der wiederkehrende in wellenförmig auftretende Amplitudenanstieg in tieffrequenter Region unter 100 Hz. Dazwischen befinden sich die Hoch- und Niedrigwasserzeiten (=Stauwasser). Die Zeit von Hoch- zu Niedrigwasser und *vice versa* beträgt ca. 6,5 Stunden, variiert aber von Station zu Station. Im Rahmen einer Masterarbeit (Jeuschede, 2023) wurde gezeigt, dass sich die Breitband-Amplituden zwischen den Stauwasser-Zeiten und den kompletten Aufnahmen signifikant voneinander unterscheiden, Stauwasser-Zeiten sind allgemein um 6 ± 2 dB leiser (Abb. 35 a)). Innerhalb der Stauwasser-Zeiten, nämlich Hoch- und Niedrigwasser (Abb. 35 b)), erkennt man, dass zu Zeiten von Hochwasser die Amplituden höher sind, vor allem in Frequenzbereichen unter 500 Hz.

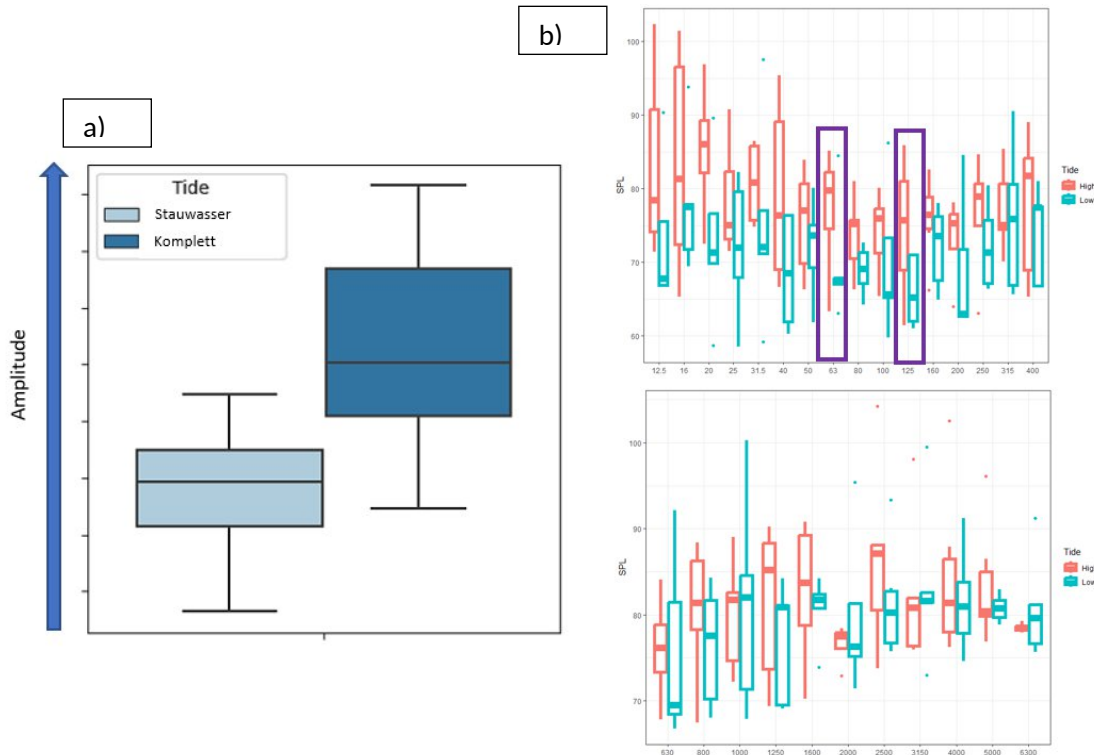


Abb. 35: Lautstärke Stauwasser versus ab/auflaufendes Wasser. A) Figur aus Master These „THE EFFECTS OF BOAT SOUND AND TIDAL ENERGY ON THE MARINE UNDERWATER SOUNDSCAPE IN THE SCHLESWIG-HOLSTEIN WADDEN SEA NATIONAL PARK“ Jan Jeuschede, 2023. B) Beispiel Einfluss der Hoch- und Niedrigwasser über verschiedenen Frequenzen: Dwarsloch – Muschelbank, Heverstrom – Sand, Heverstrom – Feinsand, Hörnumtief – Grobsand, und Hörnumtief – geogenes Riff + Kies. Die y-Achse stellt die Amplitude (Kalibrierung basierend auf Informationen der Website des Herstellers), hier Schalldruckpegel (SPL dB re 1 μ Pa) dar. Die x-Achse sind die 1/3 Oktaven-Bänder.

4.3.2 Unterschiede Schall-Habitate

Abbildung 34 zeigt schon gut erkennbar die Unterschiede in den Spektrogrammen der Schall-Sediment-Habitate, hier als Beispiel, Muschelbank vs. Geogenes Riff vs. Schill. Des Weiteren können Schalldruckpegel (SPL) zwischen den verschiedenen Habitaten in verschiedenen Frequenzbereichen (spektrale Daten) miteinander verglichen werden (siehe Abb 36).

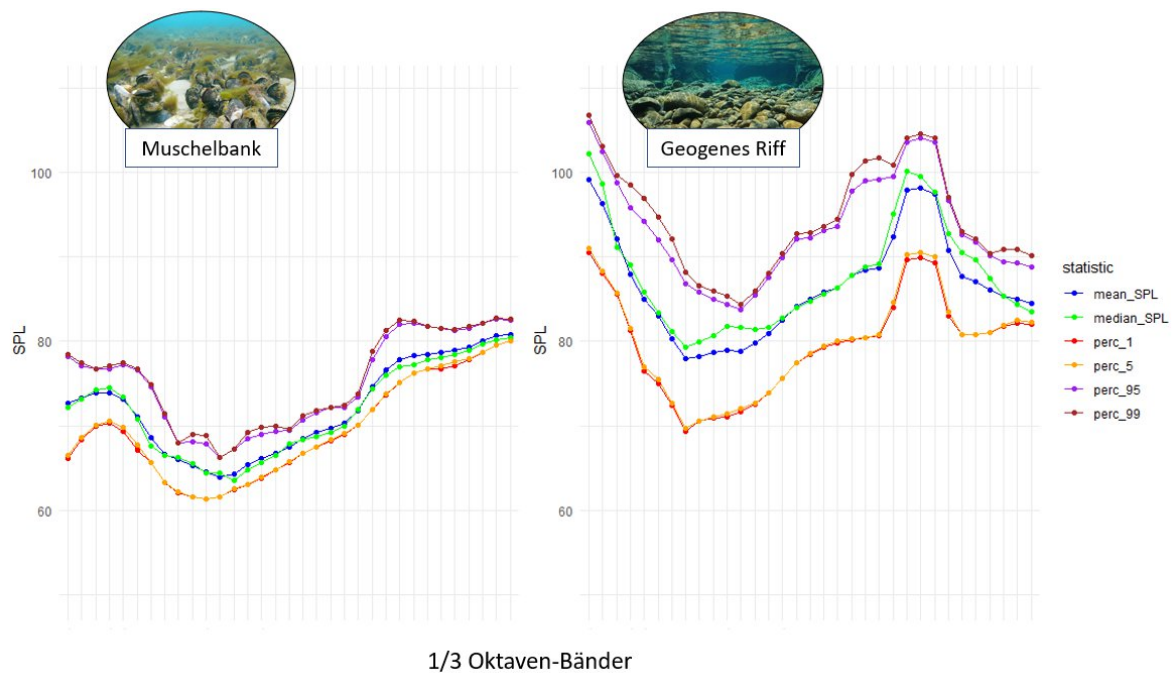


Abb. 36: Spektrale Daten. Stauwasser Zeiten Muschelbank Dwarsloch (Links) und geogenes Riff Hörnuntief (Rechts). Die y-Achse stellt die Amplitude (Kalibrierung basierend auf Informationen der Website des Herstellers), hier Schalldruckpegel (SPL dB re 1 μ Pa) dar. Die x-Achse sind die 1/3 Oktaven-Bänder bis 12,5 bis 20000 Hz (Mittelfrequenzen). Linien: Blau = Mittelwert, Grün = Median, Rot und Gelb = 1. und 5. Perzentil, Violett und Dunkelrot = 95. und 99. Perzentil.

4.3.3 Einfluss anthropogener Schall

Anthropogene Unterwasserschallquellen durch Bootspassagen heben sich signifikant ($+ 12.64 \pm 5$ dB) vom Hintergrundschall im Wattenmeer ab (Abb. 37 a, und b siehe Jeuschede, 2023). Jeuschede (2023) fand zudem heraus, dass 10 der 21 detektierten und analysierten Bootspassagen (48%) einem potenziellen Boot durch ein AIS-Signal zugeordnet werden konnten. Für die übrigen Boote konnte kein übereinstimmendes Signal festgestellt werden (Jeuschede, 2023).

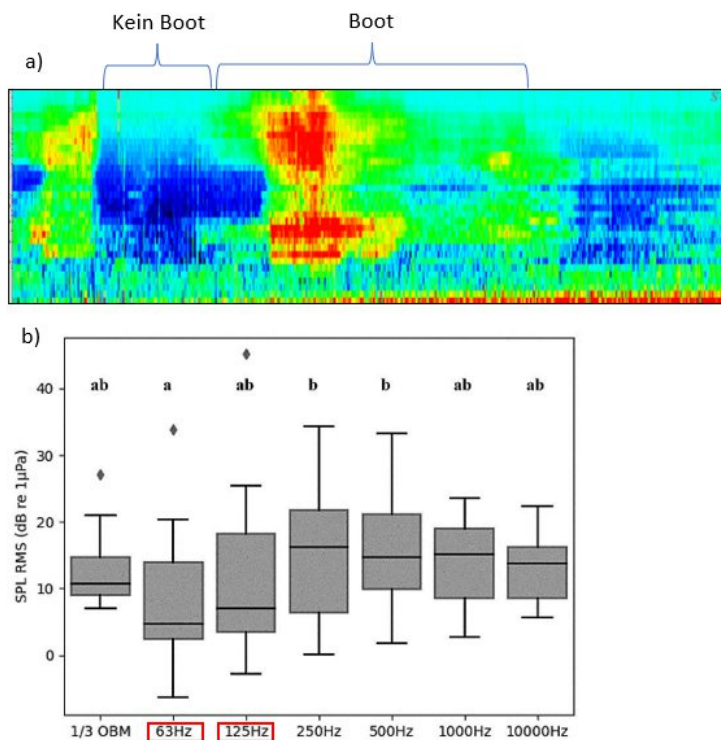


Abb. 37: Einblick Einfluss Bootslärm auf den Hintergrundschall im Wattenmeer. a) Spektrogramm einer Bootspassage. b) Differenz Schalldruckpegel (SPL) zwischen Bootspassagen und Hintergrundschall im Wattenmeer. x-Achse zeigt sechs 1/3 Oktaven Level mit den Frequenzen 63 - 10000 Hz. 63 Hz und 125 Hz (in rot markiert) sind die gängigen Lärmmonitorings - Frequenzen für Unterwasserschall. Abbildung b aus der Master These „THE EFFECTS OF BOAT SOUND AND TIDAL ENERGY ON THE MARINE UNDERWATER SOUNDSCAPE IN THE SCHLESWIG-HOLSTEIN WADDEN SEA NATIONAL PARK“ Jan Jeuschede, 2023.

5. Diskussion & Schlussfolgerungen

a) Kommen in den jeweiligen Untersuchungsgebieten Strukturen vor, die dem Lebensraumtyp 1170 und 1110 zuzuordnen wären? Wie hat sich Lage und Ausdehnung zu vorherigen Untersuchungen verändert?

Für die Ausweisung der Lebensraumtypen 1110 (Sandbänke) und 1170 (Riffe, geogen und biogen) sind gemäß Auftrag die Definitionen der FFH-Richtlinie der EU anzuwenden (siehe Kapitel 1.3 Definitionen der Lebensräume).

Sandbank Norderaue: 2012 wurde in der Norderaue eine Sandbank von 4,8 km² Flächengröße kartiert, die sich als langgestreckte Erhebung mit ausgeprägten Hängen und in der Umgebung tieferem Meeresboden auszeichnete. Bereits damals war die Sandbank mit dem angrenzenden Wattsockel verbunden. Während der Untersuchungen 2023 zeigt sich erneut in ähnlicher Lage und Ausdehnung eine aufragende langgestreckte Struktur aus Fein- und Mittelsanden, die von tieferem Meeresboden umgeben ist und ausgeprägte Hänge aufweist. Sie ist wiederum mit dem angrenzenden Wattsockel verbunden, was einer Einstufung als Sandbank entgegensteht. Zudem belegen sowohl bathymetrische Daten (Bathymetrie-Raster Easy-GSH 2021, Abb. 38) als auch Beobachtungen im Feld, dass im zentralen Bereich dieser Fläche ein Teil bei Niedrigwasser trockenfällt. Da die Fläche nicht zu jeder Zeit mit Wasser bedeckt ist, scheint eine Einstufung als „sublitorale Sandbank“ ausgeschlossen.

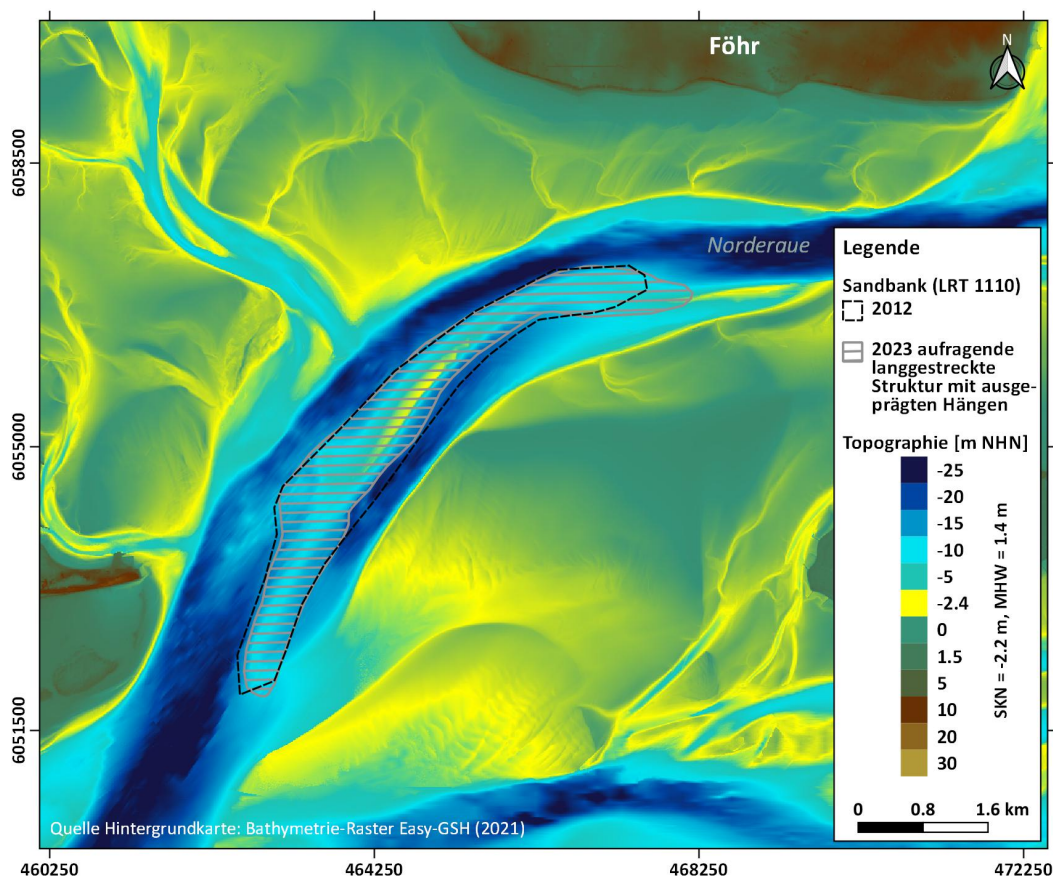


Abb. 38: Bathymetrische Karte (Easy-GSH, 2021) der Norderaue. Schwarz gestrichelt ist die 2012 kartierte Sandbank dargestellt, grau schraffiert ist eine längliche, aufragende Struktur, die von tieferem Meeresboden umgeben ist. Sichtbar ist, dass Teile dieser Fläche bei Niedrigwasser trockenfallen.

Sandbank Heverstrom: 2013 wurde im Heverstrom eine Fläche von 1,12 km² als Sandbank ausgewiesen, die anhand ihrer Form, Hangneigung, Längenverhältnis und umliegender Morphologie des Meeresbodens entsprechend des gutachterlichen Kartierentwurfs (Argument, 2003) und FFH-Definition

als Lebensraumtyp 1110 klassifiziert wurde. In sehr ähnlicher Lage und Größe konnte 2022 eine Fläche von 0,16 km² als Sandbank detektiert werden, weshalb die Fläche als recht lagestabil eingeschätzt wird.

Tabelle 6: Vergleich der Größen der Sandbänke (LRT 1110) im Heverstrom 2013 zu 2022 und in der Norderaue 2012 zu 2023.

Lebensraumtyp	Gebiet	Jahr	Größe [km ²]
1110 (Sublitorale Sandbank)	Norderaue	2012	4,8
Entspricht nicht den Vorgaben (in Teilen trockenfallend)	Norderaue	2023	
1110 (Sublitorale Sandbank)	Heverstrom	2012	1,12
1110 (Sublitorale Sandbank)	Heverstrom	2022	1,16

Biogene Riffe Dwarsloch & Föhr: Erneute Untersuchungen biogener Riffstrukturen im Dwarsloch und bei Föhr zeigen, dass sich kaum räumliche Veränderungen feststellen lassen. 2021 lag die kartierte Fläche des biogenen Riffs im Dwarsloch bei 0,29 km² und 2023 bei 0,25 km². Bei Föhr war es 2021 eine Fläche von 0,15 km² und 2023 von 0,16 km². Anhand der Sonaraufnahmen zeichnet sich ab, dass der „Riffcharakter“ mit Strukturen, die den Meeresboden überragen, zunehmend weniger prägnant ist, aber dennoch deutliche Anzeichen von hartschaligen Organismen am Meeresboden vorliegen. Dredgeproben belegen, dass die sichtbare Signatur auf Vorkommen der heimischen Miesmuschel (*Mytilus edulis*), ca. dreimal so viele, meist sehr große Austern (*Magallana gigas*) und einem sehr großen Anteil an Pantoffelschnecken (*Crepidula fornicata*) zurückzuführen ist. In beiden Gebieten sind mittelgroße Miesmuscheln teilweise von Pantoffelschnecken besiedelt. Umgekehrt finden sich jedoch nicht nur juvenile Miesmuscheln auf Austernschalen, sondern auch auf dem Gehäuse der Pantoffelschnecken, wobei allerdings der Anteil juveniler Miesmuscheln am Dredgeinhalt sehr gering ist. Verwachsungen oder Verklumpungen von Miesmuscheln treten kaum in den Untersuchungsgebieten auf.

Mit einem bereits geänderten Dredgeprotokoll soll das Verhältnis der lebenden Miesmuscheln, Austern und Pantoffelschnecken in den kommenden Jahren mit den Daten von 2023 als Ausgangswert weiter untersucht werden. Unklar ist, ob sich der Rückgang der Miesmuscheln mit der Zunahme von invasiven Arten wie Austern und Pantoffelschnecken weiterhin fortsetzt und ob die biogenen Riffe Dwarsloch und Föhr drohen, zukünftig zu verschwinden. Daher sollte die Entwicklung der Muschelbänke in einem 2-Jahres-Zyklus kontinuierlich untersucht werden.

Biogenes Riff Gröde: 2020 wurden zwar zwei Flächen (0,18 km²) mit Muschelvorkommen anhand von Sonaraufnahmen und Dredgeproben abgegrenzt, doch die Mischvorkommen bestanden nur aus wenigen Miesmuscheln und überwiegend Austern. Zudem waren wie schon auf den Muschelbänken von Dwarsloch und Föhr Pantoffelschnecken weit verbreitet. In aktuellen Untersuchungen (2023) zeigt sich in der Sonarsignatur in ähnlicher Lage zu vorherigen Funden nur eine schwache Ausprägung schillführenden Sedimentes mit Muschelvorkommen, die sehr indifferent ist und kaum aufragende Strukturen aufzeigt. Dredgezüge auf den Muschelvorkommen führten nur vereinzelte Miesmuschelexemplare und hauptsächlich Austern, Pantoffelschnecken, sowie Schill zutage. Die insgesamt 0,3 km² großen Flächen sind demzufolge zu indifferent, um als biogenes Riff eingestuft zu werden. Weitere Einzelfunde der Auster und von Pantoffelschnecken stammen aus den weiter südlich entnommenen Greiferproben auf schlickigen sehr feinen Sanden, wo die Exemplare größtenteils versunken im Substrat vorliegen.

Muscheln/Torfvorkommen Föhr: Im Rahmen der Projektarbeiten sollte zudem untersucht werden, ob in der Föhrer Ley nach wie vor Hartsubstrate wie Torfe vorliegen und ob sich an solchen Stellen Muscheln befinden. In der Föhrer Ley und dem Dagebüller Fahrwasser sind in den Sonaraufnahmen zahlreiche Torfvorkommen zu erkennen (Abb. 39). Angrenzend an solche Flächen wurden Dredgezüge durchgeführt, wobei jedoch in den meisten Fällen Sedimente mit Schill und/oder Torf, jedoch keine lebenden Muscheln vorkamen. Lediglich im Nordosten grenzt an ein solches Torfvorkommen die oben beschriebene Muschelbank. Etwas weiter südlich davon liegt Torf mit Klei vor, an den im Sonar eine sichtbar „krisselige“ Oberfläche grenzt. Hierbei handelt es sich um ein dichtes Vorkommen von Pantoffelschnecken (2023: 0,07 km²). Im Süden des Dagebüller Fahrwassers liegt Torf mit angrenzendem Schill vor. Im Norden der Föhrer Ley befinden sich ebenfalls großflächigere Torfvorkommen, die in den Proben allerdings keine Anzeichen auf lebende Muscheln gaben. Südlich davon tritt an der Ostkante der Föhrer Ley Torf zunehmend mit Kies bzw. an kiesführenden Sedimenten auf. Die umliegenden Sedimente Richtung Wattflächen sind schillführend.

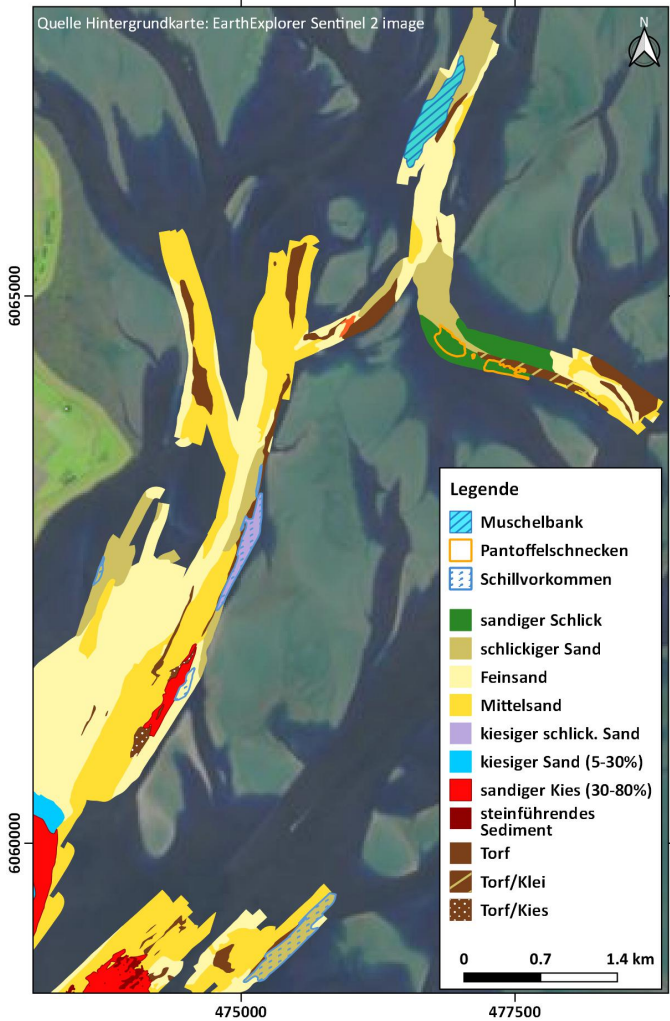


Abb. 39: Torfvorkommen (braun), Muschelbänke (blau), Schillvorkommen (blau gestrichelt) und Pantoffelschnecken (orangene Linie) in der Föhrer Ley 2023.

Tabelle 7: Vergleich der Größen biogener Riffe (LRT 1170) im Dwarsloch und bei Föhr 2021 zu 2023 und von Muschelvorkommen vor Gröde 2020 zu 2023.

Lebensraumtyp	Gebiet	Jahr	Größe [km²]
1170 (Biogenes Riff, Mischbank)	Dwarsloch	2021	0,29
1170 (Biogenes Riff, Mischbank)	Dwarsloch	2023	0,25
1170 (Biogenes Riff, Mischbank)	Föhr	2021	0,15
1170 (Biogenes Riff, Mischbank)	Föhr	2023	0,16
Pantoffelschnecken	Föhr	2023	0,07
Muschelvorkommen (wenige Miesmuscheln, indifferent)	Gröde	2020	0,18
Muschelvorkommen (wenige Miesmuscheln, indifferent)	Gröde	2023	0,30

Biogene Riffstrukturen Hörnumtief: Bei der 0,28 km² großen Fläche mit flächendeckender Miesmuschelbedeckung im Hörnumtief handelt es sich aller Wahrscheinlichkeit nach nicht um ein biogenes Riff. Diese Fläche grenzt direkt an die abgesteckte Muschelkulturfläche. Zudem belegen Fischereispur-

ren im angrenzenden schlickigen Sediment, dass die Fläche bewirtschaftet wurde. Weitere Anzeichen biogener Riffstrukturen gehen aus den Sonaraufnahmen im untersuchten Abschnitt des Hörnumtiefs nicht hervor.

Geogenes Riff Süderhever/Rochelsteert a): Der 0,38 km² große Bereich steinführender Sedimente im Gebiet der Süderhever/Rochelsteert zeichnet sich durch zahlreiche im Sonar sichtbare Steine und Blöcke aus. Die in diesem Gebiet entnommene Greiferprobe wies zudem hohe Anteile an Mittel- und Grobkies sowie Schill und zahlreiche Seesterne auf. Zudem sind diese grobklastischen Komponenten überwiegend von *Balanoiden*, *Hydrozoen* und *Bryozoen* bewachsen, was darauf hindeutet, dass das Material nicht fortwährend umgelagert wird, sondern ein relativ lagestabiles Sohlpflaster bildet. Auf eine gewisse sediment- und morphodynamische Stabilität dieses Gebietes scheint auch das Ergebnis eines Vergleichs der Flächen steinführender Sedimente 2016 (0,43 km²) zu 2022 (0,38 km²) hinzudeuten (Abb. 40a). Die Ausdehnung und Lage der Flächen sind nahezu identisch. Entsprechend der vorliegenden FFH Definition wird diese Fläche der Kategorie „geogenes Riff“ zugeordnet.

Geogenes Riff Norderhever b): Im tieferen Bereich der Rinne der Norderhever liegt der 0,5 km² große Bereich mit flächenhaft sichtbaren Steinen und Blöcken, der inmitten kiesdominierter Sedimente liegt (Abb. 40b). Im Vergleich zu Altdaten deckt dieser Bereich ehemalige steinführende Sedimente ab, was auf eine hohe räumliche Stabilität hindeutet, und dehnt sich zudem weiter in den Osten aus (2010: 0,29 km², 2021/2022: 0,50 km²). Greiferproben in dem durch Steine und Blöcke dominierten Gebiet zeigen zudem Vorkommen von bewachsenem Kies (13,8 - 56,4%), Seesternen und Krebsen. Auch dieses Vorkommen würden wir als „geogenes Riff“ einordnen.

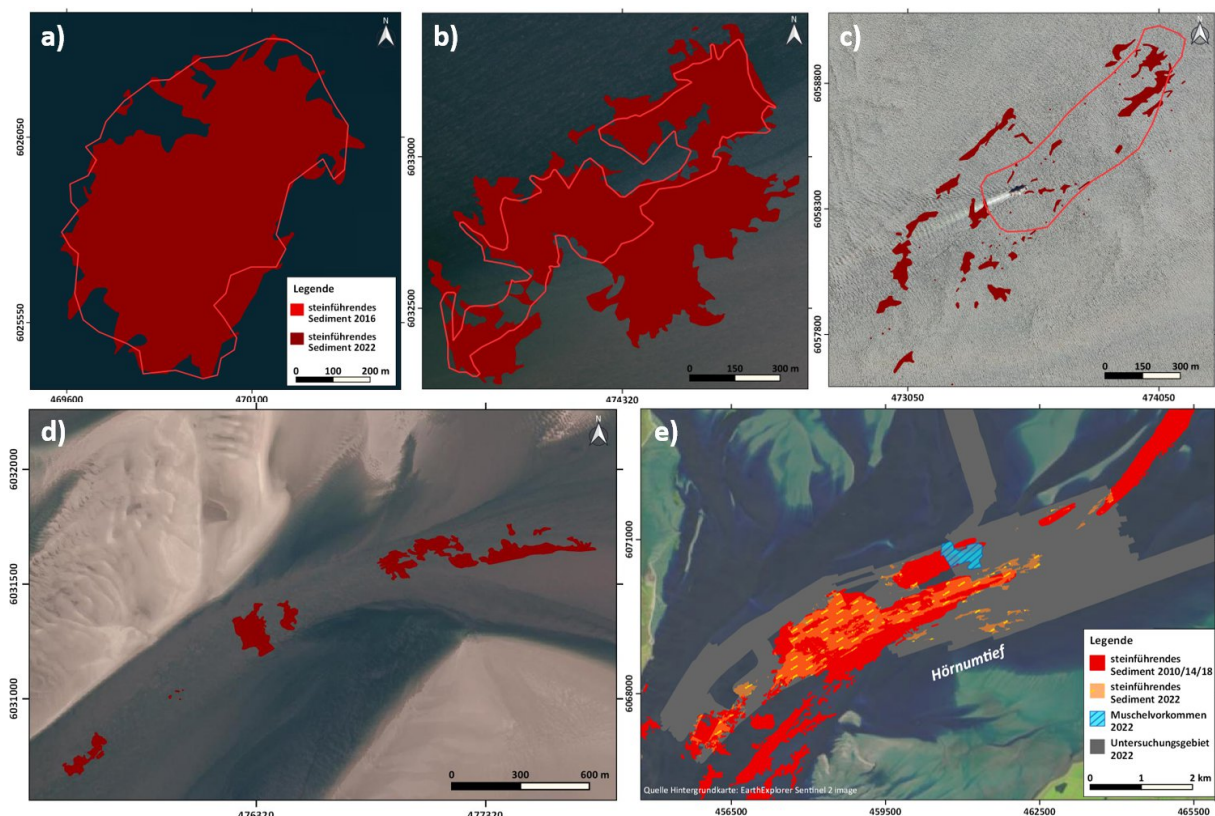


Abb. 40: Übersicht über die aktuellen Flächen steinführender Sedimente (rote Flächen a-d und gelbgestrichelte Fläche in e) im Vergleich zu den ehemals als steinführendes Sediment/geogenes Riff kartierten Flächen. a) Süderhever/Rochelsteert 2016 vs. 2022, b) Norderhever 2010 vs. 2021/22, c) Norderaue 2012 vs. 2023, d) Kolumbusloch 2022, e) Hörnumtief Ost 2010/14/18 vs. 2022. In d) gab es in Altdaten keine flächenhafte Ausweisung von Steinen/Blöcken. In e) handelt es sich bei den roten Flächen um die aggregierten Ergebnisse steinführender Sedimente aus 2010, 2014 und 2018.

Geogenes Riff/Steine Norderaue c): Die 2012 als steinführendes Sediment ausgewiesene Fläche ist uns nicht als Riff gemeldete Fläche bekannt. Untersuchungen aus 2023 zeigen, dass immer wieder einige zusammenhängende Bereiche mit Steinen auftreten, die Vorkommen jedoch keine größere zusammenhängende Struktur bilden (2012: 0,25 km², 2023: 0,06 km²) (Abb. 40c). Es handelt sich viel mehr um Kies, der stellenweise mit Steinen durchsetzt ist. Aufgrund dessen würden wie die Steinvorkommen in der Norderaue nicht als „geogenes Riff“ einstufen.

Steinvorkommen Kolumbusloch d): 2022 konnten im Kolumbusloch/Heverstrom Bereiche von insgesamt 0,08 km² als Steine/Blöcke im Sonarbild detektiert werden (Abb. 40d). Sie befinden sich auf kiesführendem bzw. grobsandigem Sediment mit Schill. Sowohl Steine als auch Kiese und Schill sind bewachsen und deuten darauf hin, dass das Substrat nicht fortwährend umgelagert wird.

Geogenes Riff Hörnumtief e): Bei den Steinen und Blöcken im Hörnumtief handelt es sich um „Rest-sedimente“ erosiv aufgearbeiteter eiszeitlicher Gletscherablagerungen, die ausschließlich in den strömungsdominierten Bereichen erodierter Sedimente erscheinen. Die im Sonar sichtbaren Steine und Blöcke treten auf kies- und schillführenden Sedimenten auf, welche in allen Greiferproben stark bewachsen sind. Stellenweise sind die Vorkommen auf kiesigem Substrat etwas lückenhafter, ansonsten handelt es sich um dichte Vorkommen. Wir möchten an dieser Stelle hervorheben, dass es Limitierungen in der Detektion von Steinen/Blöcken aufgrund der Auflösung der Sonaraufnahmen von 17 cm gibt. Um nachvollziehbar als Stein identifiziert zu werden, sollte der Durchmesser 34 cm betragen (Beschreibung durch 2 Pixel). Unter günstigen Bedingungen können auch kleinere Objekte identifiziert werden (Ricklefs & Trampe, 2021). Auch im Hörnumtief treten die detektierten Steine und Blöcke auf ehemals detektierten Flächen auf, was wie schon in den vorherigen beschriebenen geogenen Riffstrukturen für die Stabilität des Riffs spricht. Reduziert man den Datensatz aggregierter Steinvorkommen von 2010/14/18 auf die Untersuchungsfläche von 2022 ergibt sich eine Fläche von 3,4 km² (2010/14/18) im Vergleich zu 2,62 km² (2022) auf derselben Fläche (Abb. 40e). Lediglich am Randbereich im Südosten sind im Sonar keine Steine sichtbar. Es ist möglich, dass durch die Aggregation der Datensätze 2010, 2014, 2018 größere zusammenhängende Flächen erzeugt werden als es bei einem Vergleich der Flächen von Jahr zu Jahr der Fall wäre. Da allerdings die befahrene Fläche der Jahre unterschiedlich war, erscheint ein solcher Vergleich an dieser Stelle nicht sinnvoll. Unterschiede in der Flächengröße ergeben sich zudem, da die Abgrenzung 2022 recht fein war und größere Lückenbereiche nicht in das geogene Riff einbezogen wurden.

Tabelle 8: Vergleich der Größen geogener Riffe (LRT 1170) bzw. Steinvorkommen/steinführender Sedimente in den Untersuchungsgebieten.

Lebensraumtyp	Gebiet	Jahr	Größe [km ²]
a) 1170 (Geogenes Riff)	Süderhever/Rochelsteert	2016	0,43
a) 1170 (Geogenes Riff)	Süderhever/Rochelsteert	2022	0,38
b) 1170 (Geogenes Riff, steinführendes Sed.)	Norderhever	2010	0,29
b) 1170 (Geogenes Riff, steinführendes Sed.)	Norderhever	2021/22	0,50
c) 1170 (steinführendes Sediment)	Norderaue	2012	0,25
c) 1170 (steinführendes Sediment, Kies)	Norderaue	2023	0,06
d) 1170 (steinführendes Sediment)	Kolumbusloch	2022	0,08
e) 1170 (Geogenes Riff)	Hörnumtief (<i>Gebiet Schwarzer</i>)	2010-18	3,40
e) 1170 (Geogenes Riff)	Hörnumtief (<i>Gebiet Schwarzer</i>)	2022	2,62

Sofern die kleineren Flächen steinführender Sedimente nicht als „geogenes Riff“ 1170 gewertet werden, sollten sie aufgrund des hohen Anteils von bewachsenem Kies und Schill als „KGS“-Fläche eingestuft werden.

b) Kommen in den jeweiligen Untersuchungsgebieten als §30-Flächen (KGS) einzustufende Harts-ubstrate vor? Wie hat sich Lage und Ausdehnung zu vorherigen Untersuchungen verändert?

Wir möchten betonen, dass die Einteilung der KGS-Flächen zum größten Teil anhand der sedimentologischen Informationen erfolgt. Bisher gibt es noch keine offizielle Artenliste, die angibt, welche Arten auf Kies-, Grobsand- und Schillgründen vorkommen müssen, um als „KGS“ eingestuft zu werden oder wie viele verschiedene Arten „artenreich“ definieren. Als „KGS“ werden nach Absprache mit der Nationalparkverwaltung Flächen mit einem Anteil von Kies >30%, Schillbedeckung, Grobsand, sowie Mischvorkommen, die zu 50% aus KGS bestehen, verstanden. Als „potentiell KGS“ werden Kiesvorkommen zwischen 20 und 30% aufgeführt.

Norderhever 2021/22: Im Norden der Norderhever konnte Grobsand mit einer Fläche von 0,43 km² in ähnlicher Lage zu der 2010 kartierten Grobsandfläche (1,07 km²), jedoch in kleinerer Ausdehnung ausgemacht werden. Sowohl damals auch 2021/2022 war der Grobsand stark von Sohltransportkörpern strukturiert, was auf eine stetige Umlagerung der Sedimente hindeutet. Vor dem Hintergrund der Substratinformation wäre dieser Bereich als „KGS“ einzustufen, er unterliegt jedoch einer gewissen Dynamik, was einer dauerhaften Besiedlung durch benthische Arten entgegenstehen würde.

Als „potentiell KGS“ wurden in der Norderhever aufgrund ihres Kiesanteils und Mischvorkommen die auf dem ehemals „Schill, Kies, Steine“ liegenden kiesigen Sande (Abb. 42) von bis zu 21,4% Kies im Norden (2) (0,23 km²), sowie auf der ehemaligen „Mittelsand, Kies, Schill“-Fläche Kies und Schill (4, 5) mit bis zu 21,1% Kies und 39,4% Schill eingestuft (0,49 km²). Der Fein- bis Mittelkies ist in den Proben in den meisten Fällen unbewachsen. Gleiches gilt für den Schill, der als ganze Schalen an der Oberfläche und als Schillbruch vorliegt (Abb. 41). Lediglich nahe der Steinvorkommen liegt Schill bewachsen vor (siehe oben links, Abb. 41).



Abb. 41: Greiferproben aus dem als „potentiell KGS“ eingestuften Bereichen mit Kies und Schill (2, 4) der Norderhever. Kies und Schill sind größtenteils unbewachsen. Lediglich die Probe nahe steinführender Sedimente weist Bewuchs auf.

Auch die „Kies, Schill“-Fläche (9) im mittleren Abschnitt, wo für 2010 kein KGS ausgewiesen wurde, ist als „potentiell KGS“ eingestuft. Auch hier liegt unbewachsener feiner Kies mit ca. 25,1% Kies und Schill vor (0,06 km²). Gleiches gilt für die potentielle Fläche im Süden (10), die auf der 2010 als „Grobsand“ detektierten Fläche liegt (0,37 km²) und nur leicht von *Bryozoen* überzogen ist. Wir möchten erneut betonen, dass die Einstufung in „KGS“ und „potentiell KGS“ basierend auf der Substratinformation geschieht. Insbesondere in den Bereichen 2, 4, 5 und 9 scheint das Material fortwährend umgelagert worden zu sein (unbewachsen).

Als „KGS“ werden die Grobsandflächen 1, 7 und 11 aufgrund ihres Substrates verstanden. Grobsand 1 (0,09 km²) befindet sich nördlich angrenzend an die ehemalige Fläche „Schill, Kies, Steine“ (2010), Grobsand 7 (0,51 km²) im südlichen Teil und darüber hinaus fortsetzend auf der früheren „Mittelsand, Kies, Schill“-Fläche und Grobsand 11 (0,60 km²) im Süden auf der 2010 als „Grobsand“ bezeichneten Fläche. Alle Grobsande im Untersuchungsgebiet sind stark von Sohltransportkörpern geprägt, was für eine intensive Sedimentdynamik spricht. Weiterhin zählen wir die „Kies, Schill“-Gebiete 3 (0,23 km²), 6 (0,20 km²) und 8 (1,78 km²) mit einem Kiesanteil von mehr als 30 Prozent und starkem Bewuchs (Abb. 42) mit *Hydrozoen*, *Bryozoen* und *Balanoiden* zu den KGS-Flächen. Die Bewuchsformen deuten darauf hin, dass sich das Material länger vor Ort vorliegt und so eine Besiedlung ermöglicht.



Abb. 42: Greiferproben aus dem als „KGS“ eingestuften Bereichen mit Kies und Schill (3, 8) der Norderhever 2022. Kies und Schill sind größtenteils bewachsen.

Allgemein kann man sagen, dass sich Grobsand, Kies, Schill sowie steinführende Sedimente nach wie vor in den tieferen Abschnitten der Rinne der Norderhever vorliegen. Im Vergleich mit den vorherigen KGS-Daten zeigt sich, dass 2021/2022 der gesamte Bereich immer wieder von Kiesen strukturiert wird, sich die Struktur allerdings nicht so weit ins Prielinnere fortsetzt wie 2010 (Abb. 43).

In Tabelle 9 werden die Kies-, Grobsand-, und/oder Schillflächen aus 2010 und 2021/2022 aufgeführt. Es wurde versucht, die Flächen einander gegenüberzustellen. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ehemaligen Flächen „Schill, Kies, Steine“ und „Mittelsand, Kies, Schill“ aneinandergrenzen und sich zudem die Grenzen der 2021/2022 detektierten Flächen nicht zwingend in diese Grenzen fassen lassen bzw. darüber hinausgehen können.

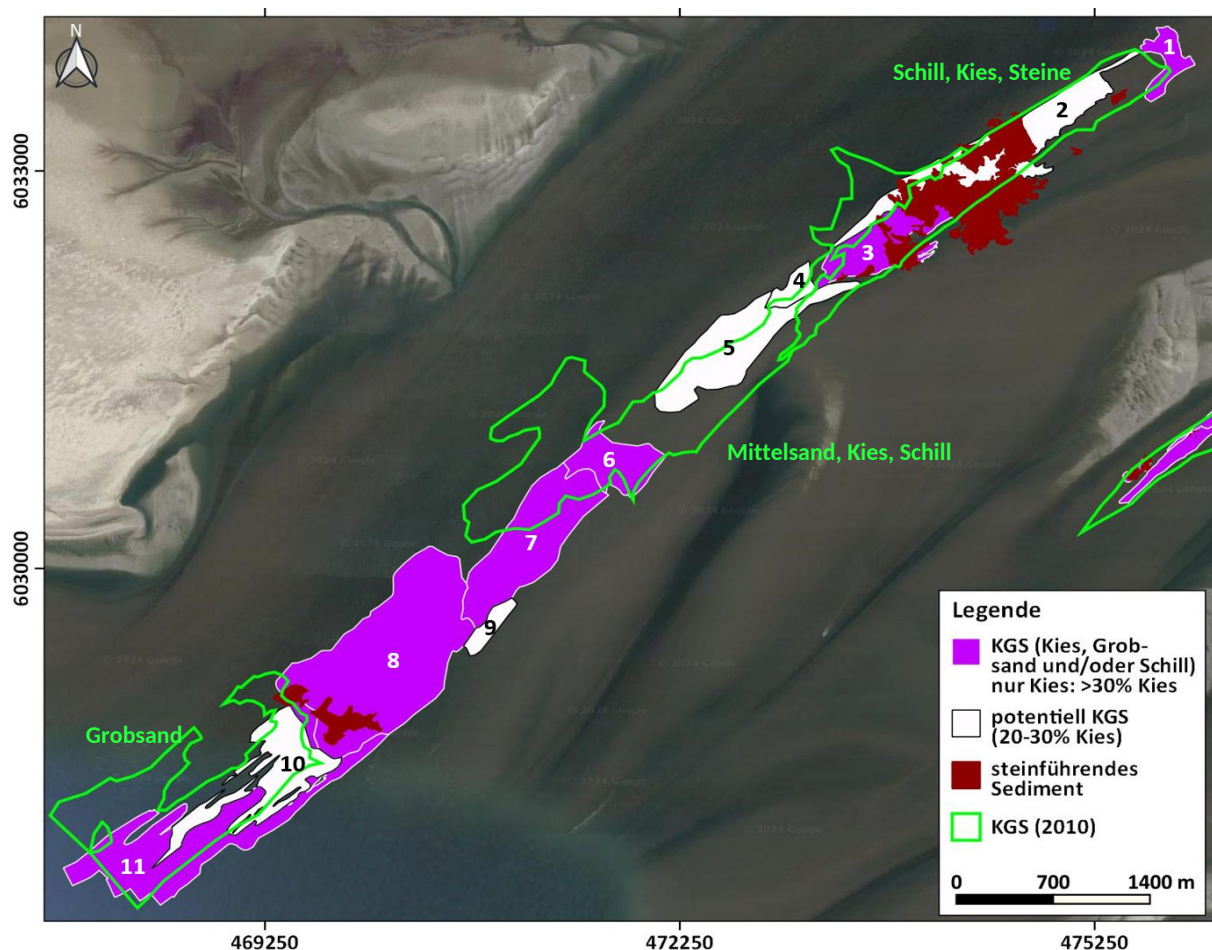


Abb. 43: Übersicht über die als „KGS“-Flächen (lila) und „potenziell KGS“ (weiß) detektierten Flächen 2021/2022 in der Norderhever im Vergleich zu den 2010 als KGS detektierten Flächen (grün).

Tabelle 9: Vergleich der Größen und Typ der KGS-Flächen im der Norderhever 2012 zu 2021/22.

KGS-Fläche Norderhever 2010		KGS-Fläche Norderhever 2021/22	
Typ	Größe [km ²]	Typ	Größe [km ²]
Grobsand (Nord)	1,07	Grobsand	0,43
Schill, Kies, Steine	1,04	Grobsand (1)	0,09
		Kies (3)	0,23
		Steine, steinführendes Sed.	0,50
		Pot. KGS 20-30% Kies (2)	0,37
Mittelsand, Kies, Schill	1,80	Kies, Schill (6)	0,20
		Grobsand (7)	0,51
		Pot. KGS 20-30% Kies, Feinkies, viel Schill unbewachsen (4)	0,06
		Pot. KGS 20-30% Kies, Feinkies, viel Schill unbewachsen (5)	0,43
2010 kein Kies, Grobsand, Schill in dem Zwischenbereich kartiert		Kies, Schill (8)	1,78
		Pot. KGS 20-30% Kies, Schill (9)	0,06
Grobsand (Süd)	1,14	Grobsand (11)	0,60
		Pot. KGS 20-30% Kies, Schill (10)	0,37

Kolumbusloch: Die 2022 als „KGS“-Grobsand (1) eingestufte Fläche (0,42 km²) ist zum Teil Bestandteil der kartierten Sandbank (Abb. 44). Es ist zu klären, ob sie dennoch als KGS-Fläche aufgeführt oder um den Teil der Sandbank reduziert wird. 2013 wurde im Kolumbusloch ein Gebiet mit Grobsand von 0,89 km² detektiert. 2022 lag ein Bereich mit durch Schillbruch geprägten Grobsand (2, 4) und in Teilen mit Fein- bis Mittelkies (3) und Steinen durchsetzter Sand in sehr ähnlicher Lage vor (Flächenvergleiche siehe Tabelle 10). Die Struktur ist lediglich etwas schmaler strukturiert und im zentralen Bereich etwas nach Norden verlagert.

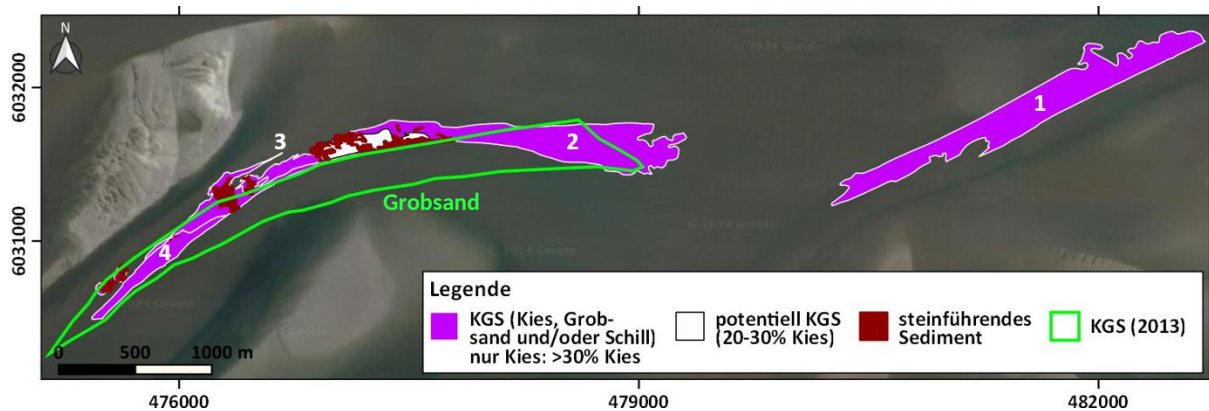


Abb. 44: Übersicht über die als „KGS“-Flächen (lila) und „potentiell KGS“ (weiß) detektierten Flächen 2022 im Kolumbusloch im Vergleich zu den 2013 als KGS detektierten Flächen (grün).

Schill und Kies sind in den Greiferproben unbewachsen (Abb. 45). Allein aufgrund der Substratinformation ist der Bereich vorerst als „KGS“ klassifiziert. Es deutet allerdings nichts auf eine Besiedlung hin.



Abb. 45: Greiferproben aus dem als „KGS“ eingestuften Bereichen mit Grobsand, Schill sowie Kies, Schill (2, 3) im Kolumbusloch 2022. Kies und Schill sind unbewachsen.

Tabelle 10: Vergleich der Größen und Typ der KGS-Flächen im Kolumbusloch 2013 zu 2022.

KGS-Fläche Kolumbusloch 2013		KGS-Fläche Kolumbusloch 2022	
Typ	Größe [km ²]	Typ	Größe [km ²]
Grobsand	0,89	Grobsand, Schill (2, 4)	0,44
		Kies, Schill (3)	0,09
		Steinführendes Sediment	0,08
		Pot. KGS 20-30% Kies, Schill	0,04
		KGS unklar: Grobsand (1) teils Sandbank	0,42

Heverstrom: Das untersuchte Gebiet im Heverstrom unterscheidet sich vom umliegenden schlickigen Sediment durch viel groben, großflächig mit Seepocken besetzten Schill (Abb. 46).



Abb. 46: Greiferproben aus dem als „KGS“- Schill eingestuften Bereich (1, 2) im Heverstrom 2022. Der Schill ist großflächig bewachsen.

Die mit „1“ gekennzeichnete Fläche (Abb. 47, lila) befindet sich zudem in demselben Bereich, der 2013 als „Schill, Steine“ kartiert wurde (grün). Hinweise auf Steinvorkommen aus Sonardaten oder Greiferproben gibt es für 2022 nicht (2013: 0,30 km², 2022: 0,39 km²). Auf der Schillfläche im Westen von 2013 (grün) liegt 2022 lediglich sandiger Schlick vor. Eine weitere, ebenfalls bewachsene Schillfläche (2) befindet sich im mittleren Teil der untersuchten Fläche (2022: 0,08 km²). Aufgrund der Schillbedeckung und des Bewuchses werden die Flächen 1 und 2 als „KGS“ eingestuft (Flächenvergleiche siehe Tabelle 11).

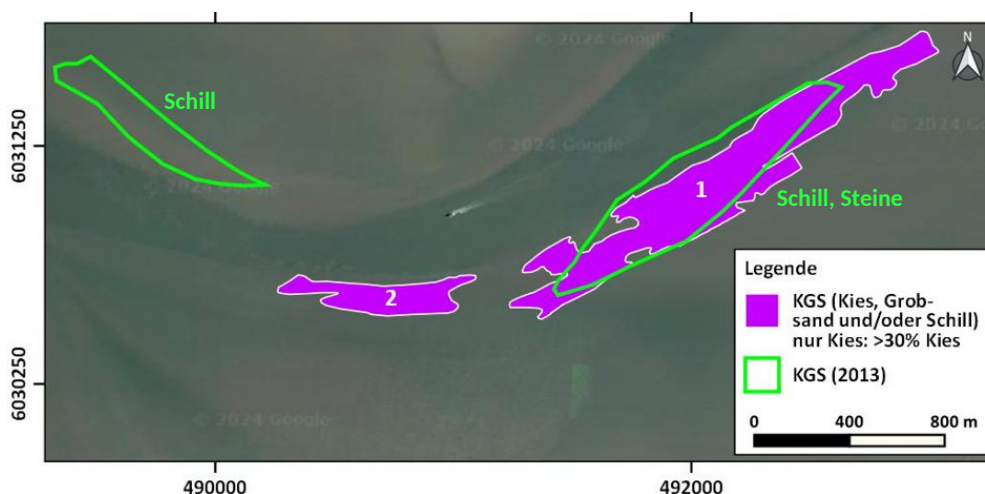


Abb. 47: Übersicht über die als „KGS“-Flächen (lila) detektierten Flächen 2022 im Heverstrom im Vergleich zu den 2013 als KGS detektierten Flächen (grün).

Tabelle 11: Vergleich der Größen und Typ der KGS-Flächen im Heverstrom 2013 zu 2022.

KGS-Fläche Heverstrom 2013		KGS-Fläche Heverstrom 2022	
Typ	Größe [km ²]	Typ	Größe [km ²]
Schill (West)	0,12 →	Kein Schill	
Schill, wenige Steine	0,30 →	Schill (1, Ost)	0,39
		Schill (2, Mitte)	0,08

Hörnuntief: Für einen Gesamtvergleich mit den ehemaligen KGS-Flächen wurden diese aggregiert und um die aggregierten steinführenden Sedimente reduziert, da es hier zu Überschneidungen kam und eine Doppelbelegung, also dieselbe Fläche als LRT 1170 (geogen) und als „KGS“, nicht möglich ist.



Abb. 48: Greiferproben aus dem als „KGS“ eingestuftem Bereich im Hörnuntief 2022. Kies und Schill sind großflächig bewachsen.

Die KGS-Gesamtfläche 2010/18 betrug somit 4,04 km², zum größten Teil bestehend aus Grobsand und/oder Kies (grün, Abb. 49). Im Untersuchungsgebiet liegen 2022 als „KGS“ eingestufte Flächen (lila, Abb. 49) von 0,64 km² Schill (b. = bedeckend), 0,19 km² Schill b. mit Mittel-/Grobsand, 0,23 km² Schill b. mit Kies, 1,33 km² Grobsand und 0,99 km² sandiger Kies mit mehr als 30% Kiesanteil mit Schill vor (Tabelle 12). Auffälligstes Merkmal fast aller Greiferproben in diesen „KGS“-Gebieten ist, dass sowohl der Schill als auch Kies und Steine in der Rinne starken Bewuchs mit *Bryozoen*, *Balanoiden* und Epi-phyten aufweisen (Abb. 48). Krebse und Seesterne sind ebenfalls in den Greiferproben vertreten. Bereits die biologischen Untersuchungen des BASEWAD-Projektes bestätigen, dass die Hartsubstrate im Hörnuntief ein *Hotspot* der Artenvielfalt zahlreicher hartsubstratgebundener Arten sind.

Darüber hinaus gibt es Flächen von insgesamt 0,27 km², die einen Kiesanteil zwischen 20-30% aufweisen und als potentielle KGS-Fläche (weiß) aufgeführt werden. Es treten zudem zwei Flächen auf, die einen Anteil von 17% Kies und mal mehr mal weniger Schillbedeckung aufweisen (0,87 km² und 0,07 km²), sowie eine Fläche von 0,31 km², die nicht eindeutig klassifizierbar ist (Mittel-/Grobsand). Sie werden daher als „unklar“ (gelb) bezeichnet.

Dass in Abbildung 49 weite Teile keine KGS-Flächen für 2010/18 aufweisen, liegt daran, dass diese Flächen bereits durch geogene Riffe belegt waren. Die als (1) gekennzeichnete Fläche weist 2022 kiesigen Sand auf, wobei der Kiesanteil jedoch unter 20 Prozent liegt, sodass die Fläche nicht in den KGS-Datensatz eingeflossen ist. Bei der als (2) gekennzeichneten Fläche handelt es sich im Westen um mit Steinen durchsetzten kiesigen Sand mit Kies um die 17%, welcher als „potentiell KGS unklar“ beurteilt wurde. Im Osten schließen sich daran Mittel- und Feinsande an.

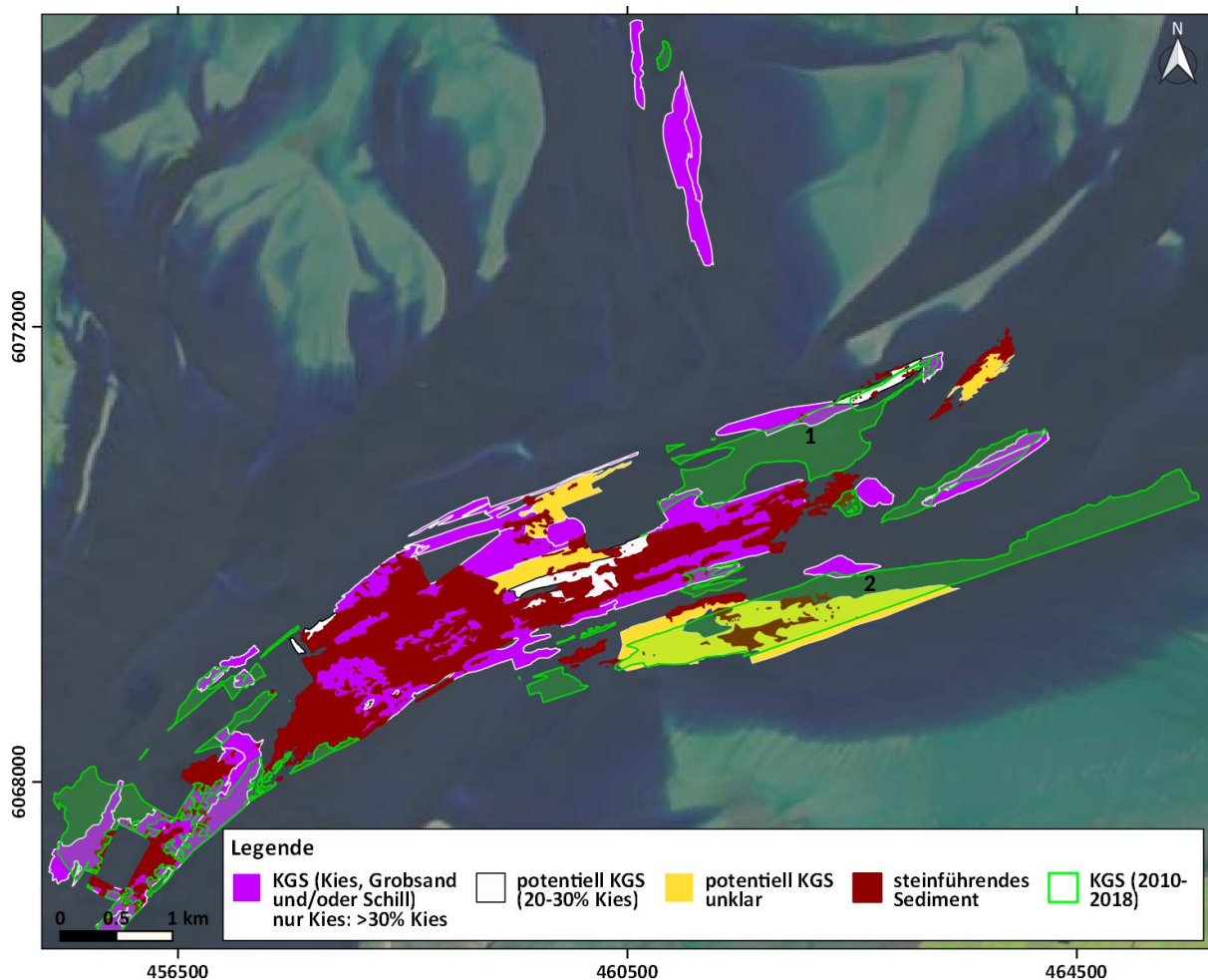


Abb. 49: Übersicht über die als „KGS“-Flächen (lila) und „potentiell KGS“ (weiß) und „unklar“ (gelb) detektierten Flächen 2022 im Hörnumtief im Vergleich zu den 2010/2018 als KGS detektierten Flächen (grün). Der ehemalige KGS-Datensatz wurde um die geogenen Riffe reduziert, da es nicht zu einer Doppelbelegung kommen kann.

Tabelle 12: Vergleich der Größen und Typ der KGS-Flächen im Hörnumtief 2010/18 zu 2022.

KGS-Fläche Hörnumtief 2010/18		KGS-Fläche Hörnumtief 2022	
Typ	Größe [km ²]	Typ	Größe [km ²]
Grobsand, Kies (aggregierte KGS-Flächen reduziert um steinführen- des Sediment)	4,04	Schill bedeckend (b.)	0,64
		Schill b., Mittel-/Grobsand	0,19
		Schill b., Kies	0,23
		Grobsand	1,33
		Sandiger Kies >30% Kies, Schill	0,99
		Pot. KGS 20-30% Kies	0,27
		Pot. KGS unklar: 17% Kies mit mal mehr mal weniger Schill an der Oberfläche	0,87 + 0,07
		KGS unklar: Mittel-/ Grobsand	0,31

Gröde: 2023 kam in den Greiferproben im Gebiet Gröde kaum noch Schill vor. Lediglich nordöstlich der Muschelvorkommen, im Übergang zum Mittelsand und auf schlickigem Feinsand südlich von Gröde konnte durch Greiferproben ein Schillgehalt von 17,1 bis 23,6% nachgewiesen werden (Abb. 50). Das Material geht dabei auf ein breites Spektrum im Watt lebender Mollusken zurück und tritt vor-

rangig an der Sedimentoberfläche auf, wobei es sich verstärkt um Schillbruch handelt, welcher einen Aufwuchs mit *Bryozoen* aufweist. Die Schillvorkommen treten entlang der nördlichen Prielkante auf (2020: 1,24 km², 2023: 0,30 km²). Dieses Vorkommen wird derzeit als „KGS“ eingestuft. Sofern die unter a) aufgeführten Flächen nicht als „potentielles Riff“ gewertet werden, sollten diese zusammen mit den eben aufgeführten Schillflächen ebenfalls als KGS-Schill klassifiziert werden, da in Dredgezügen neben dem Lebendanteil von Muscheln und Pantoffelschnecken auch Schill nachgewiesen wurde.

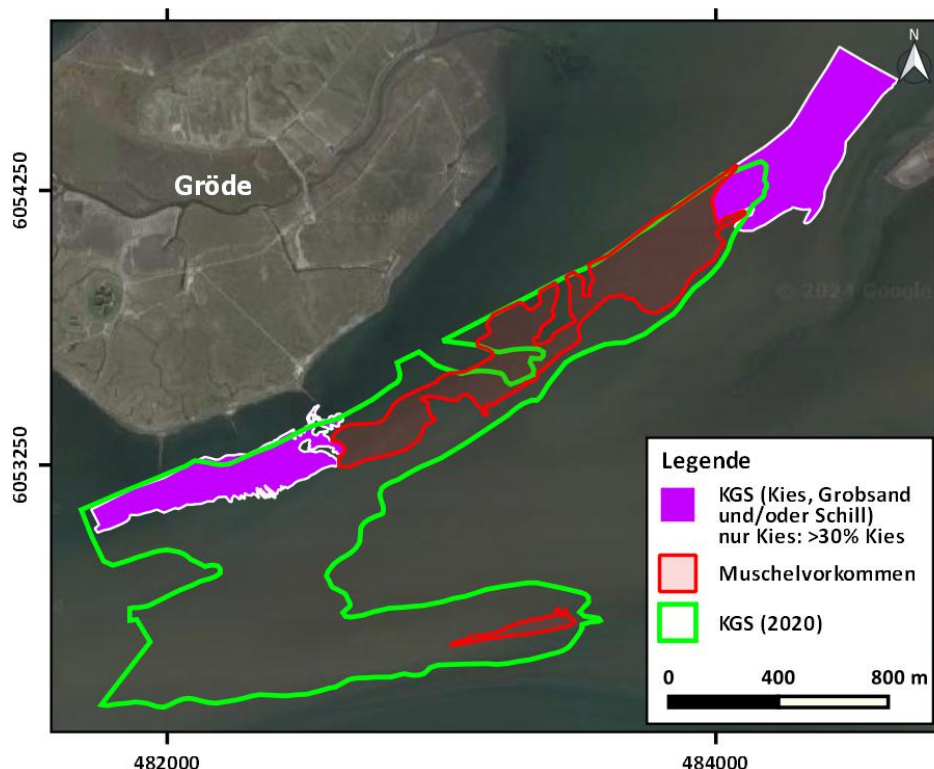


Abb. 50: Übersicht über die als „KGS“-Flächen (lila) detektierten Schill-Flächen 2023 bei Gröde im Vergleich zu den 2020 als KGS detektierten Flächen (grün). In rot dargestellt sind die Muschelvorkommen 2023.

Tabelle 13: Vergleich der Größen und Typ der KGS-Flächen bei Gröde 2020 zu 2023.

KGS-Fläche Gröde 2020		KGS-Fläche Gröde 2023	
Typ	Größe [km ²]	Typ	Größe [km ²]
Schill	1,40 →	Schill	0,30
		Muschelvorkommen, Schill	0,30

Norderaue: In der Norderaue werden die rippeldominierten Grobsandflächen 6 (0,32 km²), 10 (0,12 km²) und 11 (0,86 km²) als „KGS“ eingestuft (Abb. 52). Die Fläche im Osten tritt angrenzend an kiesführende Sedimente auf und wurde 2012 noch nicht detektiert. Die beiden anderen Flächen decken sich sehr gut mit den früheren Ergebnissen und sind immer wieder mit Feinkies und Schillbruch (blank) durchsetzt.

Ausgedehnte Bereiche kiesführender Sedimente zwischen 33 und 73,8% Kiesanteil erstrecken sich vom Wyker Hafen entlang der Nordkante der Norderaue sowie im Übergang des Dagebüller Fahrwassers in die Norderaue. Für die Kiesbereiche 5 (1,00 km²), 7 (1,29 km²) und 9 (1,51 km²) wurde 2012, wenn auch kleinräumiger, bereits „KGS“-Kies ausgewiesen. Aufgrund des hohen Kiesanteils und dem starken Bewuchs von *Hydrozoen*, *Bryozoen* und *Balanoiden* (Abb. 51) werden sie als „KGS“ eingestuft.

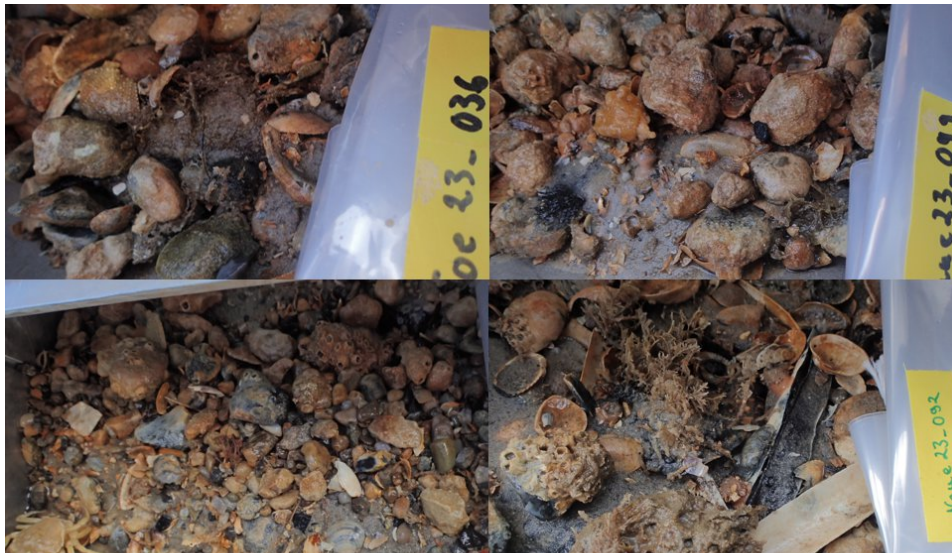


Abb. 51: Greiferproben aus dem als „KGS“ eingestuften Kies/Schill-Flächen in der Norderaue 2023.

Auf der Kiesfläche 7 treten neben Kies und Schill zudem im Sonar sichtbare Steine auf. Aufgrund der eher kleinräumigen und verteilten Vorkommen wird dieses Vorkommen wahrscheinlich nicht als „Riff“ eingestuft werden können und sollte zu den „KGS“-Flächen gezählt werden. Bislang werden die Flächen allerdings getrennt voneinander im Datensatz aufgeführt.

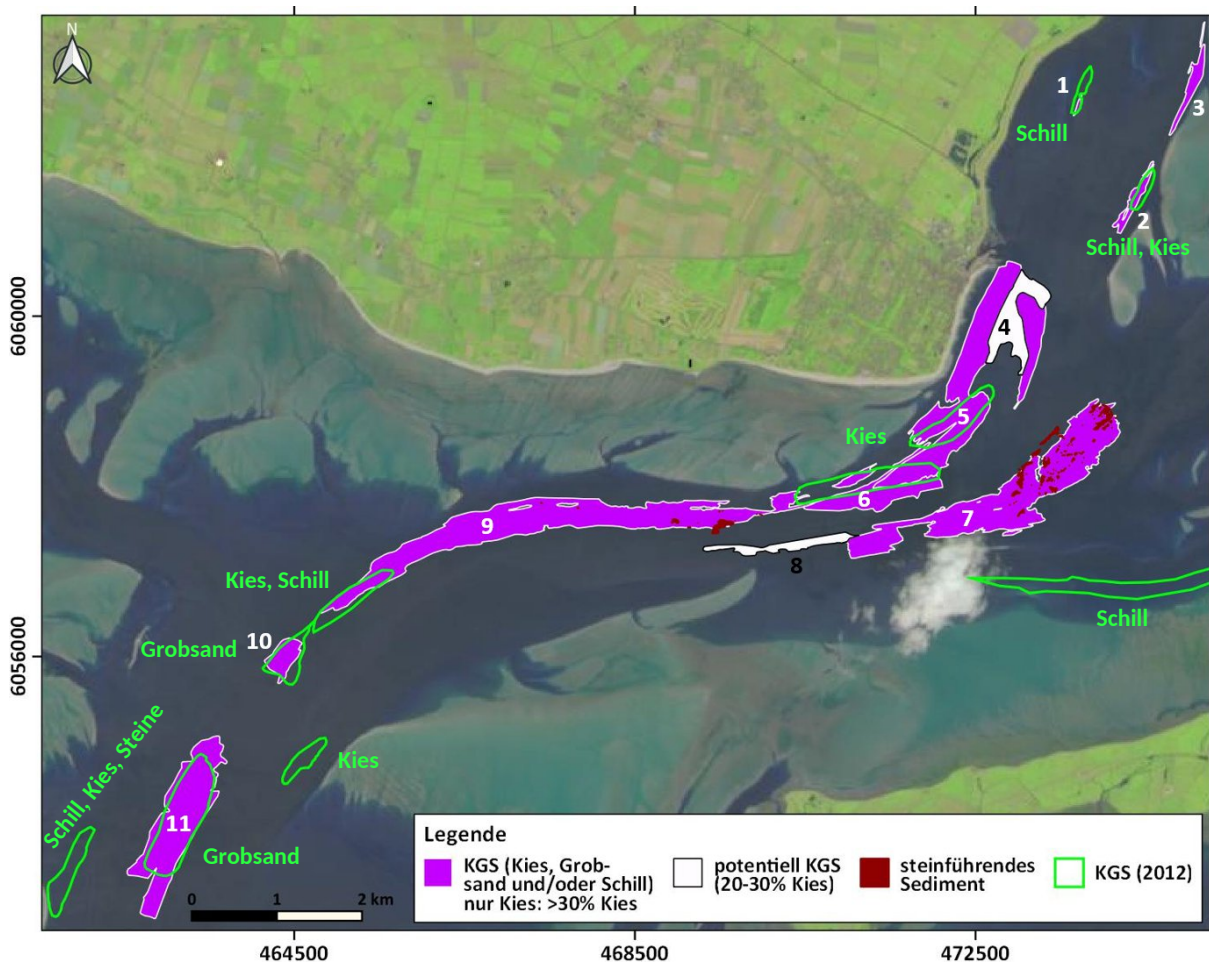


Abb. 52: Übersicht über die als „KGS“-Flächen (lila) und „potenziell KGS“ (weiß) detektierten Flächen 2023 in der Norderaue im Vergleich zu den 2012 als KGS detektierten Flächen (grün).

Auch die schilldominierten Flächen 1 (0,007 km²), 2 (0,07 km²) und 3 (0,09 km²) weisen einen starken Bewuchs auf und werden als „KGS“ eingestuft. KGS 1 und 2 liegen im Bereich ehemals detektierter Schill- bzw. Schill/Kies-Flächen, wobei Fläche 1 kleiner als 2012 ausfällt (2012: 0,05 km², 2023: 0,007 km²), und sich die Schill/Kies-Fläche 2 weiter entlang der Torfkante nach Norden und Süden ausdehnt (2012: 0,06 km², 2023: 0,07 km²). Die Schillbank (2012) südlich des Dagebüllers Fahrwasser konnte nicht befahren werden.

Bei den als „potenziell KGS“ eingestuften Flächen 4 (0,32 km²) und 8 (0,16 km²) handelt es sich um kiesige Sand mit einem Kiesgehalt von 27,2/28,9% und wiederum starken Bewuchs. Unter Umständen können die Flächen sogar als „KGS“ eingestuft werden, denn der Kiesanteil liegt an der Grenze zu dem festgesetzten Wertebereich. Zumal zu bedenken ist, dass die Probennahme und somit das Ergebnis weitestgehend von der Unterprobe aus dem Greifer abhängig ist.

Die südlichste ehemalige Kies-Fläche zeigte in den Greiferproben von 2023 nur noch Sand mit wenig Schill auf. Etwas südlich davon befand sich kiesiger Sand mit sehr wenig Kies (~14%), der unbewachsen war. Daher wurde in diesem Bereich keine KGS-Fläche ausgewiesen.

Die 2012 als „Schill, Steine, Kies“ bezeichnete Fläche bei Wittdün war 2023 geprägt durch *Lanice* und etwas Schill, weshalb auch dieses Gebiet nicht als „KGS“ gewertet wird.

Tabelle 14: Vergleich der Größen und Typ der KGS-Flächen in der Norderaue 2012 zu 2023.

KGS-Fläche Norderaue 2012			KGS-Fläche Norderaue 2023	
Typ	Größe [km ²]		Typ	Größe [km ²]
Schill	0,05	→	Schill (1)	0,007
Schill, Kies	0,055	→	Schill, Kies (2)	0,07
			Schill, Kies (3)	0,09
Kies	0,62	→	Kies (5)	1,00
			Grobsand (6)	0,32
			Kies (7)	1,29
Schill	0,52	→	Nicht befahrbar	
Kies, Schill	0,18	→	Kies (9)	1,51
Grobsand	0,16	→	Grobsand, Kies (10)	0,12
Grobsand	0,55	→	Grobsand, Kies, Schill (11)	0,86
Kies	0,09	→	Wenig Kies	
Schill, Kies, Steine	0,18	→	Lanice	
			Pot. KGS 20-30% Kies (4)	0,32
			Pot. KGS 20-30% Kies (8)	0,16

c) Treten in den Untersuchungsgebieten dichtere Bestände von *Lanice* auf?

Röhrenwürmer, und insbesondere die Art *Lanice conchilega*, sind als Habitatbildner bekannt, denn bei hoher Dichte können sie mit ihren Röhren riffähnliche Strukturen bilden, die ein neues Habitat für eine Vielzahl von Arten bereitstellen. Zudem beeinflussen sie in lokaler Umgebung die Strömungsverhältnisse (BioConsult, 2022). Bei ausreichender Besiedlungsdichte kann der Wurm seinen Lebensraum durch die hügelartige Akkumulation von meist Sanden gestalten.

Im Norden der Norderhever kamen in der Greiferprobe 5 *Lanicer*röhren vor, ohne eine signifikante Signatur für eine flächenhafte Abgrenzung aufzuweisen. Auch im Übergang zum Heverstrom auf schlickig, kiesigem Sand und dem angrenzenden steinführendem Sediment wurden mehrere *Lanice* ohne entsprechende Signatur gefunden. Im Süden der Norderhever hingegen bildet der dichte *Lanice*-Bestand (Abb. 53) auf dem schlickigen Feinsand angrenzend an das gröbere Sediment prägnante Strukturen aus (2021/2022: 0,29 km²). Im Kolumbusloch kam lediglich eine Röhre in den Proben vor (Abb. 54).



Abb. 53: Greiferprobe mit dichtem *Lanice*-Vorkommen im Süden der Norderhever 2021/2022.

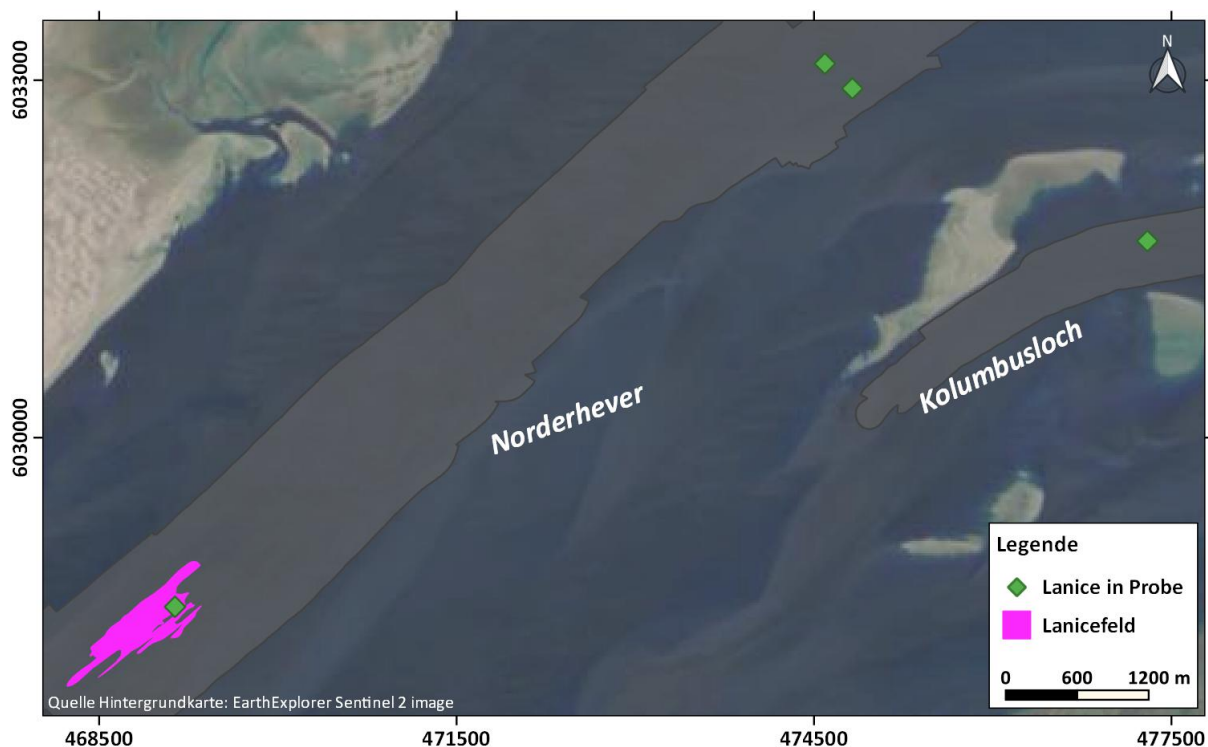


Abb. 54: Flächenhaft kartierte *Lanice*felder mit dichtem *Lanice*-Bestand sowie *Lanice* in Proben der Norderhever/Kolumbusloch 2021/22.

In zahlreichen Proben auf schlickigem Sand kommt im untersuchten Teil des Heverstroms *Lanice* vor. Die 1 bis 15 Röhren wurden vorrangig auf den schillführenden Sanden gefunden mit etwas mehr *Lanice*-Funden im Osten des Gebietes (Abb. 55). Die Sonarsignatur ist weitestgehend durch die Schillvorkommen geprägt und sehr signifikante „wolkenartige“ Strukturen fehlen, sodass eine flächenhafte Ausweisung von *Lanice* nicht möglich ist.

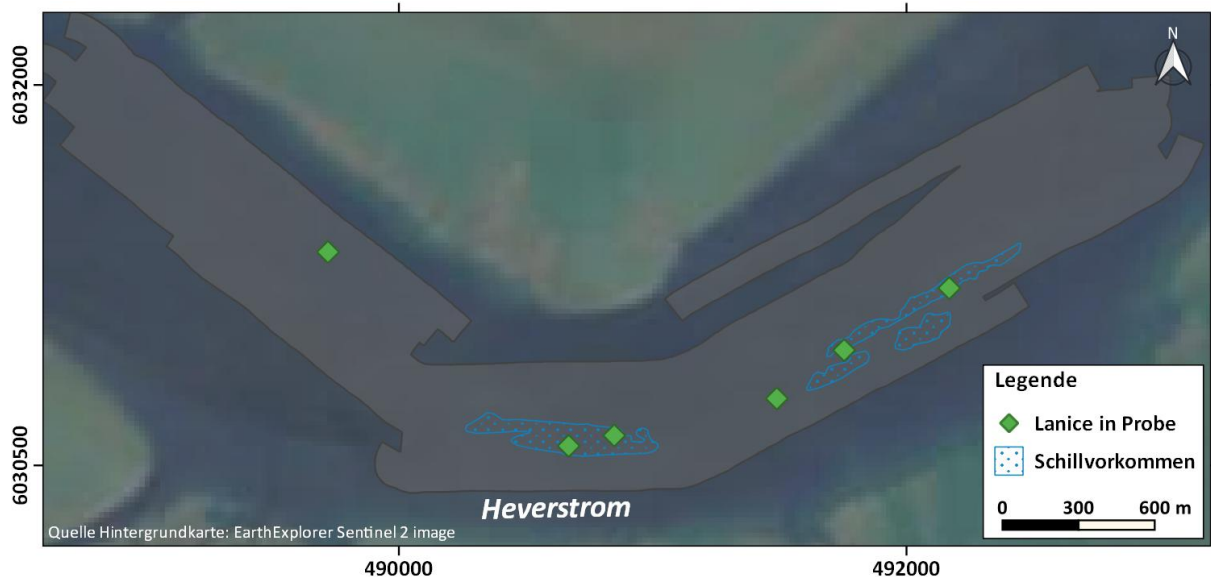


Abb. 55: *Lanice* in Proben sowie Schillvorkommen eines Gebietes im Heverstrom 2022.

Die Signatur von *Lanice* im Hörnumtief (2022) ist nur schwach ausgeprägt. Flächendeckend kommt *Lanice* im Hörnumtief in den strömungsberuhigteren Bereichen des nördlichen Nebenarms auf Mittelsand und Schill ($0,09 \text{ km}^2$), im südlichen Randbereich eher kleinräumig auf kiesigem Sand und Schill ($0,1 \text{ km}^2$) und im Osten großflächig auf Feinsand ($0,5 \text{ km}^2$) im Übergang zur Nullnutzungszone vor (Abb. 56). Weitere vereinzelte Vorkommen ohne signifikante Signatur und mit 1 bis maximal 14 Röhren in den Proben befinden sich westlich und südlich der östlichsten Muschelkulturfläche im Zusammenhang mit Schillbruch und Mittel-/kiesigen Sanden.

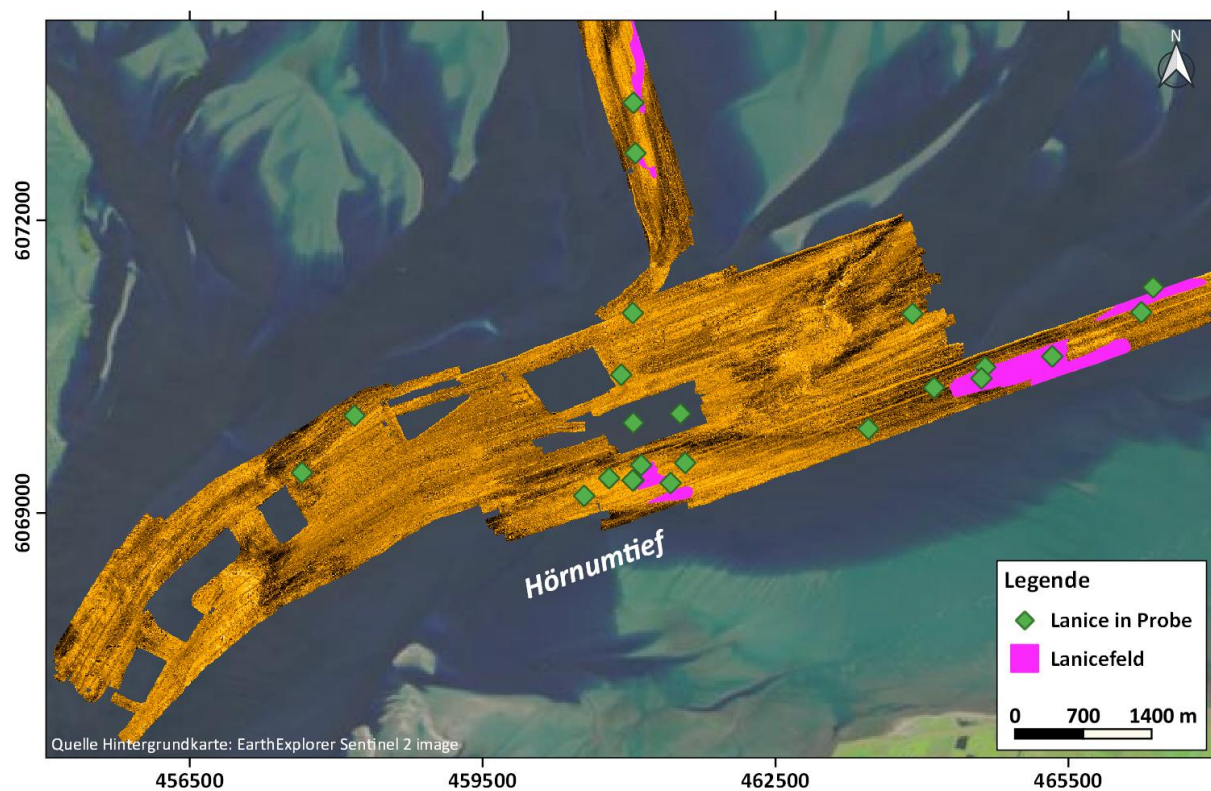


Abb. 56: Flächenhaft kartierte *Lanice*felder mit dichtem *Lanice*-Bestand sowie *Lanice* in Proben im Hörnumtief 2022.

In der Norderaue kommt *Lanice* flächenhaft im südlicheren Bereich der Norderaue auf schlickigem Feinsand am nördlichen Randbereich der Rinne vor (2023: 0,09 km²). Bei Wittdün tritt der Röhrenwurm in unterschiedlicher Dichte auf schlickig, kiesigem Feinsand und Schillbruch auf (2023: 0,22 km²). Die Vorkommen in der Norderaue sind durch steilere Hänge zur tieferen Rinne begrenzt. Vereinzelt Röhren ohne entsprechende Signatur liegen in den umliegenden kiesigen Sanden (Abb. 57).



Abb. 57: Flächenhaft kartierte *Lanice*felder mit dichtem *Lanice*-Bestand sowie *Lanice* in Proben in der Norderaue 2023.

d) Inwieweit ist es möglich, *Passive Acoustic Monitoring (PAM)* im SH - Wattenmeer einzusetzen?

Im vorliegenden Bericht zeigen wir, dass es mit dem vorgestellten Setup möglich ist, PAM im Schleswig – Holsteinischen Wattenmeer durchzuführen. Dies ist u.a. eine relevante Information für die Berücksichtigung des Deskriptors 11 (Unterwasserlärm) der Meeresstrategierahmenrichtlinie (2008/56/EG). Wir zeigen des Weiteren, dass die Tidenströmungen Unterwasserschallaufnahmen im Wattenmeer signifikant beeinflussen. Stauwasser-Zeiten sind allgemein leiser als Zeiten zu ab- und zulaufendem Wasser, jedoch gibt es auch hier Unterschiede zwischen Hoch- und Niedrigwasser (siehe Abb. 35). Zum Beispiel: Vergleicht man Stauwasser-Aufnahmen aus dem einen Jahr mit strömendem Wasser aus dem nächsten Jahr, so könnte man denken, dass sich die Lautstärke an dieser Station erhöht hat. Das bedeutet, dass mindestens 25 Stunden pro Station analysiert werden sollten, um Missinterpretationen zu vermeiden. Allgemein empfehlen wir, möglichst lange Aufnahmen (~ mind. 7 Tage – 96 kHz *Sampling* - Rate) saisonal an verschiedenen Habitaten im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer durchzuführen. Eine zunächst hohe *Sampling* - Rate gewährleistet eine mögliche (fast) vollständige Analyse verschiedener Schallquellen im Wattenmeer, welches wichtig ist für die Schaffung einer Schall-Baseline bzw. Flexibilität in der Verarbeitung der Daten in der Zukunft, d.h. verschiedene

Fragestellungen können mit den gleichen Datensätzen studiert werden. Anthropogene Schallquellen liegen deutlich über dem Wattenmeer-Hintergrundschall, und weitere Methoden zur automatisierten Detektion von zur Fragestellung passenden Schallquellen sollten erprobt werden. Anthropogene Schallquellen liegen oft im niederen Frequenzbereich, wobei eine *Sampling* - Rate von 32 kHz ausreichen würde, um mehr temporale Informationen zu bekommen (siehe auch Abb. 37).

e) Ein Blick in die Zukunft: Inwieweit bestimmen abiotische und anthropogene Faktoren, Sediment habitat und Biologie diverse Schalllandschaften im SH-Wattenmeer?

Wir vermuten, dass Sedimenthabitat, Wassertiefe, Temperatur, Biodiversität, die Anzahl an Organismen und Schiffsverkehr die Schalllandschaft im Wattenmeer bestimmen. Mit Hilfe von Clusteranalysen (Parcerisas, 2023) wäre es möglich zu untersuchen, welche Schallarten (= verschiedene Cluster) wodurch verursacht werden könnten und wann diese vorkommen (siehe Beispiel Abb. 58).

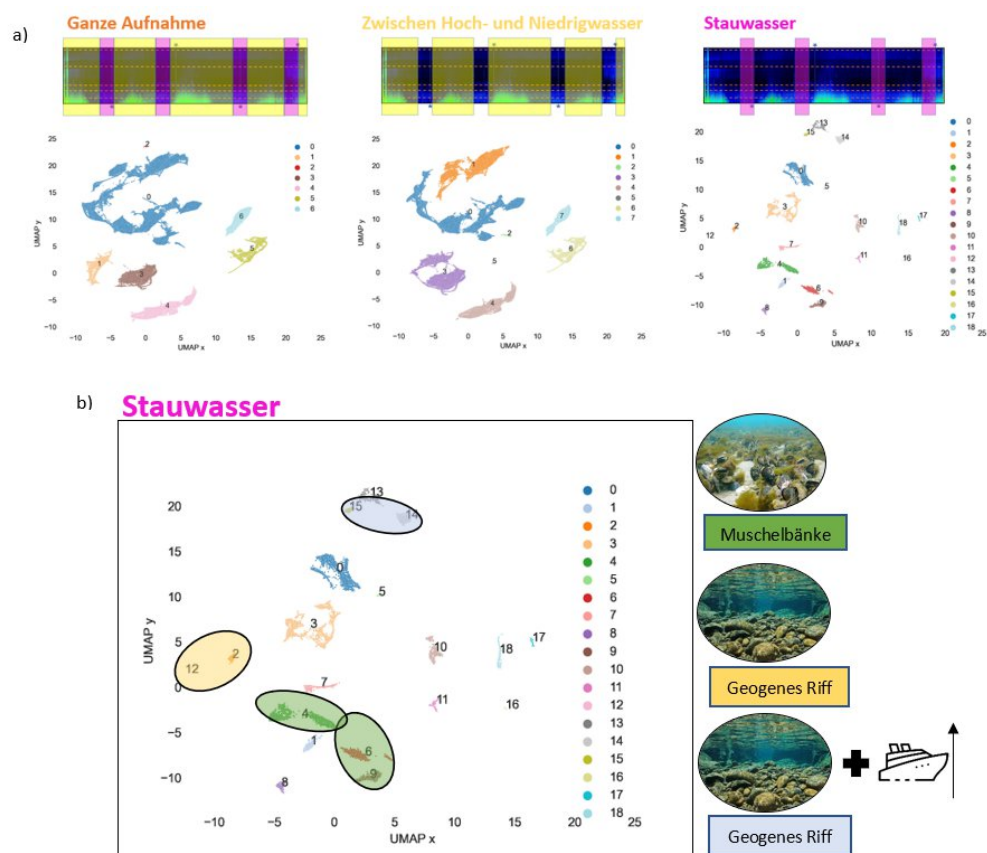


Abb. 58: Beispiel zukünftiger Clusteranalysen zur Charakterisierung verschiedener Schall-Habitats.

6. Literaturverzeichnis

- Argument (2003): Abgrenzung von Sandbänken als FFH-Vorschlagsgebiete - FKZ: 802 85 220 ABSCHLUSSBERICHT
Auftraggeber: Bundesamt für Naturschutz.
- BfN Bundesamt für Naturschutz (2011): Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe im Meeres- und Küstenbereich Definition und Kartieranleitung Kies-, Grobsand- & Schillgründe. <https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/meeresundkuestenschutz/downloads/Marine-Biotoptypen/Biototyp-Kies-Sand-Schillgruende.pdf>
- BioConsult - Pesch, R., Bildstein, T., Schuchardt, B. (2017): Kleinmaßstäbige Abgrenzung des nach §30 BNatSchG geschützten Biototyps „Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe“ in den FFH-Gebieten der AWZ der Nordsee. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/meeresundkuestenschutz/Dokumente/2018-02-13_AWZ-P4_KGS-Studie_Endversion.pdf
- Blondel, P. (2009): The handbook of sidescan sonar. Springer.
- BioConsult (2022): Offshore-Netzanbindungssystem BalWin1+2. Basisaufnahme Makrozoobenthos Wattenmeer. URL: https://uvp.niedersachsen.de/documents-ige-ng/igc_ni/100c6302-6286-4a3f-bdbf-5aec547a2f88/11_Materialband%20und%20Quellen%2F11_Materialband%20und%20Quellen%2F11_04_Ergebnisbericht_Benthos_12smz_Eulitoral%2FNOR-9-3_11_4_2_Ergebnisbericht-Benthos-Eulitoral.pdf
- Blondel, P. (2009): The handbook of sidescan sonar. Springer.
- BSH (2013): Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt (StUK4). Hamburg und Rostock 2013, 7003.
- Dekeling, R.P.A., Tasker, M.L., Van der Graaf, A.J., Ainslie, M.A., Andersson, M.H., André, M., Borsani, J.F., Brensing, K., Castellote, M., Cronin, D., Dalen, J., Folegot, T., Leaper, R., Pajala, J., Redman, P., Robinson, S.P., Sigra, P., Sutton, G., Thomsen, F., Werner, S., Wittekind, D., Young, J.V., (2014): Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas, Part I: Executive Summary, JRC Scientific and Policy Report EUR 26557 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2014, doi: 10.2788/29293.
- Duarte, C. M., Chapuis, L., Collin, S. P., Costa, D. P., Devassy, R. P., Eguiluz, V. M., ... and Juanes, F. (2021): The soundscape of the Anthropocene ocean. *Science*, 371(6529).
- European Commission (2010). Commission Decision of 1 September 2010 on criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters. (2010/ 477/EU). Off. J. Eur. Union L 232, 14–24.
- European Commission DG Environment (2013): Interpretation Manual of European Union habitats. EUR 28, Nature ENV B.3, 144 S. URL: https://ec.europa.eu/environment/nature/legislation/habitatsdirective/docs/Int_Manual_EU28.pdf
- Folk, R. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *Journal of Geology*, 62, 344-359.
- Folk, R., & Ward, W. (1957): Brazos River bar: a study in the significant of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.
- Jari Oksanen, F. Guillaume Blanchet, Michael Friendly, Roeland Kindt, Pierre Legendre, Dan McGlinn, Peter R. Minchin, R. B. O'Hara, Gavin L. Simpson, Peter Solymos, M. Henry H. Stevens, Eduard Szoecs and Helene Wagner (2019): vegan: Community Ecology Package. R package versio 2.5-6. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- BfN (2011): Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe im Meeres- und Küstenbereich Definition und Kartieranleitung Kies-, Grobsand- & Schillgründe. URL: <https://www.bfn.de/marine-biotoptypen>
- Jeuschede, J. (2023). The Effects of Boat Sound and Tidal Energy on the Marine Underwater Soundscape in the Schleswig-Holstein Wadden Sea National Park (Master's thesis). University of Cologne, conducted at Research and Technology Centre West Coast Kiel University.
- Kinneging N., Gersonius, B. (2021): *Jomopans Implementation Plan*. Report of the EU INTERREG NSR Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (Jomopans), February 2021

- Köster, R. (1981): Geologisches Gutachten zu den geplanten Küstenschutzmaßnahmen im südlichen nord-friesischen Wattenmeer. In Gutachten zur geplanten Vordeichung der Nordstrander Bucht, ed. MELF, 89 -132. Kiel: Schriftenreihe der Landesregierung Schleswig-Holstein.
- Landesportal Schleswig-Holstein (2022): Meeresstrategierahmenrichtlinie. URL: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/M/muellimMeer_kt/meeresstrategierahmenrichtlinie.html
- LLUR (2007): Steckbriefe und Kartierhinweise für FFH-Lebensraumtypen. Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein. http://www.umweltdaten.landsh.de/public/natura/pdf/mplan_inet/1528-391/tglandflaechen/1528-391Mplan_TGLandflaechen_LRT_Steckbriefe.pdf
- Nationalpark Wattenmeer Niedersachsen (2022): Anlage 1.1: FFH 001, Maßnahmenblatt LRT 1110 Sandbänke mit nur schwacher ständiger Überspülung durch Meerwasser URL: https://www.nationalpark-wattenmeer.de/wp-content/uploads/2022/01/Anlage-1.1-FFH-001-LRT-1110-Sandbank-Massnahmenblatt-2022_01.pdf
- OSPAR (2015): OSPAR Monitoring Strategy for Ambient Underwater Noise (Agreement 2015-05).
- Parcerisas C., Roca I.T., Botteldooren D., Devos P. & Debusschere E. (2023). Categorizing Shallow Marine Soundscapes Using Explained Clusters. *Journal of Marine Science and Engineering* 11(3):550. <https://doi.org/10.3390/jmse11030550>
- Pijanowski, B.C., Villanueva-Rivera, L.J., Dumyahn, S.L., Farina, A., Krause, B.L., Napoletano, B.M., Gage, S.H. and Pieretti, N. (2011): Soundscape ecology: The science of sound in the landscape. *BioScience*, 61: 203–216.
- Rachor, E., R. Bönsch, K. Boos, F. Gosselck, M. Grotjahn, C.-P. Günther, M. Gusky, L. Gutow, W. Heiber, P. Jantschik, H.-J. Krieg, R. Krone, P. Nemer, K. Reichert, H. Reiss, A. Schröder, J. Witt & M. L. Zettler (2013): Rote Liste und Artenlisten der bodenlebenden wirbellosen Meerestiere - 4. Fassung, Stand Dezember 2007, einzelne Aktualisierungen bis 2012. - *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 70 (2): 81-176.
- R Core Team (2021): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Richtlinie 2008/56/EG Europ Parlament und Rat. 2008: Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie. ABl. EG Nr. L, 164/19.
- Ricklefs, K., & Trampe, A. (2019): BALancing SEdiment deficits in the WADden Sea BASEWAD. Abschlussbericht zu den sedimentologischen Untersuchungen im Projekt Basewad. 133 S.
- Ricklefs, K., Trampe, A. (2020): Identifizierung mariner Lebensraumtypen nach FFH im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer (Nordsylter Wattenmeer). Unveröff. Bericht Forschungs- und Technologiezentrum Westküste der CAU Kiel. 100 S.
- Ricklefs, K., & Trampe, A. (2021): Beschreibung der Vorgehensweise bei der sonarbasierten Detektion und Kartierung sublitoraler Muschelhabitate, Sedimente und „Riff-Strukturen“ im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer. Unveröff. Bericht Forschungs- und Technologiezentrum Westküste der CAU Kiel. 61 S.
- Ricklefs, K., Trampe, A. (2022): Identifizierung mariner Lebensraumtypen nach FFH im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer (Gröde, Holmer Fähre, inneres Hörnumtief, Strandley). Unveröff. Bericht Forschungs- und Technologiezentrum Westküste der CAU Kiel. 43 S.
- Schwarzer, K., Ricklefs, K., & Herrmann, M. (2010): Flächendeckende Erfassung geogener und biogener Strukturen im Subtidal des "Sylter Rückseitenwatts". Unveröff. Bericht aus dem Inst. für Geowiss. der Univ. Kiel, 54 S.
- Sørensen, P.M., Wisniewska, D.M., Jensen, F.H. et al. (2018). Click communication in wild harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *Sci Rep* 8, 9702. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28022-8>
- Temmler, H. (1995): Neue Ergebnisse zum Aufbau des Eem Interglazials in Nordfriesland. *Meynia*-na, 47, 83 -100.
- Van Parijs, S. M., Thompson, P. M., Tollit, D. J., & Mackay, A. (1997). Distribution and activity of male harbour seals during the mating season. *Animal Behaviour*, 54(1), 35–43. <https://doi.org/10.1006/anbe.1996.0426>
- Wenz, G. M. (1962): Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. *J Acoust Soc Am*, 34(12): 1936–1956.