

Sedimentkartierung in der niedersächsischen Nordsee und im Wattenmeer

Ein Beitrag von *FRANCESCO MASCIOLI* und *TINA KUNDE*

Das wachsende Interesse an der Überwachung der Meeresumwelt hat Regierungsbehörden und Forschungsinstitute dazu ermutigt, Programme zur Kartierung des Meeresbodens durchzuführen, und so auch das wissenschaftliche Interesse an innovativen Kartierungsmethoden und -instrumenten geweckt. Die Forschungsstelle Küste im Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) führt auf Grundlage der Europäischen Richtlinien 1992/43/EG (FFH-Richtlinie), 2000/60/EG (EG-WRRL) und 2008/56/EG (EG-MSRL) die Kartierung der sublitoralen Flächen der niedersächsischen Übergangs-, Küsten- und Meeresgewässer durch. Bei der als Daueraufgabe angelegten Arbeit wird die morphologische und sedimentologische Beschaffenheit der Meeresbodenoberfläche sowie des unmittelbar angrenzenden Meeresuntergrundes erfasst. Die Kartierung erfolgt basierend auf aufwendiger Messtechnik und objektiven Auswertungsmethoden, welche die Ermittlung eindeutiger und über das gesamte Erfassungsgebiet einheitlich reproduzierbarer Ergebnisse erlaubt.

Sedimentkartierung | Fächerecholot | Sedimentecholot | objektive Auswertungsmethoden | niedersächsische Nordsee und Wattenmeer
sediment mapping | multibeam echo sounder | sub-bottom profiler | objective methods | Lower Saxony North Sea and Wadden Sea

The growing interest on seabed monitoring strongly encouraged governmental agencies and research institutes to undertake mapping programs and stimulated the scientific interest in innovative mapping methods and tools. The Forschungsstelle Küste within the Lower Saxony Water Management, Coastal Defence and Nature Conservation Agency (NLWKN) is in charge of mapping the subtidal areas of Lower Saxony Coastal and Marine Waters, in order to implement the 1992/43/EEC (EC-HD), 2000/60/EC (EC-WFD) and 2008/56/EG (EC-MSFD) European Directives. Within the program, the Forschungsstelle Küste maps the morphological and sedimentological features of the seabed, as well as the stratigraphical structures of the immediate subbottom. The mapping workflow consists of objective interpretation approaches, which allows the univocal and repeatable results over the whole survey area.

Autoren

Dr. Francesco Mascioli und Tina Kunde arbeiten bei der Forschungsstelle Küste im Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN).

francesco.mascioli@
nlwkn.niedersachsen.de

1 Einleitung

Mit steigendem Bewusstsein für die Veränderungen der marinen Umweltbedingungen und dem Wissen, dass diese ein genaues Monitoring erfordern, ist die Habitatkartierung am Meeresboden Gegenstand mehrerer weltweiter Forschungsprogramme. Dies fördert das wissenschaftliche Interesse an innovativen Kartierungsmethoden und -werkzeugen zur Erfassung abiotischer wie auch biotischer Merkmale, welche im Rahmen der umfangreichen Kartierungsprogramme von Regierungsbehörden und Instituten genutzt werden sollten (Buhl-Mortensen et al. 2015; Vorberg et al. 2017; Kaskela et al. 2019; Lucieer et al. 2019).

Technologische Fortschritte bei der Datenerfassung und -verarbeitung ermöglichen die Verwendung objektiver Ansätze, welche die Subjektivität

verringern und wiederholbare Ergebnisse liefern sollen (Diesing et al. 2014; Feldens et al. 2021). Auch wenn eine Vielzahl von Ansätzen bereits kleinräumig erprobt wurde, besteht noch immer ein großer Bedarf, deren Durchführbarkeit im Rahmen großer Kartierungsprogramme zu testen. Dies gilt insbesondere für die sehr flachen Küstengebiete, welche durch eine hohe räumliche Variabilität der Meeresbodentypen, heterogene Sedimente und komplexe Morphologien gekennzeichnet sind.

Die Forschungsstelle Küste im Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) führt auf Grundlage der Europäischen Richtlinien 1992/43/EG (FFH-Richtlinie), 2000/60/EG (EGWRRL) und 2008/56/EG (EG-MSRL) die Kartierung der sublitoralen Flächen der niedersächsischen Übergangs-, Küsten- und Mee-

resgewässer durch (Abb. 1). Die erstellten Karten umfassen neben den Sedimenten und Bodenformen von Wattenmeer und Nordsee auch die Übergangsgewässer von Ems, Weser und Elbe. Für die Untersuchung der subtidalen Habitats erfolgt die Kartierung dabei in enger Abstimmung mit der Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer (NLPV) und der Betriebsstelle Brake-Oldenburg des NLWKN.

Die Kartierung erfolgt basierend auf aufwendiger Messtechnik und objektiven Auswertungsmethoden, welche die Ermittlung eindeutiger und über das gesamte Erfassungsgebiet einheitlich reproduzierbarer Ergebnisse erlaubt (Mascioli et al. 2017; Mascioli et al. 2021). Die erforderliche Methodenentwicklung wird unter anderem im Rahmen von teils interdisziplinären Forschungsvorhaben und internationalen wissenschaftlichen Kooperationen vorangebracht. Die Erfassung und Kartierung von Bodendaten eröffnet weitreichende Möglichkeiten in der numerischen morphodynamischen Modellierung sowie auch bei der Identifikation von Sedimentvorkommen mit Eignung für den Insel- und Küstenschutz und der Umsetzung des grenzübergreifenden niederländisch-niedersächsischen Leitbildes für ökologisches Sedimentmanagement.

2 Methoden

2.1 Hydroakustische Datenerfassung

Moderne hydroakustische Technologien, ergänzt durch Sedimentproben, bieten einen belastbaren Ansatz für die Untersuchung des Meeresbodens. Fächerecholotsysteme erlauben eine konstante und genaue Erfassung flächendeckender Tiefendaten und Rückstreuintensitäten. Im Rahmen des niedersächsischen Kartierungsprogramms führt die Forschungsstelle Küste flächendeckende Vermessungen des Meeresbodens mit Hilfe von hochfrequenten Fächerecholotsystemen durch, welche mit Frequenzen von 300 kHz bis 500 kHz arbeiten und für sehr flache Gewässer optimiert sind. Zusätzlich werden für die Fahrrinnenbereiche der Ems, Jade und Weser Fächerecholotdaten der zuständigen Wasserstraßen- und Schifffahrtsämter (WSA) durch die Forschungsstelle Küste weiterführend ausgewertet.

Die ausgewerteten bathymetrischen Daten werden zu einem digitalen Geländemodell (DGM) mit einer Zellengröße von 1 m (Details bis 0,25 m) gerastert und zur Ableitung verschiedener morphometrischer Parameter wie Neigung, Rauigkeit und benthischem Lageindex (Benthic Position Index, BPI) verwendet (Abb. 2). Dieser geomorphometrische Ansatz leistet einen wesentlichen Beitrag zur Gewinnung quantitativer Informationen über Morphologie und Sohlgestalt aus den bathymetrischen Daten (Mascioli et al. 2017). Die geologische wie auch geomorphologische Be-

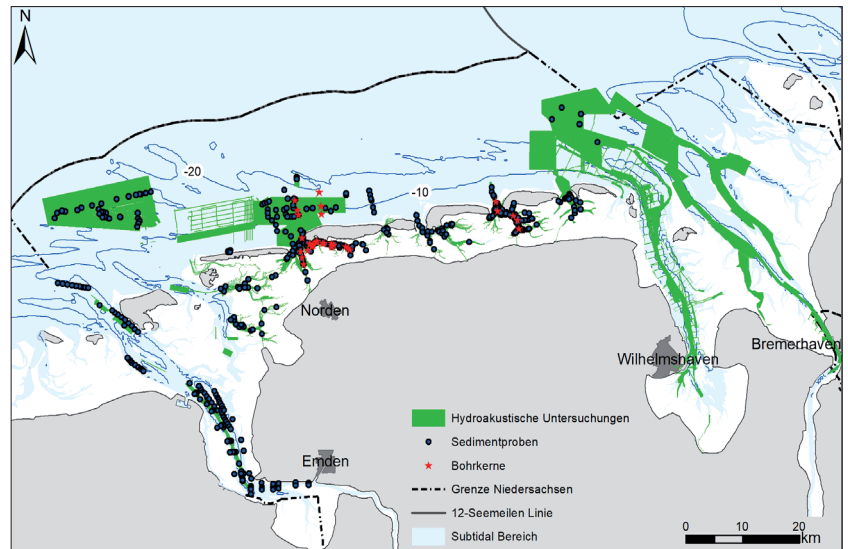


Abb. 1: Sublitorale Flächen der niedersächsischen Übergangs-, Küsten- und Meeresgewässer. Dargestellte Daten zeigen den Stand der Untersuchungen 2021

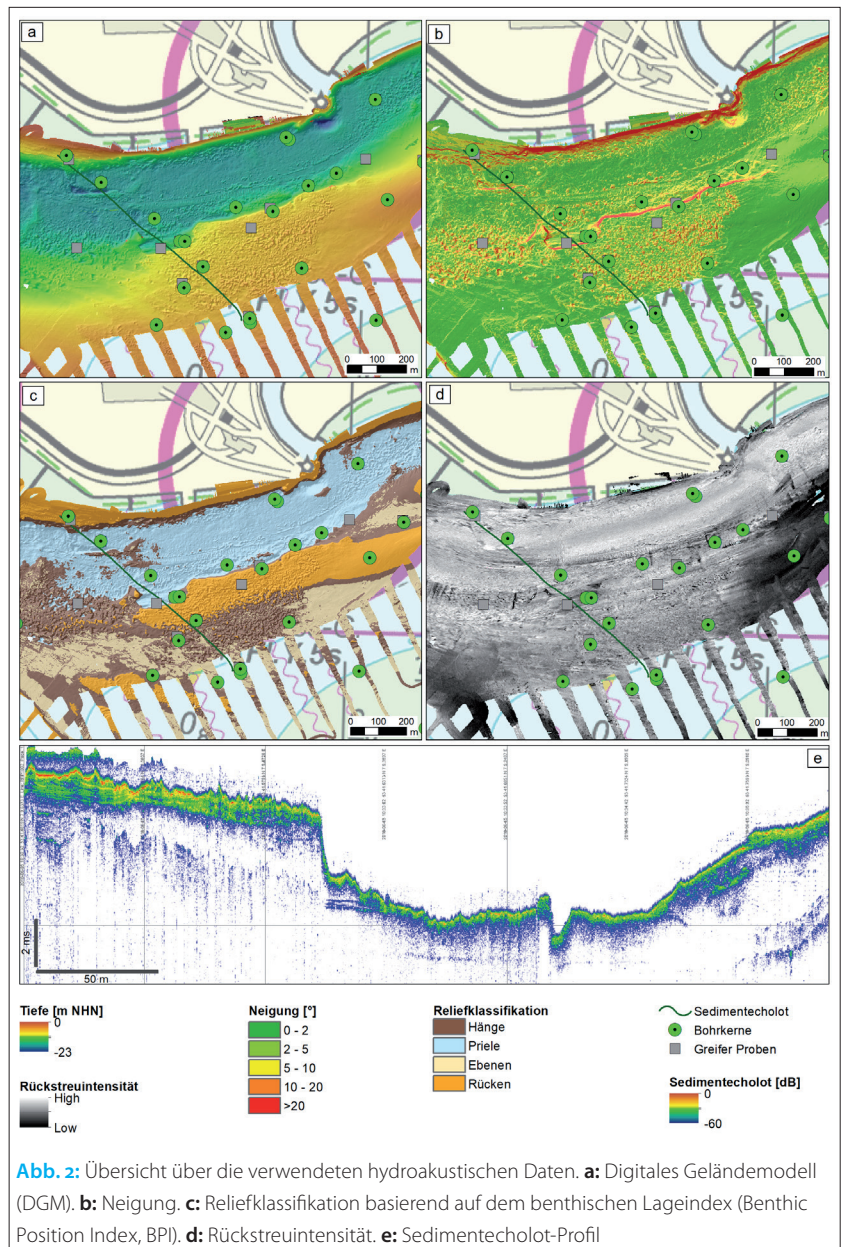


Abb. 2: Übersicht über die verwendeten hydroakustischen Daten. a: Digitales Geländemodell (DGM). b: Neigung. c: Reliefklassifikation basierend auf dem benthischen Lageindex (Benthic Position Index, BPI). d: Rückstreuintensität. e: Sedimentecholot-Profil

deutung der morphometrischen Parameter wird durch einen quantitativen Vergleich mit der Rückstreuintensität, den Sedimentecholot-Profilen und den Sedimentproben herausgestellt.

Die Rückstreuintensität wird mit Hilfe der FMGeocoder-Toolbox von QPS radiometrisch und geometrisch korrigiert (Beaudoin et al. 2002; Lurton 2010) und in Form von artefaktbereinigten akustischen Mosaiken ausgegeben. Diese sind maßgeblich von der Beschaffenheit des Meeresbodens abhängig und somit für eine Vielzahl von automatischen Kartierungsmethoden und Interpretationsansätzen geeignet. Die Mosaiken werden als Graustufenbilder mit einer Zellgröße von 1 m (Details bis 0,25 m) erstellt (Abb. 2).

Für die Erfassung von Meeresuntergrund-Daten werden parametrische Sedimentecholote, welche auf der Erzeugung von Niederfrequenzschall mittels nicht-linearer Interaktion zweier Hochdruckschallwellen höherer Frequenzen in der Wassersäule basieren, genutzt (Wunderlich und Wendt 2004). Die Systeme ermöglichen eine sehr hohe räumliche Auflösung innerhalb des Sedimentprofils (0,5 bis 4 cm). Damit können Informationen hinsichtlich lateraler und vertikaler Sedimentveränderungen im Meeresuntergrund für alle an der niedersächsischen Küste auftretenden Wassertiefen erfasst werden. Abhängig von Sedimentcharakteristik, Wassertiefe und Sendeeigenschaften liegt die zu erwartende maximale

Eindringtiefe in Nordsee und Wattenmeer bei ca. 5 m.

Um bei der Interpretation der Sedimentecholot-Daten optimale Ergebnisse zu erzielen, werden alle Erfassungsartefakte vorab mit Hilfe der von iXblue entwickelten Software Delph Seismic Interpretation entfernt. Jedes Profil wird mittels Pegeldaten um auftretende Gezeiteneffekte korrigiert und Schallgeschwindigkeitskorrekturen werden durchgeführt, um die korrekte Darstellung der Meeresbodenoberfläche zu gewährleisten. Die Berücksichtigung der Schallgeschwindigkeit ermöglicht auch eine spätere Umrechnung der aufgezeichneten Signallaufzeit in tatsächliche Tiefenwerte. Neben Korrekturen, welche sich direkt auf die Daten auswirken, werden verschiedene Filter und Verstärkungsfaktoren angebracht, um die Visualisierung der Daten zu verbessern und damit ihre Interpretation zu erleichtern. Während der Meeresboden mittels signalbasiertem Bottom-Track-Algorithmus digitalisiert wird, werden die sichtbaren Reflektoren von Hand verfolgt und digitalisiert, um so die morphologische Entwicklung und lokal auftretende Diskontinuitäten aufgrund von Rinnen und deren Abbruchkanten berücksichtigen zu können. Die digitalisierten akustischen Reflektoren werden unter Berücksichtigung vorhandener Sedimentkerne weiterführend ausgewertet.

2.2 Beprobung

Die hydroakustischen Messdaten werden durch Greiferproben und Bohrkernsowie Videoaufnahmen für eine spätere Validierung ergänzt. Die präzise Positionierung der Proben erfolgt über ein Ultra-Short-Baseline-Unterwasserpositionierungssystem (USBL), bestehend aus einem seitlich am Schiff angebrachten Schwinger/Empfänger sowie einem am Probenentnahmerät befestigten Transponder (Abb. 3). Die Positionierungsgenauigkeit liegt bei ± 50 cm. In Verbindung mit der schiffseitigen RTK-Positionierung wird eine hochgenaue Bestimmung der jeweiligen Probenposition ermöglicht.

Die Interpretation der Greiferproben besteht aus einer vorläufigen qualitativen Ansprache an Bord des Schiffes. Die Sedimentproben werden anschließend mittels Siebverfahren bearbeitet und die statistischen Parameter durch die Software GradiStat 9.1 ausgewertet (Blott und Pye 2001). Die Korngrößen werden entsprechend den Definitionen nach Folk (1954) und dessen überarbeiteter Klassifizierung (BSH 2016) klassifiziert, für den Sandanteil erfolgt zusätzlich eine Eingruppierung nach Figue (1981).

Mit Hilfe eines Vibrocoringers werden Bohrkerns von bis zu 6 m Länge genommen, um Informationen über die ungestörte Sedimentschichtung im Meeresuntergrund zu erlangen. Die Bohrkerns werden sektionsweise halbiert und mit dem MSCL-S-System der Firma GeoTek weiter dokumentiert.

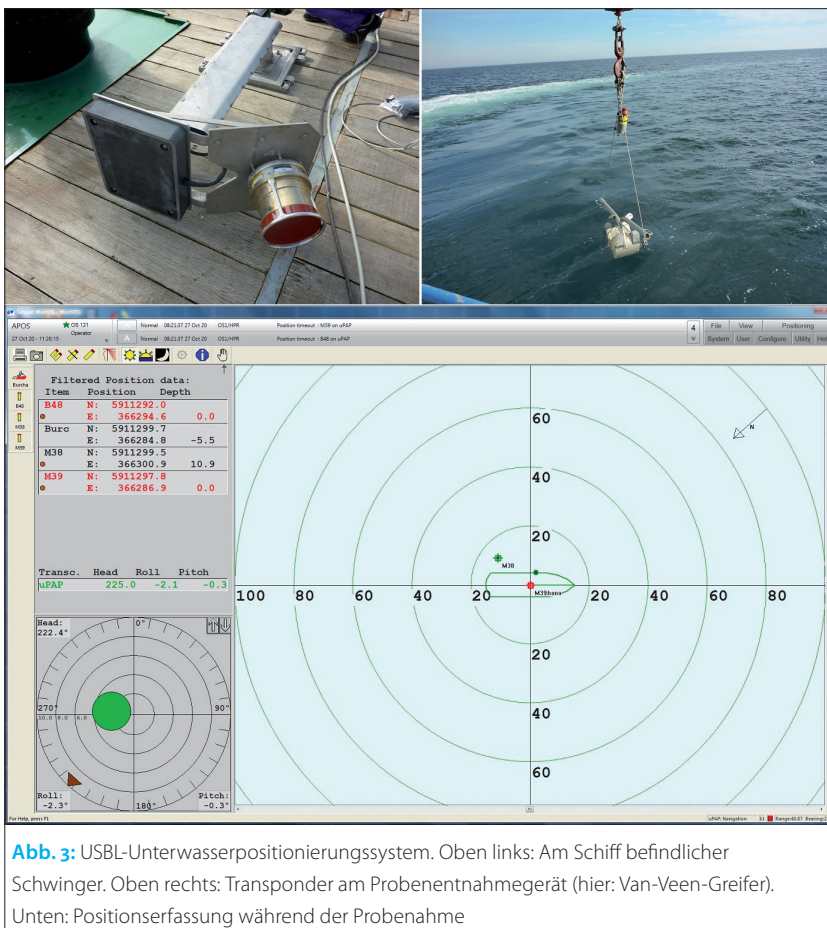


Abb. 3: USBL-Unterwasserpositionierungssystem. Oben links: Am Schiff befindlicher Schwinger. Oben rechts: Transponder am Probenentnahmerät (hier: Van-Veen-Greifer). Unten: Positionserfassung während der Probenahme

Das System ist mit einer Linescan-Kamera ausgerüstet und ermöglicht es, nacheinander fortlaufende Bilder des Bohrkerns aufzunehmen. Die Bilder sind durchgehend gleichmäßig beleuchtet und frei von sphärischer Verzerrung, Montage- oder »Stitching«-Effekten. Dadurch werden präzise und kalibrierte Bilder mit einer direkten Tiefenzuordnung erzeugt, welche einen qualitativen sowie quantitativen Vergleich unter den einzelnen Bohrkernen ermöglichen. Nach der fotografischen Dokumentation des Bohrkerns erfolgt eine detaillierte geologische Kernansprache. Dabei werden neben der Stratigraphie der vorhandenen Sedimente auch deren Eigenschaften wie Färbung und Korngröße sowie das Ablagerungsmilieu beschrieben. Die erfassten Daten werden abschließend in eine Kernzeichnung umgesetzt und gemeinsam mit den protokollierten Informationen in einer Datenbank zur weiteren Nutzung abgelegt.

2.3 Kartierung

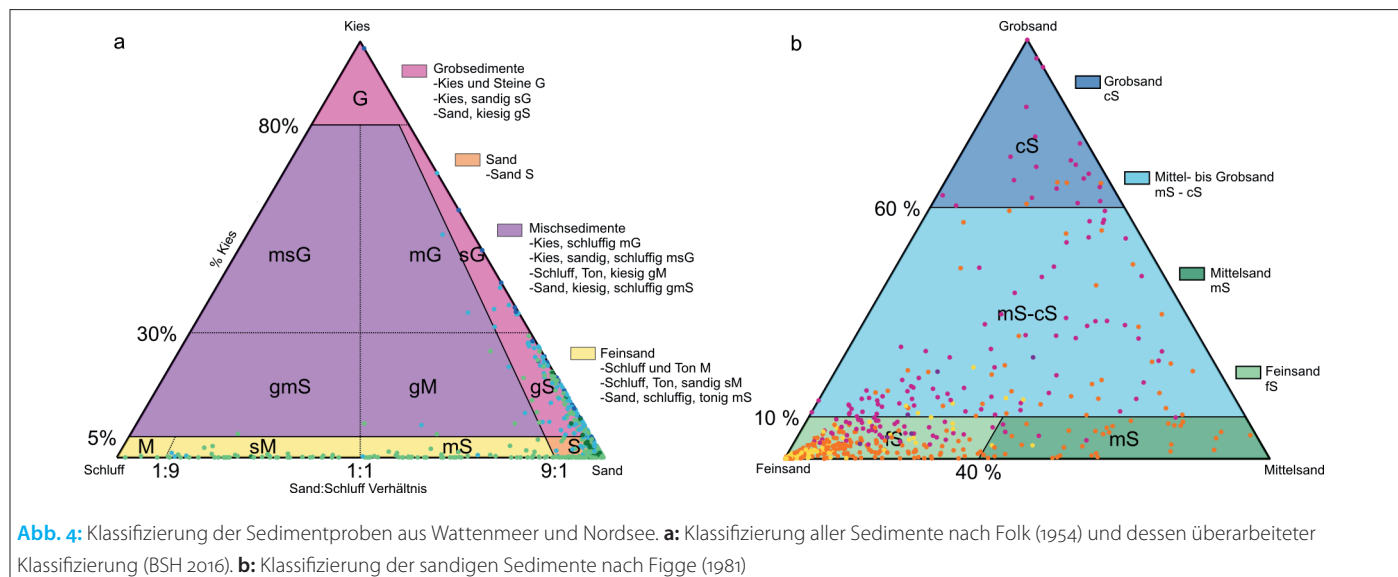
Die Kartierung erfolgt basierend auf einer Klasse neuartiger mathematischer Verfahren. Reflektivität, Neigung und Rauheit werden dabei zu einem Multiband-Raster kombiniert, da sie gute Anhaltspunkte für Sedimenttypen, Substratvariationen und geomorphologische Prozesse bieten (Diesing et al. 2014). Das resultierende Raster bildet die Basis für eine objektbasierte Bildanalyse (Object-Based Image Analysis, OBIA), welche Merkmale auf Grundlage einzelner Pixelgruppen extrahiert. Dazu werden in einem ersten Schritt die Bilder in Pixelgruppen segmentiert, ehe sie in n Klassen eingeordnet und basierend auf vorab ausgewerteten Sedimentproben charakterisiert werden (Lucieer 2008). Das verwendete Segmentierungswerkzeug basiert auf dem Mean-Shift-Ansatz, welcher ein gleitendes Fenster verwendet, um einen durchschnittlichen Pixelwert zu berechnen. Anhand dieses durchschnittlichen Pixelwertes wird bestimmt, welche Pixel in jedes Segment aufgenom-

men werden sollen (Comaniciu und Meer 2002). Die segmentierten Raster werden dann mit Hilfe einer unüberwachten ISO-Cluster-Klassifizierung gruppiert. Das Verfahren klassifiziert Segmente mit ähnlichen statistischen Eigenschaften in eine vom Benutzer festgelegte Anzahl von unterschiedlichen Clustern. Die Wahl der optimalen Clusteranzahl ist dabei der kritischste Schritt des gesamten Prozesses, da vorab nicht bekannt ist, wie viele Substrattypen tatsächlich vorhanden sind und wie viele davon durch akustische Daten effizient identifiziert werden können. Diese Frage wird durch eine Varianzanalyse geklärt, welche die Summe der Quadrate innerhalb von Clustern (Within Cluster Sum of Squares, WCSS) und die Summe der Quadrate zwischen den Clustern (Between Cluster Sum of Squares, BCSS) verwendet, um zu prüfen, ob sich zwei oder mehr Datengruppen signifikant voneinander unterscheiden (Ismail et al. 2015). Das Ergebnis der ISO-Cluster-Klassifizierung ist ein klassifiziertes Bild, welches jedoch noch keine weiteren Informationen über die Substrate enthält. Sedimentproben und Korngrößenanalysen werden verwendet, um die Klassifizierung der akustischen Daten zu validieren, indem Substratinformationen und das durch den ISO-Cluster klassifizierte Bild zusammengeführt werden. Die Sedimentcharakterisierung jedes Clusters basiert auf der Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Sedimenttypen. Die Klassifizierungsgenauigkeit wird anhand einer Fehlermatrix untersucht, welche neben der Overall Accuracy der thematischen Karte auch die Representation, Purity und den Kappa-Koeffizienten (Cohen 1960) angibt.

3 Ergebnisse

3.1 Sedimenttypen und Klassifizierung

Die analysierten und kartierten Sedimente bestehen aus Feinsedimenten, Sanden sowie Grobsedimenten (Abb. 4a). Die Feinsedimente bestehen



dabei aus Schlack und schlackigem Sand, während die Grobsedimente Muschelschalen sowie Torfgeröll und -brocken, teilweise auch deutlich erkennbare Holzreste beinhalten. Die Sande lassen sich in Feinsand sowie Mittel- bis Grobsand unterteilen. Je nach prozentualer Zusammensetzung aus feineren oder auch gröberen Sedimentpartikeln ergeben sich so unterschiedliche Sortierungsgrade, welche von gut bis sehr schlecht reichen.

Die Betrachtung der Sedimentklassifizierung nach Folk (1954) und dessen überarbeiteter Klassifizierung (BSH 2016) (Abb. 4a) zeigt, dass die Sedimente in Wattenmeer und Nordsee weniger als 65 % Grobsediment, meistens sogar weniger als 30 %, sowie einen konstant höheren Sandanteil im Vergleich zum Schlackanteil enthalten.

Die als Grobsediment klassifizierten Proben (28 %) sind als kiesiger Sand (gS) einzuordnen. Die Sedimentproben mit einem Grobsandanteil größer als 60 % (sandiger Kies, sG) machen dabei 5 % der gesamten Probenmenge aus. Grobsedimente weisen eine recht hohe Variabilität der Sandkorngrößen auf, darunter feine, mittlere und grobe Sande. Der Schlackgehalt ist im Allgemeinen gering und stets niedriger als 10 %. Die als Feinsediment klassifizierten Proben (20 %) sind als Schlack (M), sandiger Schlack (mS) und schlackiger Sand (mS) einzuordnen. Sie sind durch eine homogene Sandfraktion gekennzeichnet, welche hauptsächlich aus Feinsand besteht. Die schlackige Fraktion

ist in ihrer Zusammensetzung sehr variabel und reicht von 10 % bis 90 %. Die als Sand klassifizierten Sedimente (52 %) sind gut sortiert und ihre Variabilität ist durch die verschiedenen Sandfraktionen gegeben, welche zwischen Feinsanden und groben Sanden liegen. Insgesamt sind über 22 % der sandigen Sedimente als Mittel- bis Grobsand (mS-cS), 8 % als Mittelsand (mS) und die verbleibenden 65 % als Feinsand (fS) klassifiziert.

3.2 Hartsubstrate

Ältere Hartsubstrate werden im Allgemeinen von nicht-konsolidierten sandigen Sedimenten überlagert. Im Wattenmeer bestehen diese Hartsubstrate hauptsächlich aus Torf und sehr kohäsivem Ton. Sie sind an den Hängen der Rinnen durch Abbruchkanten gekennzeichnet, welche in unterschiedlichen Tiefen auftreten und sich somit auf verschiedene Torfschichten beziehen. Die Tiefe sowie die lithostratigraphischen Merkmale der Hartsubstrataufschlüsse stimmen mit der basalen klastischen Abfolge des Holozän überein (Streif 1998, 2004; Mascioli et al. 2017; Schaumann et al. 2021), wie aus der Verschneidung aktueller bathymetrischer Daten mit der Karte der Holozänbasis sowie vorhandenen stratigraphischen Kernen abgeleitet werden kann (NIBIS Kartenserver 2014a, 2014b).

Felsbrocken und Geröll, welche aus sandigen oder kiesigen Sedimenten herausragen, sind besonders im Gebiet Borkum-Riffgrund in der Nordsee zu finden. Punktuelle Reflektoren, welche eine hohe Rückstreuung an der Vorderseite und einen akustischen Schatten hinter den Objekten verursachen, sind klassische akustische Merkmale (Abb. 5a). Durch hochauflösende bathymetrische Daten lassen sich Objekte erkennen, welche größer als 1 m sind und sich etwa 20 cm vom umgebenden sandigen Meeresboden abheben (Abb. 5b). Mit einem Van-Veen-Greifer wurden beispielhafte subangulare Gerölle von etwa 20 cm Größe gesammelt.

3.3 Kartenerstellung

Der für unterschiedliche Gebiete in der Nordsee und im Wattenmeer angewendete objektbasierte Klassifizierungsansatz mit anschließender statistischer Analyse lässt darauf schließen, dass basierend auf Morphologie und akustischem Reflexionsvermögen eine Einteilung der hydroakustischen Daten in fünf unterschiedliche Substrate möglich ist. Eine Varianzanalyse zeigt, dass das WCSS/BCSS-Verhältnis im Allgemeinen abnimmt, wenn die Anzahl der Cluster von zwei schrittweise bis auf fünf erhöht wird. Bei mehr als sechs Clustern bleibt das WCSS/BCSS-Verhältnis annähernd konstant. Eine höhere Anzahl von Clustern liefert somit keine weiteren Details für den Klassifizierungsprozess, weswegen eine Einteilung der Segmente in fünf Cluster sinnvoll ist (Mascioli et al. 2021). Die statistische Analyse der einzelnen Cluster zeigt, dass

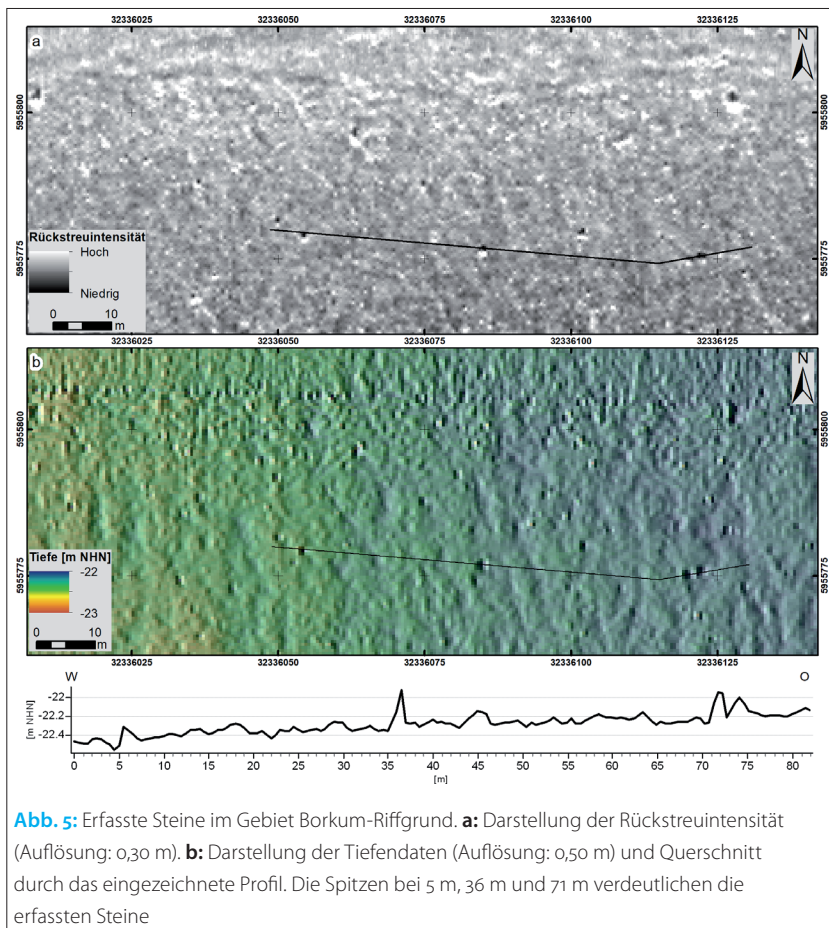


Abb. 5: Erfasste Steine im Gebiet Borkum-Riffgrund. **a:** Darstellung der Rückstreuintensität (Auflösung: 0,30 m). **b:** Darstellung der Tiefendaten (Auflösung: 0,50 m) und Querschnitt durch das eingezeichnete Profil. Die Spitzen bei 5 m, 36 m und 71 m verdeutlichen die erfassten Steine

hauptsächlich der Reflexionskoeffizient aufgrund seines guten Unterscheidungsvermögens zur Erkennung der unterschiedlichen Sedimenttypen beiträgt. Morphometrische Merkmale tragen stark zur Unterscheidung von Clustern mit ähnlichem Reflexionsvermögen bei.

Die Fehlermatrix (Abb. 6) zeigt eine gute Korrelation zwischen den durch den objektbasierten Ansatz definierten Clustern und den Sedimentproben.

Klassifiziert wurde dabei in feine Sedimente aus Schlick, schlickigem Sand und sandigem Schlick (MsM), feinem Sand (S, fs), mittlerem bis grobem Sand (S, mS-mcS), groben Sedimenten (cSED) und Hartsubstraten (HS). Dennoch gibt es noch einige Unklarheiten, welche sich hauptsächlich auf die sandigen Sedimente beziehen. Proben von Mittel- und Grobsanden sind auf drei verschiedene Klassen verteilt, ohne dass eine offensichtliche Verbindung besteht, welche durch eine Repräsentation von nur 50 % umrissen wird.

Als Ergebnis werden hochauflösende Sediment- und Bodenformenkarten (Abb. 7) erstellt, welche sowohl Informationen über die Sedimente als auch die Sohlformen enthalten.

4 Diskussion und Fazit

Die vorgestellten Erfahrungen aus Niedersachsen sind eine praktische Anwendung objektiver

OBIA-Clusters	Proben					Gesamt	Purity
	MsM	S, fs	S, mS-mcS	cSED	HS		
1	4	0	0	0	0	4	100.0%
2	0	28	2	1	0	31	90.3%
3	0	0	3	1	0	4	75.0%
4	0	8	1	42	0	51	82.4%
5	0	0	0	0	2	2	100.0%
Gesamt	4	36	6	44	2	92	
Representation	100.0%	77.8%	50.0%	95.5%	100.0%		
Overall Accuracy	85.9%			Kappa Koeffizient	0.76		

Abb. 6: Fehlermatrix der auf objektbasierter Bildanalyse (Object-Based Image Analysis, OBIA) beruhenden Klassifizierung mit einer Overall Accuracy von 85,9 % und einem Kappa-Koeffizienten von 0,76

Kartierungsmethoden im Rahmen institutioneller erweiterter Kartierungsprogramme. Die Kombination von geomorphometrischer Analyse, Reflektivität und Sedimentproben bildet einen konsistenten Ansatz zur Erstellung hochgenauer und reproduzierbarer Karten der räumlichen Sedimentverteilung und der auftretenden Bodenformen (Abb. 7).

In Übereinstimmung mit den jüngsten Studien zur Kartierung des Meeresbodens (Mitchell et al. 2018) hat die Kombination von morphometrischen und hydroakustischen Merkmalen die Konsistenz der Klassifizierung des Meeresbodens stark verbessert. Die Reflektivität ist ein Indikator

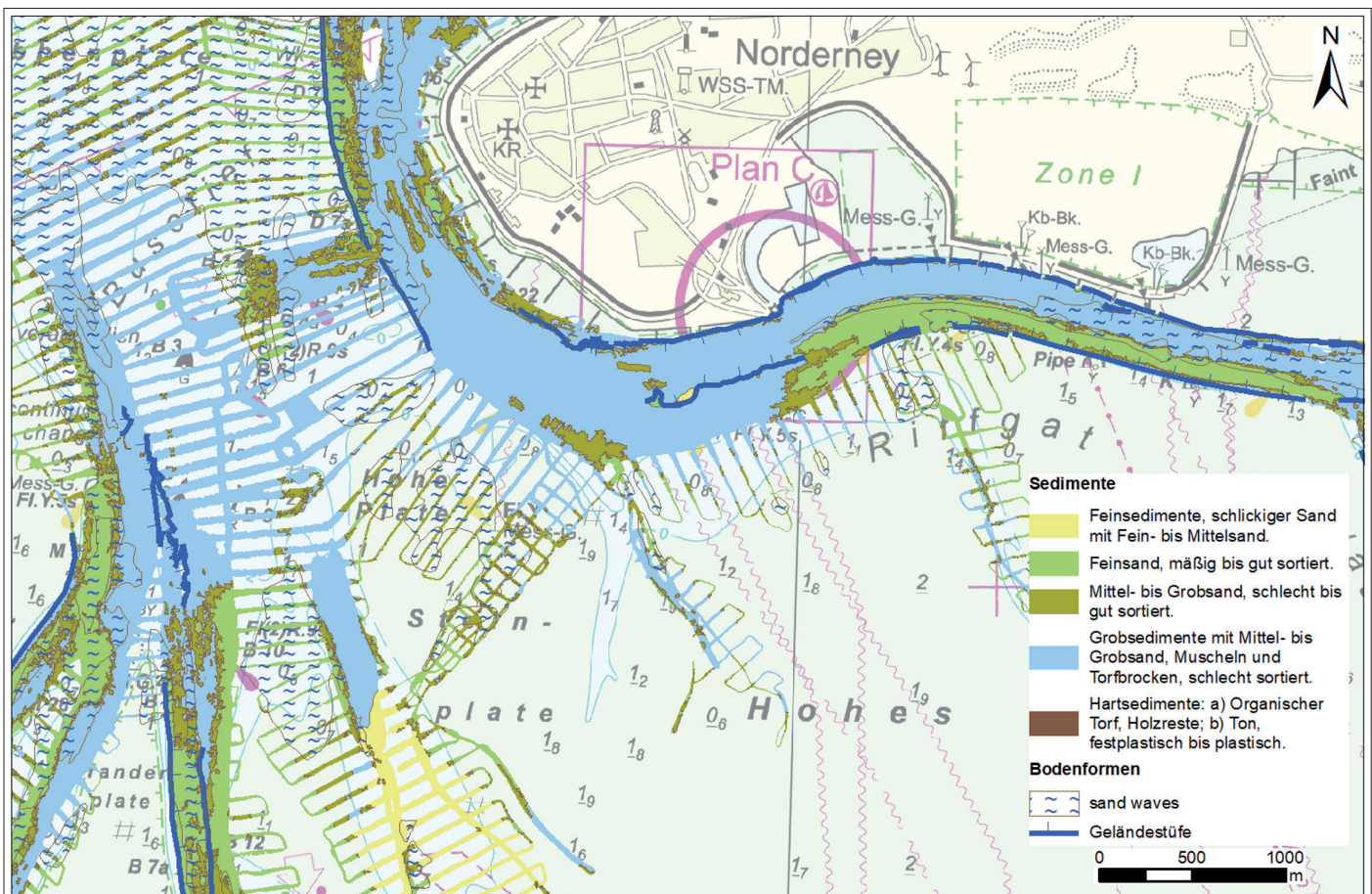


Abb. 7: Ergebnisse der Habitatkartierung. Einteilung der sublitoralen Bereiche um Norderney in die durch einen objektbasierten Ansatz ermittelten Klassen und Darstellung auftretender Bodenformen

für die Korngröße und trägt hauptsächlich zur Erkennung der verschiedenen Sedimenttypen bei, morphometrische Merkmale dienen zur weiteren Unterscheidung von Clustern mit ähnlichem Reflexionsvermögen. Steile Kanten, starke Zerklüftung und scharfe Abbruchkanten lassen eindeutige Torfschichten erkennen (Kunde 2020; Schaumann et al. 2021).

Die Klassifizierung des Meeresbodens basierend auf akustischen Daten mittels automatischer Methoden, wie dem hier vorgestellten objektbasierten Ansatz, und der Verifizierung durch Sedimentproben führt normalerweise zu einer teilweisen Übereinstimmung zwischen akustischen Clustern und gesammelten Proben (Steele et al. 1998). Die Anwendung in der Nordsee und im Wattenmeer zeigt einige kritische Aspekte auf, welche durch die Inkonsistenzen zwischen den Sedimentproben und den erwarteten Sedimentklassen deutlich werden. Die punktuelle Analyse solcher Inkonsistenzen zeigt, dass diese häufig in der Nähe der Übergangsbereiche zwischen ähnlichen Sedimenttypen liegen (Mascioli et al. 2020). Als ein Grund dafür ist zu sehen, dass die durch Sedimentklassifizierungen festgelegten Grenzen auf der Korngrößenverteilung beruhen und nicht unbedingt mit den durch die hydroakustischen Daten abgeleiteten Clustergrenzen übereinstimmen, welche wiederum von den akustischen Eigenschaften der Sedimente abhängen. Weitere Unstimmigkeiten ergeben sich durch das Vorhandensein besonderer Bodenformen, wie beispielsweise großer und mittlerer Sandwellen. Sie weisen kleinräumige Sedimentsortierungen auf, welche zwar beprobt werden konnten (Kubicki et al. 2016), jedoch auf-

grund der Detailgenauigkeit der erstellten Karte nicht abgebildet werden.

Des Weiteren ist eine hinreichend genaue absolute Position der Proben in komplexen Untersuchungsgebieten von entscheidender Bedeutung, welche durch eine hohe räumliche Variabilität des Sediments auf dem Meeresboden und eine tidebedingte starke Drift während der Probenahme gekennzeichnet sind (Mascioli et al. 2020).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass automatisierte Methoden konsistentere Produkte liefern, eine Verfolgung des Kartierungsprozesses ermöglichen und die Bearbeitungszeit reduzieren. Der Kartierungsprozess bleibt jedoch auch bei angestrebter Automatisierung und Objektivität ein interaktives Verfahren, bei dem die verschiedenen Unsicherheiten kritisch behandelt und untersucht werden müssen. Die Kenntnis allgemeiner geologischer Informationen sowie eine detaillierte geomorphologische Charakterisierung sind für die Bewertung der Ergebnisse von großer Bedeutung. Lücken zwischen Klassifikationsschemata und den Ergebnissen von Klassifikationsalgorithmen gilt es zu berücksichtigen. Trotz des kontinuierlichen wissenschaftlichen Fortschritts ist deren Korrelation noch ein weites Forschungsfeld, welches es zu entwickeln gilt. Insbesondere die objektive Auswertung von Sedimentecholot-Daten sowie die automatische Identifizierung von Steinen ist noch eine Herausforderung (Kunde 2020; Li et al. 2020; Feldens et al. 2021). Für eine erfolgreiche Anwendung einer automatischen Kartierung ist die Verfügbarkeit von qualitativ hochwertigen hydroakustischen Daten und genauen Bodeninformationen sowie die Einbindung verschiedener Datenquellen daher von großer Bedeutung. //

Literatur

- Beaudoin, Jonathan; John E. Hughes Clarke et al. (2002): Geometric and radiometric correction of multibeam backscatter derived from Reson 8101 systems. Proceedings of the Canadian Hydrographic Conference, Toronto, Canada, 22 S.
- Blott, Simon J.; Pye Kenneth (2001): GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, DOI: 10.1002/esp.261
- BSH (2016): Anleitung zur Kartierung des Meeresbodens mittels hochauflösender Sonare in den deutschen Meeresgebieten. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg, 148 S.
- Buhl-Mortensen, Lene; Pål Buhl-Mortensen et al. (2015): The MAREANO Programme – A full coverage mapping of the norwegian off-shore benthic environment and fauna. *Marine Biology Research*, DOI: 10.1080/17451000.2014.952312
- Cohen, Jacob (1960): A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, DOI: 10.1177/001316446002000104
- Comaniciu, Dorin; Peter Meer (2002): Mean shift: a robust approach toward feature space analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, DOI: 10.1109/34.1000236
- Diesing, Markus; Sophie L. Green et al. (2014): Mapping seabed sediments: comparison of manual, geostatistical, object-based image analysis and machine learning approaches. *Continental Shelf Research*, DOI: 10.1016/j.csr.2014.05.004
- Feldens, Peter; Patrick Westfeld et al. (2021): Automatic detection of boulders by neural networks. *Hydrographische Nachrichten*, DOI: 10.23784/HN19-01
- Figge, Klaus (1981): Begleitheft zur Karte der Sedimentkartierung in der Deutschen Bucht 1 : 250.000 Nr. 2900. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg
- Folk, Robert L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *The Journal of Geology*, DOI: 10.1086/626171

- Ismail, Khaira; Veerle A. I. Huvenne; Douglas G. Masson (2015): Objective automated classification technique for marine landscape mapping in submarine canyons. *Marine Geology*, DOI: 10.1016/j.margeo.2015.01.006
- Kaskela, Anu Marii; Aarno Tapio Kotilainen et al. (2019): Picking up the pieces – Harmonising and collating seabed substrate data for European Maritime Areas. *Geosciences*, DOI: 10.3390/geosciences9020084
- Kubicki, Adam; Frank Kösters; Alexander Bartholomä (2016): Dune convergence/divergence controlled by residual current vortices in the Jade tidal channel, south-eastern North Sea. *Geo-Marine Letters*, DOI: 10.1007/s00367-016-0470-6
- Kunde, Tina (2020): Entwicklung eines 3D-Modells für den unmittelbaren Untergrund des niedersächsischen Wattenmeergebietes am Beispiel von Norderney. *Nachrichten des Marschenrates*, Heft 57, S. 79–80
- Li, Shaobo; Jianhu Zhao et al. (2020): A Novel Horizon Picking Method on Sub-Bottom Profiler Sonar Images. *Remote Sensing*, DOI: 10.3390/rs12203322
- Lucieer, Vanessa (2008): Object-oriented classification of side scan sonar data for mapping benthic marine habitats. *International Journal of Remote Sensing*, DOI: 10.1080/01431160701311309
- Lucieer, Vanessa; Neville S. Barrett et al. (2019): A seafloor habitat map for the Australian continental shelf. *Scientific Data*, DOI: 10.1038/s41597-019-0126-2
- Lurton, Xavier (2010): *An Introduction to Underwater Acoustics – Principles and Applications*, 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 680 S.
- Mascioli, Francesco; Gian Bremm et al. (2017): The contribution of geomorphometry to the study of tidal inlets. *Zeitschrift für Geomorphologie*, DOI: 10.1127/zfg_suppl/2017/0354
- Mascioli, Francesco; Valerio Piattelli et al. (2021): Feasibility of Objective Seabed Mapping Techniques in a Coastal Tidal Environment (Wadden Sea, Germany). *Geosciences*, DOI: 10.3390/geosciences11020049
- Mitchell, Peter J.; Anna-Leena Downie; Markus Diesing (2018): How good is my map? A tool for semi-automated thematic mapping and spatially explicit confidence assessment. *Environmental Modelling & Software*, DOI: 10.1016/j.envsoft.2018.07.014
- NIBIS Kartenserver (2014a): Geologische Küstenkarte – Relief der Holozänbasis 1 : 25000. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) (Hannover): <https://nibis.lbeg.de/cardomap3> (zuletzt abgerufen im April 2020)
- NIBIS Kartenserver (2014b): Bohrungen und Profilbohrungen. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) (Hannover): <https://nibis.lbeg.de/cardomap3> (zuletzt abgerufen im April 2020)
- Schaumann, Robin M.; Ruggero M. Capperucci et al. (2021): The Middle Pleistocene to early Holocene subsurface geology of the Norderney tidal basin: new insights from core data and high-resolution sub-bottom profiling (Central Wadden Sea, southern North Sea). *Netherlands Journal of Geosciences*, DOI: 10.1017/njg.2021.3
- Steele, Brian M.; J. Chris Winne; Roland L. Redmond (1998): Estimation and mapping of misclassification probabilities for thematic land cover maps. *Remote Sensing of Environment*, DOI: 10.1016/S0034-4257(98)00061-3
- Streif, Hansjörg (1998): Erläuterungen zu Blatt Nr. 2716 Elsflöth. *Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (Hsg.): Geologische Karte von Niedersachsen*, 180 S.
- Vorberg, Ralf; Sander Glorius et al. (2017): Subtidal habitats. In: *Wadden Sea Quality Status Report 2017*, <https://qsr.waddensea-worldheritage.org/reports/subtidal-habitats>
- Wunderlich, Jens; Gert Wendt (2004): High-Resolution Echo-Sounding and Estimation of Sediment Properties Using Nonlinear Acoustics. *Conference Proceedings of 10th EAGE European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*. DOI: 10.3997/2214-4609-pdb.10.005