

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Periodical Part, Published Version

Deutsche Hydrographische Gesellschaft e.V. (Hg.)

Hydrographische Nachrichten 120

Hydrographische Nachrichten

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Deutsche Hydrographische Gesellschaft e.V.

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/108358>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Deutsche Hydrographische Gesellschaft e.V. (Hg.) (2021): Hydrographische Nachrichten 120. Rostock: Deutsche Hydrographische Gesellschaft e.V. (Hydrographische Nachrichten, 120). https://www.dhyg.de/images/hn_ausgaben/HN120.pdf.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.

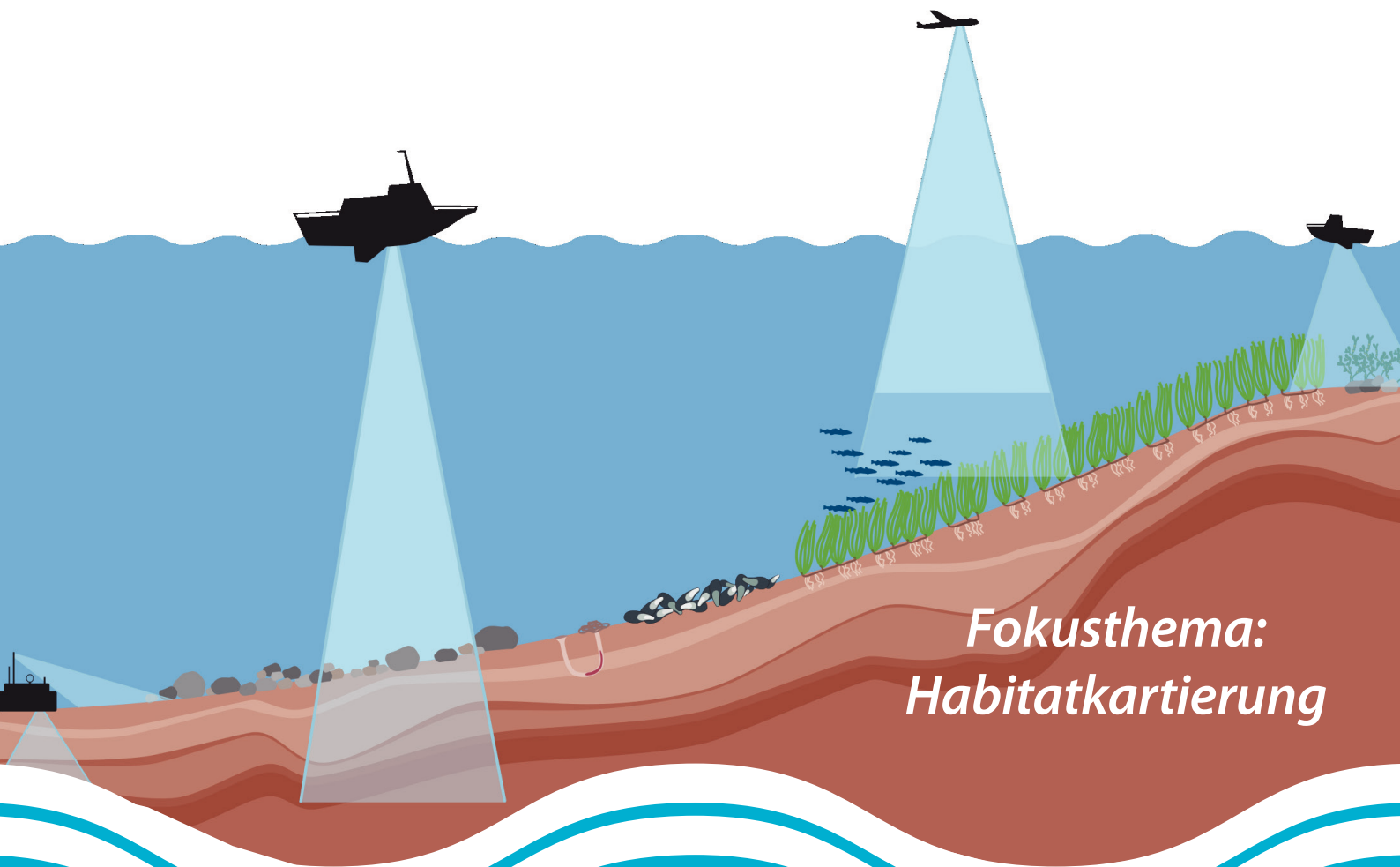


HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

Journal of Applied Hydrography

10/2021

HN 120



*Fokusthema:
Habitatkartierung*



Consulting



Ocean engineering from space into depth

Realise your projects in cooperation with our hydrographic services

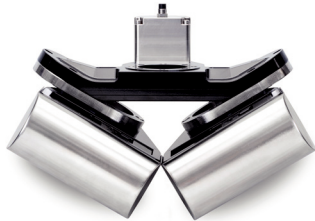
CTDs & SVPs



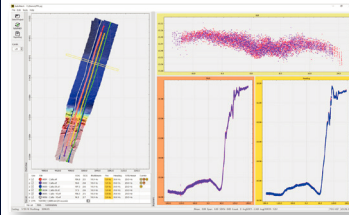
Our hydrography engineers are happy to develop systems tailored exactly to your needs and to provide professional advice and support for setting up your systems and training your staff.

MacArtney Germany benefits from being part of the MacArtney Group and enjoys unlimited access to cutting-edge engineering competences and advanced facilities.

Acoustic sensors



Software



Position and motion sensors



Integration



Liebe Leserinnen und Leser,

in dieser Ausgabe geht es um »Habitatkartierung«. In den zuvor erschienenen 119 Ausgaben der *Hydrographischen Nachrichten* kam das Wort nur insgesamt viermal in drei Heften vor – zum ersten Mal im Juni 2016, als Jens Schneider von Deimling es im Wissenschaftsgespräch erwähnte (HN 104).

Bereits drei Jahre früher findet sich der aus dem Englischen übernommene synonyme Ausdruck »Habitat-Mapping« in einem Konferenzbericht über die HYDRO 2012 in Rotterdam (HN 94). Und schon im Jahr 2009 sprach Bernd Jeuken im Wissenschaftsgespräch von »Habitat-Survey«, ein mehr englisches als deutsches Wort, das wir nach den Regeln der deutschen Orthografie geschrieben haben (HN 85).

In den englischen Fachbeiträgen dieser Zeitschrift kam der Ausdruck »habitat mapping« in acht Heften 15-mal vor (davon allein sechsmal in HN 110, die erste Fundstelle ist in HN 100); das Synonym »habitat survey« kam zweimal vor (ebenfalls in HN 100).

Diese Zahlen deuten nicht gerade darauf hin, dass Habitatkartierung in der Hydrographie ein wirklich relevantes Thema ist. Doch das könnte sich nun schlagartig ändern, denn in den Fachbeiträgen dieser Ausgabe taucht das Wort »Habitatkartierung« ganze 30-mal auf.

Nun ist es bei neuen Begriffen anfangs oft nicht so klar, was sie beinhalten. Obwohl mehrere Leute ein und dasselbe Wort benutzen, verknüpfen sie damit doch andere Vorstellungen. So kommt es, dass wir manchmal aneinander vorbeireden. Manchmal gelingt es uns aber auch rasch, uns auf eine gemeinsame Sichtweise zu einigen.

Was genau ist eine Habitatkartierung? Eine Antwort auf diese Frage zu erhalten, das war unsere Intention, als wir diese Schwerpunktausgabe konzipierten. Natürlich wussten wir, was ein Habitat ist. Aber wir schauten lieber noch einmal ins Wörterbuch. Die meisten Lexika unterscheiden zwei, drei

Definitionen. Da geht es entweder allgemein um den »Lebensraum« oder spezifischer um die »Lebensstätte einer Art« bzw. um die »Lebensstätte einer Artengemeinschaft«. Sobald von »Lebensstätte« die Rede ist, wird meist auf das Synonym »Biotop« verwiesen. Alles klar, in einem Habitat ist Leben, ein Habitat ist also ein Gebiet, in dem wir Tieren und Pflanzen begegnen. Ob da nun nur Lebewesen einer einzigen Art leben oder Lebewesen mehrerer Arten in einer Gemeinschaft, sie leben in jedem Fall in einem Gebiet, das entweder etwas größer (Lebensraum) oder etwas kleiner ist (Lebensstätte). Dieses Gebiet nun wird bei der Habitatkartierung erfasst. Und da dabei Methoden der Hydrographie zum Einsatz kommen, handelt es sich wohl um ein Gebiet unter Wasser. Oder im Übergangsbereich zwischen Wasser und Land.

Aber was wird nun kartiert? Und was überhaupt meint kartieren? Ist damit eher eine vermessungstechnische Tätigkeit gemeint oder eher eine kartografische? Wird das Gelände aufgenommen? Oder wird da etwas grafisch dargestellt? Oder beides? Oder wird eine bereits vorhandene kartografische Darstellung eines Lebensraums genutzt (eine Grundkarte), um in dieser einzutragen, was dort entdeckt wurde?

Geht es bei der Habitatkartierung also nur um die Betrachtung des Geländes und die Beschaffenheit des Gewässerbodens oder geht es auch um die Bewohner? Geht es um Sand, Schlack, Fels, Sediment? Oder geht es um Makrophyten, Seegras, Algen, Röhrenwürmer?

Am Anfang war nur eine Frage – was ist Habitatkartierung? –, nun sind daraus mehrere Fragen geworden. Eine einstimmige Antwort erhalten Sie auf diese Fragen in diesem Heft nicht. Dennoch dürften die drei Fachbeiträge zum Thema und das Wissenschaftsgespräch mit Svenja Papenmeier einiges zur Begriffsbildung und zum Diskurs beitragen.



Lars Schiller

Die nächsten Fokusthemen

HN 121 (Februar 2022)

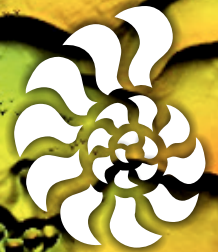
Häfen und Verkehre der Zukunft

HN 122 (Juni 2022)

Meerestechnik

HN 123 (Oktober 2022)

International Issue



R2SONIC

Fächerlotsysteme



Sonic 2020



Sonic 2022



Sonic 2024



Sonic 2026

Beispiellose Leistungsfähigkeit mit 256 Beams und 1024

- Soundings bei 160° Öffnungswinkel (einstellbar) und einer Pingrate von 60 Hz
- **Breitbandtechnologie** mit Frequenzwahl in Echtzeit zwischen 200 bis 400 kHz sowie 700 kHz optional
- **Dynamisch fokussierende Beams** mit einem max. Öffnungswinkel von 0,5° x 1° bei 400 kHz bzw. 0,3° x 0,6° bei 700 kHz
- **Höchste Auflösung** bei einer Bandbreite von 60 kHz, bzw. 1,25 cm Entfernungsauflösung
- **Kombinierbar** mit externen Sensoren aller gängigen Hersteller
- **Flexibler Einsatz** als vorausschauendes Sonar und der Fächer ist vertikal um bis zu 30° schwenkbar
- **Zusätzliche Funktionen** wie True Backscatter und Daten der Wassersäule
- **MultiSpectral Modus™**, der es den R2Sonic-Systemen ermöglicht, Backscatter Daten mehrerer Frequenzen in einem einzigen Durchlauf zu sammeln

Nautilus Marine Service GmbH ist der kompetente Partner in Deutschland für den Vertrieb von R2Sonic Fächerecholotsystemen. Darüber hinaus werden alle relevanten Dienstleistungen wie Installation und Wartung kompletter hydrographischer Vermessungssysteme sowie Schulung und Support für R2Sonic Kunden angeboten.

R2Sonic ist ein amerikanischer Hersteller von modernen Fächerecholoten in Breitbandtechnologie. Seit Gründung des Unternehmens im Jahr 2009 wurden weltweit bereits mehr als 1.500 Fächerlote ausgeliefert und demonstrieren so eindrucksvoll die außergewöhnliche Qualität und enorme Zuverlässigkeit dieser Vermessungssysteme.

Habitatkartierung

Habitatkartierung

6 **Nutzung von Fernerkundungsdaten für ein Monitoring von Flachwasser- und Strandbereichen von Küsten**

Sachstand und Ausblick

Ein Beitrag von NATASCHA OPPELT, FLORIAN UHL, KATJA KUHWALD und VICTOR LION

Habitatkartierung

14 **ECOMAP**

Habitatkartierung mittels innovativer optischer und akustischer Fernerkundungs- und Auswerteverfahren

Ein Beitrag von JENS SCHNEIDER VON DEIMLING und PETER FELDENS

Sedimentkartierung

24 **Sedimentkartierung in der niedersächsischen Nordsee und im Wattenmeer**

Ein Beitrag von FRANCESCO MASCIOLI und TINA KUNDE

Wissenschaftsgespräch

32 **»Habitatkartierung wird niemals beendet sein«**

Ein Wissenschaftsgespräch mit SVENJA PAPPENMEIER

Fahrtbericht

38 **Seevermessung mal anders**

Zehn Tage Schweremessungen mit dem VWFS *Deneb* auf der Nordsee im Juni und Juli 2021

Ein Beitrag von GUNTER LIEBSCH, PATRICK WESTFELD, CHRISTOPH FÖRSTE, LUDWIG SCHRÖDER, JOACHIM SCHWABE, TOBIAS PETER BAUER und NICO STOLARCZUK

Containerverlust

46 **Erprobung von Systemen zur Situationserfassung mit maritimer Technologieentwicklungsplattform**

Ein Beitrag von ARNOLD AKKERMANN, BENJAMIN LEIPOLD, PETER DUGGE und ANDRÉ BOLLES

IHO-Jubiläum

48 **»Measuring and Charting the Ocean«**

Internationale Zusammenarbeit in der Hydrographie ist das Thema des Buches, das zum Jubiläum der IHO erschienen ist

Eine Buchbesprechung von WILFRIED ELLMER

Hydrographische Nachrichten HN 120 – Oktober 2021

Journal of Applied Hydrography

Offizielles Organ der Deutschen Hydrographischen Gesellschaft – DHyG

Herausgeber:

Deutsche Hydrographische Gesellschaft e. V.
c/o Innomar Technologie GmbH
Schutower Ringstraße 4
18069 Rostock

ISSN: 1866-9204

© 2021

Chefredakteur:

Lars Schiller
E-Mail: lars.schiller@dhyg.de

Redaktion:

Peter Dugge, Dipl.-Ing.
Horst Hecht, Dipl.-Met.
Holger Klindt, Dipl.-Phys.
Dr. Jens Schneider von Deimling
Stefan Steinmetz, Dipl.-Ing.
Dr. Patrick Westfeld

Hinweise für Autoren und Inserenten:

www.dhyg.de > Hydrographische Nachrichten >
Mediadaten und Hinweise

Nutzung von Fernerkundungsdaten für ein Monitoring von Flachwasser- und Strandbereichen von Küsten

Sachstand und Ausblick

Ein Beitrag von NATASCHA OPPELT, FLORIAN UHL, KATJA KUHWALD und VICTOR LION

Wir stellen ein satellitenbasiertes Monitoring von Küstenhabitaten vor, welche den Strandbereich (angelandetes Makrophyten-Treibsel) wie die benthischen Lebensräume im Flachwasserbereich (vor allem Seegras und gemischte Seegras-Algen-Habitate) umfasst. Um die unterschiedlichen räumlichen Ausprägungen der Habitate optimal erfassen zu können, kombinieren wir eine auf Sentinel-2-Daten basierende Flachwasserkartierung mit einer räumlichen Auflösung von 10 m mit einem Klassifikationsansatz für angelandetes Makrophyten-Treibsel mit Hilfe von PlanetScope-Daten (räumliche Auflösung < 4 m). Im Vergleich zu konventionell kartierten Flächen weisen beide Ansätze hohe räumliche Genauigkeiten auf, was eine wichtige Grundlage für ein belastbares Monitoring darstellt. Am Beispiel eines Untersuchungsgebietes an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste zeigen wir die Vorgehensweise und die Möglichkeiten, die zurzeit verfügbare Sensoren erlauben. Basierend auf diesem Sachstand, werden künftige Entwicklungen angesprochen, welche die Erfassung von weiteren benthischen Habitaten (z. B. Muschelbänke) sowie die Kombination mit hydroakustischen Daten zur Erfassung von benthischen Habitaten in größeren Wassertiefen ermöglichen werden.

Satellitendaten | Flachwasserhabitate | Seegrundkartierung | Seegraswiesen | Makrophyten-Treibsel | Sandstrand
satellite data | shallow water habitats | seabed mapping | seagrass beds | macrophyte driftwood | sand beach

We present a satellite-based monitoring of coastal habitats, which includes the beach area (landed macrophyte drift) as well as the benthic habitats in the shallow water area (mainly seagrass and mixed seagrass-algae habitats). In order to optimally capture the different spatial characteristics of the habitats, we combine shallow water mapping based on Sentinel-2 data with a spatial resolution of 10 m with a classification approach for landed macrophyte driftwood using PlanetScope data (spatial resolution < 4 m). Compared to conventionally mapped areas, both approaches show high spatial accuracies, which is an important basis for robust monitoring. Using the example of a study area on the Baltic Sea coast of Schleswig-Holstein, we show the approach and the possibilities that currently available sensors allow. Based on this state of affairs, future developments will be addressed, which will allow the detection of further benthic habitats (e.g. mussel beds) as well as the combination with hydroacoustic data for the detection of benthic habitats in greater water depths.

Autoren

Prof. Dr. Natascha Oppelt,
Dipl.-Geogr. Florian Uhl,
Dr. Katja Kuhwald und
Victor Lion arbeiten an der
Christian-Albrechts-Universität
zu Kiel (CAU) am Institut für
Geographie.

oppelt@geographie.uni-kiel.de

Einleitung

Flachwasserhabitate wie Seegraswiesen sind weltweit auf dem Rückzug. Auch in der Ostsee gelten Seegrasvorkommen als stark gefährdet, unter anderem verursacht durch einen vermehrten Eintrag von Nährstoffen. Auch ihre Rolle als Kohlenstoffspeicher wird zunehmend wichtiger, da die Vegetation CO₂ aufnimmt und so einen Beitrag dazu leisten kann, die Folgen des Klimawandels abzumildern. Auch deswegen geben Richtlinien wie die Wasserrahmenrichtlinie oder die Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie der Europäischen Kommission vor, die Sedimente bzw. Substrate sowie

die Lebensraumtypen in regelmäßigen Intervallen zu bewerten. In den Flachwassergebieten stützten sich die Untersuchungen bisher vor allem auf lokale Unter-Wasser-Kartierungen mit kleinen Booten (Videotransekte) oder den Einsatz von Tauchern (Tauchtransekte). Diese Arbeiten sind zeit- sowie kostenaufwendig und erlauben nur einen räumlich sehr begrenzten Einblick. Hartmann et al. (2019) haben in den *Hydrographischen Nachrichten* bereits berichtet, dass daher für ein Monitoring im Flachwasserbereich zunehmend Satellitendaten verwendet werden, was einen synoptischen Überblick über die Flachwassergebiete ermöglicht. In

den Jahren 2001 bis 2017 wurde dafür auf räumlich sehr hochauflösende (< 1 m), aber kostenpflichtige Satellitendaten zurückgegriffen, während im Jahr 2018 frei verfügbare Sentinel-2-Daten mit einer räumlichen Auflösung von 10 m als Grundlage für das Monitoring dienten.

Die Nutzung von frei verfügbaren Copernicus-Daten ermöglicht ein regelmäßiges und auch künftig gesichertes Monitoring der Flachwasserhabitate wie die der schleswig-holsteinischen Ostseeküste. Daher wollen wir eine auf Sentinel-2 basierende Flachwasserkartierung für das Jahr 2020 vorstellen. Die Flachwasserkartierung mit Satellitendaten ist inzwischen eine fast schon etablierte Anwendung, weshalb wir als nächsten Schritt die Erweiterung des Monitorings auf den Strandbereich und das dort angehäuften Makrophyten-Treibsel sehen. Die Untersuchung von Makrophyten-Anhäufungen an den Stränden stellt für uns einen ersten Schritt dar, die oftmals klar getrennten Land- und Meeresökosysteme mit deren Lebensgemeinschaften in Küstengebieten miteinander zu verbinden. Dies ist umso wichtiger, da so die bestehenden Interaktionen zwischen terrestrischen und marinen Systemen vermehrt in den Fokus eines Monitorings rücken. Dabei konzentrieren wir uns auf das an der deutschen Ostseeküste überwiegend aus Seegras und verschiedenen Großalgen (Braun-, Grün- und Rotalgen) bestehende, angespülte Material im Strandbereich. Einmal angelandet, bietet das sogenannte Treibsel Lebensraum für Makrofauna, remineralisiert Nährstoffe durch seine Zersetzung und stellt

als Grundlage eines komplexen trophischen Netzes eine Schlüsselkomponente in Strandökosystemen dar (siehe auch www.posima.de). Daher ist es ein bedeutendes Element im Küstenökosystem und von Relevanz bei der Entwicklung eines Monitoring-Ansatzes.

Eine Herausforderung stellt die unterschiedliche räumliche Ausdehnung von Seegraswiesen und Makrophyten-Treibsel dar. Für die Untersuchung benthischer Habitate ist ein Sensor mit einer guten spektralen Auflösung wie Sentinel-2 geeignet und Seegraswiesen wurden bereits erfolgreich mit Hilfe dieses Sensors erfasst. Angeschwemmte Algenteppiche dagegen sind in den meisten Fällen zu kleinräumig, um mit einem Monitoring auf 10 m Auflösung gut erfasst werden zu können (Uhl et al. 2021). Für deren Verortung auf dem Strand sind räumlich hochauflösendere Daten von Vorteil. Daher stützen wir uns im Folgenden auf eine Kombination von unterschiedlichen Sensoren, um beide Räume möglichst gut erfassen zu können.

Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet ist ein Sandstrand und der angrenzende Flachwasserbereich an der Ostseeküste nordöstlich von Kiel, der sogenannten Probstei. Bei diesem Küstenabschnitt handelt es sich um einen Sandstrand von etwa 20 km Länge, wobei wir einen Teilabschnitt für unsere Untersuchungen ausgewählt haben, der die Strände von Mönkeberg, Heidkate, Brasilien, Kalifornien und Stakendorfer Strand umfasst (Abb. 1). Die Probsteiküste ist durch eine flach nach Norden abtau-

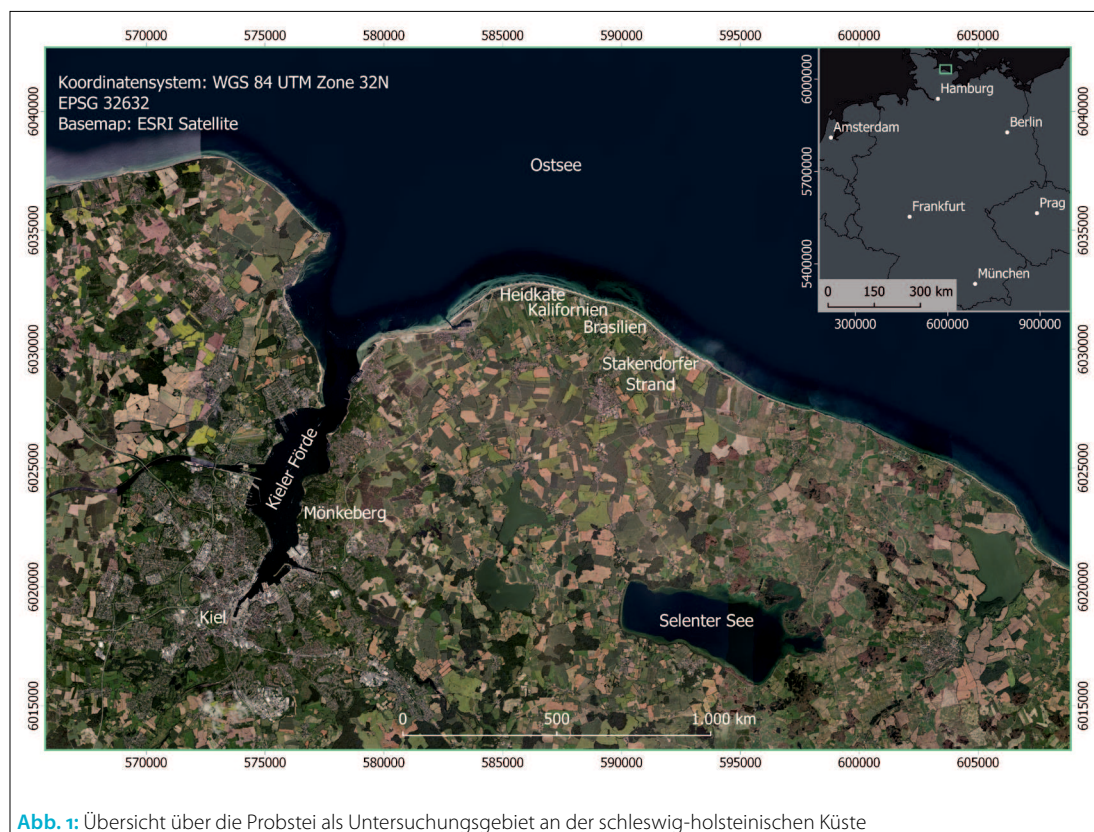


Abb. 1: Übersicht über die Probstei als Untersuchungsgebiet an der schleswig-holsteinischen Küste

chende pleistozäne Landoberfläche geprägt. Sie weist eine starke Exposition gegen Wellen und Wind auf, weshalb anthropogene Eingriffe zum Küstenschutz die heutige Erscheinung dieser Region prägen (Reese und Markau 2002). Allen voran sind die 48 steinernen Buhnen aus Findlingen zu benennen, die T-förmig bis zu 100 m in die Ostsee ragen und dadurch die Verteilung der aquatischen Vegetation aus Seegräsern (vor allem *Zostera marina*) und Großalgen (vor allem Brauntange, fädige Algen sowie Grün- und Rotalgen) maßgeblich beeinflussen (Schwarzer 1991).

Methoden

Satellitendaten und Prozessierung

Neben der Berücksichtigung der spektralen Signatur orientiert sich die Auswahl geeigneter Satellitendaten an der Struktur, Größe und Wasserbedeckung der zu untersuchenden Habitate. Daher haben wir für den Strandbereich auf (für Behörden zugängliche) PlanetScope-Daten zurückgegriffen, die zwar nur über vier spektrale Kanäle verfügen, dafür aber mit einer räumlichen Auflösung von knapp unter 4 m, resampled auf 3 m, die Verteilung von Makrophyten-Treibsel gut abbilden können. Die verwendete Szene lag als 3B Analytic Ortho Scene Product vor (genaue Verortung, kartographische Projektion und prozessiert zu Bodenreflexionen) und stammt vom 21. September 2020. Für die Kartierung der benthischen Lebensräume wurde das Multispectral Instrument (MSI) von Sentinel-2 mit 13 Kanälen im Bereich vom sichtbaren Licht bis hin zum kurzwelligen Infrarot und drei unterschiedlichen räumlichen Auflösungen zwischen 10 m und 60 m verwendet (Drusch et al.

2012). Die Sentinel-2-Szene vom 7. August 2020 lag als Level-1C Product vor und wurde um atmosphärische Einflüsse und Sunlint zu der Einheit »water leaving remote sensing reflectance« [Rrs0+] korrigiert. Wir verwenden die spektrale Information der Kanäle 1 bis 5 (sichtbarer Wellenlängenbereich bis nahes Infrarot) und reduzierten das Rauschen in diesen Kanälen durch die Verwendung eines 3 x 3-Median-Filters. Das resultierende Produkt weist in allen Kanälen eine räumliche Auflösung von 10 m auf. Eine vollständige Übersicht über das Prozessier- und Klassifikationsschema ist in [Abb. 2](#) dargestellt.

Trainings- und Validierungsdaten

Die in dieser Studie verwendeten Modelle zur Identifikation von Makrophyten-Treibsel und benthischen Habitaten benötigen räumlich verortete Geländekartierungen für das Erstellen der Modelle und die anschließende Evaluierung der Ergebnisse. Dabei standen unterschiedliche Datengrundlagen zur Verfügung. Während einer Feldkartierung am 21. September 2020 wurden im Teilbereich Stakendorfer Strand die Ausdehnung und die Zusammensetzung der auf dem Sandstrand aufgespülten Makrophyten-Treibsel erfasst. Die Ergebnisse dieser Kartierungen dienten als Grundlage, um aus den PlanetScope-Daten die spektralen Signaturen der Makrophyten-Treibsel zu extrahieren und Referenzflächen zu ermitteln (Uhl et al. 2021). Der so aggregierte Pool an Referenzdaten bildete die Basis für das Training und die Validierung der Modelle zur Detektion von Makrophyten-Treibsel.

Zur Erfassung der Seegrasvorkommen im benthischen Flachwasser implementierten wir einen

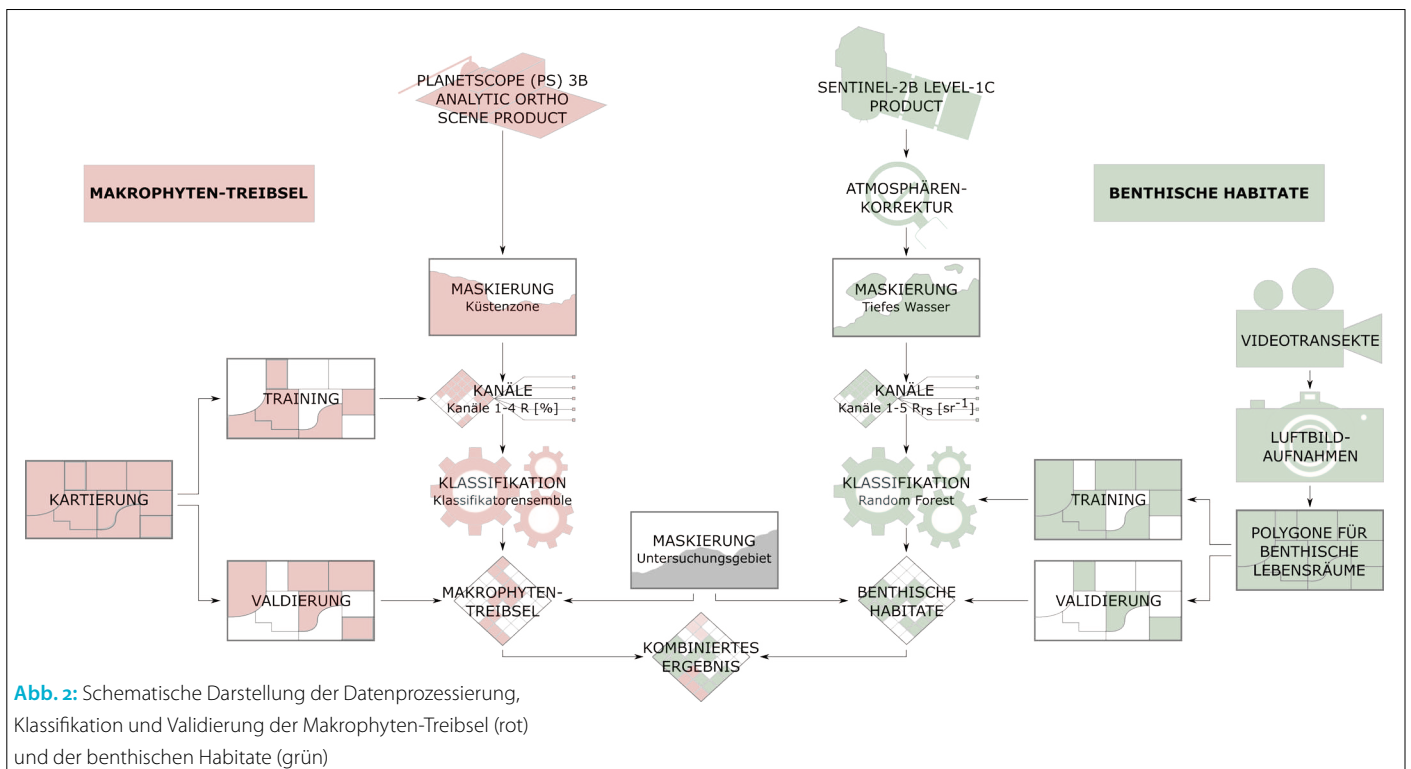


Abb. 2: Schematische Darstellung der Datenprozessierung, Klassifikation und Validierung der Makrophyten-Treibsel (rot) und der benthischen Habitate (grün)

Skalierungsansatz von Kuhwald et al. (2021), um Referenzdaten auf der räumlichen Skala der Pixelgröße von Sentinel-2 zu erhalten. Dieser Ansatz umfasst von Experten interpretierte und georeferenzierte Punktdaten auf der Grundlage von Videotransekten der Seegrasbedeckung (aufgenommen in den Sommern 2018 bis 2020) und digitalen Luftbild-Orthofotos (DOPs) vom Sommer 2020. Aus den Informationen dieser Daten in Kombination mit der Spektralcharakteristik von Sentinel-2 MSI konnten fünf benthische Lebensraumklassen abgeleitet werden (Tabelle 1). Einen Eindruck über die unterschiedlichen Klassen gibt Abb. 3. Die Fotos stammen aus Unter-Wasser-Videotransekten, welche im Rahmen der oben genannten Kartierung vom Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume in Schleswig-Holstein (LLUR) in Kooperation mit dem Geomar nach der Methode von Schubert et al. (2015) durchgeführt worden ist.

Maskierung der Sandstrände

Damit die angelandeten Makrophyten-Treibsel auf den Sandstränden klassifiziert werden können, ist es notwendig, die Strandbereiche in den Satellitendaten vom restlichen Festland abzugrenzen. Dazu haben wir ein spezielles Maskierungsverfahren verwendet. Durch die Einbeziehung von Sentinel-2-Daten aus einem Fünf-Jahres-Zeitraum von 2016 bis 2020 wird die durchschnittliche Küstenzone ohne den Einfluss von Wolken anhand spektraler Indizes und räumlicher Filter mit einer räumlichen Auflösung von 10 m ermittelt. Das detaillierte Verfahren dieses automatischen Prozessors wird in Uhl et al. (2021) beschrieben.

Die benthischen Regionen haben wir anhand von bathymetrischen Daten des BSH abgegrenzt (BSH 2012). Dazu definierten wir optisch flaches Wasser als die Regionen zwischen 0 m und 5 m Wassertiefe und maskierten diese Flächen in den Sentinel-2-Daten. Dies entspricht unserer Erfahrung nach der durchschnittlichen Wassertiefe, welche eine gute Genauigkeit bei der Ableitung der benthischen Habitate ermöglicht.

Klassifikationen der Satellitendaten

Für die Klassifikation der Makrophyten-Treibsel mit PlanetScope und der benthischen Habitate mit Sentinel-2 MSI haben wir zwei unterschiedliche

Klasse	Beschreibung
Seegras	> 90 % Pixelbedeckung mit Seegras
Seegras (dominant) mit Sediment	> 50 % Pixelbedeckung mit Seegras, < 50 % Pixelbedeckung mit Sediment
Sediment (dominant) mit Seegras	> 50 % Pixelbedeckung mit Sediment, < 50 % Pixelbedeckung mit Seegras
Wasserbedecktes Sediment	100 % Pixelbedeckung mit Sediment unter Wasser
Gemischtes Substrat	Gemischte Bedeckung aus Seegras und Makroalgen

Tabelle 1: Zusammenfassung der fünf benthischen Lebensraumklassen: Die Klasse Seegras besteht überwiegend aus *Zostera marina*, das gemischte Substrat stellt eine Mischung von Seegräsern und Makroalgen dar, das Sediment besteht überwiegend aus sandigem Substrat

Ansätze verwendet. Für die Makrophyten-Treibsel wurde ein Klassifikationsensemble bestehend aus fünf Klassifikatoren eingesetzt, während die benthischen Habitate über einen aus etwa 23 000 Datenpunkten trainierten Random-Forest-Klassifikator identifiziert wurden.

Ein Klassifikationsensemble ist die Verknüpfung mehrerer einzelner Klassifikatoren zu einem gemeinsamen Gesamtmodell mit dem Ziel der Verbesserung der Klassifikationsgüte (Briem et al. 2002). Das in dieser Studie eingesetzte Ensemble besteht aus fünf etablierten überwachten Klassifikatoren: Random-Forest, Cart, Support Vector Machine, Naive Bayes und Stochastic Gradient Boosting (Uhl et al. 2021). Nachdem in einem ersten Schritt die fünf Klassifikationen unabhängig voneinander durchgeführt werden, wird im Anschluss an die Klassifikationsdurchläufe jedes Pixel der Klasse zugeordnet, zu der es von der Mehrheit der Klassifikatoren zugewiesen wurde. Da insgesamt nur eine sehr geringe Anzahl an Referenzflächen für Makrophyten-Treibsel verfügbar war (214 Pixel), wurden die Feldreferenzen gleichmäßig und zufällig in Trainings- (50 %) und Validierungsdaten (50 %) aufgeteilt.

Der zur Klassifikation der benthischen Habitate eingesetzte Random-Forest-Klassifikator ist ein Klassifikator, der auf der Grundlage zufällig ausgewählter Teilproben eines Trainingsdatensatzes eine vorgegebene Anzahl an Entscheidungsbäumen entwickelt. Jedes Pixel wird final der Klasse zugeordnet, zu der es die Mehrheit der Entscheidungsbäume zuweist (Belgiu und Drăguț 2016).



Abb. 3: Beispielhafte Darstellung der untersuchten benthischen Habitate. Die Fotos stammen aus Videotransekt-Aufnahmen der Seegrundkartierung, die im Zeitraum von 2018 bis 2020 durchgeführt wurden

Für das Training und die Validierung des Klassifikators wurden die Referenzdaten (ca. 6900 Pixel) zufällig in 70 % (zum Training) und 30 % (zur Validierung) aufgeteilt.

Validierung der Klassifikationsergebnisse

Bei beiden Ansätzen haben wir Fehlermatrizen auf der Basis von unabhängigen Validierungsdaten verwendet, um die Ergebnisse zu bewerten. Die aus der Matrix abgeleiteten Gütemaße umfassen die Gesamtgenauigkeit, die gewichtete Gesamtgenauigkeit und das F-Maß als Metriken zur Beschreibung der allgemeinen Klassifikationsgüte. Die Klassengenauigkeiten wurden durch die Benutzergenauigkeit, die Produzentengenauigkeit und das klassenbezogene F-Maß erfasst (Details zu den Genauigkeiten der Klassifikatoren in Kuhwald et al. 2021 und Uhl et al. 2021).

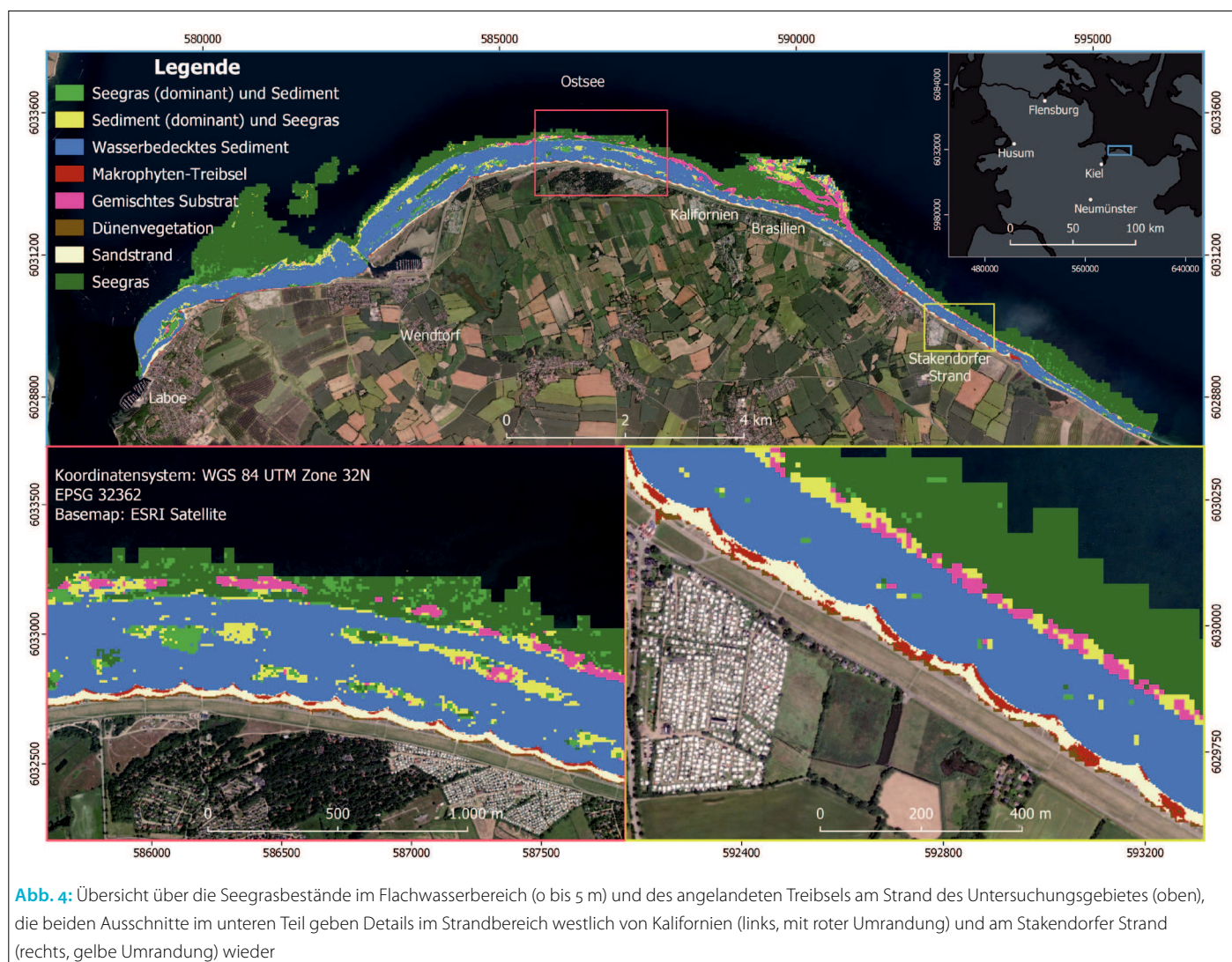
Ergebnisse

Abb. 4 zeigt die Ergebnisse der beiden Klassifikationen, nachdem diese in einem Geografischen Informationssystem zusammengefügt worden sind.

Die Ergebnisse der Validierung werden in Tabelle 2 zusammengefasst. Die erreichten Genauigkeiten

zeigen für alle Klassen hohe Klassifikationsgenauigkeiten, was eine wichtige Grundlage für ein belastbares Monitoring und eine Diskussion darstellt.

Abb. 4 zeigt die typische Zonierung der Habitate vom Strandbereich über das Flachwasser in tiefere Bereiche. Insbesondere die Detailaufnahmen zeigen die Ansammlung des Treibsel zwischen den Buhnen und teilweise sogar in höheren Strandbereichen hin zur Düne, welche ein realistisches Bild wiedergeben. Im Flachwasserbereich überwiegt sandiges Feinsediment, welches von kleinräumigen, weniger dichten Seegrasbeständen durchzogen wird. Immer wieder werden Flächen mit gemischtem Substrat sichtbar. Generell nimmt die Seegrasbedeckung vom Ufer bis zu einer Wassertiefe von 5 m zu, zeigt in ihrer Verteilung aber deutliche räumliche Muster. Großflächige, dichte Bestände kommen vor allem in geschützten Buchten vor (siehe Kuhwald et al. 2021). Abb. 4 zeigt, dass in Gebieten mit küstennahen Sandbanksystemen das dichte Seegras entlang der Sandbänke ausgerichtet ist. Anthropogene Strukturen, wie beispielsweise Buhnen, scheinen die Form der Seegraswiesen ebenfalls zu beein-



flussen. Im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes erscheint in einer Entfernung von ca. 400 m ein küstenparalleles Band aus unterschiedlich dichten Seegrasbeständen, welches in einer Breite von ca. 50 m von gemischtem Substrat durchbrochen wird. Im westlichen Teil erscheint dieses Band in einer Entfernung von ca. 200 m, wobei die Seegrasbestände hier deutlich weniger dicht sind als im westlichen Gebiet. Dieses Band markiert die Grenze des maximal 4 m tiefen Flachwasserbereiches jenseits des flach abfallenden Uferbereiches mit Wassertiefen von 1 bis 2 m (siehe auch Held und Schneider von Deimling 2019). Hier scheinen sich Seegräser mit Großalgen zu vermischen. Die räumliche bzw. spektrale Auflösung von Sentinel-2 erlaubt keine näheren Aussagen über die genaue Zusammensetzung des gemischtes Substrates. Die flächige Ausdehnung dieser Klasse scheint aber vergleichbar mit der von Karez (2008) in diesem Bereich kartierten Zone aus *Zostera marina* und fädigen Algen zu sein.

Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Artikel zeigt die zurzeit bestehenden Möglichkeiten für ein fernerkundungsbasiertes Monitoring von Küstenbereichen. Die Verwendung unterschiedlicher Sensoren für unterschiedliche Teilbereiche zeigen die ersten Schritte für eine Erfassung des gesamten Küstenstreifens über den Strandstrand bis hin zu Flachwasserbereichen mit Wassertiefen um 5 m (je nach Trübung des Wasserkörpers). Die berechneten Genauigkeiten zeigen, dass sowohl die angelandeten Makrophyten-Treibsel wie auch die Flachwasserhabitate mit PlanetScope bzw. Sentinel-2 sehr gut erfasst werden können. Das gezeigte Beispiel gibt unterschiedliche Aufnahmezeitpunkte wieder, was vor allem durch die Verfügbarkeit von Satelliten- und Kartierungsdaten bedingt ist. In dem gezeigten Beispiel sind wir von einer guten Stabilität der Seegrasbestände ausgegangen, sodass die Kartierungen aus den Jahren 2018 bis 2020 als Referenzdaten herangezogen werden können. Kartierungen von Makrophyten-Treibsel sind kaum verfügbar. Dies stellt durchaus einen Flaschenhals für die Entwicklung von fernerkundungsbasierten Verfahren dar, da wir von einer höheren räumlichen Dynamik ausgehen als bei Seegras- und Algenbeständen. Nichtsdestotrotz zeigt das Beispiel den Stand der Möglichkeiten basierend auf optischen Satellitendaten.

Bei der Verwendung von optischen Sensoren gibt es jedoch auch Einschränkungen in Bezug auf die maximal untersuchbare Wassertiefe bedingt durch die begrenzte Eindringtiefe des Lichts in den Wasserkörper. Diese Eindringtiefe ist abhängig von der Trübung und daher nicht konstant. Unsere Erfahrungen zeigen, dass im Durchschnitt Substrate bis 5 m Tiefe mit hinreichender Genauigkeit erfasst werden können. Ab-

Klasse bzw. Habitat	Genauigkeit	Sensitivität	F1-Score
Seegras	0,95	0,97	0,96
Seegras (dominant) mit Sediment	0,94	0,88	0,91
Sediment (dominant) mit Seegras	0,93	0,88	0,90
Wasserbedecktes Sediment	0,97	0,99	0,98
Gemischtes Substrat	0,92	0,93	0,92
Treibsel	0,95	0,95	0,95

Tabelle 2: Zusammenfassung der wichtigsten Genauigkeiten der Klassifikation für die unterschiedlichen Küstenhabitate. Die Genauigkeit ist das Verhältnis zwischen den richtig klassifizierten Pixeln einer Klasse und der Gesamtzahl der richtig klassifizierten Pixel in allen Klassen; die Sensitivität ist das Verhältnis der korrekt zugeordneten Pixel zu allen Pixeln in einer bestimmten Klasse; der F1-Score ist das gewichtete Mittel von Genauigkeit und Sensitivität

hilfe schaffen kann hier eine weitere Kombination mit hydroakustischen Daten, welche mit Hilfe von schiffsgestützten Surveys die benthischen Habitate in größeren Tiefen erfassen können (Held und Schneider von Deimling 2019). Im Rahmen des im August dieses Jahres angelaufenen Projektes *sea4soCieTy* (»searching for solutions for Carbon-sequestration in coastal ecosystems – remote sensing-based monitoring of vegetation in coastal ecosystems«, gefördert innerhalb der DAM-Mission »Marine Kohlenstoffspeicher als Weg zur Dekarbonisierung«) werden wir in Zusammenarbeit mit den Geowissenschaften der CAU und weiteren Partnern deutscher Universitäten und Forschungsinstitutionen eine satelliten- und hydroakustikbasierte Kartierung von Seegras für die gesamte schleswig-holsteinische Ostseeküste durchführen, um das Potenzial von Seegräsern zur Speicherung von Kohlenstoff zu ermitteln. Wir erwarten, dass wir damit alle Seegrasbestände bis in Wassertiefen von ca. 12 m erfassen können.

Eine verbesserte Unterscheidung von Seegras und anderen Habitaten, wie z. B. Braun-, Grün-, Rotalgen und Muschelbänken, erhoffen wir uns aus der Verwendung hyperspektraler Daten. Diese haben einen sehr hohen Informationsgehalt, sind aber zurzeit für ein operationelles Monitoring nicht verfügbar. Zur Vorbereitung künftiger hyperspektraler Missionen (EnMAP, CHIME) werden wir als Projektpartner in *Marispace-x* (»Smart Maritime Sensor Data Space X«, gefördert im Rahmen der *Gaia-x*-Ausschreibung) das Potenzial von hyperspektralen Daten für ein Monitoring der Flachwasserküsten ausloten. Ein Ziel von *Marispace-x* ist dabei auch die Ableitung von Produkten und Diensten, welche mittelfristig für ein Monitoring von Küstenhabitaten zur Verfügung stehen könnten.

Für einen weiteren Schritt zu einem umfangreichen Monitoring von Küsten arbeiten wir gemeinsam mit Kollegen des Geomar an Möglichkeiten zur Kartierung des im Küstensaum treibenden biologischen Materials. Erste Ergebnisse (Uhl et al. 2021)

stehen kurz vor der Veröffentlichung. Das seit einer Dekade bestehende, fernerkundungsgestützte Monitoring von Küsten ist also weiter Gegenstand für Erweiterungen und Verbesserungen, welche

durch neue Sensoren und cloudbasierte Verarbeitungstechniken ermöglicht werden. Das Monitoring von Küstenbereichen bleibt also weiterhin im Fokus neuer Entwicklungen. //



Literatur

Belgiu, Mariana; Lucian Drăguț (2016): Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011

Briem, Gunnar Jakob; Jón Atli Benediktsson; Johannes R. Sveinsson (2002): Multiple classifiers applied to multisource remote sensing data. *IEEE Transactions in Geosciences and Remote Sensing*, DOI: 10.1109/TGRS.2002.802476

BSH (2012): Official Baltic Sea Bathymetry Database. 50 m horizontal spatial resolution. <http://data.bshc.pro>

Drusch, Matthias; Umberto del Bello et al. (2012): Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, DOI: 10.1016/j.rse.2011.11.026

Hartmann, Knut; Kim Knauer et al. (2019): Aus der Ferne in die Tiefe – Kartierung der Schleswig-Holsteinischen Ostsee durch Satellitendatenanalysen. *Hydrographische Nachrichten*, DOI: 10.23784/HN113-09

Held, Philipp; Jens Schneider von Deimling (2019): New Feature Classes for Acoustic Habitat Mapping – A Multibeam Echosounder Point Cloud Analysis for Mapping Submerged Aquatic Vegetation (SAV). *Geosciences*, DOI: 10.3390/geosciences9050235

Karez, Rolf (2008): Kartierung mariner Pflanzenbestände im Flachwasser der Ostsee – Schwerpunkt Fucus und Zostera. Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, www.umweltdaten.landsh.de/nuis/wafis/kueste/fucus_bericht.pdf

Kuhwald, Katja; Jens Schneider von Deimling et al. (2021): How can Sentinel-2 contribute to seagrass mapping in shallow, turbid Baltic Sea waters? *Remote Sensing in Ecology and Conservation* (in Begutachtung)

Reese, Stefan; Hans-Joerg Markau (2002): Risk handling and natural hazards: New strategies in coastal defense – A case study from Schleswig-Holstein, Germany. *Solutions to coastal disasters*. American Society of Civil Engineers, DOI: 10.1061/40605(258)44

Schubert, Philipp; Wolfgang Hukriede et al. (2015): Mapping and modeling eelgrass *Zostera marina* distribution in the western Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series*, DOI: 10.3354/meps11133

Schwarzer, Klaus (1991): Exchange of sediment between beaches and bars after a beach nourishment. *Proceeding of the International meeting »Coastal protection, International experiences and prospect«*, S. 126–133

Uhl, Florian; Trine Rasmussen; Natascha Oppelt (2021): Classification ensembles for beach cast and drifting vegetation mapping with Sentinel-2 and PlanetScope. *Geosciences* (in Begutachtung)

Teledyne Geospatial
Imaging Solutions for Land and Water



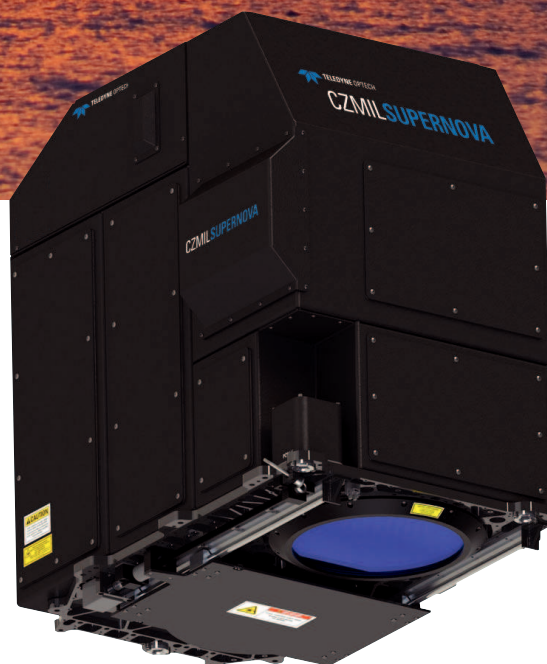
LEGEND HAS IT THAT WHEN THE SUN SETS
AT SEA CLOSE TO THE EQUATOR, IT CREATES
A POWERFUL GREEN FLASH.



CZMIL SUPERNOVA

CZMIL SuperNova comes equipped with the most powerful green laser on the market. When in use, it's powerful green flash is legendary.

CZMIL SuperNova has the best penetration in turbid waters with exceptional performance in coral reefs, inland waterways, beaches and deep water marine. A complete geospatial solution, SuperNova is powered by CARIS processing and sensor fusion software.



FOR MORE INFORMATION:
www.teledyneoptech.com/czmil-supernova



© 2021 Teledyne Optech and Teledyne CARIS, are both Teledyne Technologies companies. All rights reserved. Specifications are subject to change.

ECOMAP

Habitatkartierung mittels innovativer optischer und akustischer Fernerkundungs- und Auswerteverfahren

Ein Beitrag von JENS SCHNEIDER VON DEIMLING und PETER FELDENS

Wie hilfreich sind neue Verfahren der optischen und akustischen Fernerkundung in der Ostsee in Bezug auf Habitatkartierung im Flachwasser? Wie sensitiv reagieren die Sensoren auf spezifische Flora und Fauna? Kann künstliche Intelligenz die Datenauswertung und Datenklassifikation entscheidend voranbringen? Und welche natürlichen Schwankungen lassen sich in den Habitaten beobachten? Diese und verwandte Fragen stellte sich ein Forschungs- und Entwicklungsverbund unter Beteiligung von Deutschland, Dänemark und Polen. Ein Teil der Fragen wurde innerhalb der dreijährigen Projektlaufzeit beantwortet, einige wichtige Ergebnisse möchten wir hier darstellen.

Habitatkartierung | multispektrale Akustik | maschinelles Lernen | Fächerecholot | optische Fernerkundung | Ostsee
habitat mapping | multispectral acoustics | machine learning | multibeam echo sounder | optical remote sensing | Baltic Sea

How useful are new methods of optical and acoustic remote sensing in the Baltic Sea with regard to habitat mapping in shallow water? How sensitive are the sensors to specific flora and fauna? Can artificial intelligence decisively advance data evaluation and data classification? And what natural fluctuations can be observed in the habitats? These and related questions were asked by a research and development network with the participation of Germany, Denmark and Poland. Some of the questions were answered during the three-year project period; we would like to present some important results here.

Autoren

Dr. Jens Schneider von Deimling lehrt und forscht an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU).
Dr. Peter Feldens forscht am Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW).

jens.schneider@ifg.uni-kiel.de

Einleitung

Das 2020 abgeschlossene EU-Projekt ECOMAP (www.bonus-ecomap.eu, [Abb. 1](#)) sondierte und optimierte Möglichkeiten zur Habitatkartierung in der Ostsee mit optischen und akustischen Verfahren per Schiff, Flugzeug und Satellit. ECOMAP wurde in Kooperation zwischen Forschungseinrichtungen (Universität Kiel, Universität Kopenhagen, Universität Danzig, Geomar, IOW), dem Geologischen Dienst von Dänemark (GEUS), Firmen (Norbit-Poland, Innomar, EOMAP) und Behörden (BSH, LKN.SH, LLUR) durchgeführt und an den Erfordernissen des Habitatschutzes ausgerichtet, der in der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL) verankert ist und darauf abzielt, die Meeresumwelt in Europa wirksam zu schützen und zu verbessern. Im Folgenden stellen wir einige Ergebnisse aus dem dreijährigen Projekt vor, an dem ca. 40 Ingenieure, Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aus Deutschland, Dänemark und Polen beteiligt waren.

Motivation und Methoden

Durch flugzeug- und satellitengestützte Fernerkundung sind Forscher, Behörden und politische Entscheidungsträger im terrestrischen Bereich daran gewöhnt, Raumplanung und Umweltschutz

auf der Grundlage einer soliden und exakt georeferenzierten Datenbasis zu treffen. Im marinen Bereich sind derartige Informationen selten flächendeckend vorhanden; im Falle von geschleppten Messsystemen sind sie zudem mit Positionsungenauigkeiten behaftet, die speziell in der automatisierten Nachbearbeitung zu Problemen führen. Hauptgrund für die signifikant schlechtere Datenbasis als an Land ist die geringe Anwendbarkeit optischer Fernerkundung. Akustische Verfahren können Abhilfe leisten, erfordern jedoch den Einsatz von Schiffen. Insbesondere im Flachwasser sind akustische Messungen zeitaufwendig, und noch heute werden die flachen, küstennahen Zonen aufgrund dieser Datenlücken als das unkartierte »weiße Band« in der Küstenforschung betitelt.

Um diesen Unzulänglichkeiten entgegenzuwirken, haben wir in Kooperation mit unseren Industriepartnern die am besten geeignete Erfassungsmethode für spezifische Habitate im Flachwasser (ca. 0 bis 20 m Wassertiefe) gesucht und an den Schnittstellen zwischen optischen und akustischen Verfahren gearbeitet ([Abb. 2](#)). Wir konzentrierten uns hierbei auf eine Auswahl der wichtigsten Lebensräume aus ökologischer Sicht wie biologisch aktive Riffe aus Steinen und/oder Mu-

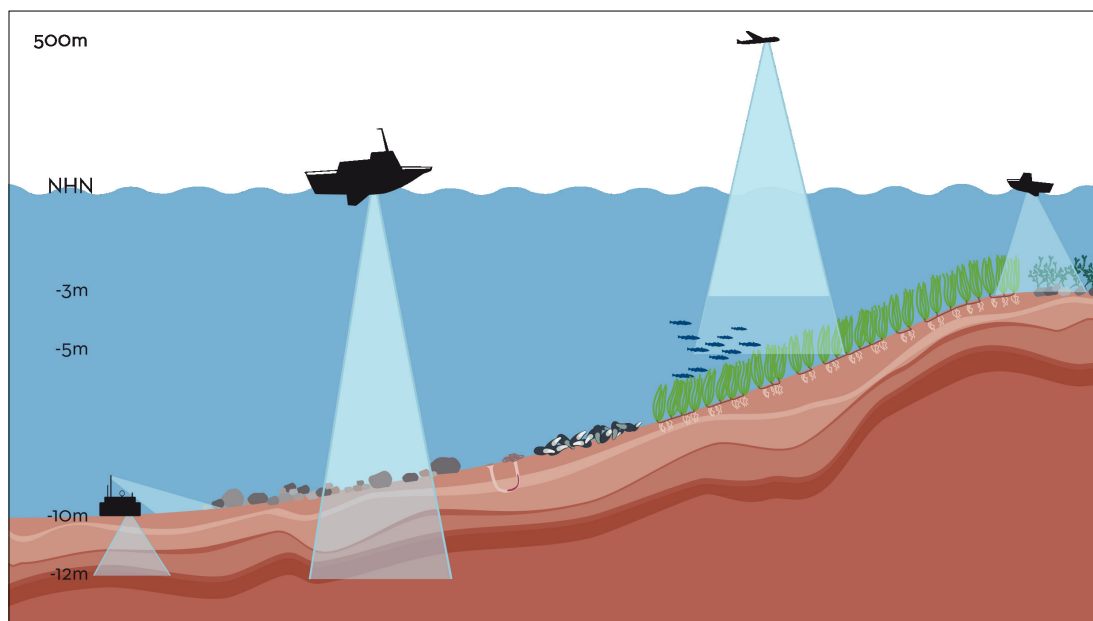
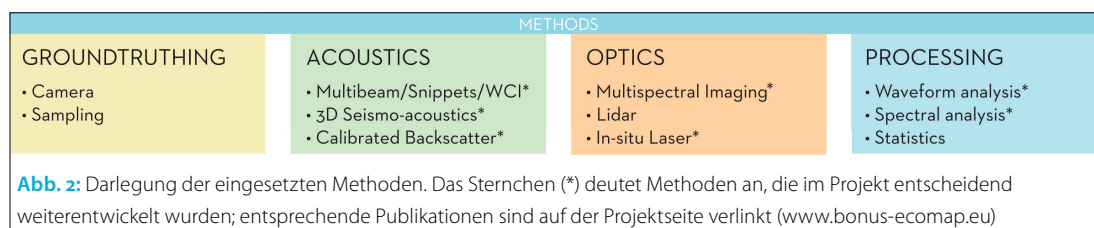


Abb. 1: Schemazeichnung zum ECOMAP-Projekt. Dargestellt sind optische Fernerkundung (Kamera, LiDAR) und akustische Fernerkundung (Fächerecholot, In-situ-Scansonar, Sedimentecholot). Unsere Zielhabitate sind aktive Riffe aus Steinen und/oder Muscheln, grabende Megafauna, Sandbänke und Seegraswiesen. Das Projekt wurde von der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) koordiniert

scheln, Gebiete mit grabender Megafauna, Sandbänke und Seegraswiesen.

Um die Kartierung der Flachwasserbereiche voranzubringen, arbeiteten wir mit optischen Daten aus dem Flugzeug (LiDAR, Kamera), mit kommerziellen Satellitenszenen (EOMAP) sowie mit schiffbasierten akustischen Verfahren (Sedimentecholot, Fächerecholot, Side-Scan-Sonar). Die eingesetzten Geräte wurden teilweise adaptiert und während weit mehr als 100 Feldtagen von den Arbeitsgruppen aus Deutschland, Polen und Dänemark in der Ostsee eingesetzt. Die Datensätze wurden in einer klassischen Forschungs- und Entwicklungsmanier bearbeitet, ausgewertet und untersucht, wobei der Forschungsschwerpunkt des Projekts auf der akustischen Habitatkartierung lag. Die im Feld tätigen ECOMAP-Mitarbeiter meldeten ihre Anforderungen an die Unternehmen, um die Arbeitsabläufe in Hinblick auf die Kartierung von Lebensräumen zu verbessern. Neben den wissenschaftlichen Errungenschaften führte dies zu technischer Weiterentwicklung von Hardware, Firmware und Software sowie zu neuen Auswerteverfahren, einschließlich der Implementierung verschiedener Datenverarbeitungsschritte unter Einbindung maschineller Lernverfahren.

Akustische Daten wurden mit verschiedenen Frequenzen zwischen 6 und 700 kHz aufgezeichnet. Wir setzten parametrische Sedimentecholote (Innomar standard, medium), kalibrierte Einstrahl-Splitbeam-Sonare (Kongsberg EK60), Side-Scan-Sonare (Edgetech, Klein) und moderne Fächerecholote (Norbit iWBMS, STX) ein, wobei der Schwerpunkt aus wissenschaftlicher Sicht auf Habitatkartierung mittels Fächerecholot (multi-beam echo sounder system), nachfolgend mit MBES bezeichnet, lag. Als Chirp-basierte Systeme wurden die Norbit-Fächerecholote mit 400 kHz als Zentralfrequenz und 80 kHz Bandbreite betrieben. Die Daten zeichneten wir teilweise mit Hypack auf (hsx) oder nativ in den Formaten wbm und s7k. RTK-Korrekturen wurden uns durch die freundliche Unterstützung der Axionet GmbH kostenfrei zur Verfügung gestellt. Die üblichen MBES-Nachbearbeitungsschritte wie Patch-Test-Kalibrierung, Raytracing, Wasserstandskorrektur und die Entfernung von Ausreißern aus den MBES-Daten wurden mit MBSsystem und QPS Qimera durchgeführt. Maßgeschneiderte Auswerteverfahren unter der Einbindung maschineller Lernverfahren erfolgten mit eigens entwickelter Software (Programmiersprachen Python, C++, D, MATLAB) der Arbeitsgruppen der CAU, des IOW, der Universität Kopen-



hagen sowie der Universität Danzig und stehen teilweise auf GitHub zur freien Verfügung.

Darüber hinaus wurden »Nicht-Standard«-Daten aufgezeichnet und dafür maßgeschneiderte Auswertelgorithmen implementiert, um z. B. kalibrierte Fächerecholot-Rückstreudaten, multispektrale MBES-Daten oder Full-Wave-Form-LiDAR-Daten besser interpretieren zu können. Dies sind vielversprechende Techniken, die jedoch aus Gründen des derzeit noch komplexen Workflows und unter Betracht von Kosteneffizienz für kommerzielle Anwendungen zu aufwendig sind und bisher wenig zum Einsatz kommen.

Optische und akustische Detektion subaquatischer Vegetation

Die Ostsee gilt als optisch trübes Gewässer, dennoch finden sich immer wieder Episoden mit guten Sichtbedingungen und Secchi-Tiefen von 8 m und mehr (Niemeyer et al. 2015). Optische Analysen wurden mit Hilfe kommerzieller Satellitenszenen, luftgestützter LiDAR- und Bildgebungssysteme (Riegl VQ 820), luftgestützter Drohnen und Dropdown-Unterwasseraufnahmen durchgeführt. Unser KMU-Partner EOMAP untersuchte vier Spektralbänder kommerzieller Satellitendaten mit einer

lateralen Auflösung von 2 bis 3 m und korrigierte die Szenen mit einem ausgefeilten atmosphärischen Korrekturmodell, um eine vom Satelliten abgeleitete Bathymetrie zu erstellen, und erreichte eine maximale Durchdringung des Wassers mit Licht von 7 m.

Des Weiteren erlauben Satelliten und Luftbildaufnahmen eine fernerkundliche Habitatkartierung im Flachwasser, wie z. B. die Erfassung subaquatischer Vegetation mittels multi- oder hyperspektraler Fernerkundung (Heege et al. 2003; Fritz et al. 2017). Die Technik wurde in der Ostsee im Rahmen von satellitengestützten Auftragskartierungen erstmalig 2017 vom LLUR zur Bestandsaufnahme der gesamten schleswig-holsteinischen Küste eingesetzt (Hartmann et al. 2019). EOMAP erstellte eine Klassifizierung des Meeresbodens für unsere Gebiete und zeigte, dass Seegras, reine Sandgebiete, Restsedimente und Gebiete mit Muscheln unterschieden werden können. Weitergehende Studien, basierend auf frei verfügbaren Sentinel-Aufnahmen unter Einbindung von LiDAR, wurden durchgeführt (Kuhwald et al. 2021; Oppelt et al., in dieser Ausgabe). Hier konnten die Klassen »dichte Seegraswiesen«, »von Seegras dominierte Gebiete«, »reine Sandgebiete« und »Restsedimentgebiete« unter Zuhilfenahme von Luftbildern und Videoschlepptransekten bis in eine Wassertiefe von 5 m mit ca. 82 % Verlässlichkeit ermittelt werden.

Direkt zu Projektstart am 1. September 2017 gelang es uns in Kooperation mit dem LKN.SH, ein »optisches Fenster« mit nahezu idealen Sichtbedingungen unter Wasser abzusuchen (Abb. 3a und Abb. 3b). Bei einer Fluggeschwindigkeit von etwa 100 Knoten/h und einer Abdeckung von 200 m in einem LiDAR-Streifen konnte die Bathymetrie mittels Riegl VQ-820 bis zu 5 m Tiefe mit einer vertikalen Auflösung von etwa 0,1 m und einer horizontalen Auflösung von 0,5 m erfasst werden (Abb. 3c). Unter optimalen Bedingungen bei einem Überflug im September 2019 zeigten die Riegl-VQ-880-Daten eine LiDAR-Eindringung von bis zu 12 m Tiefe vor Frederikshaven (Schneider von Deimling et al. 2020). Generell zeigen LiDAR-Daten systematisch Seegrasvegetation auf dem Meeresboden in Form von abnormalem Rückstreuverhalten an (Abb. 3). Wie gut sich solche Daten für quantitative Biomasseanalysen eignen, wird derzeit untersucht.

Darüber hinaus lieferten nachfolgende Überflüge Luftbilder mit einer Auflösung von 0,1 m und zeigen Steinfelder und einzelne Steine, Seegraswiesen und Rotalgen bis zu einer Wassertiefe von etwa 5 m. Fehlklassifizierungen entstehen insbesondere bei Mischhabitaten. Probleme bereiten auch Vegetationsreste von abgestorbenem oder ausgerissenem Pflanzenmaterial (Detritus), welches lokal akkumulieren kann und optisch und spektral täuschend ähnlich wirkt wie gewachsene Vegetation (Abb. 3a).

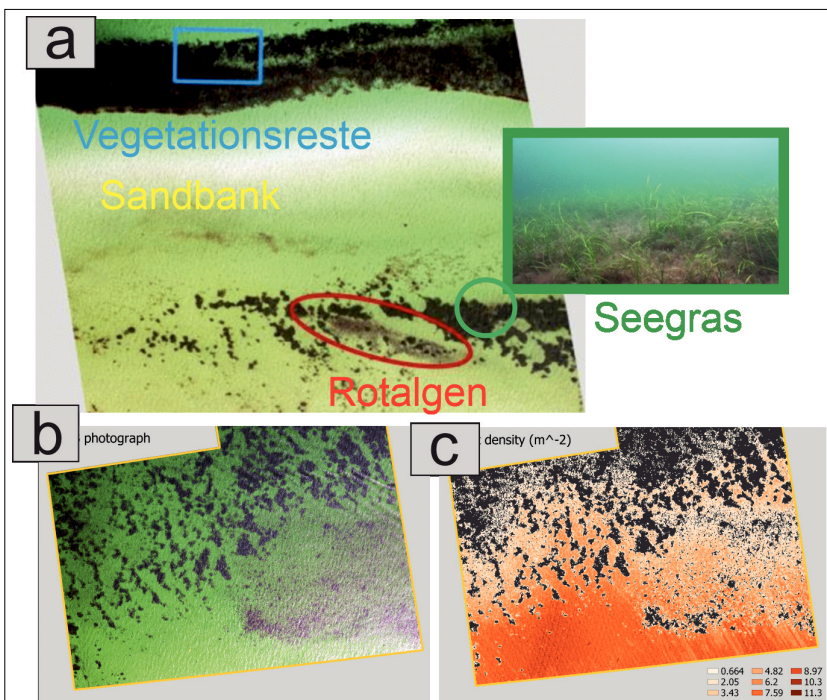


Abb. 3: **a:** Luftbildaufnahme aus dem Flugzeug vom 1. September 2017 zum Projektstart von BONUS ECOMAP vor der Küste von Heidkate. Die Wassertiefen im Bildausschnitt reichen von 1,2 bis 2,1 m und wurden vor Heidkate bei Kiel mit einer Hasselblad H5Dc während eines LiDAR-Überflugs mit Riegl VQ-820 erhoben, der in Kooperation mit dem LKN.SH durchgeführt wurde (DIMAP Spectral GmbH). Der Rotalgen-Patch umfasst ca. 10 × 70 m. Die dunklen Patches im Süden stammen von Seegras (inlet), der dunkle Streifen stellt allerdings einen Bereich mit Pflanzenresten (Detritus) und Algen dar, die strömungsbedingt an der Sandbank anlagern. Die Validierung erfolgte durch das wissenschaftliche Tauchteam der CAU (Wallmeier 2019; Schneider von Deimling et al. 2020). **b:** Benachbarte Luftbildaufnahme. **c:** Gleichzeitig gewonnene topobathymetrische LiDAR-Daten. Im Vergleich zeigt sich eine sehr starke Korrelation zwischen Fehlechos (schwarz) und Vegetation

Gelingt es, Überflüge während optisch günstiger Bedingungen durchzuführen, so können überraschend gute Ergebnisse eingefahren werden. Unsere Messungen zeigen, dass luft- und welt-raumgestützte optische Messungen zumindest episodisch eine flächendeckende Kartierung des Meeresbodens im »weißen Band« (Flachwassergebiete) in der Westlichen Ostsee bis ca. 5 m ermöglichen. Obwohl diese Technologie nicht die gleiche Genauigkeit, Tiefenwirkung und Auflösung wie Fächerecholotsysteme oder LiDAR erreicht, ist sie eine schnelle, kostengünstige und großflächige ergänzende Technik (Tabelle 1). Weltraum- oder luftgestützte Daten können von enormem Wert sein als Planungsgrundlage (Pre-Survey) für den zeitaufwendigen Einsatz höher auflösender Messverfahren und für Probenahmen, welche für eine erfolgreiche Klassifizierung nach wie vor notwendig ist. Die Möglichkeit, durch wiederholte Überflüge die zeitliche Entwicklung zu verfolgen, birgt großes Potenzial für die Kartierung und Überwachung der Geo-Biodiversität und der benthischen Lebensräume in solch flachen Gewässern (< 5 m).

Ein Hauptaugenmerk lag darauf, das Seegras *Zostera marina* mit opto-akustischen Methoden besser zu erfassen. Seegraswiesen bilden in der Ostsee das hinsichtlich Ökosystemfunktionen wichtigste Habitat; deren Vorkommen wurde bisher mittels geschleppter Kamera kartiert und modelliert (Schubert et al. 2015). Ein Überflug am ersten Projekttag, am 1. September 2017 zeigte, dass Seegras aus Luftbildern und bis zu einer Tiefe von 5 m optisch erfassbar erscheint (Abb. 3) und von zeitgleich auftretenden Rotalgen anhand der RGB-Werte bzw. entsprechenden Indizes getrennt werden kann (Wallmeier 2019). Mögliche Interaktion von LiDAR mit Vegetation wurde bereits als Problem in Bezug auf Kartierung des Gewässerbodens erkannt (Niemeyer et al. 2015). Erste Ergebnisse zeigen, dass LiDAR vermutlich quantitative Ergebnisse liefern kann in Bezug auf Seegrasvorkommen in der Ostsee, zumindest bis ca. 5 m (Wallmeier 2019). Neuere Aufnahmen inklusive Full-Wave-Form befinden sich in der Auswertung.

Die optische Transparenz in unserem Referenzarbeitsgebiet vor Heidkate war besser als erwartet. Folglich führten wir regelmäßig Drohnenüberflüge durch, um einen Einblick in die saisonale Entwicklung der Seegraswiesen zu erhalten (Gross et al. 2020). Eine Analyse der Überflüge mit dem Flugzeug und der Drohne zeigte, dass optische Methoden jenseits von 5 oder 6 m Wasser nicht verlässlich arbeiten (Wallmeier 2019). Folglich ist für die Fernerkundung bis zu den maximalen Tiefenvorkommen von *Zostera marina* – das in der westlichen Ostsee zwischen 7 und 9 m liegt (Schubert et al. 2015) – ein akustisches Monitoring erforderlich, um die Bestände komplett abbilden zu können.

Um auch Seegrasvorkommen jenseits der 5-m-Tiefenlinie verlässlich kartieren zu können, erarbei-

Methode	km ² /h	Auflösung
In-situ-Video	~ 0,02	cm
MBES @ 5 m	~ 0,6	cm bis dm
Airborne LiDAR/Imaging	20	dm bis m
Synthetic Aperture Radar	2 Mio	5 m
Sentinel-2	10 Mio	10 m

Tabelle 1: Flächenleistung der optischen und akustischen In-situ-Methoden (geschleppte Kamera) und Fernerkundungsmethoden (Satellit, Flugzeug, Schiff)

teten wir ein MBES-basiertes Verfahren (Abb. 4). Als Fächerecholot setzten wir ein kalibriertes Norbit-ECOMAP-Prototyp-Sonar ein sowie das CAU-eigene Norbit iWBMS mit integriertem Applanix Wave-master INS und Online-c-keel-Sonde von AML.

Häufig werden für die akustische Habitatkartierung Rückstreudaten von Seitensichtsonaren ana-

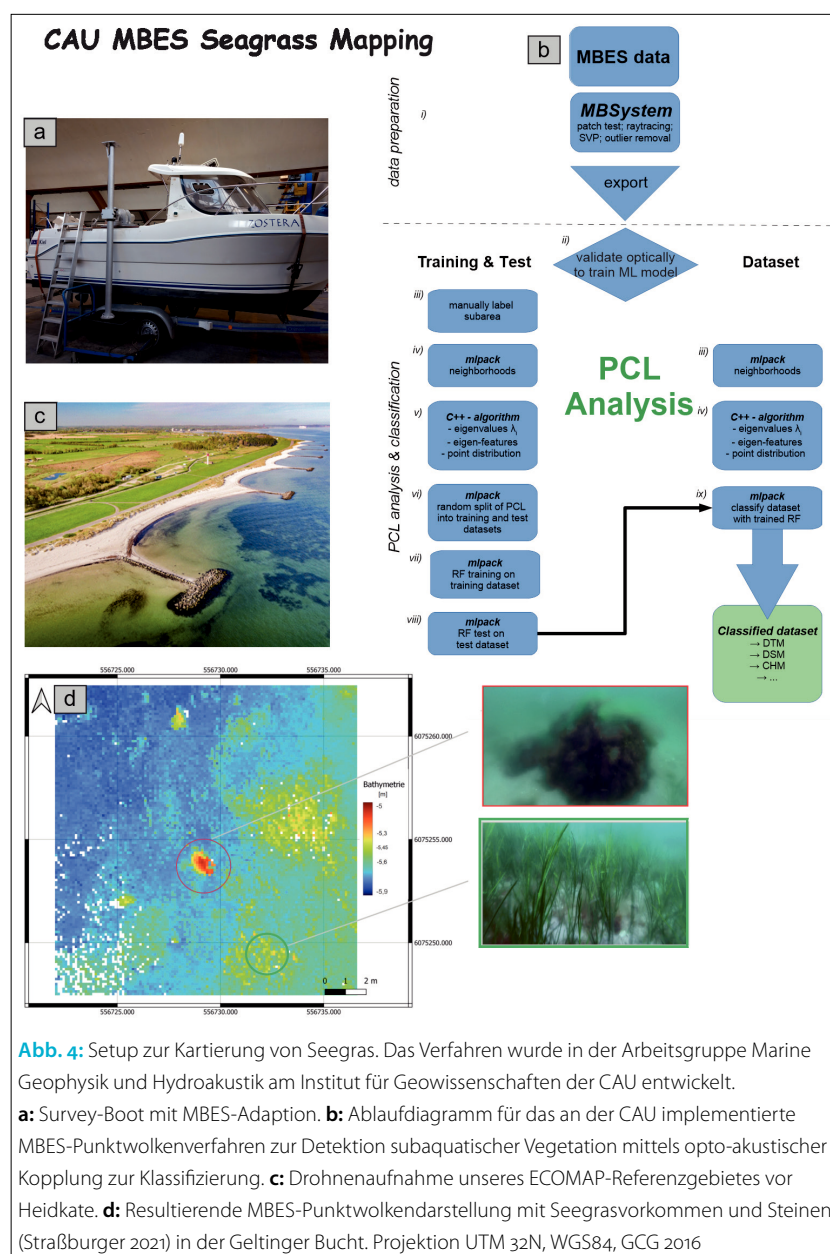


Abb. 4: Setup zur Kartierung von Seegras. Das Verfahren wurde in der Arbeitsgruppe Marine Geophysik und Hydroakustik am Institut für Geowissenschaften der CAU entwickelt.

a: Survey-Boot mit MBES-Adaption. **b:** Ablauffdiagramm für das an der CAU implementierte MBES-Punktwolkenverfahren zur Detektion subaquatischer Vegetation mittels opto-akustischer Kopplung zur Klassifizierung. **c:** Drohnenaufnahme unseres ECOMAP-Referenzgebietes vor Heidkate. **d:** Resultierende MBES-Punktwolkendarstellung mit Seegrasvorkommen und Steinen (Straßburger 2021) in der Geltinger Bucht. Projektion UTM 32N, WGS84, GCG 2016

lysiert. Unser Ziel war es jedoch, nicht nur Seegras akustisch zu detektieren, sondern dessen Vorkommen exakt zu vermessen, um mögliche Bestandsveränderungen in wenigen Jahren mittels eines wiederholten Surveys erfassen zu können. Eine Kartierung mit Genauigkeiten im Bereich von wenigen Zentimetern bis Dezimetern ist jedoch nur mittels RTK-GPS-Navigation, Beamforming und Bewegungskompensation möglich und damit für Seitensichtsonare nicht erreichbar.

Aus der hydrographischen Vermessung per Echolot ist bekannt, dass Bodenfindungsalgorithmen signifikant durch Vegetation gestört werden. Dies hat bis heute zur Folge, dass die Daten manuell und zeitaufwendig editiert werden, um den Einfluss der Vegetation zu eliminieren. Für den Fall von *Zostera marina* wurde dies im Arbeitsgebiet für Fächerecholotdaten bestätigt: Selbst Vorkommen von nur wenigen Sprossen Seegras pro Quadratmeter führen bereits zu signifikanten akustischen Anomalien (Lübmann 2018). Auch in Sedimentecholotdaten erscheint Seegras als deutliche Anomalie in der Wassersäule (Innomar). Die Anomalien der Rückstreuung durch Seegras sind spezifisch. Zum einen streut Seegras signifikant zurück zum Sender, zum anderen ist es akustisch transparent und erlaubt teilweise die Sicht auf den darunter befindlichen Meeresboden und führt zu multiplen Rückstreuungsmustern. In MBES-Daten treten Fehldetektionen durchgängig über den gesamten Fächer hinweg auf und erscheinen darüber hinaus recht unabhängig von der Art der Bodenerkennung (Phase, Amplitude) zu sein. Aufgrund dieses spezifischen Verhaltens mit dem Ziel, die Problematik in den Griff zu bekommen bzw. Seegras klar von der Gewässersohle trennen zu können, entwickelten wir spezifische Datenmerkmale (Features) in einem Punktwolken-Analyseverfahren, welches seinen Ursprung in der Astronomie hat und bereits bei der Auswertung von LiDAR zum Einsatz kommt. Die bereinigte, nicht gerasterte dreidimensionale Punktwolke (3D PCL) wurde als kartesische Koordinaten exportiert (XYZ-ASCII UTM 32 Nord). Anschließend wurde für jeden individuellen Punkt bzw. für jedes Sounding eine zylindrische Nachbarschaft innerhalb eines 0,5-m-Suchradius ermittelt. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Nachbarschaft von 88 Punkten. Die Nachbarschaften der einzelnen Punkte wurden mit der sehr schnellen Open-Source-Bibliothek für maschinelles Lernen mlpack berechnet. Der benachbarte Raumbezug jeder einzelnen Echolotung wurde anschließend in Hinblick auf die Parameter Sphärizität, Linearität und Planarität und weiteren Ableitungen analysiert (Held und Schneider von Deimling 2019). Durch die Berechnung der abgeleiteten Parameter erhöht sich die Datenmenge temporär um den Faktor neun.

Essenziell für den Erfolg maschineller Lernverfahren und das sogenannte überwachte Lernen ist

die Generierung eines guten Trainingsdatensatzes. Für dessen Aufbau integrierten wir optische Aufnahmen aus dem Flugzeug im Flachwasser in das Training der akustischen Daten. Eine Validierung erfolgte durch die Forschungstaucher der CAU. Anschließend trainierten wir das Datenmodell mittels eines Random-Forest-Algorithmus und transferierten das fertige Modell in optisch undurchsichtiges Wasser auf akustische Daten. Die resultierende Modellgenauigkeit erreichte eine Trefferquote von über 96 % für die Klasseneinteilung »Vegetation« gegen »Meeresboden«. Nachdem diese MBES-Verarbeitung durchgeführt wurde, liefert das Verfahren bereinigte Bathymetrie, die räumliche Abdeckung von Seegras und die Bewuchshöhe in bisher nicht erreichter Genauigkeit. Momentan untersuchen wir die Verlässlichkeit des Verfahrens unter Hinzunahme von Steinen als mögliche Verwechslungskandidaten; Details des Verfahrens können in Held und Schneider von Deimling (2019) eingesehen werden.

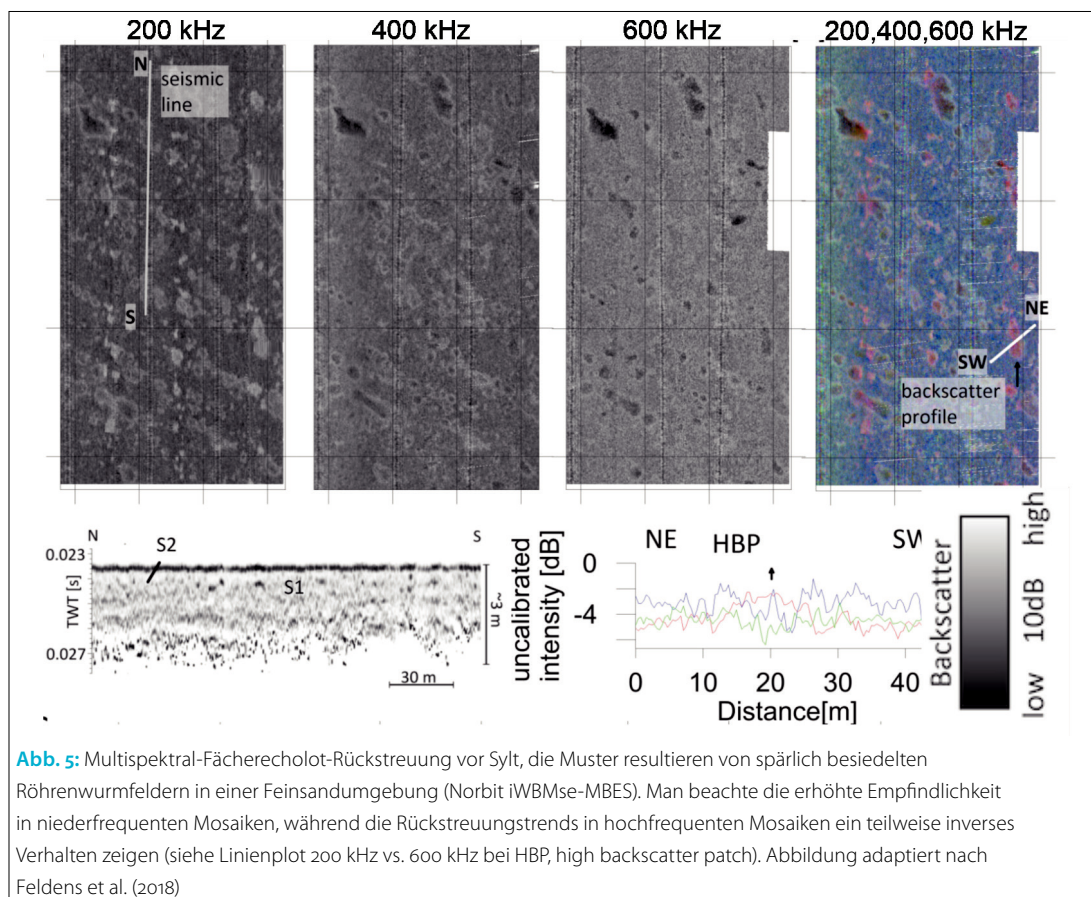
Vom Side-Scan-Sonar zum Multispectral-Snippet-Multibeam

Side-Scan-Sonar-Systeme sind für die geologische Kartierung des Meeresbodens in der Ostsee weit verbreitet und werden von vielen nationalen Behörden aufgrund ihrer Benutzerfreundlichkeit, erhöhten Abdeckung und Zeiteffizienz bevorzugt für die Kartierung von Habitaten eingesetzt. Die Ergebnisse aus ECOMAP legen dar, wie moderne Fächerecholotsysteme die klassischen Side-Scan-Vermessungen ergänzen können, sowohl für die biotische als auch für die abiotische Kartierung des Meeresbodens. Mit dem Aufkommen der sogenannten Snippet-Technologie, die in modernen MBES implementiert ist, können side-scan-ähnliche Karten mit einer theoretischen Auflösung von bis zu 1 cm über die Spur hinweg erstellt werden, während die Bathymetrie aufgezeichnet wird. Die praktisch nutzbare Auflösung wird dabei weiterhin von der durch die Fahrtgeschwindigkeit kontrollierten Along-Track-Auflösung sowie der Wassertiefe limitiert. Bis in Tiefen von etwa 20 m können mit auf Schiffen installierten MBES allerdings Rückstreumosaiken von ähnlich guter Anwendbarkeit wie bei geschleppten Side-Scan-Sonaren erzielt werden. Ein wichtiger Vorteil von MBES ist die eng gekoppelte RTK-GPS-Navigation mit cm-Genauigkeit, die Bewegungskompensation des Schiffes und damit die exakte geografische Co-Registrierung von Bathymetrie und Rückstreuung, die darüber hinaus eine Voraussetzung für die Identifizierung kleiner Verschiebungen der Habitatgrenzen sogar auf saisonaler Ebene ist. Methodisch konzentrierten wir uns auf die Erstellung von MBES-Multifrequenz-Rückstreumosaiken, Winkelantwortkurven und Spektraldaten, kombiniert mit einer intensiven biologischen Probenahme. Multispektralverfahren sind in der optischen

Satellitenfernerkundung seit Dekaden im Einsatz. Mittels speziell designter Indizes lassen sich damit vielfältige Erdbeobachtungen und Umweltanalysen an Land durchführen. Dahingegen gibt es bisher nur sehr wenige Arbeiten, die sich mit dem Potenzial von multispektraler Meeresbodenkartierung befassen, entsprechende akustische Indizes wurden bisher noch gar nicht entwickelt. In ECOMAP konnten erste Arbeiten zu spezifischen Habitaten durchgeführt und – mit Unterstützung unserer KMU Norbit und Innomar – konnte einer der ersten multispektralen Datensätze generiert und analysiert werden (Feldens et al. 2018). Darüber hinaus sind bewegungskompensierte Daten für die Berechnung von Karten spektraler Parameter erforderlich, die aus Rückstreu- und bathymetrischen Daten abgeleitet werden (Schönke et al. 2017) und auch die Methodik der Texturanalyse unterstützen (Feldens 2017).

Für die Multispektralaufnahmen in ECOMAP kam das IOW-eigene Norbit iWBMS-e-Fächerecholot, das im Moonpool von FS *Heincke* und FS *Elisabeth Mann Borgese* montiert wurde, zusammen mit einem Applanix SurfMaster-Trägheitsnavigations- und Lagesystem zum Einsatz. Für die drei Vermessungen im Bereich Sylter Außenriff in der Nordsee und der Mecklenburger Bucht in der Ostsee wurden die Frequenzen 200, 400 und 600 kHz verwendet und das Surveygebiet dreifach überfahren (Anmerkung: Mittlerweile ist eine Multispektralaufnahme mit nur einem Sur-

vey technisch möglich). EGNOS-Korrekturdaten wurden empfangen, um die Navigation auf 0,5 m Genauigkeit zu verbessern. Es wurde zudem angestrebt, die Surveylinien exakt zu wiederholen. Wir registrierten die Rückstreustärke mit Hypack 2016. Die Verarbeitung konzentrierte sich auf die Beseitigung der in den Daten vorhandenen Winkelabhängigkeiten durch Anwendung einer winkelabhängigen Verstärkung (AVG) und den Vergleich der relativen Rückstreuwerte zwischen den Frequenzen. Die Korrektur der Winkelabhängigkeit muss sehr exakt erfolgen, da bereits kleine, in den Einzelfrequenzmosaiken nicht sichtbare Artefakte in den Multifrequenzaufnahmen deutlich erkennbar sind (Abb. 5). Aufgrund der Frequenzabhängigkeit von akustischer Absorption in Wasser muss eine Korrektur erfolgen. Hierfür berechneten wir die Absorptionskoeffizienten gemäß der vorherrschenden Temperatur und des Salzgehaltes. Die Intensitäten der Rückstreuung wurden normalisiert und linear auf ein Graustufenmosaik mit einer Auflösung von 0,3 m dargestellt. Die endgültigen Mosaik wurden mit einem 3 × 3-Box-Mittelwertfilter gefiltert. Multifrequenzmosaiken wurden durch Verwendung von drei Monofrequenz-Graustufenmosaik als Eingangskanäle eines RGB-Bildes mit Open-Source-GIS-Software erstellt (gdal). Die 200-kHz-Frequenz stellt den roten Kanal dar, die 400-kHz-Frequenz den grünen Kanal und die 600-kHz-Frequenz den blauen Kanal.



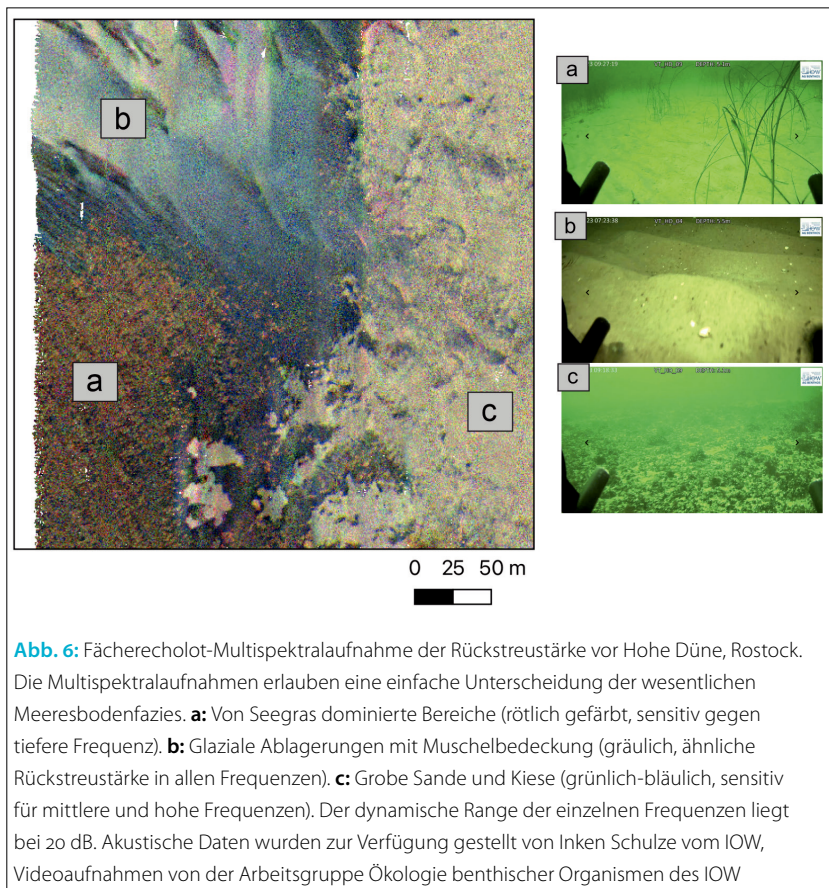


Abb. 6: Fächerecholot-Multispektralaufnahme der Rückstreustärke vor Hohe Düne, Rostock. Die Multispektralaufnahmen erlauben eine einfache Unterscheidung der wesentlichen Meeresbodenfazies. **a:** Von Seegras dominierte Bereiche (rötlich gefärbt, sensitiv gegen tiefere Frequenz). **b:** Glaziale Ablagerungen mit Muschelbedeckung (grünlich, ähnliche Rückstreustärke in allen Frequenzen). **c:** Grobe Sande und Kiese (grünlich-bläulich, sensitiv für mittlere und hohe Frequenzen). Der dynamische Range der einzelnen Frequenzen liegt bei 20 dB. Akustische Daten wurden zur Verfügung gestellt von Inken Schulze vom IOW, Videoaufnahmen von der Arbeitsgruppe Ökologie benthischer Organismen des IOW

Im Allgemeinen wurde festgestellt, dass niedrigere Frequenzen eine bessere Empfindlichkeit für Unterschiede in der Zusammensetzung feinsandiger und schluffiger Ablagerungen aufweisen (Feldens et al. 2018). Dies wurde durch die zunehmende Volumenstreuung in diesen Sedimenten bei niedrigeren Frequenzen erklärt, was die Unterschiede zwischen den Lebensräumen (z. B. Veränderungen im Niveau der Bioturbation bei ansonsten sedimentologisch homogenem Sediment) bei diesen niedrigen Frequenzen hervorhebt (Abb. 5). Die Bedeutung der Bioturbation für die akustische Streuung sowohl im Volumen als auch an der Oberfläche wurde durch Laborexperimente bestätigt, die den Einfluss von Röhrenwürmern, vergrabenen Muscheln und Muschelfragmenten, aber auch von Bioturbationsspuren in feinkörnigen Sedimenten bei Frequenzen über 100 kHz zeigen (Schönke et al. 2019; noch unveröffentlichte Daten von Inken Schulze, IOW). Auch für abiotische Habitate bietet die Multispektralanalyse Vorteile (Abb. 6). Als Beispiel sei hier angeführt, dass – im Gegensatz zu den durch Volumenstreuung beeinflussten biologischen Parametern in feinkörnigen Sedimenten – ökologisch wertvolle Grobsande und Kiesgrunde deutlich besser in hochfrequenten Mosaiken erkennbar sind (noch unveröffentlichte Daten von Inken Schulze, IOW; Abb. 6). Ein weiteres mikrobiell geprägtes Habitat in der Ostsee stellen die anoxischen Becken dar. Auch hier ist mittels multispektraler MBES-Auf-

nahmen eine verbesserte flächige Kartierung möglich (Schneider von Deimling et al. 2013).

Die Aufnahme von Multifrequenzmosaiken im praktischen Einsatz setzt eine simultane Aufzeichnung aller Frequenzen (sodass keine Verluste in der Auflösung der Karten entstehen) sowie kalibrierte Messdaten voraus. Erste entsprechende Fächerecholotsysteme sind derzeit am Markt verfügbar (z. B. Norbit STX). Softwarelösungen für die Anfertigung von Multifrequenzmosaiken sind dagegen in kommerziell verfügbare Softwarepakete integriert (z. B. FMGT, SonarWiz).

Habitatkartierung im Zeitalter der künstlichen Intelligenz

Eines der meistdiskutierten Themen im Bereich der submarinen Habitatkartierung ist die automatische Habitatklassifizierung und Objektdetektion. In den letzten Jahrzehnten wurden viele Ansätze in Betracht gezogen und verschiedene Klassifizierungstechniken implementiert. Diese Ansätze funktionieren oft gut in begrenzten Testgebieten, lassen sich jedoch in der Praxis oft nur schwierig anwenden, was hauptsächlich auf die Komplexität der Meeresbodenhabitate sowie der hydroakustischen Kartierung zurückzuführen ist. Daher war der Blick eines Experten auf die Daten und ihre Interpretation für die akustische Habitatklassifizierung bisher meist unerlässlich. Seit einigen Jahren werden mit zunehmendem Erfolg automatisierte Verfahren unter Zuhilfenahme künstlicher Intelligenz vorgestellt. Insbesondere überwachte maschinelle Lernverfahren ermöglichen es heute, die Erfahrung des Experten in Datenmodelle zu integrieren und somit die menschliche Stärke von der Interpretation zu bewahren, aber dennoch automatisiert zu klassifizieren. Einige Beispiele hierzu finden sich in der letzten Ausgabe dieser Zeitschrift (HN 119) und wurden von den verschiedenen Arbeitsgruppen in ECOMAP publiziert (Janowski et al. 2018; Held und Schneider von Deimling 2019; Feldens et al. 2021). Mit schnellen Computern und Hochleistungsgrafikkarten wird die Analyse großer Datensätze möglich. Insbesondere bei der Durchforstung hochdimensionaler Datensätze ist ein Mensch den Computern hoffnungslos unterlegen. In ECOMAP konnten wir durch mehrere Studien zeigen, dass sich Habitate wie Seegraswiesen, Steinvorkommen, Gebiete mit unterschiedlichen Korngrößen durch gute Datenmodelle klar trennen lassen. Unsere Daten deuten an, dass selbst kleinskalige Änderungen wie Bewuchs von Fadenalgen ihren Abdruck in akustischen Daten hinterlassen könnten. In ECOMAP implementierten wir daher verschiedene Ansätze zur Auswertung von Fächerecholotdaten unter Einbindung maschineller Lernverfahren (random forests, k-means, neuronale Netze) für verschiedene Habitate und Daten und untersuchten darüber hinaus, welche Datenmerkmale möglicherweise für die gegebene geo-

bioakustische Umgebung prädiktiv sein könnten. Es ist seit Langem bekannt, dass die Bathymetrie selbst einer der wichtigsten Prädiktoren für verschiedene Arten und Lebensräume ist. Auch dies war ein Grund dafür, im Rahmen von ECOMAP bevorzugt die Fächerecholottechnologie einzusetzen, da sie die Möglichkeit bietet, genaue Bathymetrie zu erfassen und moderne Snippet-Side-Scans zu co-registrieren. Dadurch konnten wir neue Merkmale wie spektrale Ableitungen der Bathymetrie und Eigenwertmerkmale generieren, welche die Morphologie und Punktwolkenverteilung charakterisieren. Insgesamt wurden mehr als 40 Parameter abgeleitet. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die Erstellung hochdimensionaler Datensätze und die Einrichtung von Datenwürfeln und anschließende Auswertung mit Techniken des maschinellen Lernens erstaunliche Ergebnisse liefern und zu einer zuverlässigen und sensitiven Lebensraumkartierung führen können (Abb. 7). Die Bedeutung verschiedener Merkmale wurde bewertet. Die beiden wichtigsten Prädiktoren waren hier die Rückstreuintensität, die acht nachfolgenden Prädiktoren waren jedoch allesamt bathymetrischer Natur (Janowski et al. 2018). Daher ist anzunehmen, dass die Bathymetrie bzw. Morphologie des Meeresbodens in ihren unterschiedlichen Ausprägungen von entscheidender Bedeutung für die Entstehung spezifischer Lebensräume ist. Folglich erachten wir die Bedeutung hydrographischer Messungen für die Habitatkartierung als hoch.

Ausblick

Unsere Ergebnisse zeigen Fallbeispiele, um neuartige Verfahren zu demonstrieren. Wir stehen in direktem Kontakt mit den Behörden, um zu erörtern, welche Verfahren möglicherweise zur verbesserten Kartierung und Überwachung von marinen Lebensräumen angewendet werden könnten. Dagehingehend wurden Nachfolgeprojekte generiert, in denen wir anstreben, die Verfahren zu optimieren.

Untersuchungen mit dem Ziel einer verlässlichen Fernerkundung von Seegraswiesen und Kelpwäldern werden von der CAU in dem Verbundprojekt sea4soCieTy weiterentwickelt, welches im Rahmen der Ausschreibung der Deutschen Allianz für Meeresforschung (DAM, www.cdmare.de) »Blue Carbon – Ansätze zur Steigerung der CO₂-Aufnahme und -Speicherung« für drei Jahre gefördert wird. EOMAP führt seine Entwicklungen zu Cloud-basierten Flachwasser-Kartierungsdiensten mit Satellitendaten im Rahmen des 45 EU-H2020-Projektes zusammen mit Industriepartnern (Fugro, QPS) und hydrographischen Behörden weiter. Die entsprechende Übertragung auf moderne drohnen-gestützte Lösungen wurde kürzlich aus Mitteln des Nationalen Masterplans Maritime Technologien (NMMT) des BMWi begonnen. Die Erfahrungen im Hinblick auf die KI-Verarbeitung akustischer Daten sind in das Projekt ATLAS eingeflossen, in dem am IOW von 2019 bis 2021 große Gebiete der Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns geologisch und biologisch kartiert wurden. Folgeprojekte be-

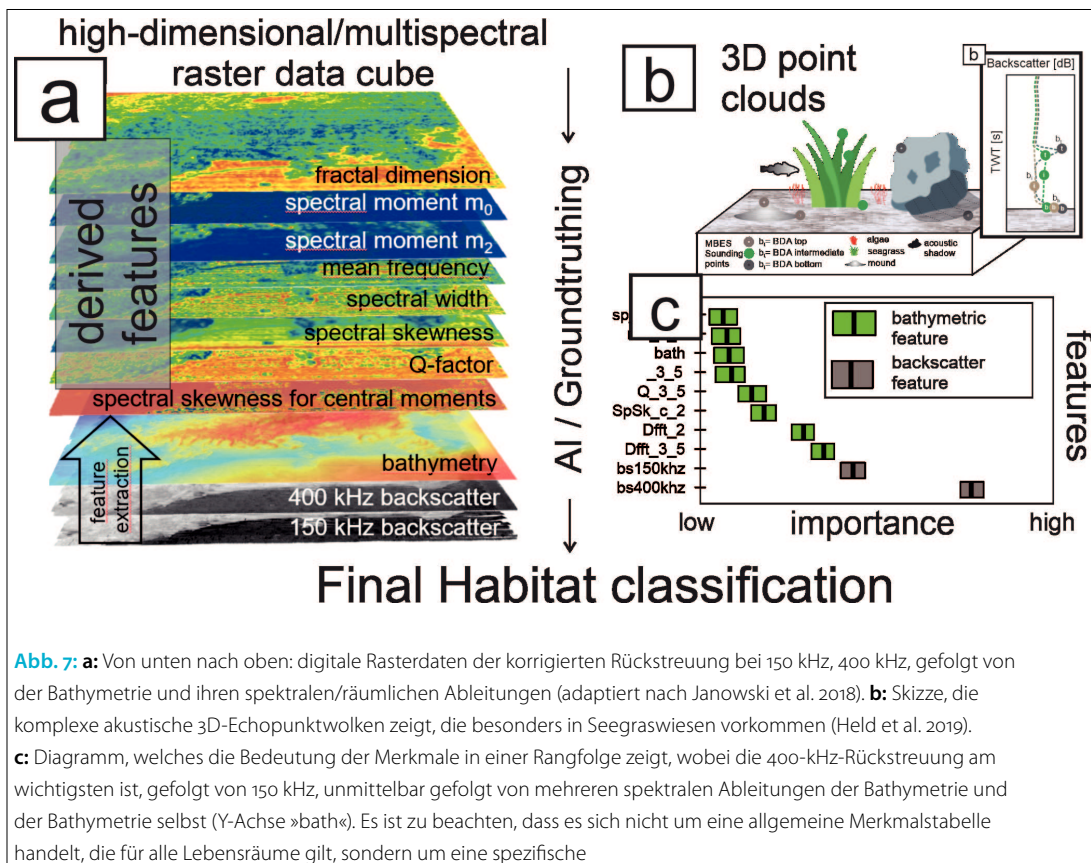


Abb. 7: **a:** Von unten nach oben: digitale Rasterdaten der korrigierten Rückstreuung bei 150 kHz, 400 kHz, gefolgt von der Bathymetrie und ihren spektralen/räumlichen Ableitungen (adaptiert nach Janowski et al. 2018). **b:** Skizze, die komplexe akustische 3D-Echopunktwolken zeigt, die besonders in Seegraswiesen vorkommen (Held et al. 2019). **c:** Diagramm, welches die Bedeutung der Merkmale in einer Rangfolge zeigt, wobei die 400-kHz-Rückstreuung am wichtigsten ist, gefolgt von 150 kHz, unmittelbar gefolgt von mehreren spektralen Ableitungen der Bathymetrie und der Bathymetrie selbst (Y-Achse »bath«). Es ist zu beachten, dass es sich nicht um eine allgemeine Merkmalstabelle handelt, die für alle Lebensräume gilt, sondern um eine spezifische

finden sich in Vorbereitung, unter anderem mit Einbindung des Ocean Technology Campus Rostock. Weitere Forschung und Entwicklung wird notwendig sein, um die Nutzbarkeit von akusti-

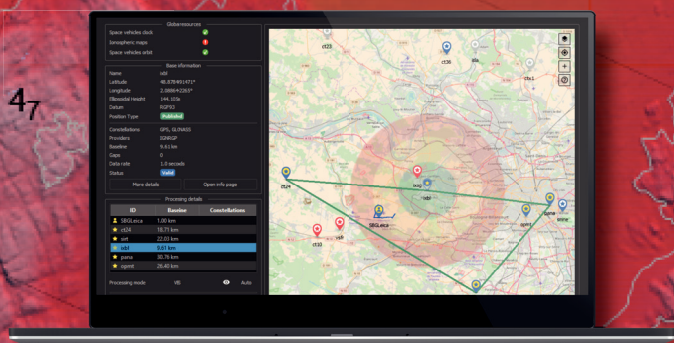
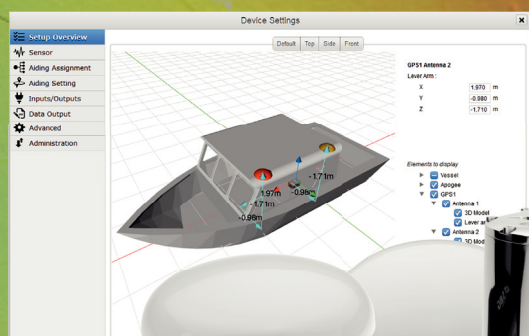
schen Multispektraldaten zu erhöhen und Verfahren unter Einbindung intelligenter Algorithmen zu optimieren für eine verbesserte Habitatkartierung in naher Zukunft. //

Literatur

- Feldens, Peter (2017): Sensitivity of texture parameters to acoustic incidence angle in multibeam backscatter. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, DOI: 10.1109/LGRS.2017.2756258
- Feldens, Peter; Inken Schulze et al. (2018): Improved interpretation of marine sedimentary environments using multi-frequency multibeam backscatter data. Geosciences, DOI: 10.3390/geosciences8060214
- Feldens, Peter; Patrick Westfeld et al. (2021): Automatic detection of boulders by neural networks. Hydrographische Nachrichten, DOI: 10.23784/HN119-01
- Fritz, Christine; Katja Dörnhöfer et al. (2017): Mapping submerged aquatic vegetation using RapidEye satellite data: the example of Lake Kummerow (Germany). Water, DOI: 10.3390/w9070510
- Gross, Felix; Kilian Etter et al. (2020): Shallow water UAV based habitat monitoring of seagrass meadows in the Baltic Sea. EGU, Vienna online, DOI: 10.5194/egusphere-egu2020-7510
- Hartmann, Knut; Kim Knauer et al. (2019): Aus der Ferne in die Tiefe – Kartierung der Schleswig-Holsteinischen Ostsee durch Satellitendatenanalysen. Hydrographische Nachrichten, DOI: 10.23784/HN113-09
- Heege, Thomas; Clivia Häse et al. (2003): Airborne multi-spectral sensing in shallow and deep waters. Backscatter, 14, S. 17–19
- Held, Philipp; Jens Schneider von Deimling (2019): New Feature Classes for Acoustic Habitat Mapping – A Multibeam Echosounder Point Cloud Analysis for Mapping Submerged Aquatic Vegetation (SAV). Geosciences, DOI: 10.3390/geosciences9050235
- Janowski, Lukasz; Karolina Trzcinska et al. (2018): Nearshore benthic habitat mapping based on multi-frequency, multibeam echosounder data using a combined object-based approach: A case study from the Rowy site in the southern Baltic Sea. Remote Sensing, DOI: 10.3390/rs10121983
- Kuhwald, Katja; Jens Schneider von Deimling et al. (2021): How can Sentinel-2 contribute to seagrass mapping in shallow, turbid Baltic Sea waters? Remote Sensing in Ecology and Conservation (in Begutachtung)
- Lübmann, Julia-Felicitas (2019): Hydroakustische Untersuchung der Seegrasswiesen in der Kolberger Heide. Master-Thesis, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 135 S.
- Niemeyer, Joachim; Yujin Song et al. (2015): Untersuchungen zum Einsatz der Laserbathymetrie in der Seevermessung. Projektbericht, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Leibniz-Universität Hannover, 96 S.
- Schneider von Deimling, Jens; Wilhelm Weinrebe et al. (2013): A low frequency multibeam assessment: Spatial mapping of shallow gas by enhanced penetration and angular response anomaly. Marine and Petroleum Geology, DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2013.02.013
- Schneider von Deimling, Jens; Verner Ernstsen et al. (2020): BONUS ECOMAP final scientific report. Auf Anfrage unter: www.bonusportal.org, 29 S.
- Schönke, Mischa; Peter Feldens et al. (2017): Impact of *Lanice conchilega* on seafloor microtopography off the island of Sylt (German Bight, SE North Sea). Geo-Marine Letters, DOI: 10.1007/s00367-016-0491-1
- Schubert, Philipp; Wolfgang Hukriede et al. (2015): Mapping and modeling eelgrass *Zostera marina* distribution in the western Baltic Sea. Marine Ecology Progress Series, DOI: 10.3354/meps11133
- Straßburger, Chris (2021): Kartierung von Seegrass mit dem Fächerecholot in der Ostsee mithilfe von maschinellem Lernen. Bachelor-Thesis, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 85 S.
- Wallmeier, Carolin (2019). Airborne Bathymetric LiDAR and its Response to the Seagrass *Zostera Marina* in the Kolberger Heide (Western Baltic Sea). Bachelor-Thesis, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 45 S.

Making Hydrographers' Tasks Easier

Courtesy of CADDEN



Navsight Marine Solution

State-of-the-art Motion
& Navigation Solution

Qinertia

The Next Generation INS/GNSS
Post-processing Software

OFFICIAL DISTRIBUTOR

MacArtney
UNDERWATER TECHNOLOGY

MacArtney Germany GmbH

Wischhofstrasse 1-3
Geb. 11
D-24148 Kiel
Germany

Phone: +49 431 535500 70
Email: hydro@macartney.com
Web: www.macartney.de



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 Fahrinnenbereiche 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-

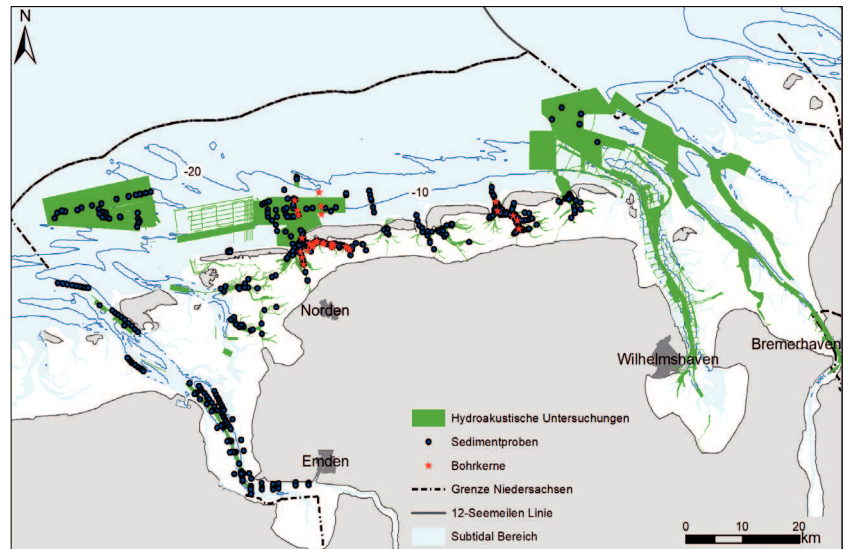


Abb. 1: Sublitorale Flächen der niedersächsischen Übergangs-, Küsten- und Meeresgewässer. Dargestellte Daten zeigen den Stand der Untersuchungen 2021

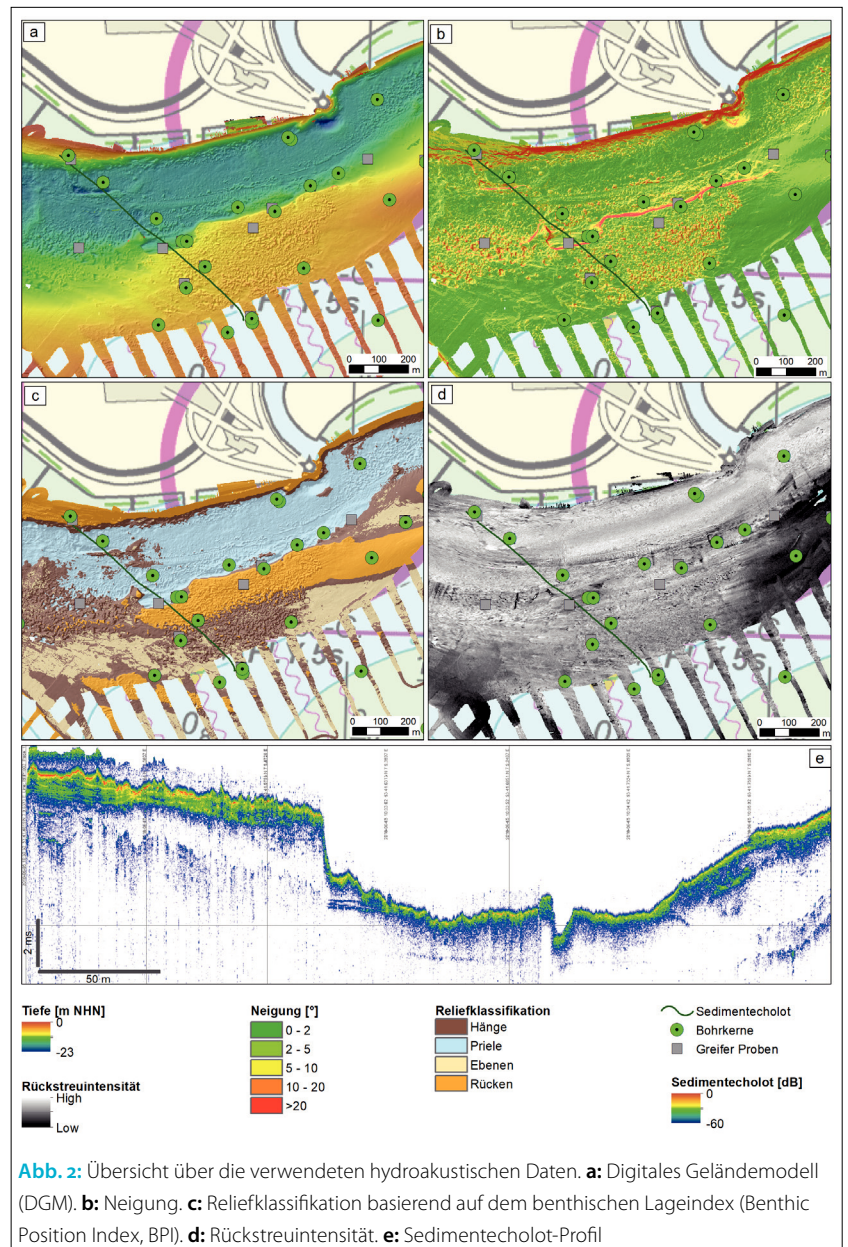


Abb. 2: Übersicht über die verwendeten hydroakustischen Daten. a: Digitales Geländemodell (DGM). b: Neigung. c: Reliefklassifikation basierend auf dem benthischen Lageindex (Benthic Position Index, BPI). d: Rückstreuintensität. e: Sedimentecholot-Profil

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 Pegeldata 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 Probenentnahmergerät 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 Vibrocokers 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.

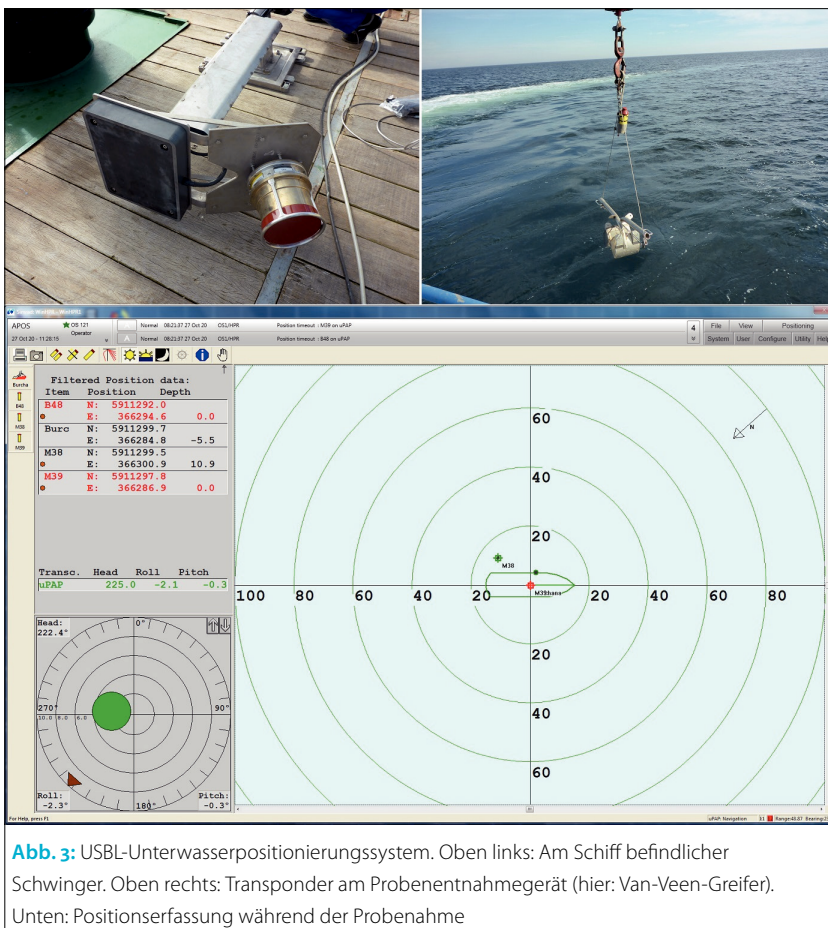


Abb. 3: USBL-Unterwasserpositionierungssystem. Oben links: Am Schiff befindlicher Schwinger. Oben rechts: Transponder am Probenentnahmergerät (hier: Van-Veen-Greifer). Unten: Positionserfassung während der Probenahme

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 Tiefenordnung 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

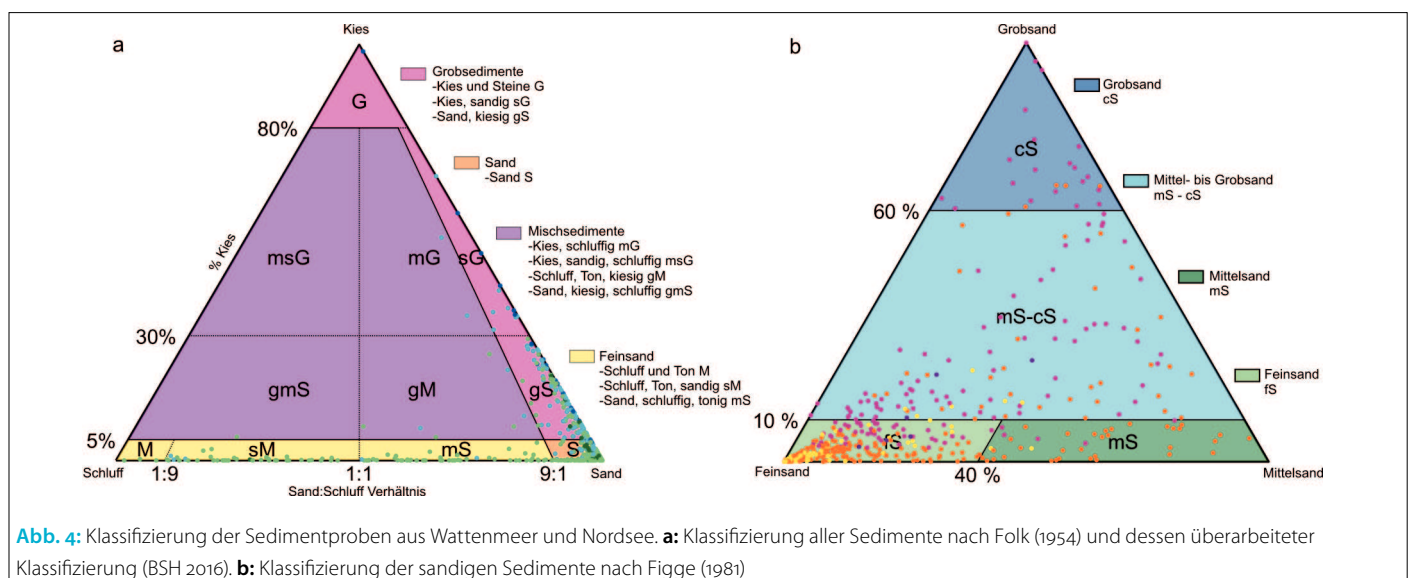


Abb. 4: Klassifizierung der Sedimentproben aus Wattenmeer und Nordsee. **a:** Klassifizierung aller Sedimente nach Folk (1954) und dessen überarbeiteter Klassifizierung (BSH 2016). **b:** Klassifizierung der sandigen Sedimente nach Figge (1981)

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

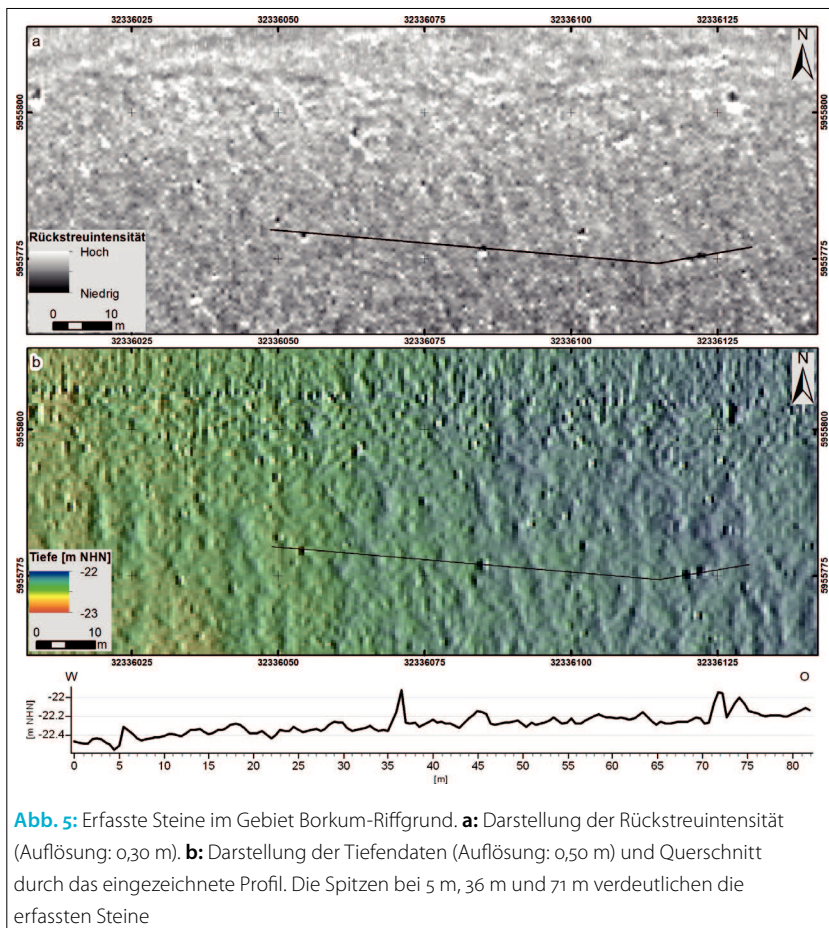


Abb. 5: Erfasste Steine im Gebiet Borkum-Riffgrund. **a:** Darstellung der Rückstreuintensität (Auflösung: 0,30 m). **b:** Darstellung der Tiefendaten (Auflösung: 0,50 m) und Querschnitt durch das eingezeichnete Profil. Die Spitzen bei 5 m, 36 m und 71 m verdeutlichen die erfassten Steine

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

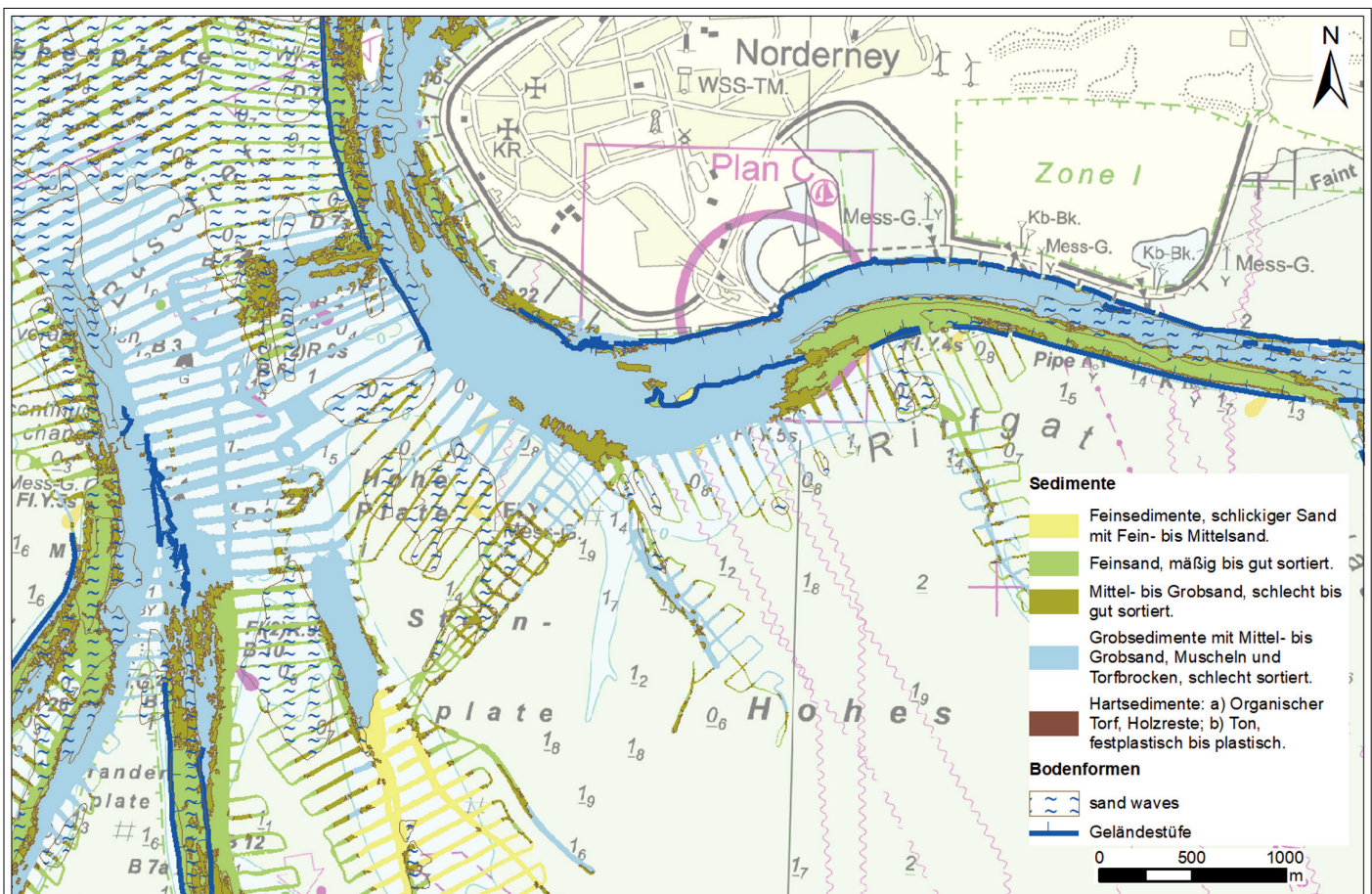


Abb. 7: Ergebnisse der Habitatkartierung. Einteilung der sublitoralen Bereiche um Norderney in die durch einen objektbasierten Ansatz ermittelten Klassen und Darstellung auftretender Bodenformen

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 Elsflëth. 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.B005

»Habitatkartierung wird niemals beendet sein«

Ein Wissenschaftsgespräch mit SVENJA PAPENMEIER

Dr. Svenja Papenmeier ist seit 2019 Wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe Marine Geophysik am Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW). Dort entwickelt sie standardisierte Verfahren für die Sedimentkartierung, vor allem mit hydroakustischen Methoden. Im Interview erläutert sie den Unterschied zwischen Habitatkartierung und Biotopkartierung. Und sie erklärt, warum die Untersuchungsgebiete manchmal Tausende Quadratkilometer groß sind, bei manchen Fragestellungen aber auch schon der Blick auf einen einzigen Quadratmeter genügt.

Habitatkartierung | Sedimentkartierung | Biotopkartierung | Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie | Ostsee habitat mapping | sediment mapping | biotope mapping | Flora-Fauna-Habitat Directive | Baltic Sea

Dr. Svenja Papenmeier has been a research associate in the Marine Geophysics working group at the Leibniz Institute for Baltic Sea Research Warnemünde (IOW) since 2019. There she develops standardised procedures for sediment mapping, primarily using hydroacoustic methods. In the interview, she explains the difference between habitat mapping and biotope mapping. And she explains why the study areas are sometimes thousands of square kilometres in size, but for some questions a glance at a single square metre is enough.

Interviewer

Das Interview mit Svenja Papenmeier fand im Oktober per E-Mail statt. Die Fragen stellten Lars Schiller, Jens Schneider von Deimling und Patrick Westfeld.

Textbearbeitung: Lars Schiller

Wir wollen erkunden, was der Terminus »Habitatkartierung« im Kontext der Hydrographie bedeutet. Geht es um eine interdisziplinäre Aufgabe, bei der Biologinnen und Biologen sich dafür interessieren, wie viele Lebewesen in einem Lebensraum vorkommen? Mit hydrographischer Vermessung hätte das ja dann eher nichts zu tun.

Was Sie beschreiben, ist eine Biotopkartierung. Im deutschsprachigen Raum wird zwischen »Habitatkartierung« und »Biotopkartierung« unterschieden. Bei der Habitatkartierung spielen hydrographische Vermessungen durchaus eine Rolle. Es geht hierbei um die Beschreibung der abiotischen Faktoren wie zum Beispiel Substratbeschaffenheit, Wassertiefe, Nährstoff- oder Salzgehalt. Also quasi um das »Umfeld« der Organismen. Doch oft wird mit dem Ausdruck »Habitatkartierung« eine Sedimentkartierung assoziiert. Die abiotischen Ergebnisse sind eine wichtige Grundlage für die Biotopkartierung, bei der es tatsächlich darum geht, zu identifizieren, in welchen Bereichen welche Lebensgemeinschaften vorkommen. Dabei werden die Umweltdaten und die biologischen Analysen zusammengeführt. Die begriffliche Unterscheidung zwischen Habitat- und Biotopkartierung hat sich im Übrigen inzwischen auch international durchgesetzt.

Welche Parameter verwendet man denn bei der Biotopkartierung?

Mein Spezialgebiet ist die Habitat- bzw. Sedimentkartierung, daher kann ich die Komplexität der Biotopkartierung nur sehr allgemein wiedergeben. In

Deutschland werden je nach Seegebiet (Nordsee, Ostsee, Küstengewässer oder Ausschließliche Wirtschaftszone) unterschiedliche Klassifizierungssysteme und Parameter herangezogen. Die Systeme sind auf die geografischen Spezifikationen angepasst, sind aber meist nach einem hierarchischen System aufgebaut, das auf unterschiedlichen Ebenen unterschiedliche abiotische und biotische Faktoren berücksichtigt. Im Allgemeinen werden die Substratbeschaffenheit, die Lichtzonierung (Tiefe), der Salzgehalt und der Tideeinfluss berücksichtigt.

Welche Habitate, welche Tiere und Pflanzen werden betrachtet?

Wie zuvor beschrieben, werden mehrere Parameter bei der Biotopkartierung bzw. -klassifizierung genutzt. Die Kombination aller abiotischen Parameter führt zu einer sehr langen Liste an Habitaten. Deren komplette Auflistung würde wohl zu einer sehr dicken Ausgabe dieses Heftes führen. Deshalb möchte ich hier nur einige Beispiele aus meinem Fachgebiet, der Sedimentkartierung, auflisten. Es wird zum Beispiel unterschieden zwischen schlammigem Sediment, Sand, Kies, Torf, Steinen und Felsen oder auch anthropogenen Substraten (zum Beispiel Fundamente, Pipelines, Verklappungsmaterial).

Bei den Tieren und Pflanzen werden hauptsächlich Organismen betrachtet, die größer als ein Millimeter sind und die in der Bodenzone, sprich auf und im Sediment, und in der unteren Wassersäule leben. Beispiele hierfür sind wirbellose Tiere, Krieb-

se, Muscheln, Algen oder Seegras. Bei den biologischen Analysen werden die einzelnen Organismen ausgezählt und es wird deren Biomasse bestimmt. Doch letztendlich werden die Organismen zu Lebensgemeinschaften zusammengefasst und interpretiert.

Wer nutzt die Informationen und wofür? Geht es rein um wissenschaftliche Fragestellungen oder auch um kommerzielle Anwendungen?

Die Anwendungsbereiche sind sehr vielfältig, sie reichen von der Grundlagenforschung über behördliche und naturschutzrechtliche Fragestellungen bis hin zur kommerziellen Nutzung. Nehmen wir mal das Beispiel Habitat- und Sedimentkartierung. Die Forschung nutzt Habitatkarten zum Beispiel für Fragestellungen im Bereich der Paläo-Umweltrekonstruktion. Glazial geprägte Sedimente oder alte Torfhorizonte geben Aufschluss über vergangene Landschaftsformen und Klimabedingungen. Weitere Beispiele aus der Forschung, bei denen ein fundiertes Wissen über die Sedimenteigenschaften notwendig ist, sind die Untersuchung von sedimentdynamischen Prozessen oder die Untersuchung des Austauschs von Nähr- und Schadstoffen zwischen Meeresboden und Wasserkörper.

Auf behördlicher Ebene tragen Sedimentkarten dazu bei, Fragestellungen bei der Raumplanung oder naturschutzrechtlicher Art nachzugehen. Dazu gehört die Meeresumweltüberwachung, die Ausweisung von Naturschutzgebieten oder ein effizientes Fischereimanagement. In der Wirtschaft werden Habitatkartierungen notwendig, wenn es zum Beispiel um den Bau von Wind-Offshore-Anlagen oder Pipelines geht.

Kann man von der Bodenbeschaffenheit und vom Sedimenttyp schlussfolgern, welche Lebewesen vorkommen?

Im Allgemeinen: ja. Deshalb ist in den letzten Jahren die Nachfrage nach flächendeckenden Sedimentkarten, die auf hydroakustischen Rückstreuungsinformationen basieren, extrem gestiegen. Für die Nord- und Ostsee existieren zwar schon Karten, in Fachkreisen auch bekannt als Figge- und Tauber-Karten, die die generellen Sedimentverteilungen zeigen. Die Basis sind Tausende punktuelle Korngrößendaten aus Greiferbeprobungen, die in die Fläche interpoliert wurden. Die Kollegen haben damals mit dem, was ihnen als Datengrundlage zur Verfügung stand, fantastische Arbeit geleistet. Inzwischen weiß man allerdings, dass die kleinräumige Heterogenität, die eine große Rolle bei der Ökosystemfunktion spielt, nicht ausreichend durch die alten Karten erfasst ist. Deshalb arbeiten bei der Biotopkartierung inzwischen Geologen und Biologen sehr eng zusammen. Das heißt, die Biologen richten ihr Beprobungsschema nach den hochauflösenden, hydroakustischen Sedimentkarten aus.

Eine Schlussfolgerung von der Bodenbeschaffenheit auf die Lebensgemeinschaften sollte je-

Dr. Svenja Papenmeier



doch nur auf regionalen Skalen geschehen. Nicht umsonst berücksichtigen die Biotopklassifizierungen auch abiotische Faktoren wie Lichtmenge und Salzgehalt. In der westlichen Ostsee zum Beispiel, wo der Eintrag von salzigem, sauerstoffreichem Nordseewasser noch eine Rolle spielt, finden wir auf Sandflächen ganz andere Lebensgemeinschaften als zum Beispiel in der östlichen beziehungsweise nördlichen Ostsee, wo schon fast Süßwasserbedingungen herrschen.

In den Flachwasser- und Küstenregionen wird es allerdings komplizierter. Hier kommen noch

»Vermessungen mit Fächerecholoten haben gegenüber solchen mit Seitensichtsonaren den Vorteil, dass Bathymetrie, Rückstreuung und auch Wassersäulendaten gleichzeitig lagegenau erfasst werden«

Dr. Svenja Papenmeier

Faktoren wie Wellen- und Windeinwirkung oder Nähr- und Schadstoffeintrag hinzu, die dazu führen, dass nicht immer von einem Sedimenttyp auf eine bestimmte Lebensgemeinschaft geschlossen werden kann.

Was sind denn die besonderen Merkmale des Lebensraums Ostsee?

Die Ostsee ist ein Binnenmeer, das weitestgehend von Landmassen umschlossen

ist und nur eine schmale Verbindung am Kattegat zur Nordsee hat. Dies limitiert den Wasseraustausch zwischen Nord- und Ostsee und führt zu einem räumlichen Gradienten beim Salz- und Sauerstoffgehalt des Wassers. Im Westen ist die Ostsee noch relativ salzhaltig und sauerstoffreich. Je weiter man sich nach Osten bewegt, desto brackiger wird das Wasser, zumindest in der oberen Wassersäule. In den tieferen Becken, die sich während der glazialen Historie der Ostsee gebildet haben, sammeln sich das schwerere Salzwasser und abgestorbene organische Substanzen. Deren Zersetzung führt stellenweise zu einem völligen Sauerstoffverbrauch und macht die Becken zu einer lebensfeindlichen Umgebung für höhere Lebewesen. Der Eintrag von Nährstoffen von Land verstärkt diesen Effekt noch weiter.

Die schlechte Durchmischung der Ostsee ist übrigens teilweise eine große Herausforderung bei der Kartierung von Morphologie und Sedimentologie.

Warum das, was erschwert die Vermessungen denn?

Überwiegend werden hydroakustische Messmethoden genutzt, also Seitensichtsonare und Fächerecholote, die über die Ausbreitung und Reflexion von Schall die Sedimentbeschaffenheit und Wassertiefe detektieren können. Die Sprungschichten in der Ostsee verursachen allerdings eine Änderung in der Schallgeschwindigkeit und somit eine gewisse Ungenauigkeit in den Messergebnissen. Im Vergleich tritt dieses Problem in der Nordsee seltener auf, da dort die Tidenströmung zu

einer regelmäßigen Durchmischung der Wassersäule führt.

Wie groß sind die untersuchten Gebiete eigentlich?

Die Größe der Untersuchungsgebiete ist abhängig von der Fragestellung. In Bezug auf naturschutzrechtliche EU-Vorgaben sind alle Mitgliedstaaten dazu verpflichtet, den Erhaltungszustand gewisser Lebensraumtypen zu überwachen und den guten ökologischen Zustand zu gewährleisten. Dies setzt eine Bestandsaufnahme und ein regelmäßiges Monitoring aller Flora-Fauna-Habitat-Schutzgebiete voraus. Für die deutsche Nord- und Ostsee ergibt das eine Fläche von etwa 20 700 Quadratkilometer. Das ist etwas mehr als die Fläche von Sachsen-Anhalt.

Wie in den vorangegangenen Antworten schon geschildert, liegt das Interesse von Habitat- und Biotopkartierungen nicht nur bei den Behörden. Im Falle von kommerziellen Untersuchungen, zum Beispiel für die Errichtung von Offshore-Windenergieparks, begrenzt sich das Gebiet oft auf wenige Quadratkilometer. In der Forschung reicht uns auch schon mal nur ein einziger Quadratmeter, um zum Beispiel den Einfluss von benthischen Organismen auf das akustische Rückstreuverhalten zu untersuchen.

Wie oft muss ein Habitat kartiert werden? Handelt es sich meist um eine Monitoringaufgabe?

Auch hier gibt es leider keine pauschale Antwort. Nach FFH-Richtlinien ist die Häufigkeit art- und lebensraumspezifisch. Berichtet werden muss alle sechs Jahre. Bei der Sedimentkartierung sind wir derzeit allerdings noch bei der ersten Bestandsaufnahme.

Eine regelmäßige flächendeckende Sediment- erfassung aller FFH-Flächen wird bei der Größe wohl kaum machbar, aber auch nicht unbedingt erforderlich sein. Wenn es zu einem Monitoring der Substrate kommt, wird man sich wohl auf Gebiete konzentrieren müssen, die einer hohen Hydrodynamik unterliegen. Sprich, wir messen regelmäßig dort, wo Strömungen oder Wellen Sediment vom Meeresboden mobilisieren und verlagern.

Betrachtet man auch die Auswirkungen des menschlichen Tuns, zum Beispiel durch Ankerketten oder durch die Fischerei?

Ja, es gibt gerade einige spannende Forschungsprojekte, die sich mit diesem Thema befassen. Zu nennen wären da zwei Pilotmissionen der Deutschen Allianz Meeresforschung (DAM), die sich in der Nord- und Ostsee damit beschäftigen, welche Auswirkung der Ausschluss von grundberührender Schleppnetzfisherei auf die Meereschutzgebiete in der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone hat. Das IOW koordiniert das multidisziplinäre Ostseeprojekt. Das Projekt verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz, der alle Faktoren des Ökosystems einbezieht. Dazu gehören Lebens-

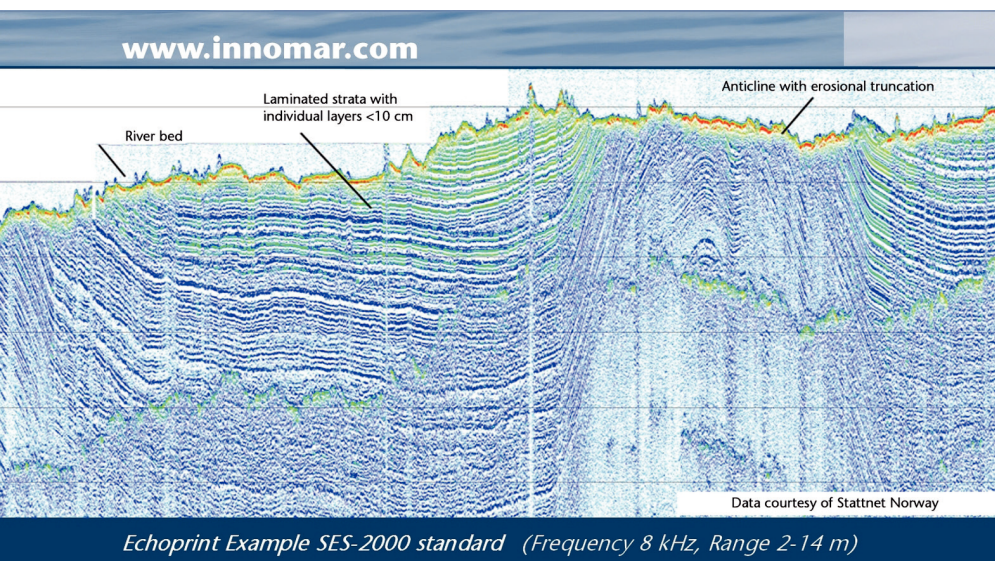
gemeinschaften auf allen trophischen Leveln, die Meeresbodenmorphologie, die Biogeochemie der Meeressedimente und Austauschprozesse zwischen Sediment und Wassersäule. Die hydroakustische Kartierung meiner Kollegen ermöglicht die Lokalisierung der Schleppspuren am Grund, und durch ein regelmäßiges Monitoring soll eine zeitliche Veränderung erfasst werden.

Ein weiteres Projekt wird Ende dieses Jahres im Rahmen des DAM-Verbundprojekts CREATE anlaufen. CREATE steht für »Konzept zur Reduzierung der Auswirkung anthropogener Drücke und Nutzungen auf marine Ökosysteme und die Artenvielfalt«. Ziel des Teilprojektes CREATE-Baltic-Habitat ist es, zu untersuchen, ob anthropogene physikalische Drücke eine Auswirkung auf die Sediment- und Habitatstruktur in der Eckernförder Bucht haben. Um Unterschiede zu differenzieren, werden natürliche Räume (zum Beispiel Naturschutzgebiete) und intensiv genutzte Gebiete (zum Beispiel Angelreviere, Ankerplätze, Sedimententnahmestellen) hydroakustisch untersucht und miteinander verglichen. Im Fokus stehen dabei unterschiedliche Habitate, wie gas-

reiche Schlicke, Seegraswiesen, Hartsubstrate oder Sandbänke.

Sie sind beim IOW beschäftigt und dort die Ansprechpartnerin in Sachen Habitate. Was genau sind Ihre Aufgaben?

Ich arbeite sehr eng mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie sowie mit dem Bundesamt für Naturschutz zusammen. Meine Aufgabe ist es, mit diesen Behörden und anderen Forschungseinrichtungen standardisierte Verfahren für die Sedimentkartierung in der AWZ zu entwickeln und diese als Grundlage für die Biotopkartierung in den FFH-Schutzgebieten umzusetzen. Ein einheitliches Vorgehen ist wichtig, wenn mehrere Akteure an der flächendeckenden Sedimentkartierung beteiligt sind. Wir haben Kriterien entwickelt, die unter anderem die räumliche Auflösung, den Interpretationsmaßstab, Mindestgrößen für zu erfassende Flächen oder die Sedimentklassifizierung festlegen. Ein Spezialfall ist die Kartierung von Hartsubstraten, die für die Ausweisung des Lebensraumtyps Riff notwendig ist. Die Detektion von Steinen ist nicht ganz trivial. Zurzeit liegt mein Schwerpunkt darauf, objektive



SES-2000 Parametric Sub-Bottom Profilers

Discover sub-seafloor structures and embedded objects with excellent resolution and determine exact water depth

- ▶ Different systems for shallow and deep water operation available
- ▶ Menu selectable frequency and pulse width
- ▶ Two-channel receiver for primary and secondary frequencies
- ▶ Narrow sound beam for all frequencies
- ▶ Sediment penetration up to 200 m (SES-2000 deep)
- ▶ User-friendly data acquisition and post-processing software
- ▶ Portable system components allow fast and easy mob/demob
- ▶ Optional sidescan extension for shallow-water systems



Bisher erschienen:

Horst Hecht (HN 82),
 Holger Klindt (HN 83),
 Joachim Behrens (HN 84),
 Bernd Jeuken (HN 85),
 Hans Werner Schenke (HN 86),
 Wilhelm Weinrebe (HN 87),
 William Heaps (HN 88),
 Christian Maushake (HN 89),
 Monika Breuch-Moritz (HN 90),
 Dietmar Grünreich (HN 91),
 Peter Gimpel (HN 92),
 Jörg Schimmler (HN 93),
 Delf Egge (HN 94),
 Gunther Braun (HN 95),
 Siegfried Fahrentholz (HN 96),
 G. Braun, D. Egge, I. Harre,
 H. Hecht, W. Kirchner und
 H.-F. Neumann (HN 97),
 W. und A. Nicola (HN 98),
 Sören Themann (HN 99),
 Peter Ehlers (HN 100),
 Rob van Ree (HN 101),
 DHyG-Beirat (HN 102),
 Walter Offenborn (HN 103),
 J. Schneider v. Deimling (HN 104),
 Mathias Jonas (HN 105),
 Jürgen Peregovits (HN 106),
 Thomas Dehling (HN 107),
 Egbert Schwarz (HN 108),
 Ingo Hennings (HN 109),
 Harald Sternberg (HN 110),
 Uwe Jenisch (HN 111),
 Petra Mahnke (HN 112),
 Holger Rahlf (HN 113),
 Boris Schulze (HN 114),
 Jacobus Hofstede (HN 115),
 Gottfried Mandlbürger (HN 116),
 Gerhard Bohrmann (HN 117)
 Günther Lang (HN 118)
 Alexander Reiterer (HN 119)

und reproduzierbare Methoden dafür zu entwickeln.

Wie gut funktioniert der Wissenstransfer zwischen Forschungseinrichtungen und Behörden?

Meine Erfahrungen sind in der Hinsicht sehr positiv. Schon viele Jahre gibt es Forschungs- und Entwicklungskooperationen zwischen den Landes-, Bundes- und Naturschutzbehörden und den unterschiedlichen Forschungseinrichtungen. Forschungsprojekte werden von den Behörden unterstützt, die wiederum von den Forschungsergebnissen profitieren und diese dann in ihre hoheitlichen Aufgaben einbringen können.

Was hat die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie bewirkt?

Mit Einführung der Naturschutzrichtlinie der Europäischen Union haben sich die Mitgliedstaaten verpflichtet, den Schutz von wildlebenden Arten und die Erhaltung ihrer natürlichen Lebensräume zu gewährleisten. In dem Zuge wurde ein Netz an Schutzgebieten aufgebaut (Natura2000), außerdem wurden Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen festgelegt. Deutschland hat inzwischen acht marine FFH-Gebiete und zwei Vogelschutzgebiete ausgewiesen, deren Fläche circa 30 Prozent der deutschen AWZ ausmacht.

Mit welchen Methoden wird denn aktuell gezählt und bestimmt? Welche Messverfahren werden eingesetzt? Welche Rolle spielen Probennahme und Unter-Wasser-Video?

Sowohl bei der Biotop- als auch bei der Habitatkartierung steckt noch sehr viel personelle Arbeitskraft und Schiffszeit dahinter. In der Biologie kommen Sedimentgreifer, Dredgen und Unter-Wasser-Videosysteme zum Einsatz. Taucher erheben mit Hilfe eines Zählrahmens die Artenzusammensetzung auf einer definierten Fläche und sammeln Kratzproben. Im Labor werden alle Organismen bestimmt, vermessen und gewogen. Das bedarf viel Fachpersonals.

Bei der Habitatkartierung kommen hydroakustische Messverfahren zum Einsatz. Das Erheben von Rückstreudaten mit Seitensichtsonaren ist weit verbreitet; der Trend geht allerdings deutlich zur Fächerecholotvermessung. Letzteres hat den Vorteil, dass Bathymetrie, Rückstreuung und auch Wassersäulendaten gleichzeitig lagegenau erfasst werden.

In den letzten Jahren hat die Forschung gezeigt, dass die Kombination mehrerer Datensätze in sogenannten Multikanalbildern einen erheblichen Fortschritt in der Bildinterpretation bringt. Die Kombination von zum Beispiel Rückstreuung unterschiedlicher Frequenzen und der Bathymetrie ermöglicht es, feinere Nuancen hervorzuheben, die mit den einzelnen Daten-

sätzen nicht sichtbar wären. Ein Beispiel hierfür ist das Vorkommen des Bäumchenröhrenwurms *Lanice Conchilega*, der die Oberflächenrauheit des Sedimentes verändert. Kollegen konnten zeigen, dass besiedelte Flächen mittels Multifrequenzbildern differenzierbar sind. Ganz ohne Proben geht es aber auch in der geologischen Kartierung nicht. Für das sogenannte Ground Truthing, also dem Abgleich von akustischen Signalen und dem Substrat, werden ebenfalls Greifer- und Videodaten erhoben.

Welche Methoden werden sich in der Habitatkartierung vermutlich durchsetzen?

Definitiv fernerkundliche Messmethoden. Derzeit ist das schon Standard, doch das Potenzial für Weiterentwicklungen ist noch groß. Ich gehe davon aus, dass die Kombination von verschiedensten Parametern (Rückstreuung, Bathymetrie etc.) sich auch außerhalb der Forschung durchsetzen wird. Die frequenzabhängige Rückstreuung wird immer mehr Beachtung finden und auch die Auswertung von Wassersäulendaten von Fächerecholoten. Das sind jetzt allerdings nur technische Aspekte bei der Datenakquise. Mit jedem Datensatz und Parameter steigt das Datenvolumen. Schon jetzt kommen wir nach einer Messkampagne mit Giga- bis Terabytes zurück ins Büro. Auswertungen mittels neuronaler Netzwerke werden daher künftig unumgänglich werden.

Verwendet man auch statistische Ansätze und extrapoliert die Zahlen?

Bei flächendeckenden Sediment- und Habitatkartierungen sind Extrapolationen nicht mehr so von Bedeutung, wie es bei punktuellen Datensätzen in der Vergangenheit war. Bei den Massen an Daten ist es eher wichtig, gute Filter zu haben, um die Daten von etwaigen Störungen zu bereinigen. Das lässt sich händisch nicht mehr bewältigen.

Bei der Biotopkartierung sind statistische Ansätze wie uni- und multivariate Analysen oder Gemeinschaftsanalysen essenziell, um die Punktinformationen in die Fläche zu bringen.

Welche Qualifikationen sind für die Habitatkartierung erforderlich?

Es kommt auf die zu kartierenden Parameter an. Wenn wir bei der Sedimentkartierung bleiben, wird auf jeden Fall ein sehr gutes hydroakustisches und sedimentologisches Verständnis benötigt. Einen spezifischen Studiengang für Habitatkartierung gibt es meines Erachtens nicht. Ich kenne Personen, die haben Geowissenschaften, Geophysik oder Geografie studiert oder sind im Vermessungswesen ausgebildet. Ein gewisses Verständnis für Biologie sollte auch mitgebracht werden. Und Interesse an der Seefahrt.

Herr Jeuken von Fugro witterte 2009 in einem der ersten Wissenschaftsgespräche (HN 85) einen Trend hin zur Habitatkartierung. Er sprach von »Habitat-Surveys«, bei denen womöglich immer mehr biologische Aspekte eine Rolle spielen würden.

»Ein regelmäßiges, großflächiges Monitoring wird kaum machbar sein. Wir messen dort, wo Strömungen oder Wellen Sediment mobilisieren und verlagern«

Dr. Svenja Papenmeier

zum Beispiel Rückstreuung unterschiedlicher Frequenzen und der Bathymetrie ermöglicht es, feinere Nuancen hervorzuheben, die mit den einzelnen Daten-

Hat das in den letzten Jahren tatsächlich zugenommen?

Ja, das würde ich so bestätigen. Zum einen werden die meisten Habitatkartierungen als Grundlage für Biotopkartierungen durchgeführt, die nun ja naturschutzrechtlich dringend notwendig sind. Zum anderen hat sich die Technologie so weit entwickelt, und ein Ende ist noch nicht abzusehen, dass gewisse Organismen direkt, ohne großes Ground Truthing, in den Daten identifizierbar sind. Hierbei handelt es sich meist um sogenannte »Ecosystem Engineers« wie Seegraswiesen, Lanice-Riffe oder Miesmuschelbänke. Insbesondere durch das Einbeziehen von Wassersäulendaten wurden große Fortschritte erzielt.

Was fehlt bei der Habitatkartierung bis heute?

Zeit und Geld. Viel Zeit und personeller Einsatz geht in die schiffsgestützte Erhebung der Daten. Mit AUVs oder ROVs könnte die Datenakquise effizienter gestaltet werden. Auch wäre man nicht mehr ganz so abhängig von den Seebedingungen. Auch das Prozessieren und Auswerten von hydroakustischen Daten ist noch sehr arbeitsintensiv

und erfolgt größtenteils noch händisch. Automatisierte Vorgänge bei der Datenauswertung und -interpretation fehlen noch in der alltäglichen Anwendung. Das geht los bei der Abgrenzung von Habitaten oder der Identifizierung von einzelnen Objekten wie Steinen. Es gibt einige vielversprechende Ansätze, die künstliche Intelligenz nutzen. Doch noch beschränkt sich die Anwendung auf kleinere Testgebiete. Ich bin aber zuversichtlich, dass wir nur noch wenige Jahre warten müssen, bis es anwenderfreundliche Angebote gibt. Wir arbeiten dran.

Was würden Sie gerne besser können?

Vieles :-)

Was wissen Sie, ohne es beweisen zu können?

Dass die Habitatkartierung niemals beendet sein wird. //

»Habitatkarten werden für verschiedene Fragestellungen verwendet, für die Paläo-Umweltrekonstruktion, für das effiziente Fischereimanagement, für die Raumplanung und den Bau von Offshore-Windanlagen«

Dr. Svenja Papenmeier

FUGRO

OBTAIN **COMPREHENSIVE**
HYDROGRAPHIC DATA
IN DEEP WATER
AND COASTAL REGIONS

We draw on our vast experience and extensive resources, including a fleet of dedicated survey vessels and airborne systems, to deliver a high-quality service that meets your data objectives.

To find out more visit
fugro.com

Seevermessung mal anders

Zehn Tage Schweremessungen mit dem VWFS *Deneb* auf der Nordsee im Juni und Juli 2021

Ein Beitrag von GUNTER LIEBSCH, PATRICK WESTFELD, CHRISTOPH FÖRSTE, LUDWIG SCHRÖDER, JOACHIM SCHWABE, TOBIAS PETER BAUER und NICO STOLARCZUK

Wer Höhen mit globalen Navigationssatellitensystemen bestimmen will, benötigt eine Höhenbezugsfläche. In Deutschland ist die Höhenbezugsfläche das German Combined Quasigeoid (GCG). Diese wurde nun für die Nordsee neu bestimmt. Dazu wurden Schweremessungen durchgeführt. Wie die Messungen abliefen und was es dabei zu beachten gab, erklären die beteiligten Wissenschaftler.

Schwerefeld | German Combined Quasigeoid | Seekartennull | Satellitenaltimetrie | BSCD2000
gravity field | German Combined Quasigeoid | chart datum | satellite altimetry | BSCD2000

Anyone who wants to determine heights with global navigation satellite systems needs a height reference surface. In Germany, the height reference surface is the German Combined Quasigeoid (GCG). This has now been newly determined for the North Sea. Gravity measurements were carried out for this purpose. The scientists involved explain how the measurements were carried out and what had to be taken into account.

Autoren

Dr. Gunter Liebsch, Dr. Ludwig Schröder, Dr. Joachim Schwabe und Tobias Peter Bauer arbeiten beim Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) in Leipzig.
Dr. Patrick Westfeld arbeitet beim Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) in Rostock.
Dr. Christoph Förste und Nico Stolarczuk arbeiten am Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ.

gunter.liebsch@bkg.bund.de

Leinen los!

Dienstag, 29. Juni 2021, 10:00 Uhr. Wir legen ab und werden mit dem Vermessungs-, Wracksuch- und Forschungsschiff (VWFS) *Deneb* (Abb. 1) in den nächsten zehn Tagen das Schwerefeld der Nordsee vermessen. Mit der schiffsgestützten Durchführung von Schweremessungen haben wir erstmals 2013 in der Ostsee begonnen (Schäfer et al. 2013; Lu et al. 2019). Mittlerweile ist dies nun schon die sechste Messkampagne. Die gravimetrische Neuvermessung in der südlichen Ostsee (BKG/GFZ/BSH 2016) bis an die schwedische Küste, Bornholm und in die polnischen Gewässer hinein konnten wir 2018 erfolgreich abschließen (Lu et al. 2019). Ein Großteil unserer Arbeiten wurde durch die Europäische Kommission im Rahmen des Projektes »Finalising Surveys for the Baltic Motorways of the Sea« (FAMOS, www.famosproject.eu) kofinanziert. Wir, das sind:

- das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), das die Schiffe bereitstellt,
- Kollegen vom Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), die das Gravimeter an Bord des Schiffes betreiben und die Schwerewerte berechnen,
- die TU Darmstadt, deren Institut für Geodäsie seit 2017 ein weiteres inertiales Messgerät für die Bestimmung der Schwerewerte an Bord betreibt, und
- das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), das die Fahrt initiiert und geplant hat und anhand der Schwerewerte die Höhenbezugsfläche für Deutschland berechnet.

Die Höhenbezugsfläche von Deutschland hat die offizielle Bezeichnung »German Combined Quasigeoid« (GCG), ist ein Gemeinschaftsprodukt des BKG und der Länder und wird vom Dienstleistungszentrum des BKG vertrieben. Sie legt praktisch das Nullniveau für die Höhenbestimmung in Deutschland fest und wird von allen gebraucht, die Höhen im amtlichen Höhensystem mit Hilfe der globalen Satellitennavigationssysteme (GPS, Galileo, Glonass, Beidou), z. B. unter Nutzung des Satellitenpositionierungsdienstes der deutschen Landesvermessung SAPOS, bestimmen wollen. Und das sind nicht wenige. Das Nutzersegment geht weit über die klassische Vermessungsklientel hinaus und reicht bis zu Energieversorgern, der Deutschen Bahn, der Landwirtschaft usw.

In der Ostsee legt das GCG gleichzeitig das sogenannte Seekartennull (SKN; §4 Absatz 4 Satz 3 TR BGeoRG; Schwabe et al. 2020) fest. Alle Tiefenangaben in den Seekarten des BSH sind auf dieses Modell bezogen. In der Nordsee müssen vom BSH zusätzlich die Gezeiten berücksichtigt werden. Das Seekartennull wird hier entsprechend den internationalen Standards durch das niedrigste Niedrigwasser festgelegt (Lowest Astronomical Tide, LAT; §4 Absatz 4 Satz 2 TR BGeoRG; IHO 2018), sodass die Nautiker auf den Schiffen die Tiefenangabe der Seekarte quasi als eine Art Mindestmaß für den vorhandenen Wasserstand ansehen und mit der Kenntnis des Tiefganges ihres Schiffes sicher navigieren können. Dieses gemeinsame Interesse an dem Ergebnis hat auch zur langjährigen erfolgreichen, vertrauensvollen und unkomplizierten

Zusammenarbeit zwischen den Partnern beigetragen.

Arbeiten in der Nordsee hat das BKG bereits zwischen 2014 und 2016 durchgeführt (BKG 2015). Damals wurden wir durch die jeweiligen Landesämter für Küsten- und Naturschutz (LKN.SH, NLWKN), Geoinformation und Vermessung in Schleswig-Holstein und Niedersachsen (LVermGeo SH, LGLN), die Wasser- und Schifffahrtsämter (WSÄ) Bremen und Wilhelmshaven sowie Bewohner der Insel Neuwerk logistisch bei der Durchführung von Schweremessungen in den Wattgebieten sowie entlang der schleswig-holsteinischen Küste unterstützt.

Diesmal wollen wir an diese Messungen anschließen und große Teile der Ausschließlichen Wirtschaftszone Deutschlands (AWZ) in der Nordsee vermessen (Abb. 2). Die neu gewonnenen Daten helfen dabei, ältere ungenaue Datensätze zu überprüfen bzw. diese zu ersetzen. Älter bedeutet hier 40 bis 50 Jahre (Abb. 3). Insofern können unsere Messungen als ein Aspekt des geodätischen Qualitätsmanagements angesehen werden. Ohne eine gute und valide Datengrundlage lässt sich kein genaues Modell ableiten. Im konkreten Fall trägt dieses Modell immerhin zur Sicherheit der Schifffahrt bei und leistet damit auch einen Beitrag zu Transportwirtschaft und Umweltschutz. »Blue Growth« (oder »Blue Economy«) und »Küstenzonenmanagement« sind Schlagworte dafür im politischen Umfeld. Wie so häufig in der Geodäsie werden solche infrastrukturellen Grundlagen vielfach als selbstverständlich vorausgesetzt, auch wenn – wie in diesem Fall – langjährige und kontinuierliche Arbeit dahintersteckt. Wenn man so will, sind die geodätischen Grundlagenarbeiten eben sogar die Infrastruktur hinter der Infrastruktur.

Nachdem die bereits für das letzte Jahr geplanten Messungen pandemiebedingt abgesagt werden mussten, war es auch in diesem Jahr lange Zeit fraglich, ob die schon im letzten Jahr reservierte Schiffszeit genutzt werden kann. Die unmittelbaren Vorbereitungen wurden deshalb erst nach Ostern begonnen, dafür aber umso intensiver. Nichts Besonderes, sollte man denken. Aber auch für uns gehen diese Arbeiten über die tägliche Routine hinaus. Seit der letzten Fahrt haben außerdem sowohl am GFZ als auch am BKG einige neue Kollegen den Staffelstab von den älteren übernommen, die mittlerweile ihren verdienten Ruhestand genießen.

Was haben die Schweremessungen mit unserer Höhenbezugsfläche zu tun?

»Die Erdanziehungskraft gehört sicherlich nicht zu den Dingen, über die man sich im täglichen Leben besonders viele Gedanken macht. Begriffe wie oben, unten, hoch, runter, waagrecht und senk- bzw. lotrecht benutzen wir täglich und sind ganz selbstverständlich im Sprachgebrauch. Genauer



© Tobias Bauer, BKG

Abb. 1: Das VWFS Deneb im Hafen von Bremerhaven

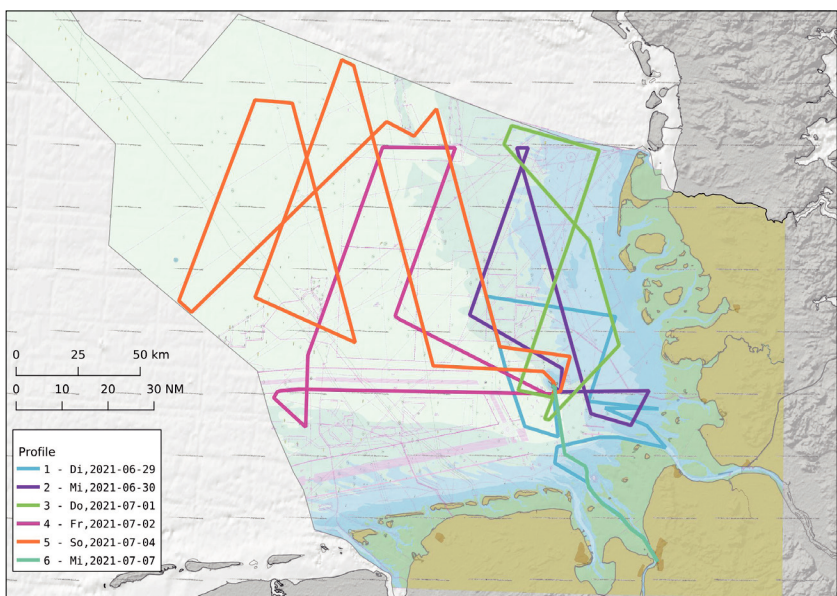


Abb. 2: Fahrtverlauf der Messkampagne 2021 mit dem VWFS Deneb

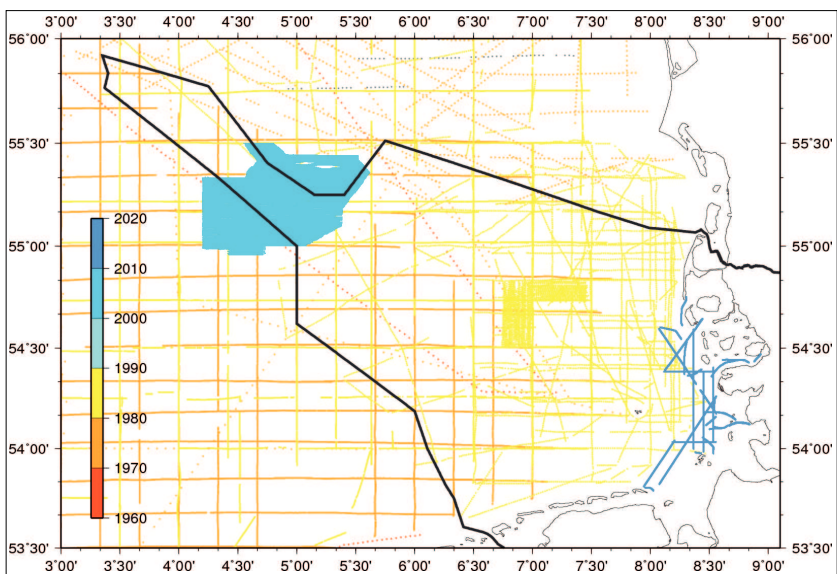


Abb. 3: Alter der Schweredaten im aktuellen Quasigeoidmodell GCG2016

betrachtet geben sie uns eine Richtung an, die vom Schwerfeld der Erde vorgegeben ist. Im Vergnügungspark fahren wir mit der Achterbahn und haben Spaß daran, in den Kurven mit »mehreren« in die Sitze gepresst zu werden. Die Fallbeschleunigung g , mit der wir von der Erde festgehalten werden, verwenden wir hier als Vergleichsmaßstab. Wie groß ist nun die Schwerebeschleunigung und wie stark variiert sie?« (Fahrtbericht Deneb 2015).

Im Mittel beträgt die Schwerebeschleunigung der Erde g $9,81 \text{ m/s}^2$. Dieser Wert variiert in Meereshöhe aufgrund der Abplattung der Erde von ca. 22 km systematisch zwischen $9,78 \text{ m/s}^2$ am Äquator und $9,83 \text{ m/s}^2$ an den Polen und nimmt außerdem mit zunehmender Höhe ab. Das heißt, wir werden am Äquator und auf hohen Bergen weniger stark von Mutter Erde angezogen. Diese beiden Sachverhalte sind durch das Newtonsche Gravitationsgesetz erklärbar. Mit zunehmendem Abstand von der anziehenden Masse (der Erde) nimmt die Anziehungskraft quadratisch ab. Die unterschiedliche Schwerebeschleunigung führt dazu, dass eine Waage, die nicht für ihren jeweiligen Einsatzort kalibriert wird, am Äquator etwas weniger anzeigt als an den Polen. Bei einer Person mit einer Masse von 80 kg sind das immerhin rund 400 g .

Die Gezeiten der Meere sind ein interessantes Phänomen und bleiben sicherlich nicht nur einem Wattwanderer lebhaft in Erinnerung. Sie werden durch den Einfluss der Massen von Sonne und Mond verursacht. Insofern ist es nicht verwunderlich, dass auch die Massenverteilung der Erde selbst einen großen, wenn auch nahezu unveränderlichen Einfluss auf die Form des Meeresspiegels haben muss.

Die durch die Abplattung der Erde bedingten Schwereunterschiede sind natürlich längst hinreichend genau bekannt. Bis zu einer räumlichen Auflösung von 100 km wurde das Erdschwerfeld in den letzten 20 Jahren zudem mit Hilfe verschiedener Satellitenmissionen sehr genau vermessen (Pail et al. 2011). Für die Feinstrukturen des Erdschwerfeldes sind die Satellitenmessungen aber nicht sensitiv genug. Und für die Bestimmung der Höhenbezugsfläche möchten wir es schon ziemlich genau wissen. Um unser Quasigeoidmodell in einem Gitterabstand von 1 km bereitstellen zu können, benutzen wir gegenwärtig Schwerewerte im Abstand von ca. 4 km in Verbindung mit Informationen aus digitalen Gelände- (DGM25; BKG 2018) bzw. Bathymetriemodellen (GEBCO; GEBCO Compilation Group 2021). In Gegenden mit besonders großen Schwereänderungen, wie im Gebirge, sollte die Dichte der Schweremessdaten zukünftig sogar noch höher liegen. Diese Feinstrukturen des Erdschwerfeldes können derzeit nur mit terrestrischen Messmethoden bestimmt werden, auch wenn diese Messungen durchaus langwierig und aufwendig sind. Im Festlandbereich haben die

Bundesländer in den letzten zehn Jahren bereits in vielen Bereichen neue Schweremessungen durchgeführt. Das BKG engagiert sich seit ca. 15 Jahren insbesondere in den logistisch schwerer zugänglichen Bereichen. Der Fokus unserer Arbeiten lag auf den Meeresbereichen, den Wattgebieten und den Alpen. Dabei haben wir mit Flugzeugen, Helikoptern, Schiffen, Amphibienfahrzeugen, Pferdefuhrwerken und natürlich Autos wohl fast alle denkbaren Fortbewegungsmittel bzw. Messplattformen für die Schweremessungen genutzt.

Für die Bestimmung unserer Höhenbezugsfläche benötigen wir nicht nur eine relativ hohe räumliche Dichte von Messpunkten, die Messungen selbst müssen auch sehr präzise sein. Auf die fünfte und möglichst sechste Nachkommastelle genau muss die Schwerebeschleunigung bekannt sein, um unsere Höhenbezugsfläche mit Subzentimetergenauigkeit berechnen zu können. Variationen des Schwerfeldes der Erde in dieser Größenordnung ergeben sich aufgrund unregelmäßiger Massenverteilungen und werden als Schwereanomalien bezeichnet. Unregelmäßige Massenverteilungen, das sind sowohl die Topographie (Berge und Täler) als auch die unterschiedliche Dichte der Gesteinsmaterialien im Erdinneren. Gebiete, in denen die Materialien der Erdkruste eine höhere Dichte aufweisen, bewirken eine höhere Erdanziehungskraft in dieser Gegend und umgekehrt. Geologen und Geophysiker nutzen die Kenntnis dieser Unregelmäßigkeiten des Erdschwerfeldes für die Erkundung und Untersuchung von Lagerstätten. Unsere Messungen allein würden für die Lagerstätten erkundung aber nicht ausreichen. Dazu müsste noch einmal viel dichter und unter Nutzung weiterer Verfahren gemessen werden. Verfügbare Schweredaten aus der Geologie werden hingegen für die Bestimmung der Höhenbezugsfläche durchaus von uns genutzt.

Infolge der unregelmäßigen Dichte- bzw. Massenverteilung der Erde weist die mittlere Meeresoberfläche keine ideale, rein geometrisch definierte Form auf. Als mathematische Bezugsfläche sowie für Koordinatenberechnungen wird die Form der Erde als mittleres Erdellipsoid definiert. Dieses Ellipsoid ist ein im Vergleich zur Kugel an den Polen um ca. 22 km abgeplatteter rotations-symmetrischer Körper, was die tatsächliche Form der Erde schon recht gut annähert. Als Höhenbezugsfläche ist es für praktische Anwendungen jedoch ungeeignet. Global betrachtet weichen die Höhe des mittleren Meeresspiegels und unsere darauf bezogene Höhenbezugsfläche um immerhin bis zu $\pm 100 \text{ m}$ vom mittleren Erdellipsoid ab. Das mag in Anbetracht des Erdradius von rund 6370 km zunächst einmal nicht besonders spektakulär klingen. Allein in Deutschland variiert der Abstand zwischen Höhenbezugsfläche und Ellipsoid aber immerhin zwischen 34 m in der Ostsee und 50 m in den Alpen. Selbst in lokal begrenzten

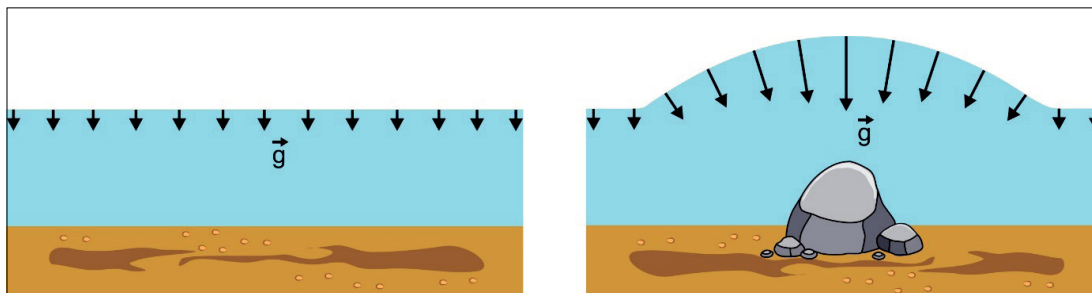


Abb. 4: Prinzipskizze zum Einfluss von Massenunregelmäßigkeiten auf das Schwerefeld der Erde (entnommen aus Fahrtbericht Deneb 2015)

Gebieten kann sich der Abstand zwischen Höhenbezugsfläche und Ellipsoid um bis zu 10 cm/km in den Gebirgen ändern. Diese Variationen übersteigen bei Weitem die üblichen Genauigkeitsanforderungen in der vermessungstechnischen Praxis.

Höhen über dem mittleren Erdellipsoid sind daher kein guter Ersatz für die tatsächliche Höhe über dem Meeresspiegel. Sie ermöglichen beispielsweise keine zuverlässige Angabe zur Fließrichtung des Wassers und sind ohne eine zusätzliche Korrektur für die meisten praktischen Anwendungen ungeeignet.

Ursache hierfür ist die schon erwähnte unregelmäßige Massenverteilung und die dadurch verursachte unterschiedliche Erdanziehungskraft, die den Meeresspiegel im wahrsten Sinne des Wortes verbeult. Gebiete mit höherer Schwerkraft ziehen das Wasser stärker an und erzeugen eine Beule (Abb. 4). Umgekehrt ziehen Gegenden mit geringerer Schwerkraft das Wasser weniger stark an, sodass eine Delle entsteht. Im Vergleich zu einer rein mathematisch definierten idealen Erdfigur weist die Meeresoberfläche deshalb »Berge« und »Täler« auf. Über den gesamten Bereich der deutschen Ostseegewässer betragen diese Unregelmäßigkeiten im Maximum bis zu 5,9 m, über der AWZ der Nordsee immerhin noch bis zu 3,9 m. Im Vergleich zur geforderten Genauigkeit der Tiefenangaben in den Seekarten kann dieser Einfluss nicht vernachlässigt werden. In stark überhöhtem Maßstab gleicht die Form der Erde eher einer Kartoffel mit Dellen und Beulen als einem ebenmäßigen Körper wie einer Kugel bzw. einem Ellipsoid.

Eine möglichst genaue Vermessung dieser Unregelmäßigkeiten im Erdschwerefeld (Anomalien) ist das Ziel unserer Reise mit dem VWFS *Deneb*. Auf ihrer Grundlage berechnen wir die nächste Version der Höhenbezugsfläche von Deutschland, das German Combined Quasigeoid 202x. Dieses Modell wird dann wieder etwas zuverlässiger sein als das derzeitige GCG2016 (BKG 2016; Schirmer et al. 2018) und den Nutzeranforderungen besser gerecht werden. Es wird am BSH und bei allen anderen Kunden im maritimen Umfeld eine genauere Umrechnung der von ihnen mittels globalem Navigations satellitensystem (GNSS) ermittelten ellipsoidischen Höhen in Höhen über

dem festgelegten Meeresspiegelniveau ermöglichen.

Wie ist es überhaupt möglich, auf einem »wackligen« Schiff so genaue Schweremessungen durchzuführen?

Wenn man eine Messgröße auf einen Millionstel Teil genau bestimmen will, braucht man schon recht sensitive Messgeräte. Gravimeter, mit denen die Schwerebeschleunigung bzw. deren Veränderungen bestimmt werden, gehören in jedem Fall dazu.

Üblicherweise müssen Gravimeter sehr genau horizontalisiert werden und auch die Temperatur in der Umgebung sollte sich nicht allzu schnell ändern. Für die Durchführung von Schweremessungen auf einem Schiff oder in einem Flugzeug werden deshalb besondere Messgeräte benötigt, über die das GFZ Potsdam und die TU Darmstadt verfügen (Abb. 5).



Abb. 5: Gravimetrisches Instrumentarium im Nasslabor an Bord des VWFS *Deneb*. Das Chekan-Gravimeter des GFZ Potsdam (Aufkleber) ist auf einer Grundplatte montiert, welche neben Steuergeräten auch das inertielle Messsystem der TU Darmstadt trägt. Rechts hinten befindet sich ein Rack mit dem Steuerrechner für das Chekan-Gravimeter, mit vier GNSS-Empfängern und zwei weiteren Computern. Das System ist für die dynamischen Bedingungen einer bewegten Messplattform (z. B. Flugzeug, Schiff) ausgelegt

© Christoph Förster, GFZ

Die Störbeschleunigungen aufgrund von Seegang, Wendemanövern und Ähnlichem, die von dem Messgerät aufgezeichnet werden, sind aber dennoch um ein Vielfaches größer als das zu messende Schweresignal. Ein Teil davon lässt sich modellieren (Coriolis- und Eötvös-Effekt aufgrund der Erdrotation) bzw. kann aus der zentimetergenauen GNSS-Trajektorie des Schiffes berechnet werden. Für die Eliminierung der seegangbedingten Störeinflüsse macht man sich den Sachverhalt zunutze, dass die schwerefeldbedingten Signalanteile eine ganz andere Wellenlänge haben als der Seegang. Mittelt man alle Messwerte in einem Zeitfenster von z. B. zehn Minuten, kann der Einfluss des Seegangs auf die Messung praktisch eliminiert werden, da in diesem Zeitraum schon recht viele Wellenberge und -täler erfasst wurden. Da das VWFS *Deneb* die Messprofile mit einer Geschwindigkeit von ca. 10 Knoten (rund 18 km/h) abfährt, hat es in dieser Zeit eine Strecke von etwa 3 km zurückgelegt. Über diese Entfernung hat sich die zu bestimmende Schwerebeschleunigung aber nur relativ wenig geändert und kann im Verhältnis zur Messgenauigkeit des Gravimeters mit hinreichender Genauigkeit bestimmt werden.

Wurden noch andere Messungen durchgeführt?

Wir haben die Gelegenheit genutzt und das VWFS *Deneb* für diese Fahrt mit weiterer Sensorik ausgerüstet. Wir wollten testen, wie genau man die Meeresspiegelhöhe während der Fahrt messen kann. Diese Arbeiten ordnen sich in einen neuen Arbeitsschwerpunkt im Referat G 3 des BKG ein, mit dem im letzten Jahr begonnen wurde: die Bestimmung des Meeresspiegels und des Meeresspiegelanstieges in Nord- und Ostsee.

Das grundlegende Messverfahren, das wir dazu am BKG nutzen, ist die Satellitenaltimetrie (Abdalla et al. 2021). Altimetersatelliten fliegen auf »festen« Spuren über der Erde und überfliegen dasselbe Gebiet in regelmäßigen Zeitabständen. Je nach Satellitenmission können das zehn und mehr Tage sein. Satellitenmissionen, die die Meereshöhe in regelmäßigen Abständen mit Zentimetergenauigkeit vermessen können, gibt es nunmehr seit ca. 30 Jahren, das heißt, man kann auf ihrer Grundlage den Meeresspiegelanstieg der letzten 30 Jahre berechnen.

Darüber hinaus gibt es natürlich noch punktweise Pegelmessungen. Aufzeichnungen einiger Pegel reichen bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts zurück. Pegel messen per se an der Küste die Höhe des Meeresspiegels gegenüber dem Festland. Altimetersatelliten liefern genaue Messungen von Höhen über dem oben erwähnten idealen Erdellipsoid über dem offenen Meer. In Küstennähe sind sie jedoch durch Festlandeinflüsse verfälscht und liefern gerade hier keine genauen Messwerte.

Meeresspiegelhöhen von Pegeln und Altimetersatelliten können deshalb nicht ohne weiteres miteinander verglichen werden. Es werden zusätzliche Informationen benötigt, beispielsweise aus Ozeanmodellen abgeleitete Meereshöhen. Hier können wir die Ergebnisse von Modellsimulationen nutzen, die uns vom Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) zur Verfügung gestellt werden (Burchard und Bolding Kristensen 2002; Gräwe et al. 2019). Unser Ziel ist es, diese Informationen optimal miteinander zu verknüpfen. Denn alle Messverfahren und Modelle haben spezifische Eigenschaften, Vor- und Nachteile. Sei es bezüglich der räumlichen Verteilung der Daten, der zeitlichen Auflösung (Messintervall), der physikalischen Interpretierbarkeit oder des Messfehlers.

Alles in allem ist dies eine komplexe Aufgabe. Zusätzliche Informationen, wie die Meereshöhen entlang des Schiffstracks, könnten dabei eine wertvolle Hilfe sein. Wenn der Meeresspiegelanstieg von wenigen Millimetern pro Jahr bestimmt werden soll, stellt dies höchste Ansprüche an die Messungen und Modelle sowie an die Qualität und Homogenität des zugrunde liegenden geodätischen Raumbezuges.

Worauf kommt es bei der Planung der Messprofile an?

Ein Kriterium bei der Planung der Messprofile war deshalb der Verlauf der Subsatellitenspuren, das heißt der Linien auf der Erdoberfläche, die die Altimetersatelliten regelmäßig überfliegen (Abb. 6). Zweimal im Verlauf der Fahrt waren wir auch gerade zeitgleich mit dem Satelliten auf diesen Spuren unterwegs, sodass wir unsere Messungen unmittelbar mit den Satellitenmessungen vergleichen können.

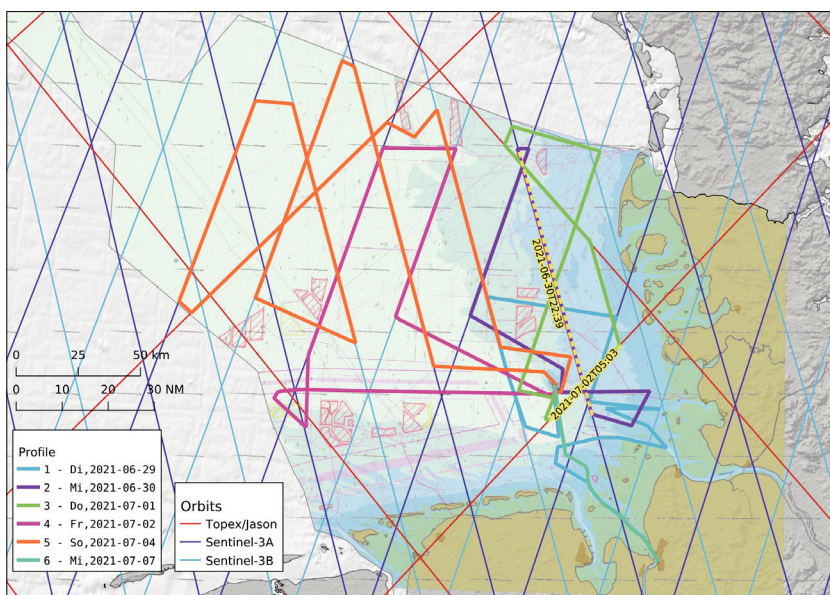


Abb. 6: Seekarte der deutschen Nordseeküste mit Einschränkungen für den Schiffsverkehr (Violett: Verkehrstrennungsgebiete, schraffierte Polygone: Windparks) und Altimeterorbits

Bei der Planung der gesamten Fahrt sind aber noch viele andere Aspekte zu berücksichtigen. Neben der Position und der Orientierung der älteren Schweremessprofile sind das in erster Linie natürlich die festgeschriebenen Schifffahrtsregeln. Auch wenn sie für den Laien nicht erkennbar sind, gibt es ausgewiesene Schifffahrtswege zu den großen Häfen, und nicht alle Meeresbereiche dürfen in beliebiger Richtung befahren werden. Hier geht es eher wie auf einer Autobahn zu, es gibt ausgewiesene Fahrrichtungen und als Mittelteilplanken dienen sogenannte Verkehrstrennungsgelände. Auch ein amtliches Vermessungsschiff darf nicht ohne triftigen Grund gegen diese Regeln verstoßen, zumal wir für unsere Messungen besondere Anforderungen an die Tracks stellen. Für unsere Messungen ist es vorteilhaft, wenn die Profile möglichst lang und geradlinig sind sowie mit konstanter Geschwindigkeit gefahren werden. Unter diesen Bedingungen ist eine »wilde« Querung von viel befahrenen Schifffahrtswegen, wie z. B. der Ansteuerung zur Elbe nach Hamburg, quasi nicht planbar (Abb. 6).

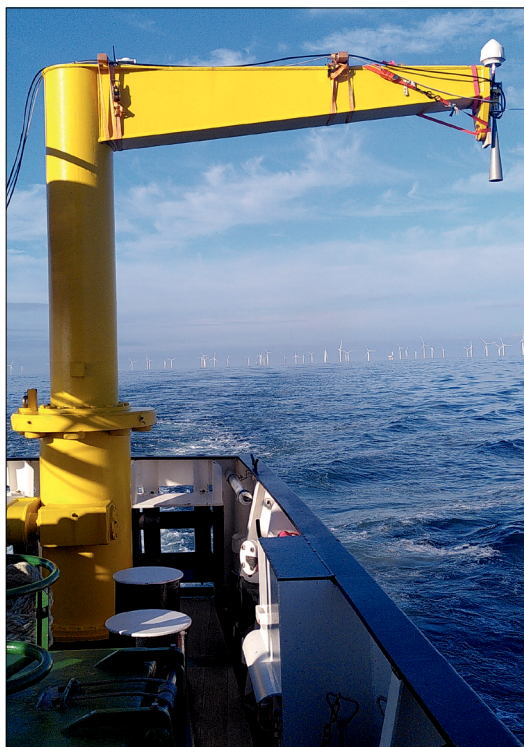
Vor, aber vor allem auch während der Fahrt ist uns zudem die Anzahl bereits vorhandener Windparks in der Nordsee deutlich bewusst geworden (Abb. 6 und Abb. 7). Weitere Windparks, die in der nächsten Zeit entstehen sollen, sind bereits ausgewiesen.

Welche Geräte wurden an Bord installiert?

Für die Bestimmung der Meereshöhen wurden an Bord des VWFS *Deneb* weitere GNSS-Ausrüstung sowie ein Radarpegel installiert (Abb. 7). Eine Satellitenkommunikationsanlage zur Datenübertragung und einen weiteren GNSS-Empfänger hatten wir bereits im Rahmen des FAMOS-Projektes installiert. Zur Bestimmung der Schiffsneigung und des Kurses haben wir einen speziellen GNSS-Empfänger betrieben, an den vier GNSS-Antennen angeschlossen werden können. Daneben zeichnet das VWFS *Deneb* selbst natürlich jede Menge Daten auf, die wir nutzen können.

Die Fahrt beginnt für uns deshalb nicht erst mit dem Ablegen des Schiffes. Bereits vier Tage vor Abfahrt sind wir mit sechs Kollegen in Bremerhaven eingetroffen und haben das gesamte Equipment installiert. Alle Antennen und Messgeräte mussten befestigt, Antennen- und Datenkabel an Bord verlegt und die Funktion der Geräte getestet werden. Die Position der Gravimeter, aller Antennen und des Radarpegels wurde im schiffseigenen Koordinatensystem eingemessen.

Die Grundlagen für den Erfolg einer Messkampagne werden aber noch früher gelegt. Ohne die vorherige sorgfältige Zusammenstellung und den Test aller Messgeräte, die Planung der Messprofile, die Beantragung von Messgenehmigungen über das Auswärtige Amt bei Fahrten in ausländischen



© Ludwig Schröder, BKG

Abb. 7: Speziell zur Messung der Meereshöhe installierte GNSS-Antenne und Radarpegel auf dem Schleppdavit am Achterdeck der *Deneb*. Im Hintergrund ist einer der zahlreichen Windparks zu erkennen

Gewässern etc. würde es während der Fahrt ziemlich chaotisch zugehen.

... und läuft denn immer alles nach Plan?

Unvorhersehbare Ereignisse gibt es während einer Messfahrt ohnehin genug. Die Wetterbedingungen sind nur ein naheliegendes Beispiel, warum die Fahrtplanung von Tag zu Tag den aktuellen Gegebenheiten angepasst werden muss. Zwar könnte das VWFS *Deneb* auch bei Windstärke 7 noch sicher fahren, der dadurch verursachte Seegang führt aber zu stärkeren Roll- und Stampfbewegungen des Schiffes. Die Brecher spritzen dann schon mal bis auf die Höhe der Brücke und sind im ganzen Schiffskörper deutlich zu hören und zu spüren. Spätestens diese Bedingungen sind der Qualität der Schweremessungen abträglich, sodass Messungen unter diesen Bedingungen nicht nur für Schiff und Besatzung eine zusätzliche Belastung darstellen, sondern auch wenig Sinn haben. In diesen Fällen heißt es also abwettern und Schutz suchen: im Hafen, unter Land oder zumindest durch das kontrollierte Driften auf einem geeigneten Kurs.

Unvorhersehbares kann uns aber nicht nur das Wetter bescheren. Die Qualität der Messungen hängt maßgeblich vom sogenannten Gangverhalten des Gravimeters ab, das wir ständig überwachen müssen. Den Gang eines Gravimeters kann man sich in Analogie zum Gang bei einer älteren

mechanischen Uhr vorstellen. Solange eine Uhr gleichmäßig vor- oder nachgeht und man den täglichen Uhrengang kennt, kann man leicht auf die korrekte Uhrzeit schließen. Um den Gang des Gravimeters zu bestimmen, machen wir mindestens jeden zweiten Tag für einige Stunden im Hafen von Helgoland fest und führen Vergleichsmessungen neben einem Punkt durch, dessen Schwerewert bereits bekannt ist. Diese Vergleichspunkte wurden im Vorfeld extra für diese Fahrt vom BKG unmittelbar an den Liegeplätzen des VWFS *Deneb* in Bremerhaven und Helgoland angelegt.

In Helgoland warten auch zwei Kollegen von uns, die die Messdaten übernehmen und erste Analysen und Vergleiche mit den Altdaten durchführen. Pandemiebedingt können sie dieses Mal leider nicht auf dem VWFS *Deneb* mitfahren. Auch an Bord werden jede Menge Programme und Skripte geschrieben, um die Vollständigkeit und Plausibilität der Daten zu prüfen und erste Vergleiche der Sensoren untereinander durchzuführen. Dieses Mal weist das Gravimeter ein hinreichend stabiles Gangverhalten auf. Bei früheren Fahrten war dies nicht immer der Fall und wir mussten den Fahrtverlauf daraufhin anpassen. Die primäre Datenanalyse vor Ort ist deshalb eine wichtige Voraussetzung für die Qualitätssicherung der gewonnenen Messdaten.

Wie geht es nun weiter?

Im deutschen Anteil der Ostsee sind die gravimetrischen Messungen abgeschlossen und zum Teil bereits in das German Combined Quasigeoid 2016 (GCG2016), das bisher auch als Seekartennull in der Ostsee fungiert, eingeflossen. In unseren Nachbarländern werden zum Teil noch weitere Messungen durchgeführt, sodass insgesamt in weiten Teilen der Ostsee aktualisierte Schwerewerte zur Verfügung stehen werden (Abb. 8). Sie sind die Grundlage, um ein neues einheitliches Geoidmodell für die gesamte Ostsee zu berechnen. Die Standards, auf deren Grundlage diese Berechnung erfolgt, wurden bereits 2016 festgelegt (Ågren et al. 2016, aktualisiert 2021). Dieses Modell wird den Namen Baltic Sea Chart Datum 2000 (BSCD2000; Schwabe et al. 2020) haben. An seiner Berechnung beteiligen sich mehrere Rechenzentren, neben dem BKG auch Lantmäteriet (Schweden), Tallinn University of Technology (TalTech, Estland), Finnish Geodetic Institute (FGI, Finnland) und DTU Space (Dänemark). Nach dem Auslaufen des FAMOS-Projektes werden die Arbeiten im Rahmen der Chart Datum Working Group (CDWG; www.bshc.pro/working-groups/cdwg) der Baltic Sea Hydrographic Commission (BSHC) der International Hydrographic Organization (IHO) koordiniert. Die finale Berechnung des Modells soll 2022 erfolgen. Es wird von allen Ostseeanrainern (Status in Russland ist nicht bekannt) offiziell akzeptiert und eingeführt. Die administrativen Anforderungen in Deutschland wurden hierfür bereits gelegt, mit Wirkung vom 04.08.2021 ist BSCD2000DHHN2016 das offizielle Seekartennull für die Ostsee in Deutschland. Auf die Navigation hat dies keine Auswirkungen, die Tiefen in den Seekarten des BSH ändern sich nicht.

In der Nordsee werden sich die Arbeiten noch etwas länger hinziehen. Derzeitig werden die an Bord erhobenen Messungen ausgewertet und anschließend die älteren Schweredaten kontrolliert. Für 2022 ist bereits die nächste Fahrt zur Durchführung von Schweremessungen in der Nordsee geplant. Sobald die notwendige substanzielle Verbesserung der Datenbasis erreicht wird, kann auch für die Nordsee das German Combined Quasigeoid aktualisiert werden. Gemeinsam mit den absehbaren Entwicklungen im GNSS-Bereich, z. B. Positionierungsdiensten auf der Grundlage des Precise Point Positioning, wird die Höhenbestimmung im Meeresbereich der Nord- und Ostsee dann wieder ein Stück genauer, zuverlässiger und operationeller. Von den verbesserten geodätischen Grundlagen und Positionierungsmöglichkeiten wird nicht nur die Seevermessung selbst profitieren. Die verbesserte geodätische Infrastruktur wird auch positive Auswirkungen in anderen Anwendungsbereichen, wie Verkehr, Umwelt oder bei den Untersuchungen der Meeresspiegeländerungen, haben.

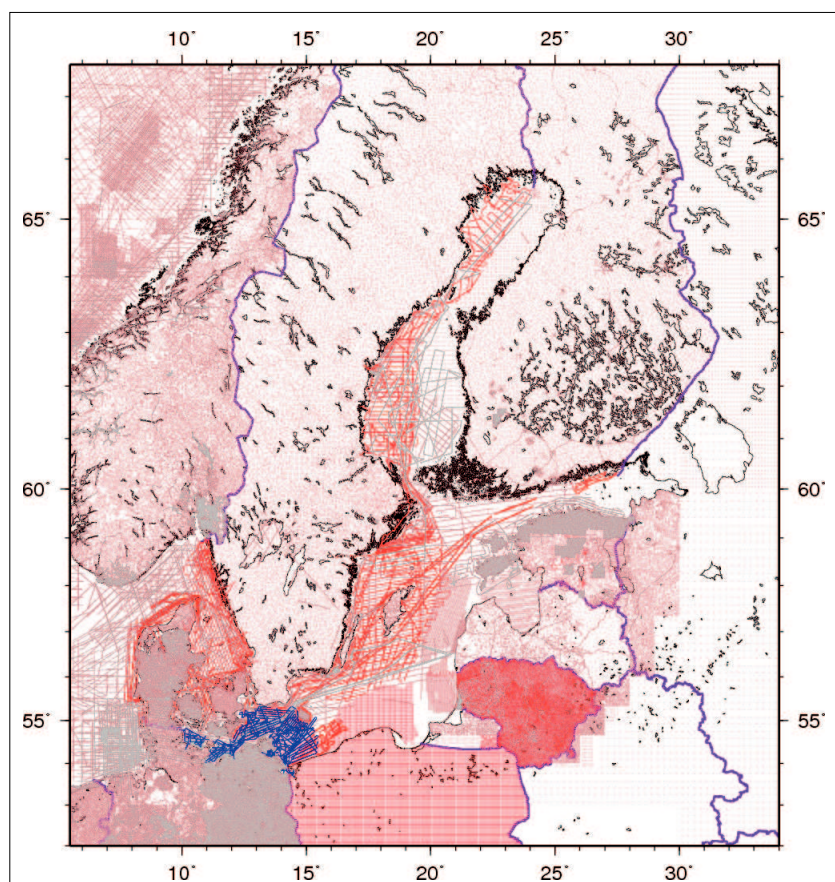


Abb. 8: Schweremessungen in der Ostsee für das BSCD2000 (grau: Stand der Datenbasis September 2018, rot: neue Messungen seit 2018, blau: Messungen des BSH/GFZ/BKG 2013 bis 2018)

Dank

Ohne eine breite Unterstützung ist die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung einer Vermessungsfahrt nicht möglich. Hierzu sind weit mehr Kolleginnen und Kollegen notwendig, als die vier Gäste, die dieses Mal an Bord des VWFS *Deneb* mitfahren konnten. Hierzu zählen natürlich Kapitän Andreas Gentes und die Besatzung des VWFS *Deneb*, die uns bei allen Anliegen tatkräftig unterstützt haben. Die gesamte Atmosphäre an Bord war auch dieses Mal wieder sehr angenehm und ausgesprochen freundlich, sodass wir uns an Bord wieder sehr wohlfühlt haben. Unser Dank gilt aber auch Cindy Niemeyer vom BSH sowie al-

len beteiligten Kolleginnen und Kollegen der Referate »Seevermessung und Geodäsie« und »Schiffe und Geräte«, die diese Fahrt seitens des BSH bestens organisiert und vorbereitet haben.

Vom BKG haben uns zahlreiche Kollegen unterstützt, bei

- der Installation der Technik (Stefan Friedländer, Sebastian Knappe, Elke Kühmstedt),
 - der Einmessung der Sensoren an Bord des VWFS *Deneb* (Christian Lewerenz und Mario Langhammer),
 - der Bestimmung der gravimetrischen Anschlusspunkte (Andreas Reinhold und Axel Rülke).
- Vielen Dank an alle Kolleginnen und Kollegen. //

Literatur

- Abdalla, Saleh; Abdolnabi Abdeh Kolahchi et al. (2021): Altimetry for the future: Building on 25 years of progress. *Advances in Space Research*, DOI: 10.1016/j.asr.2021.01.022
- Ågren, Jonas; Gunter Liebsch; Jyrki Mononen (2016, aktualisiert 2021): Specification of the Baltic Sea Chart Datum 2000 (BSCD2000). Version 5b, 21.09.2021. www.bshc.pro/media/documents/CDWG/CDWG+Specification+of+the+Baltic+Sea+Chart+Datum+2000.pdf (zuletzt abgerufen am 28.09.2021)
- BKG (2015): BKG-Jahresbericht 2014. www.bkg.bund.de/SharedDocs/Downloads/BKG/DE/Downloads-Jahresberichte/BKG-Jahresbericht-2014-DE.pdf (zuletzt abgerufen am 28.09.2021)
- BKG (2016): Metadatenatz GCG2016. <https://mis.bkg.bund.de/trefferanzeige?docuuid=983fac52-b7de-4f43-a6f5-91e007a6f963>
- BKG (2018): Metadatenatz DGM25. <https://mis.bkg.bund.de/trefferanzeige?docuuid=dcf869ba-458e-487b-a856-1038eb9c48af>
- BKG/GFZ/BSH (2016): »Berge und Täler« der Ostsee – EU-Projekt FAMOS: Forschungsschiff DENEb vermisst Meeresspiegel. Gemeinsame Pressemitteilung vom 20.05.2016. www.bkg.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/BKG/DE/PM_Download_Link/160520-DENEb.pdf (zuletzt abgerufen am 28.09.2021)
- Burchard Hans; Karsten Bolding Kristensen (2002): GETM, a General Estuarine Transport Model. EUR 20253 EN. European Commission. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC23237>
- GEBCO Compilation Group (2021): GEBCO 2021 Grid. DOI: 10.5285/c6612cbe-50b3-ocff-e053-6c86abc09f8f
- IHO (2018): Resolutions of the International Hydrographic Organization – Publication M-3, 2nd Edition – 2010, Updated to August 2018. International Hydrographic Organization, Monaco 2018, https://iho.int/iho_pubs/misc/M3-E-AUGUST18.pdf (zuletzt abgerufen am 28.09.2021)
- Lu, Bingan; Franz Barthelmes et al. (2019): Shipborne gravimetry in the Baltic Sea: data processing strategies, crucial findings and preliminary geoid determination tests. *Journal of Geodesy*, DOI: 10.1007/s00190-018-01225-7
- Pail, Roland; Sean Bruinsma et al. (2011): First GOCE gravity field models derived by three different approaches. *Journal of Geodesy*, DOI: 10.1007/s00190-011-0467-x
- Schäfer, Uwe; Franz Barthelmes et al. (2013): A ship-borne gravity campaign of the Bodensee (Lake Costance) – Motivation, design and first results. *Proceedings, IAG Symposium on Terrestrial Gravimetry: Static and Mobile Measurements (Sankt Petersburg)*, https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/pubman/item/item_352614
- Schirmer, Uwe; Joachim Schwabe et al. (2018): Modellierung des Quasigeoides GCG2016. In: *Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland, Arbeitskreis Raumbezug (Hrsg.): DHHN2016 – Die Erneuerung des Deutschen Haupthöhennetzes und der einheitliche integrierte geodätische Raumbezug 2016*, DOI: 10.5675/Raumbezug_2016_Hauptdokument, S. 197–225
- Gräwe, Ulf; Knut Klingbeil et al. (2019): Decomposing Mean Sea Level Rise in a Semi-Enclosed Basin, the Baltic Sea. *Journal of Climate*, DOI: 10.1175/JCLI-D-18-0174.1
- Schwabe, Joachim; Jonas Ågren et al. (2020): The Baltic Sea Chart Datum 2000 (BSCD2000). Implementation of a common reference level in the Baltic Sea. *International Hydrographic Review*, https://iho.int/uploads/user/pubs/ihreview_P1/IHR_May2020.pdf (zuletzt abgerufen am 28.09.2021)

Erprobung von Systemen zur Situationserfassung mit maritimer Technologieentwicklungsplattform

Ein Beitrag von *ARNOLD AKKERMANN, BENJAMIN LEIPOLD, PETER DUGGE und ANDRÉ BOLLES*

Was passiert, wenn ein Containerschiff Ladung verliert? Auf jeden Fall muss die Unfallstelle schnell gesichert werden, damit die auf dem Gewässerboden liegenden Container andere Schiffe nicht gefährden. Dabei sollten autonome Unterwassereinheiten zum Einsatz kommen, Kommunikationssysteme und ein Lagezentrum. Ein entsprechendes System wird gerade erprobt.

ACTRESS | Containerverlust | maritime Technologieentwicklungsplattform
ACTRESS | container loss | maritime technology development platform

What happens when a container ship loses cargo? In any case, the accident site must be secured quickly so that the containers lying on the bottom of the water do not endanger other ships. Autonomous underwater units should be used, as well as communication systems and a situation centre. Such a system is currently being tested.

Autoren

Arnold Akkermann und Dr. André Bolles arbeiten am OFFIS e. V. – Institut für Informatik in Oldenburg. Benjamin Leipold und Peter Dugge sind bei der Atlas Elektronik GmbH in Bremen beschäftigt.

andre.bolles@offis.de

Im Projekt ACTRESS, das in den Jahren 2017 bis 2020 vom BMWi unter dem Förderkennzeichen 03SX448 gefördert wurde, ist eine maritime Technologieentwicklungsplattform entstanden, mit der die Erprobung neuartiger maritimer Systeme ermöglicht wird. Als einer der Partner des Konsortiums hat die Atlas Elektronik GmbH im Rahmen dieses Projektes das Szenario eines Containerverlustes durch ein Containerschiff, wie es 2019 durch die Havarie der *MSC Zoe* Realität wurde, nachgestellt. Hierzu wurden unterschiedliche autonome und manuell gesteuerte maritime Systeme zur Lagebilderzeugung eingesetzt, um eine effiziente und effektive Sicherung der Unfallstelle und damit die Vermeidung von Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer durch verlorene Container zu erproben (Abb. 1).

Charakteristisch war in diesem Szenario die Einbindung sicherer rekonfigurierender und vernetzter maritimer Systeme zu einem Systemverbund, um eine gemeinsame Aufgabe zu lösen. Es wurden nach der Auswertung erster Lageinformationen autonome Unterwassereinheiten im Unfallgebiet eingesetzt. Diese orientieren sich selbstständig und senden ihre Daten an ein Lagezentrum zur Erstellung eines integrierten Echtzeitlagebildes. Damit waren eine ganze Reihe einzelner Systeme an der Erprobungskampagne beteiligt:

- eine autonome Unterwassereinheit,
- Kommunikationssysteme sowie
- ein Lagezentrum.

Die Absicherung der funktionalen und nicht-funktionalen Eigenschaften solcher Systeme bedarf generell umfangreicher Testumgebungen. Die Technologieentwicklungsplattform bietet hier die Möglichkeit der Nutzung verschiedener Komponenten wie beispielsweise einem Forschungsboot oder speziell ausgerüsteter Seecontainer, die mobil auf Schiffen oder auch an Land genutzt werden können. Die Container bieten vollausgestattete Rechnerinfrastruktur mit Kommunikationstechnik, die eine mobile Anbindung an Backend-Systeme ermöglicht. LTE-basierte Kommunikationskanäle ermöglichen eine einfache küstennahe Kommunikation, aber auch die Ausrüstung mit Satelliten-Antennen ist möglich. Zusätzlich bieten die Container die Möglichkeit, spezielle, ebenfalls in der Technologieentwicklungsplattform vorhandene Sensoraufbauten zu installieren, die beispielsweise die Nutzung von Weitbereichsradaren ermöglichen.

ACTRESS ermöglichte es der Atlas Elektronik GmbH, sich für die Erprobung der eigenen Systeme bei den Kampagnen speziell auf die Entwicklung der eigenen Systeme zu konzentrieren und verfügbare Komponenten der Technologieentwicklungsplattform zu nutzen. Dadurch war es möglich, dass in der Erprobungskampagne relevante Missionsszenarien identifiziert, ihr Abdeckungsgrad bezüglich der Systemspezifikationen ermittelt und ihre Durchführung in einer realen Umgebung in der Ostsee und im Jadebusen (Wilhelmshaven) umgesetzt werden konnte.

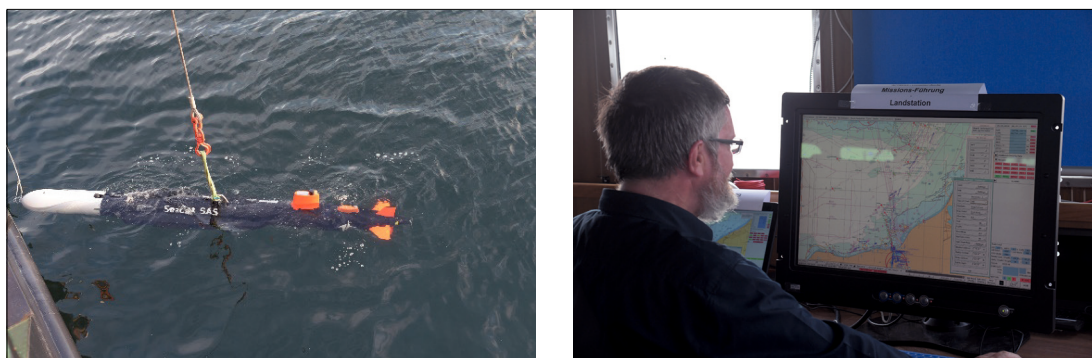


Abb. 1: Kampagne 2019 in der Ostsee: Set-to-work des autonomen Unterwasserfahrzeugs beim Trimmen im Hafen von Warnemünde (links) und Lagezentrum an Bord der *Deneb* (rechts)

Die ACTRESS-Technologieentwicklungsplattform wird auch nach Projektende durch den OFFIS-Bereich Verkehr, der voraussichtlich zum 1. Januar 2022 in das neue DLR-Institut Systems Engineering für zukünftige Mobilität übergehen wird, und durch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie weiterbetrieben. Die Plattform ist inzwischen in die eMaritime Integ-

rated Reference Platform eMIR (www.emaritime.de) integriert worden. Neben den zuvor genannten Komponenten stehen zahlreiche weitere virtuelle und physische Komponenten für die Entwicklung und Erprobung maritimer Systeme zur Verfügung, die von interessierten Forschungseinrichtungen und Unternehmen genutzt werden können. //

DHyG-Sonderpublikationen

Patrick Goffinet:
 Neue Bewertung der harmonischen Analyse im Vergleich zur Darstellung der Ungleichheiten am Beispiel der Deutschen Bucht
 DHyG-Sonderpublikation **Nr. 001**
 DOI: 10.23784/DHyG-SP_001

Hannes Nübel:
 Bathymetry from multispectral aerial images via Convolutional Neural Networks
 DHyG-Sonderpublikation **Nr. 002**
 DOI: 10.23784/DHyG-SP_002

Sophie Andree:
 Interactive processing of MBES bathymetry and backscatter data using Jupyter Notebook and Python
 DHyG-Sonderpublikation **Nr. 003**
 DOI: 10.23784/DHyG-SP_003

Im November erscheint Nr. 004

www.dhyg.de/index.php/hydrographische-nachrichten/sonderpublikationen



»Measuring and Charting the Ocean«

Internationale Zusammenarbeit in der Hydrographie ist das Thema des Buches, das zum Jubiläum der IHO erschienen ist

Eine Buchbesprechung von WILFRIED ELLMER

Am 21. Juni 1921 wurde das International Hydrographic Bureau (IHB) in Monaco gegründet, der Vorgänger der heutigen International Hydrographic Organization (IHO). Aus diesem Anlass erschien in der letzten Ausgabe dieser Zeitschrift bereits der Artikel von Prof. Dr. Peter Ehlers mit seiner Rede, die er im November 2020 als Jubiläumsansprache auf der zweiten Assembly der IHO hätte halten sollen, wenn die Pandemie nicht wäre. Nun soll es, ebenfalls im Jubiläumsjahr, einen Hinweis auf das Buch geben, das von der IHO zu ihrem hundertjährigen Bestehen herausgegeben wurde. Es ist damit ein Rückblick auf die Arbeit der IHO in diesen 100 Jahren und zugleich ein Ausblick auf die kommende Zeit und ihre Herausforderungen.

On June 21, 1921, the International Hydrographic Bureau (IHB) was founded in Monaco, the predecessor of today's International Hydrographic Organization (IHO). On this occasion, the last issue of this journal already published the article by Prof. Dr. Peter Ehlers with his speech, which he should have held in November 2020 as an anniversary address at the second assembly of the IHO, if it were not for the pandemic. Now, also in the anniversary year, there is to be a reference to the book published by the IHO on the occasion of its centenary. It is thus a retrospective of the work of the IHO during these 100 years and at the same time an outlook on the coming period and its challenges.

Autor

Dr. Wilfried Ellmer war am BSH bis 2017 Leiter des Sachgebiets Geodätisch-hydrographische Verfahren und Systeme.

wilfried.ellmer@tuxzone.org

Das Ziel des Buches ist es, den Weg der IHO vom Anfang bis heute darzustellen und einen Ausblick auf die Zukunft zu bieten. Es kommt dabei insbesondere darauf an, in den einzelnen Themenbereichen die Mitwirkung der verschiedenen Beteiligten und ihre Zusammenarbeit darzustellen und die daraus entstehenden Innovation aufzuzeigen. Das ganze Buch wird damit quasi unter das Motto gestellt: »The Seas and Oceans know no boundaries«.

Die Autoren sind namhafte Personen der Hydrographie, von denen den Leserinnen und Lesern dieser Zeitschrift zumindest vier bekannt sein dürften: Peter Ehlers ist wesentlicher Mitautor des Kapitels über die Geschichte der IHO, Mathias Jonas schreibt über die künftigen Herausforderungen, Horst Hecht stellt die Aktivitäten der IHO im Bereich der nautischen Informationen dar und Hans-Werner Schenke beschreibt das GEBCO-Projekt.

Mögliche Adressaten des Buches

Das Buch richtet sich an alle an der Hydrographie Interessierten. Insbesondere ist es eine Informationsquelle für jeden, der in irgendeiner Weise mit der IHO zu tun hat, sei es, dass er in einem der Gremien mitarbeitet, oder auch einfach nur eine der Publikationen für die Arbeit nutzt. Es könnte aber auch für jeden, der sich mit maritimen Themen befasst, Hinweise auf die Arbeit oder die Produkte

der IHO, insbesondere auf die hydrographischen Standards geben.

Ganz allgemein zeigt das Buch aber auch die effektive Rolle einer recht alten internationalen Organisation bei der Überwindung nationaler Grenzen und der Entwicklung wesentlicher Beiträge zur Sicherheit der Seeschifffahrt auf. Damit könnte es durchaus auch für Leserinnen und Leser interessant sein, die mit anderen internationalen Organisationen zu tun haben.

Inhalt des Buches und Schwerpunkte der einzelnen Kapitel

Das Buch beschreibt im Wesentlichen die Geschichte der IHO, ihre organisatorische Entwicklung, die Schwerpunkte ihrer vielfältigen Arbeiten und schließlich einen Ausblick auf die zukünftige Entwicklung und die damit verbundenen Herausforderungen. Die einzelnen Kapitel wurden unabhängig voneinander von verschiedenen Autoren verfasst, die intensiv in die Arbeit der IHO involviert waren. Auf diese Weise konnten Doppelungen entstehen, die jedoch für das Verständnis eher von Vorteil sind.

Introduction

Für denjenigen, der nicht viel lesen möchte, ist diese Einführung dazu geeignet, einen Eindruck

zu bekommen von der Notwendigkeit der internationalen Zusammenarbeit und von den Aufgaben der IHO.

Chapter 1: The Origin and Scope of Hydrography

Das Kapitel ist ein kurzer Abriss über die Entwicklung der Hydrographie selbst, weniger über die IHO, die erst im folgenden Kapitel ausführlich beschrieben wird. Aber es beschreibt die für die IHO relevanten Themen, ihre Entwicklung und Bedeutung.

Chapter 2: The Establishment and Development of the IHO

Das eigentliche »Jubiläumskapitel«, 100 Jahre IHO, wie die Zusammenarbeit in der Hydrographie entstand, wie sie sich im Laufe dieser Jahre entwickelte und wo sie heute steht, eine spannende Geschichte. Das ist das Herzstück des Buches und eine Fundgrube für jeden, der mit der IHO zu tun hat. Es gibt immer wieder Neues zu entdecken. Hier, wie gelegentlich auch an anderen Kapiteln, wäre es hilfreich gewesen, den Abbildungen etwas mehr Erläuterungen zu geben.

Chapter 3: The IHO and Relations With Monaco

Der damalige Fürst Albert I. hat sich bereit erklärt, den Sitz des International Hydrographic Bureau, aus dem später die IHO wurde, in Monaco einzurichten. Das Kapitel beschreibt, wie es damals dazu kam und wie eng die Beziehungen zwischen dem Fürstentum und der IHO bis heute sind.

Chapter 4: The IHO and Relations With Other Organizations

Es ist beeindruckend, welche vielfältigen Beziehungen zu anderen internationalen Organisationen sich im Laufe der Zeit entwickelt haben und welche Bedeutung diese Beziehungen für die Arbeit der IHO haben. Die meisten dieser Organisationen sind deutlich jünger.

Chapter 5: The IHO and Hydrographic Surveying

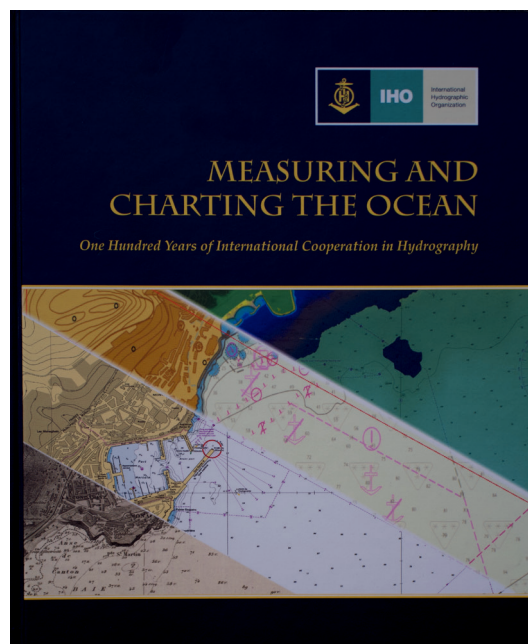
Mit diesem Kapitel beginnt die Beschreibung der Facharbeit. Es wird die Entwicklung der Seevermessung der letzten hundert Jahre dargestellt und wie diese Entwicklung durch die Arbeit der IHO beeinflusst wird. Die *Standards for Hydrographic Surveys (S-44)* tragen wesentlich zu dieser Entwicklung bei, es wird ausführlich beschrieben, wie es dazu kam und wie sie immer wieder den jeweils aktuellen Erfordernissen angepasst wurden. Aber auch andere Veröffentlichungen werden beschrieben, und es wird ein Ausblick auf die Zukunft der Seevermessung gegeben.

Chapter 6: The IHO and Nautical Charting and Information

Nautische Informationen, insbesondere die Kartographie, sind der Schwerpunkt der Standardisierungsarbeit der IHO, auch wenn die anderen Themen nicht weniger wichtig sind. Entsprechend ist dieses Kapitel auch das umfangreichste aus der Facharbeit. Sehr anschaulich wird die umfangreiche Arbeit beschrieben, die schließlich zu einigermaßen einheitlichen kartographischen Produkten führt. Die weiteren Entwicklungen werden als große Projekte beschrieben, Entwicklung der INT-Charts, das Ships' Routing und der Worldwide Navigational Warning Service. Selbstverständlich nimmt die Digitalisierung der Kartographie und der übrigen nautischen Informationen den breitesten Raum ein, angefangen von den ersten Ideen über alle Höhen und Tiefen bis hin zu den heutigen Arbeiten an den S-100-Standards.

Chapter 7: The IHO and Ocean Dynamics

Neben den Daten der Seevermessung gehören auch Wasserstandsdaten zu den wesentlichen Grundlagen der nautischen Informationen. Wasserstand ist damit ein wichtiges Kapitel dieses Buches. Hinzu kommen noch einige Informationen zum Seekartennull, zu Meeresströmungen und Seegang. Wasserstand, Strömungen und Seegang gehörten von Anfang an zu den Themen der IHO. Auch hier werden diese Themen beleuchtet von den Anfängen der IHO bis hin zur Berücksichtigung dieser Daten in ECDIS, also in den S-100-Standards.



Measuring and Charting the Ocean

Das Buch ist bei der IHO zum Preis von 45 Euro erhältlich (zuzüglich Portokosten).

Es kann auch in den beiden Bibliotheken des BSH ausgeliehen werden.

Chapter 8: The IHO and Ocean Mapping

Ein Projekt zur Sammlung bathymetrischer Daten, Tiefen ab 100 Meter, startete bereits 1903 unter der Leitung des Fürsten Albert I. von Monaco. Das ist das heutige GEBCO-Project (General Bathymetric Chart of the Oceans). Das Kapitel beschreibt die Entstehung des Projektes bis hin zur heutigen Struktur der Sammlung digitaler Daten. Und es geht auf aktuelle Fragen ein, wie die immer noch bestehenden großen Datenlücken gefüllt werden können, auf Ausbildung, Öffentlichkeitsarbeit, Crowdsourced Bathymetry und auf das große Projekt Seabed 2030 der Nippon Foundation.

Chapter 9: The IHO and Marine Spatial Data

Eine relativ neue Entwicklung der letzten Jahrzehnte entstand aus der Erkenntnis, dass die Datensätze der Hydrographie nicht nur für die Sicherheit der Seeschifffahrt zugänglich sein müssen. Nachdem bereits an Land intensiv an einer Geodateninfrastruktur gearbeitet wurde, sollten auch die hydrographischen Daten einbezogen werden. Es wird die Entwicklung der marinen Geodateninfrastruktur beschrieben und die Teilnahme der IHO an UN- und OGC-Arbeitsgruppen. Schließlich geht es um die Entwicklung des S-100-Standards und die Nutzung des Standards über die Grenzen der Navigation hinaus. Darüber könnte gut noch mehr geschrieben werden.

Chapter 10: The IHO and Capacity Building and Training

Die Erkenntnis, dass die Ozeane keine Grenzen kennen, führte erst relativ spät zu konkreten Aktivitäten in den Bereichen Training und Capacity Building. In den 50er-, mehr noch in den 60er-Jahren gab es Beschlüsse, die Entwicklungszusammenarbeit durch Aus- und Fortbildung zu fördern. Es folgten wesentliche Schritte zur Standardisierung der Bildungsgänge. In den 70er-Jahren wurden erste Beschlüsse zu einem weiterreichenden Capacity Building gefasst. Aber erst 2003 nahm diese Zusammenarbeit mit der Bildung des Capacity Building Committee (CBC, heute CBSC) Fahrt auf. Der wachsende Erfolg dieser Arbeit wird sehr beeindruckend beschrieben.

Chapter 11: Challenges and Perspectives

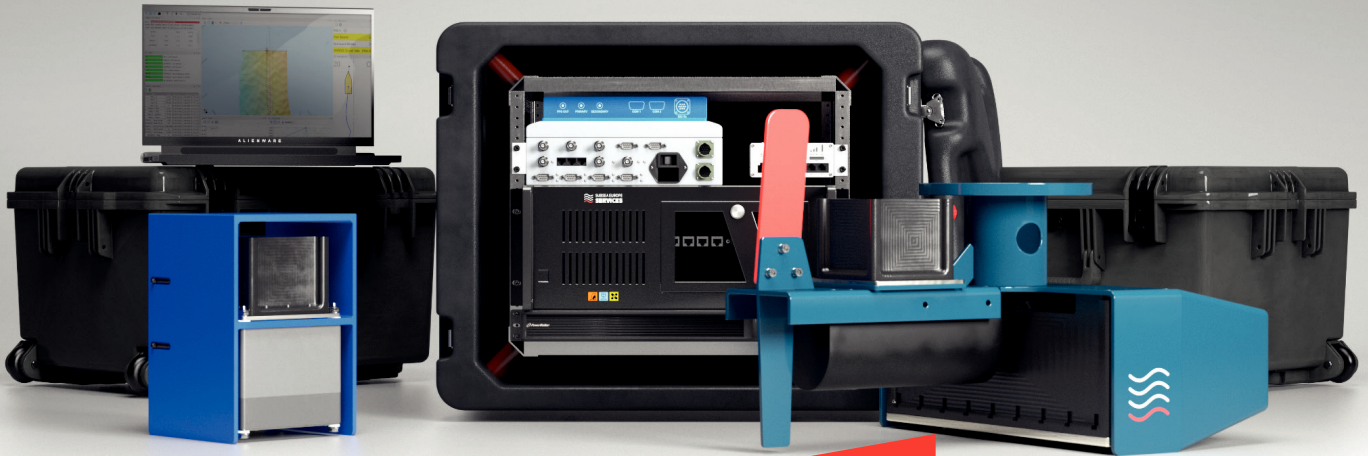
Dieses letzte Kapitel hat sich der Generalsekretär der IHO, der erste aus Deutschland, Mathias Jonas, persönlich vorbehalten. Es geht um die besonderen Herausforderungen der absehbaren Zukunft. Nach wie vor sind es die großen Datenlücken auf den Weltmeeren trotz wachsender Anforderungen an Quantität und Qualität. Insbesondere weist er darauf hin, dass »citizen science« (bürgerwissenschaftliche Projekte) und »crowd-sourced data« in wachsendem Maße in die Datenerhebung der Hydrographischen Dienste integriert werden müssen. Die IHO und die Hydrographischen Dienste müssen sich mit Änderungen im Umgang mit den Daten, mit mehr Datenquellen, auch privaten, auseinandersetzen und mehr Aufmerksamkeit auf die Datensicherheit lenken.

Gesamteindruck des Buches

Das Buch soll die Bedeutung und Vielfalt der Aktivitäten, Ergebnisse und Entwicklungen aufzeigen. Und es soll die Herausforderungen, vor denen die IHO steht, verständlich machen. Diese Ziele werden in vollem Umfang erreicht. Denen, die in Gremien der IHO mitarbeiten, hilft es, die Bedeutung und das Umfeld dieser Arbeiten zu verstehen. Und alle, die in irgendeiner Weise die Publikationen nutzen, können hier verstehen, in welchem Umfeld diese Publikationen entstanden sind. Und ganz allgemein hilft es, den Blick zu weiten dafür, in welchem weltweiten Umfeld die Hydrographie arbeitet.

Man muss das Buch nicht unbedingt von vorne bis hinten durchlesen, vielmehr kann jeder den Teil für sich herausnehmen, der einem gerade wichtig ist. Dadurch, dass die einzelnen Kapitel von verschiedenen Autoren verfasst sind, hat jedes Kapitel auch seine Eigenständigkeit, ohne dass dadurch der Gesamtzusammenhang verloren ginge. Es wird deutlich, von wie vielen Menschen die Arbeit geprägt wird.

Ich habe das Buch mit großem Vergnügen gelesen und finde, dass es spannend geschrieben ist und eine großartige Arbeit würdigt. Ich kann es wirklich nur jedem empfehlen, der irgendwo mit der Hydrographie zu tun hat. //



SIMPLIFY MARINE DATA ACQUISITION

NEW – integrated Hydrographic Survey System (iHSS) includes
MULTIBEAM · WORKSTATION · SOFTWARE · INS · MOUNTING SOLUTION

» **OPTIMISE YOUR HYDROGRAPHIC WORKFLOW – TURNKEY SOLUTION**

» **EASY TO INSTALL, CALIBRATE AND OPERATE – OFFSHORE OR INLAND**

» **FLEXIBLE AND COST-EFFECTIVE PLANS – RENT, SUBSCRIBE OR BUY**

iHSS-Standard

Based on R2Sonic 2024 Multibeam
Echo Sounder depth rated to 4000 m

iHSS-Compact

Based on R2Sonic 2020 Multibeam
Echo Sounder depth rated to 100 m

Both available as Dual head system allowing for more than 200 degrees of swath coverage



**CHECK OUT OUR EXTENSIVE RENTAL POOL FOR HIGH
AVAILABILITY ON COMPONENTS, SYSTEMS AND PACKAGES**

SCAN WITH YOUR SMARTPHONE

*Subsea Europe Services GmbH is a hydrographic survey
technology provider based in northern Germany. We offer:*

» **FAST-TRACK DELIVERY ANYWHERE IN EUROPE**

» **REMOTE TECH AND ON-BOARD SURVEY SUPPORT**

» **IN-HOUSE POST PROCESSING EXPERTISE**



Präzise 3D-Positionierung mit GNSS und Polarmessverfahren

Die Leica GNSS-Instrumente empfangen und verarbeiten die Signale aller aktuellen und zukünftigen Navigationssysteme.

Höchste Präzision bei voller Automatisierung der Messabläufe garantieren die Leica Polarmesssysteme.



Leica Geosystems GmbH Vertrieb
www.leica-geosystems.de



- when it has to be **right**

Leica
Geosystems