

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 dienen.

Die Nutzung von frei verfügbaren Copernicus-Daten ermöglicht ein regelmäßiges und auch künftig gesichertes Monitoring der Flachwasserhabitats 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 Habitats ist ein Sensor mit einer guten spektralen Auflösung wie Sentinel-2 geeignet und Seegraswiesen wurden bereits erfolgreich mit Hilfe dieses Sensors erfasst. Angeschwemmte Algenteppeiche 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-

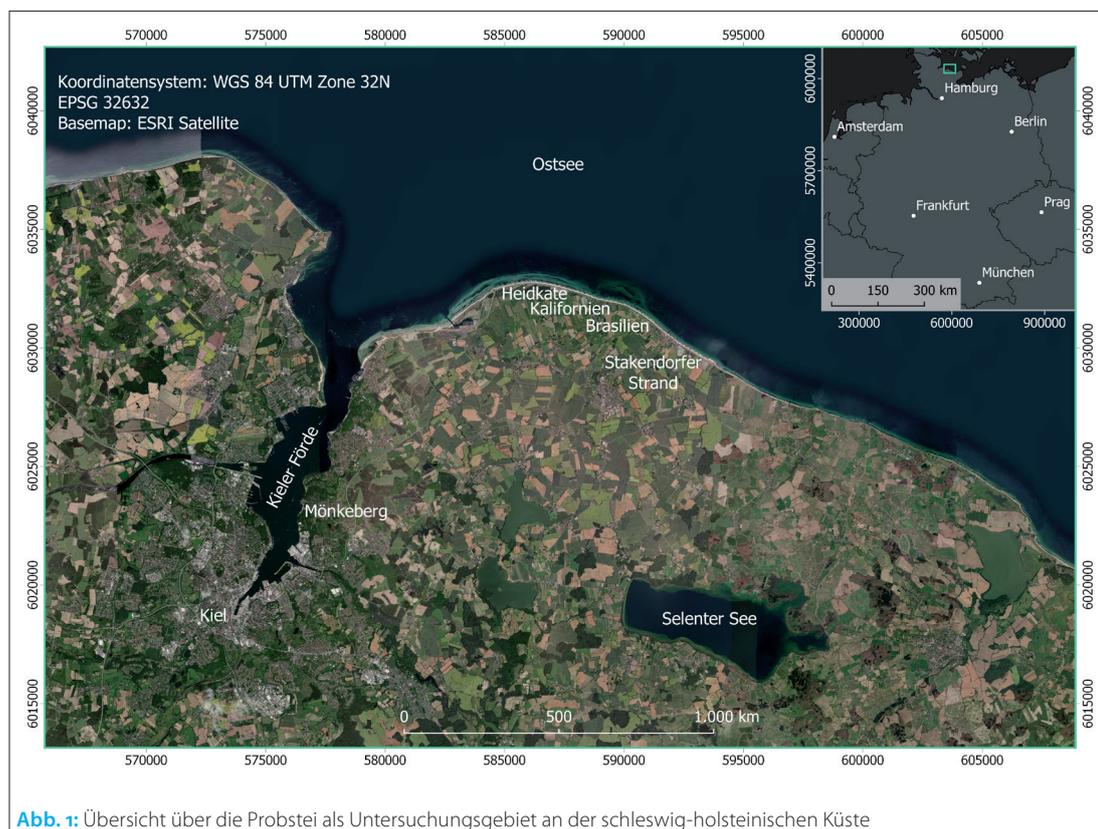


Abb. 1: Übersicht über die Probstei als Untersuchungsgebiet an der schleswig-holsteinischen Küste

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 Bühnen 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 × 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

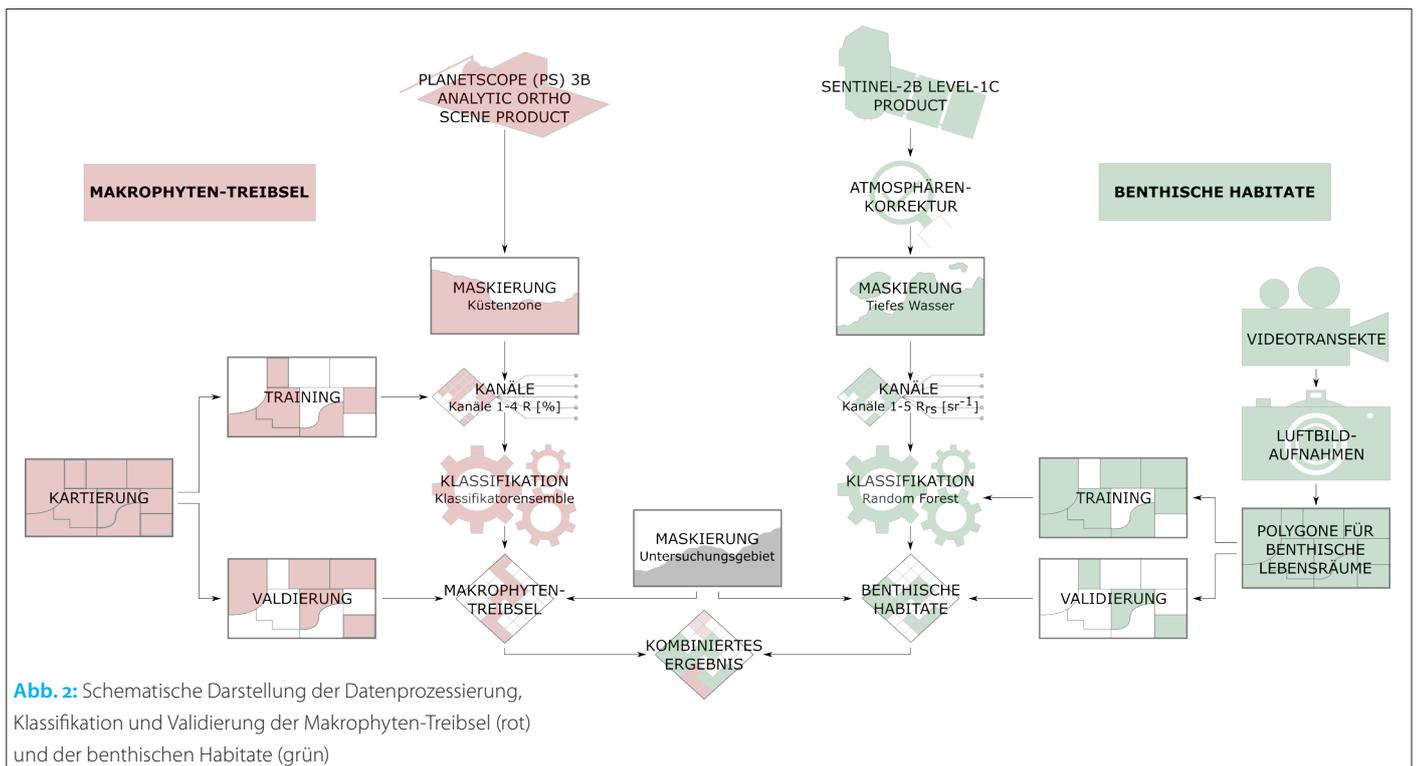


Abb. 2: Schematische Darstellung der Datenprozessierung, Klassifikation und Validierung der Makrophyten-Treibsel (rot) und der benthischen Habitate (grün)

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-

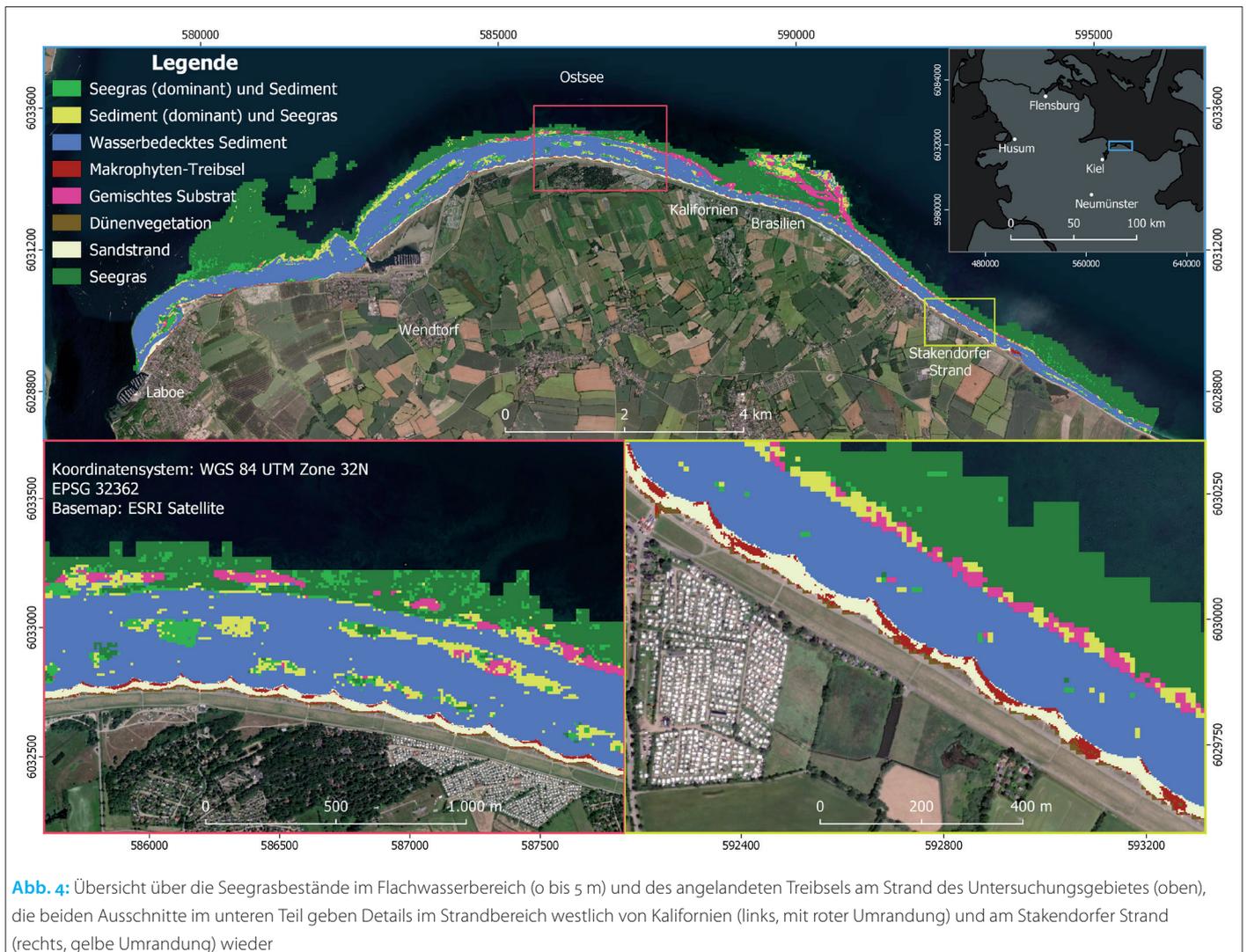


Abb. 4: Übersicht über die Seegrasbestände im Flachwasserbereich (0 bis 5 m) und des angelandeten Treibsel am Strand des Untersuchungsgebietes (oben), die beiden Ausschnitte im unteren Teil geben Details im Strandbereich westlich von Kalifornien (links, mit roter Umrandung) und am Stakerdorfer Strand (rechts, gelbe Umrandung) wieder

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)