

Den Wandel im Watt mit Satelliten im Blick

Untersuchung der Morphodynamik im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer durch Satellitendatenanalyse von Prielverläufen und Sedimentklassifizierungen

Ein Beitrag von KERSTIN STELZER, MARTIN GADE und HANS-CHRISTIAN REIMERS

Die Anwendbarkeit der Fernerkundung im Küstenbereich ist vielfältig. Optische Sensoren und Radarsensoren können verwendet werden, um für das Wattenmeer und zum Thema Küstenmorphologie Informationen zu generieren. Die Analyseverfahren und Informationsprodukte wurden gemeinsam von Behördenvertretern und Fernerkundungsexperten in langjähriger Zusammenarbeit entwickelt.

Fernerkundung | Wattenmeer | Prielverlagerung | Sedimentverteilung | Sentinel-Satelliten
remote sensing | Wadden Sea | tideway shift | sediment distribution | Sentinel satellites

The applicability of remote sensing in coastal areas is manifold. Optical and radar sensors can be used to generate information for the Wadden Sea and on the topic of coastal morphology. The analysis methods and information products have been developed jointly by representatives of the authorities and remote sensing experts in many years of cooperation.

Autoren

Kerstin Stelzer leitet die Abteilung Geoinformation Services bei der Brockmann Consult GmbH in Hamburg. Dr. Martin Gade ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Hamburg Spezialist für Küstenfernerkundung mit Radarsensoren. Dr. Hans-Christian Reimers ist stellvertretender Dezer-natsleiter Küstengewässer beim Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein in Kiel.

kerstin.stelzer@brockmann-consult.de

Hintergrund und Zielsetzung

Die Watten der Deutschen Bucht reichen mit ihren ca. 8000 km² von Esbjerg in Dänemark bis nach Den Helder in den Niederlanden. Ungefähr 4500 km² dieses hochdynamischen Lebensraumes mit gleichermaßen großer Bedeutung für den Menschen und für diverse marine Lebensgemeinschaften entfallen auf den deutschen Teil. Die Naturvorgänge, welche die Erosion und Sedimentation im Küstenvorfeld steuern, unterliegen dynamischen Veränderungen und werden in starkem Maße vom Klimawandel beeinflusst. Hier reichen diskrete Messungen und lokale Probenahmen nicht mehr aus, um ein umfassendes Systemverständnis zu entwickeln, und immer stärker wird der Bedarf an räumlich und zeitlich hochauflösenden und zugleich flächendeckenden Erfassungsmethoden deutlich. Dies zeichnet sich nicht nur für die vorrangigen Aufgaben im Küstenschutz ab, auch die europäischen Richtlinien zum Schutz der Küsten- und Meeresgewässer (N2000, WRR und MSRL) sowie die Wattenmeerstrategie 2100 setzen zunehmend auf neue Methoden zur quasi-synoptischen Erfassung.

Im Wattenmeer spiegeln sich dynamische Prozesse besonders deutlich in morphologischen und sedimentologischen Veränderungen der Prielver-

läufe und deren Ausprägung wider. Um grundlegende Veränderungen und Trends identifizieren zu können, wird es immer wichtiger, ganze Einzugsgebiete bzw. Tidebecken zeitgleich erfassen zu können. Hierbei bietet die satellitengestützte Fernerkundung ein ideales Hilfsmittel, um hydro-morphologische und ökologische Veränderungen in ausreichender Auflösung zu detektieren.

Erst ein umfassendes Systemverständnis der dynamischen Veränderungen ermöglicht es, den Einfluss und die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten sowohl vor Ort als auch großräumig besser beurteilen zu können. Um dies zu erreichen, greifen nationale und internationale Regelungen wie die oben genannten immer stärker ineinander.

Methodik

Die Entwicklung der satellitengestützten Fernerkundung hat einen Stand erreicht, mit dem es möglich ist, sowohl die räumlichen Strukturen von Wattflächen und Wasser als auch der Sedimentverteilung oder Vorkommen von Seegraswiesen zu erfassen (Müller et al. 2016). Hierfür liefern sowohl optische Sensoren als auch die Radartechnik Informationen. Optische Sensoren messen das reflektierte Sonnenlicht in verschiedenen Spek-

tralbereichen und bilden somit die optischen Eigenschaften der verschiedenen Oberflächen ab, was wiederum für die Identifikation der verschiedenen Habitats nutzbar ist. Radarsensoren senden Mikrowellensignale aus und messen deren Rückstreuung, die wiederum von den Oberflächeneigenschaften wie Rauigkeit und elektrischer Leitfähigkeit abhängt.

Die Ableitung von Informationen über Wasserflächen oder Wattflächen aus den am Satelliten gemessenen Signalen beider Systeme erfordert eine Abfolge von bestimmten Prozessierungsschritten. Bei den optischen Daten werden nach Ausmaskierung nicht verwendbarer Pixel (z. B. Wolken) eine Atmosphärenkorrektur angewendet, verschiedene spektrale Indizes berechnet und eine spektrale Entmischung für die verschiedenen Sedimenttypen vorgenommen. Diese Informationen werden in einem Klassifikator zu verschiedenen Sedimentklassen, Wasser, Vegetationsbewuchs und Muschel- und Schillbänke klassifiziert (Müller et al. 2016). Zur Bestimmung der Sedimentverteilung werden mehrere Aufnahmen kombiniert, um den Einfluss von Wetterbedingungen während einzelner Aufnahmen zu reduzieren. Für die Bestimmung von Prielrändern werden zusätzlich räumliche Maße (Gradienten zu Nachbarpixeln) berücksichtigt.

Durch die Unabhängigkeit der Radartechnik von der Wolkenbedeckung können deutlich mehr Aufnahmen für eine Analyse verwendet werden als dies bei optischen Daten der Fall ist. Aus den Radardaten werden nach Kalibrierung und Reduktion des Rauschens multi-temporale Statistiken von einer Vielzahl von Niedrigwasseraufnahmen generiert. Prielränder sind dabei durch eine vorwiegend höhere Radarrückstreuung charakterisiert, da sie aufgrund des lokalen Geländeprofiles und der Sedimenteigenschaften in der Regel mehr Signal zum Sensor zurückstreuen (Gade und Melchionna 2016; Gade et al. 2018).

In verschiedenen Vorhaben wurden zumeist frei verfügbare Daten der Satelliten Landsat (5, 7, 8) und Sentinel-2 (Optik) sowie ERS, ENVISAT und Sentinel-1 (Radar) verwendet. Die älteste Sedimentklassifikation aus optischen Daten stammt von 1987 (Landsat-5), die von Radardaten aus 1992 (ERS-1). Die Datenlage hat sich mit dem Start der Sentinel-Satelliten (2014 bis 2017) deutlich verbessert und somit auch die operationelle Verwendung von Informationen aus Satellitendaten für Monitoringaufgaben attraktiver gemacht.

Die Analyseverfahren für Fernerkundungsdaten beider Systeme wurden seit den frühen 2000er-Jahren in mehreren nationalen Projekten – OFEW (Operationalisierung der Fernerkundung für das Wattenmeermonitoring), DeMarine, SedWatt – entwickelt, und die generierten Informationen, insbesondere über die Sedimentverteilung der eulitoralischen Wattflächen, werden bereits für die

Berichterstattung der Wasserrahmenrichtlinie verwendet. Im gerade abgeschlossenen, von der Europäischen Weltraumagentur (ESA) geförderten Projekt »Space for Shore« lag der Schwerpunkt auf der Erfassung von Prielverläufen und Küstenlinien sowie auf Unterwasserstrukturen, wodurch auch Informationen über das Küstenvorfeld und dessen Dynamik generiert werden konnten.

Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen eine über die Jahre anhaltende hohe Veränderlichkeit bzw. Dynamik der Prielverläufe, deren Verlagerung sich unmittelbar auf die Sedimentverteilung und damit auf das Sedimentations- und Erosionsgeschehen in ihren Randbereichen auswirkt. Dies belegen die mit sehr umfangreichen Vor-Ort-Beprobungen verifizierten Sedimentklassifizierungskarten.

Die Veränderungen der Wesselburener Wattflächen zwischen 2002 und 2019 (Abb. 1, zur geographischen Lage vgl. Abb. 4) zeigen eine deutliche Dynamik in den Außenbereichen und Verschiebungen von Prielsystemen. Die Änderungen sind sehr gut in optischen Daten (Abb. 1, oben) sowie in Aufnahmen mit Radarsystemen (Abb. 1, unten) zu erkennen.

Die Überlagerung der aus den Satellitendaten extrahierten Wattflächen von 2002 und 2019 zeigt im direkten Vergleich, wo sich deutliche Verände-

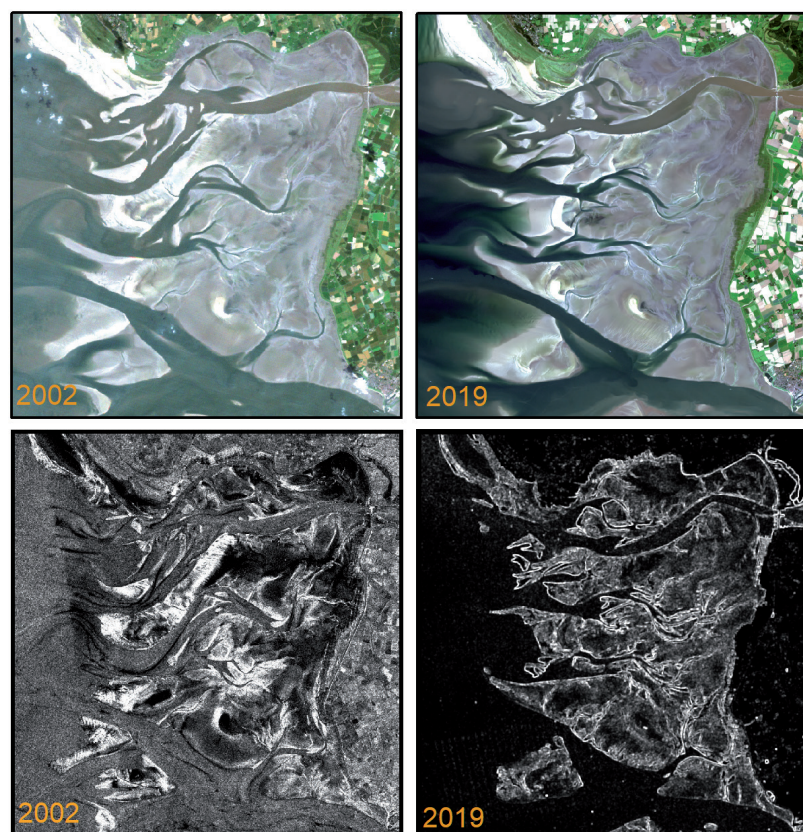


Abb. 1: Aufnahmen von 2002 (links) und 2019 (rechts) des Wesselburener Watts
Oben: optische Daten Landsat-7 und Sentinel-2;
unten: Radardaten von ERS-1 und Sentinel-1

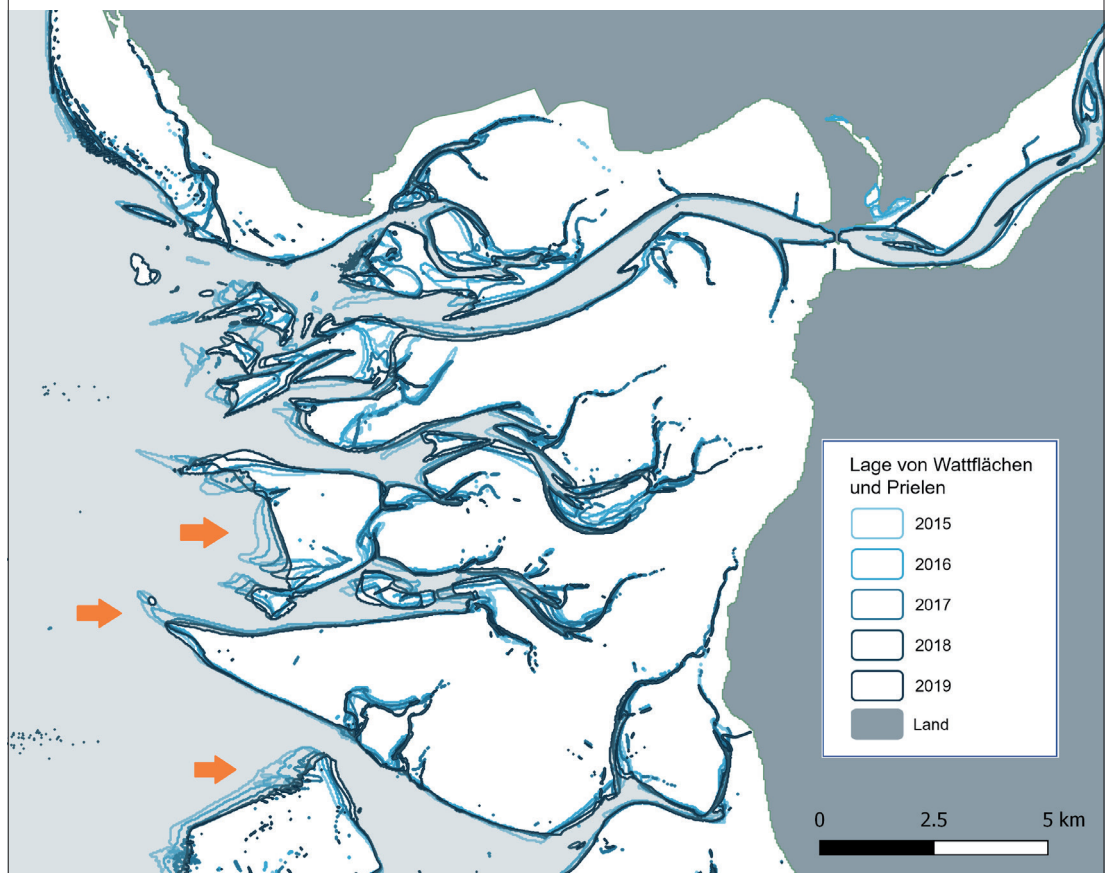
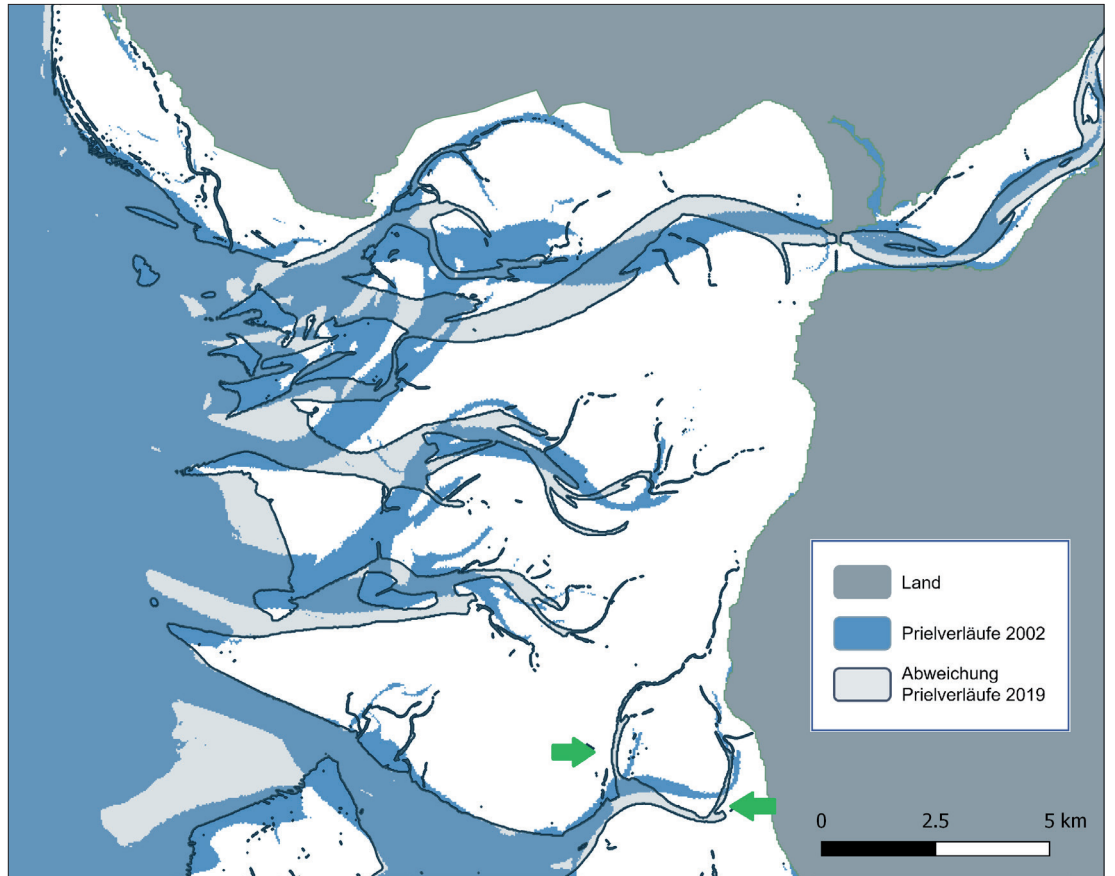


Abb. 2: Verlagerung von Wattflächen im Wesselburener Watt.
 Oben: im Zeitraum von 2002 bis 2019;
 unten: im Zeitraum von 2015 bis 2019

rungen ergeben haben (Abb. 2, oben). Neben den Außenbereichen haben sich die großen Prielsysteme verschoben, und auch der Verlauf des küstennahen Priels Ossengoot (grüne Pfeile) hat sich verschoben. Die Veränderungen der letzten Jahre sind im unteren Teil der Abb. 2 dargestellt. Es wird deutlich, wie sich insbesondere die Außenbereiche weiter Richtung Küste verlagern mit leichter NW-SO-Tendenz (orangene Pfeile).

Radardaten sind in der Lage, die räumliche Position der Wattflächen über einen langen Zeitraum und aufgrund der Wolkenunabhängigkeit mit höherer zeitlicher Auflösung zu liefern. Dabei zeigt die statistische Auswertung mehrerer Aufnahmen eines Jahres in roter Färbung die mittleren Kanten zwischen Wattflächen und Prielen (Abb. 3). In Kombination mit optischen Daten liegt somit eine breite Datenbasis vor.

Durch die großräumige und flächendeckende Abbildung trockengefallener Wattflächen durch Satellitendaten können Sedimentverteilungen im gesamten Wattenmeer dargestellt werden. Abb. 4 zeigt auf der linken Seite die Sedimentverteilung des Schleswig-Hosteinischen Wattenmeeres, wäh-

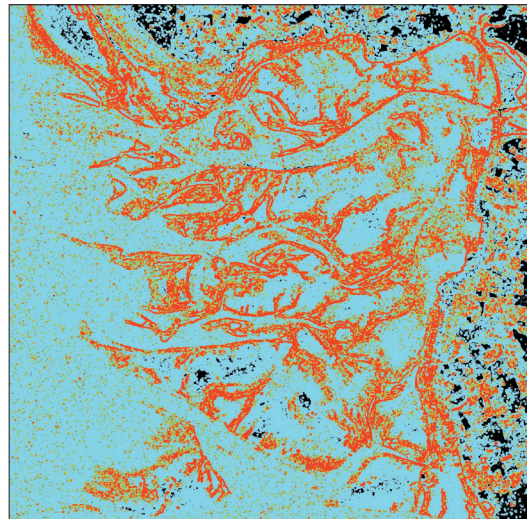


Abb. 3: Wattflächen und Priele generiert aus Radaraufnahmen der Sentinel-1-Satelliten von 2019

rend die kleinen Karten rechts die Sedimentverteilung des Wesselburener Watts in den Jahren 2002 und 2014/2016 gegenüberstellen. Man beachte, dass gröbere Sedimente vor allem in den Außen-

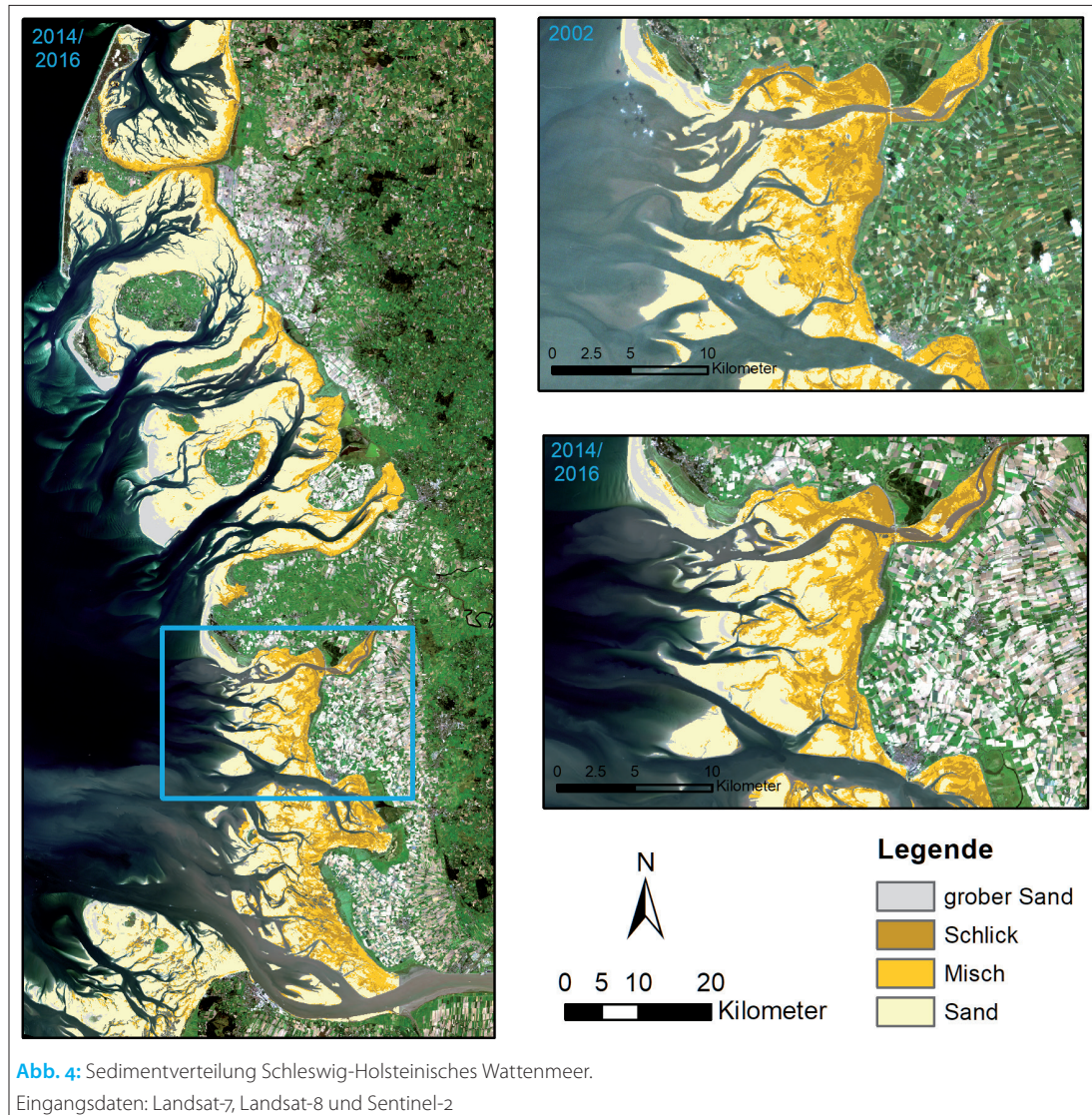


Abb. 4: Sedimentverteilung Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer.

Eingangsdaten: Landsat-7, Landsat-8 und Sentinel-2

bereichen zu finden sind (helle Farben), während feinkörnige Sedimente in küstennahen Bereichen vorherrschen (dunkle Farben).

Nicht nur die eulitoralischen Bereiche des Wattenmeeres sind erfassbar, sondern auch sublitoral sind Strukturen erfassbar und durch Bearbeitung

verschiedener Aufnahmezeitpunkte für morphodynamische Analysen nutzbar (Abb. 5).

Diskussion und Ausblick

Die gemeinsam von Firmen, Universitäten und Anwendern entwickelten Methoden werden teilweise bereits von den Landesbehörden für verschiedene Aufgaben operationell eingesetzt. So wurden die sedimentologischen und hydromorphologischen Veränderungen im Wattenmeer im 2. und 3. Bewirtschaftungsplan der WRRL bereits mit den auf die OFEW-Methode zurückzuführenden Verfahren bewertet.

Die aktuellen Untersuchungen im Projekt »Space for Shore« bestätigen, dass sich Fernerkundungsdaten für die sedimentologische Beurteilung großräumiger und hochdynamischer Prozesse im deutschen Watt besonders gut eignen. Kleinräumige, lokale Veränderungen lassen sich aufgrund der zu geringen Auflösung frei verfügbarer Satellitendaten für diese Aufgabe derzeit noch nicht erfassen. Sie können aber bereits jetzt unterstützend für die Planung von Maßnahmen im Küstenschutz und zur Abschätzung von Folgen des Klimawandels herangezogen werden. Für gezielte Untersuchungen von kleinräumigen lokalen Veränderungen ist der Einsatz von höher aufgelösten optischen Daten und Radardaten notwendig. Diese kostenpflichtigen Daten haben eine Auflösung im Meterbereich und darunter. Die oben beschriebenen gewonnenen Informationen können unterstützend für die Planung von Maßnahmen im Küstenschutz herangezogen werden. Mit einer quantitativen Auswertung der morphodynamischen und sedimentologischen Veränderungen wird es zukünftig möglich sein, konkrete Angaben über kurzfristige und langfristige Erosionstendenzen zu liefern. //

Literatur

- Gade, Martin; Sabrina Melchionna (2016): Joint Use of Multiple Synthetic Aperture Radar imagery for the detection of bivalve beds and morphological changes on intertidal flats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, DOI: 10.1016/j.ecss.2016.01.025
- Gade, Martin; Wensheng Wang; Linnea Kemme (2018): On the imaging of exposed intertidal flats by single- and dual-co-polarization Synthetic Aperture Radar. *Remote Sensing of Environment*, DOI: 10.1016/j.rse.2017.12.004
- Müller, Gabriele; Kerstin Stelzer et al. (2016): Remotely sensing the German Wadden Sea – a new approach to address national and international environmental legislation. *Environmental Monitoring and Assessment*, DOI: 10.1007/s10661-016-5591-x

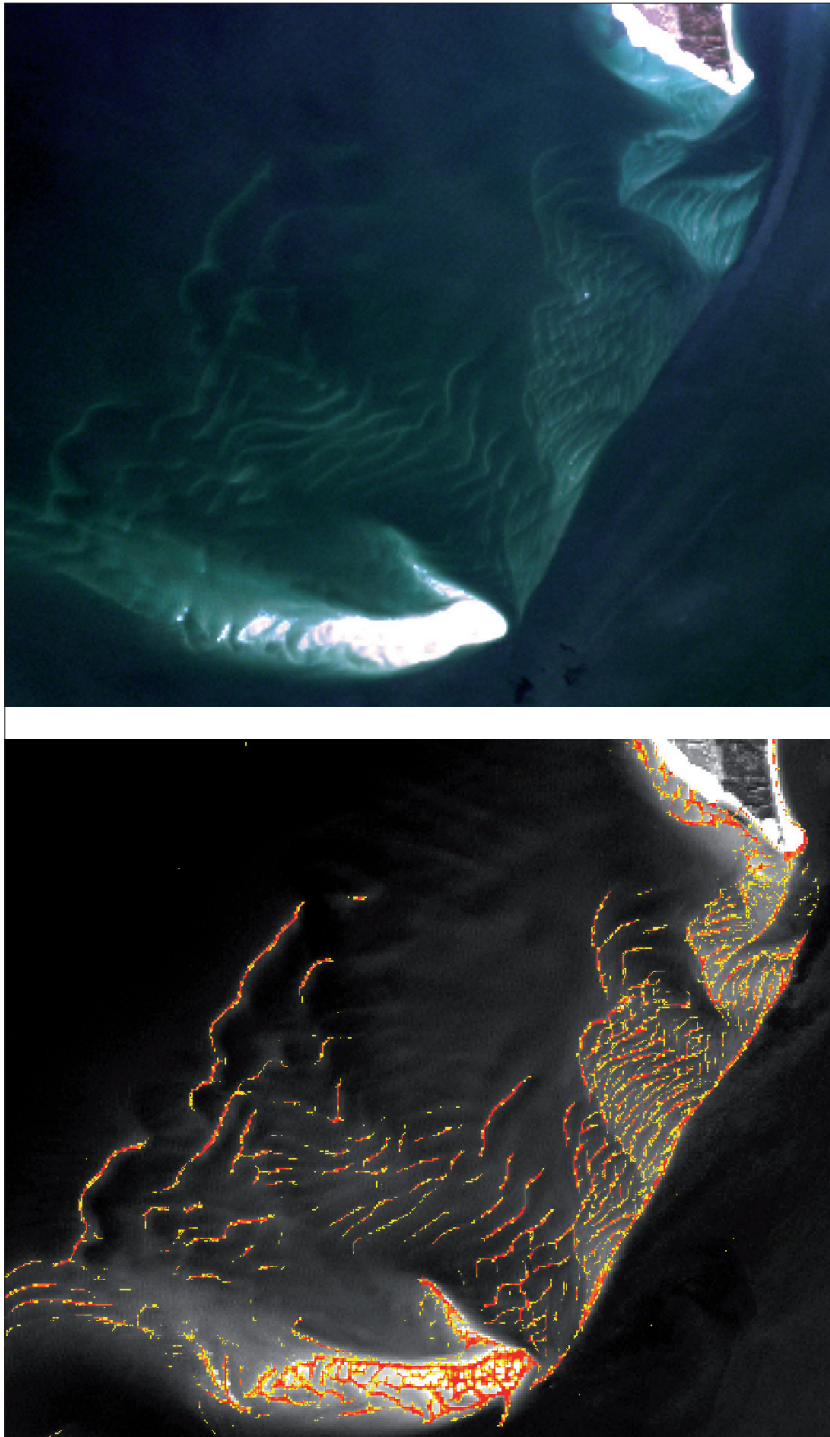


Abb. 5: Unterwassersandbänke südlich von Sylt auf einer Sentinel-2-Aufnahme (oben) und extrahierte Sandrücken aus verschiedenen Aufnahmen (unten). Rote Bereiche weisen auf eine hohe Lagestabilität hin, gelbe Bereiche zeigen eine höhere Dynamik an