

Aus der Ferne in die Tiefe

Kartierung der Schleswig-Holsteinischen Ostsee durch Satellitendatenanalysen

Ein Beitrag von *KNUT HARTMANN, KIM KNAUER, ANDREAS MÜLLER und HANS-CHRISTIAN REIMERS*

Die Meeresbodensedimente und Substrate der Küstengewässer müssen alle sechs Jahre überwacht und der Zustand von Fauna, Flora und Habitaten muss bewertet werden. Zudem wird alle drei Jahre untersucht, welche Lebensräume wie besiedelt sind. Für die Seegrundkartierung, für die Quantifizierung der Habitattypen und für das marine Monitoring der Flachwasserbereiche werden heute Satellitendaten ausgewertet. Dadurch ist es möglich, eine flächenhafte Kartierung in vergleichsweise kurzer Zeit und kostengünstig durchzuführen.

Autoren

Dr. Knut Hartmann, Dr. Kim Knauer und Andreas Müller arbeiten bei der EOMAP GmbH & CO. KG in Seefeld. Dr. Hans-Christian Reimers arbeitet beim Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR) in Flintbek.

hartmann@eomap.de

Habitatkartierung | Seegrundkartierung | Seegrundklassifikation | Satellitendatenanalyse | Seegrundhabitat

Hintergrund und Zielstellung

Schleswig-Holsteins Flachwassergebiete der Ostseeküste sind wichtige Lebensräume für Flora und Fauna und nehmen darüber hinaus eine bedeutende Stellung im marinen Umwelt- sowie im Küstenschutz ein. So sind die teilweise dichten und ausgedehnten Seegraswiesen wichtige Laichsubstrate für diverse Fischarten, sie mindern den Seegang und sind nicht zuletzt auch Kohlenstoffspeicher. Auch deswegen sind, im Rahmen der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL: 2000/60/EG), der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie: 92/43/EWG) und der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL: 2008/56/EG), die Meeresbodensedimente und Substrate sowie die FFH-Lebensraumtypen in Zyklen von sechs Jahren und deren Besiedlung alle drei Jahre anhand entsprechender Überwachungsdaten aus dem marinen Monitoring zu bewerten. Dies konnte bisher im Flachwasserbereich der Ostsee aufgrund der schweren Erreichbarkeit nicht mit Schiffen durchgeführt werden. Daher stützten sich die Untersuchungen in der Vergangenheit auf lokale Unterwasserkartierungen mit flachwassertauglichen Schlauchbooten und auf den Einsatz von Tauchern. Diese Arbeiten sind naturgemäß sehr zeit- und kostenaufwendig und zudem nur bei geeigneten Wetterbedingungen möglich. Eine Komplettaufnahme des Flachwassersaumes der Schleswig-Holsteinischen Ostsee würde mit diesen Verfahren weit mehr als einen Bewirtschaftungszyklus in Anspruch nehmen. Gleiches gilt auch für den Übergangsbereich vom Eulitoral zum Sublitoral der Nordsee.

Die Auswertung von zum Teil neuartigen Satellitendaten zur Kartierung des Flachwasserseegrundes ist in anderen Gebieten der Welt bereits erfolgreich angewandt und in das Management von Flachwasserökosystemen einbezogen worden, so z. B. in der Nordsee zur Bewertung der Qualitätskomponente Substrat im 1. und 2. WRRL-Bewertungsplan (Umweltbundesamt 2019), in Australien für das Great Barrier Reef (Uni-

versity of Queensland 2019) und das Ningaloo Reef (Kobryn et al. 2013) oder in Abu Dhabi. Für Bereiche der Deutschen Ostsee wurden bisher keine intensiven Studien dieser Art durchgeführt. Seit 2018 arbeiten das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR) und EOMAP zusammen, um dieses Potenzial auch für die Ostsee zu erschließen.

Zielstellung der Arbeiten war eine flächenhafte Kartierung der Schleswig-Holsteinischen Ostsee und Quantifizierung der Seegrundtypen. Zudem sollte der Mehrwert der Satellitendatenanalyse beurteilt werden, um diese gegebenenfalls in ein integriertes Monitoringkonzept einzubinden.

Methode

Für die Kartierung der Ostseeflachwasserbereiche wurden Satellitendaten von unterschiedlichen Sensoren und aus drei Aufnahmezeiträumen verwendet:

- Zeitraum 2001 bis 2014: auf Basis kommerzieller, sehr hoch aufgelöster Satellitendaten,
- Zeitraum 2015 bis 2017: ebenfalls auf Basis kommerzieller, sehr hoch aufgelöster Satellitendaten und
- Zeitraum 2018: basierend auf den frei verfügbaren Sentinel-2-Satellitendaten.

Die Kriterien für die Auswahl der Satellitendaten waren eine möglichst gute Sichttiefe, geringe Bewölkung, minimaler Einfluss der Spiegelreflexion der Wasseroberfläche, und die Aufnahmen sollten während der Vegetationsperiode des Seegrases erfolgt sein. Alle verwendeten Satellitendaten sind optische, multispektrale Satellitendaten, das heißt sie messen die Reflexion der Erdoberfläche des Sonnenlichtes in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen vom blauen Licht bis zum nahen Infrarot. Für die Analysen des Seegrundes bedeutet dies, dass das vom Satelliten gemessene Licht nicht nur vom Seegrund stammt, sondern auch aus der Wassersäule mitsamt optisch aktiven

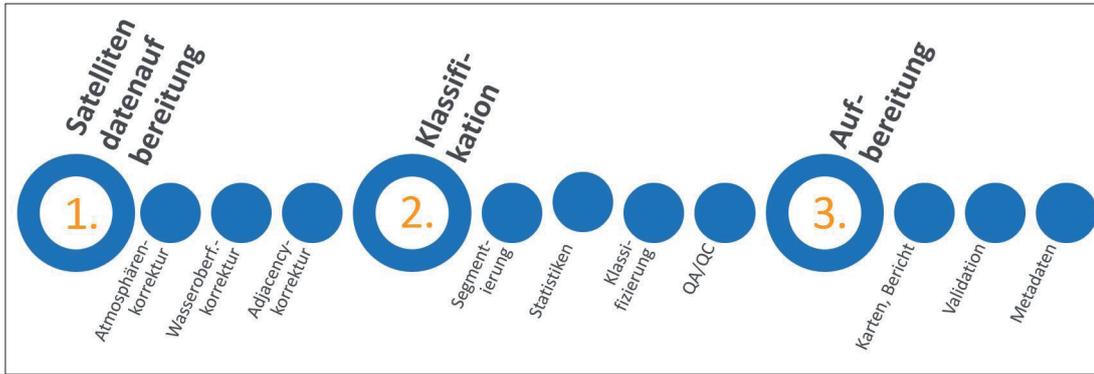


Abb. 1: Analysekette der Seegrundklassifikation

Inhaltsstoffen (Trübung, Gelbstoffe, Chlorophyll), von der Wasseroberfläche (Spiegelreflexion, Öle usw.), aus der Atmosphäre und nicht zuletzt auch von benachbarten Landbereichen. All diese Einflüsse wurden minimiert, um eine standardisierte und störungsfreie Datengrundlage für die thematische Klassifizierung zu erhalten. Hierfür wurde das Modular Inversion Program (MIP) von EOMAP verwendet, ein Softwarepaket für die physikalische Inversion des Sonnenlichtes (Heege et al. 2014). Eine Inversion des Strahlungstransports ermöglicht es, aus Satellitendaten Aussagen über relevante Zustandsgrößen der Atmosphäre, der Wasserinhaltsstoffe und der Seegrundreflexion zu erhalten. Aufbauend darauf, erfolgte eine thematische Klassifizierung mittels eines objektbasierten Klassifikationsalgorithmus. Hierbei wurden alle Bildpunkte der Satellitendaten anhand gleicher spektraler und struktureller Eigenschaften kategorisiert und zu Segmenten zusammengefasst. Diese wurden, basierend auf Vor-Ort-Messungen und Expertenwissen, vier unterschiedlichen the-

matischen Seegrundtypen zugeordnet (siehe [Abb. 1](#)).

Die vier in der Schleswig-Holsteinischen Ostsee untersuchten Seegrundtypen umfassen ([Abb. 2](#)):

- *Seegras (Zostera)*: Moderat bis dicht mit Seegräsern bewachsene Flächen, vorrangig auf sandigen Flächen zu finden, welche auf kleineren Flächen auch durchscheinen können.
- *Sand (stellenweise kiesig/steinig)*: Sedimente mit überwiegend feiner Korngröße, welche teils auch geringer als die des Sandes sein kann; vereinzelte Seegras- und steinigere Flächen sind in dieser Klasse möglich.
- *Restsedimente mit Kies und Steinen*: Glazial geprägte Sedimente, welche überwiegend eine grobkörnige bis steinige Zusammensetzung aufweisen und teilweise mit Rot- und Braunalge bewachsen sein können.
- *Muschelbesiedlung (Mytilus)*: Überwiegend mit Muscheln der Gattung *Mytilus* besiedelte Flächen, welche meist ein sehr geringes Reflexionsverhalten aufweisen.

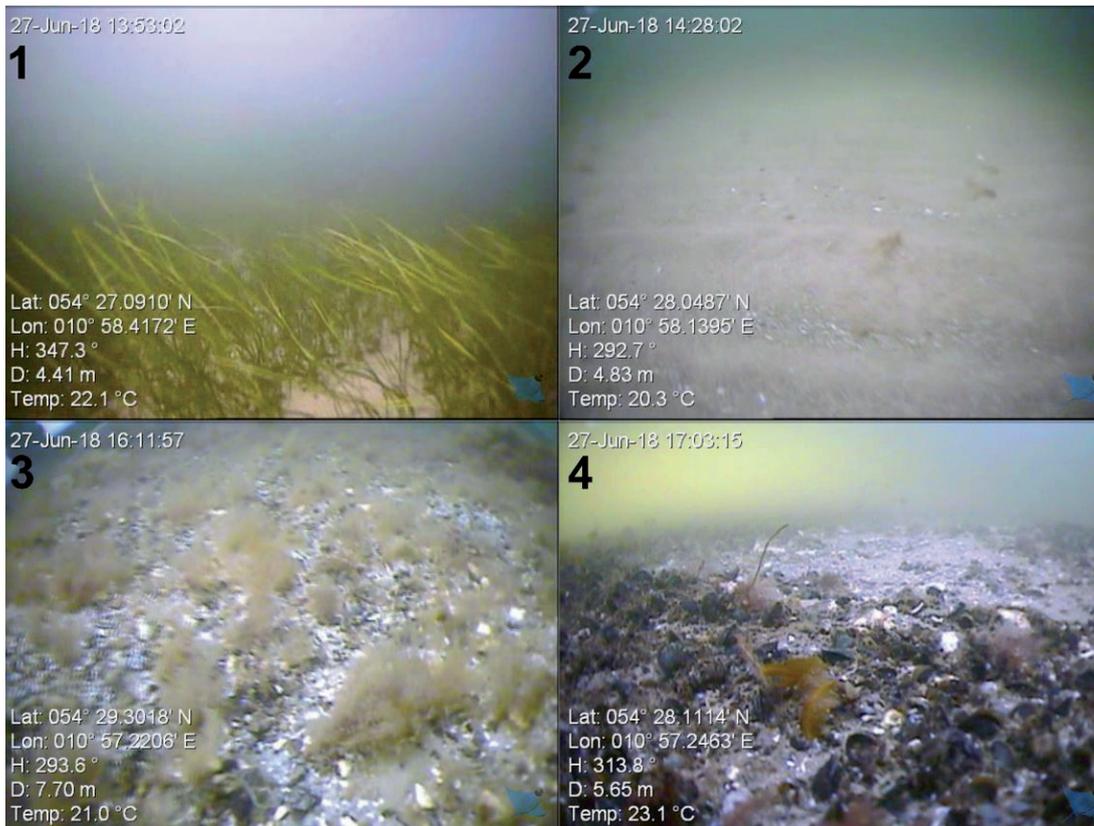


Abb. 2: Unterwasseraufnahmen des Ostseeseegrundes. 1: Seegraswiese, 2 Sediment, 3. Sand und 4 Muschelbank

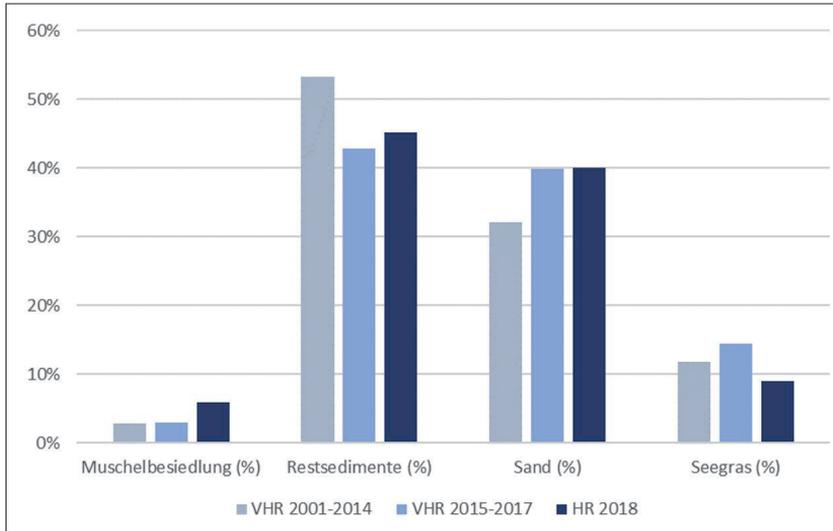


Abb. 3: Gesamtverteilung der Flachwasserseegrundhabitate für die drei untersuchten Zeiträume

Ergebnisse und Diskussion

Insgesamt konnte eine Gesamtfläche der Schleswig-Holsteinischen Ostsee von 505 km² für die Aufnahmen von 2001 bis 2014 kartiert werden, 659 km² für die Jahre 2015 bis 2017 und 520 km² für 2018. Dies entspricht circa 17 bis 22 % der gesamten Ostseefläche Schleswig-Holsteins. Die unterschiedlichen Flächengrößen beruhen auf unterschiedlichen Sichttiefen zu den verschiedenen Zeitschnitten. Die mittlere Sichttiefe betrug circa 8 bis 9 m, in Ausnahmebereichen konnte bis zu einer Tiefe von circa 12 bis 14 m kartiert werden.

Die Ergebnisse zeigen eine über die Jahre weitgehende Konsistenz der absoluten Flächenanteile der Seegrundtypen. Hierbei weisen die Restsedimente mit 45 bis 55 % den größten Anteil der Bedeckung des Flachwasserbereichs auf, gefolgt von Sand mit 32 bis 40 %, Seegras mit 9 bis 15 % und Muschelbesiedlung mit 4 bis 8 % (Abb. 3). Kleinräumig zeigen sich Unterschiede, so wurde beispielsweise im Fehmarnsund ein Rückgang der Seegrasbestände kartiert. Der Detailgrad der Kartierung war für alle Gebiete sehr hoch und ist exemplarisch in Abb. 4 für das Gebiet westlich von Fehmarn dargestellt.

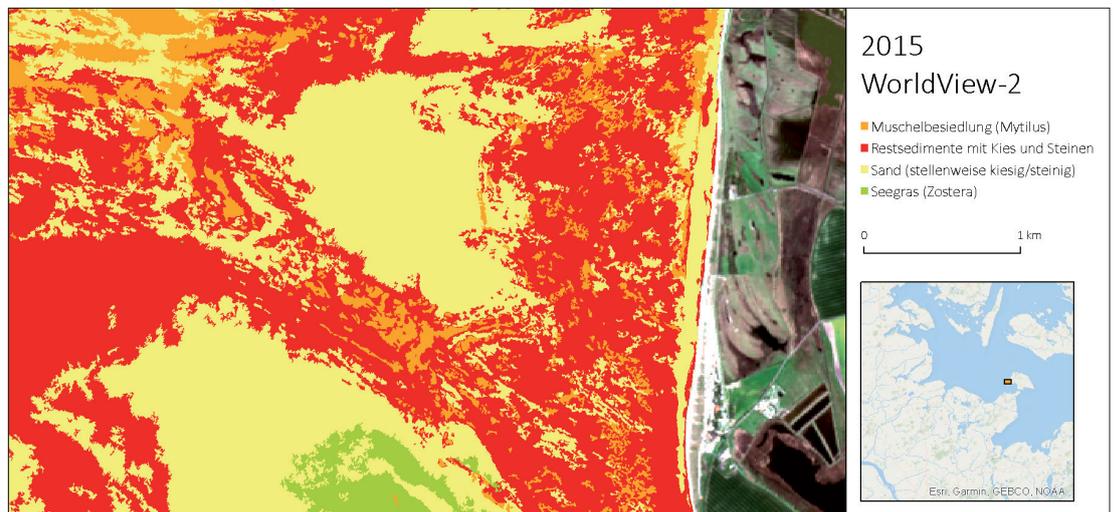
Dieser Datensatz stellt die derzeit einzige flächendeckende und hochaufgelöste Kartierung

des Gebietes dar. Er bildet unter anderem eine Grundlage für weitere, gezielte Vor-Ort-Messungen und dient als Planungsgrundlage für Umweltverträglichkeitsanalysen.

Die Auswertung der Satellitendaten und die erzeugte Seegrundkartierung beinhalten eigene Unsicherheiten und Spezifikationen, welche die Genauigkeit beeinflussen. Diese werden im Folgenden diskutiert.

- **Phänologie des Seegrases.** Je nach phänologischem Status des Seegrases bzw. der Seegrasbiomasse ist eine Erkennung begünstigt bzw. begrenzt. Ideal wären dementsprechend Kartierungen zu dem gleichen phänologischen Status des Seegrases, um einen Vergleich zwischen unterschiedlichen Jahren zu ermöglichen. Diese Datengrundlage war nur bedingt vorhanden und in der vorliegenden Studie erfolgten die Auswertungen dementsprechend aus Satellitendaten, die im Zeitraum zwischen April bis Oktober aufgenommen wurden.
- **Wassertrübung.** Die Wassertrübung beeinflusst die Möglichkeit der Seegrundkartierung. Zum einen beschränkt sie die maximale Kartiertiefe, da die Reflexion des Sonnenlichtes nicht mehr vom Seegrund dominiert wird, zum anderen erhöht zunehmende Wassertrübung die Unsicherheiten in der Kartierung.
- **Oberflächenreflexion.** Mit Hilfe der Satellitenauswertungen werden lediglich die Informationen über die Seegrundoberfläche vermessen. So wäre z. B. eine mit geringer Sedimentmächtigkeit überdeckte Restsedimentfläche als Sediment erkannt worden.
- **Segmentierung.** Durch die Einteilung des Seegrundes in Segmente, also Geometrien mit ähnlichen Eigenschaften erfolgt eine Generalisierung der ursprünglichen räumlichen Auflösung der Satellitendaten. Bei der praktischen Anwendung wurde hier der Kompromiss zwischen ausreichendem Detailgrad der Kartierung und moderater Generalisierung gewählt.
- **Klassifizierung.** Die thematische Klassifizierung der Segmente wies jedem Segment eine der vier Klassen zu. Diese Klasse entspricht der

Abb. 4: Detailabbildung der Seegrundkartierung westlich von Fehmarn (vgl. auch das Titelbild)



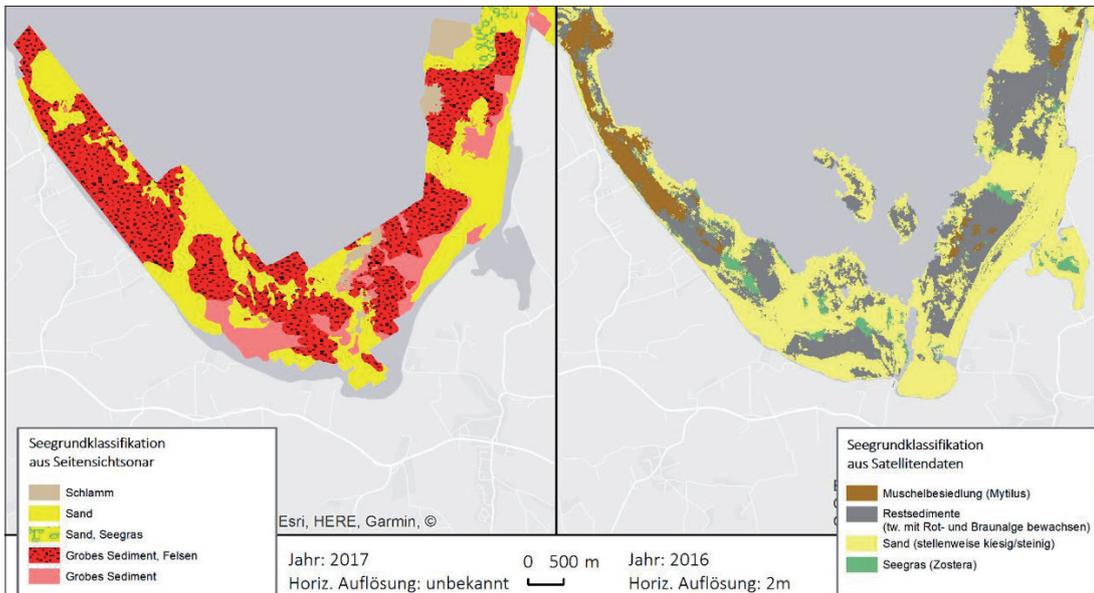


Abb. 5: Vergleich einer Seegrundklassifizierung basierend auf Seitensichtsonar-Backscatter (links) und der Seegrundkartierung auf Basis der optischen Satellitendaten (rechts)

dominierenden Seegrundbedeckung in diesem Gebiet. So ist es aber nicht ausgeschlossen, dass z. B. in der Klasse *Sand (stellenweise kiesig/steinig)* ebenfalls lockere Seegrassbedeckungen vorzufinden sind.

- Spektrale Ähnlichkeiten der Seegrundhabitate. Ein wesentlicher Teil der Auswertemethode basiert darauf, dass die Seegrundhabitate spektrale Unterschiede besitzen. Um diese zu erkennen wurde eine Reihe physikalischer Korrekturen auf die Satellitendaten angewendet (z. B. Atmosphärenkorrektur, Korrektur für Wasserinhaltsstoffe). Auch nach der Anwendung dieser Korrekturen kann z. B. eine Muschelbesiedlung dem Restsediment sehr ähnlich sein.

In der Studie wurden sowohl kommerzielle, sehr hoch aufgelöste Satellitendaten als auch die frei verfügbaren Sentinel-2-Satellitendaten untersucht. Die Daten unterscheiden sich sowohl in der räumlichen als auch spektralen Auflösung. Deren Eignung zur Analyse der Seegrundhabitate ist jedoch generell als ähnlich zu bewerten. Allerdings wird durch die erhöhte räumliche Auflösung der kommerziellen Daten eine genauere Klassifizierung erleichtert, da unter anderem die Textur der Seegrundoberfläche in besserem Detail erkannt wird und so die Genauigkeit für die Klassifikation von Seegrasswiesen erhöht wird.

Vergleich mit Vor-Ort-Messungen

Die Validation bzw. der Vergleich mit Vor-Ort-Messungen wurde im Rahmen der Datenverfügbarkeit durchgeführt und zeigte eine gute Korrelation mit Unterwasservideos, dem Backscatter der Seitensichtsonar-Mosaik und den resultierenden Kartierungsergebnissen (Abb. 5 und Abb. 6). So konnten die Ergebnisse bereits im Rahmen aktueller Untersuchungen zur Verbreitung der marinen FFH-Lebensraumtypen im Fehmarnsund überprüft und als ergänzende Kartiergrundlage eingesetzt werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Arbeiten wurde der hohe Nutzen einer systematischen satellitengestützten Auswertung für die Seegrundkartierung im Flachwasserbereich der Ostsee demonstriert. Dieser liegt insbesondere in der flächenhaften Kartierung, die relativ zeitnah und kostengünstig erfolgen kann. Eine Einbindung dieser Verfahren in ein regelmäßiges Seegrundmonitoring erscheint dementsprechend möglich und nützlich. Hierzu werden in den kommenden Jahren weitere Untersuchungen und Optimierungen der Methode untersucht, derzeit bereits im Projekt ECO-MAP, in dem es auch um die ideale Kombination von akustischen und optischen Auswerteverfahren geht.

In zukünftigen Studien kann speziell durch die häufigen Aufnahmen der Sentinel-2-Satelliten und neuer kommerzieller (Mikro-)Satelliten eine verbesserte und kontinuierliche Kartierung mit verringerten Unsicherheiten erfolgen. So kann z. B. eine multitemporale Auswertung innerhalb der Vegetationsperiode speziell für die Kartierung der Seegrassbestände hilfreich sein und zur erhöhten Kartierungsgenauigkeit beitragen. Mittel- und langfristige werden hyperspektrale Satellitensensoren, also Sensoren, welche die Vermessung der Sonnenreflexion in mehr als 100 Wellenlängenbereichen zulassen, die Genauigkeit der Kartierung verbessern. //

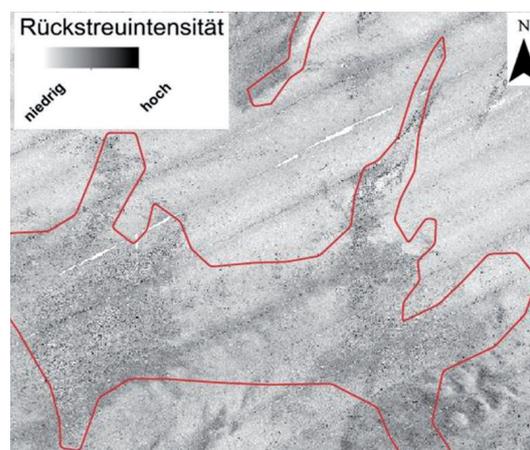


Abb. 6: Vergleich einer durch die Satellitendatenklassifizierung ermittelten Restsedimentfläche (rote Linie) mit dem Seitensichtsonar-Backscatter (Daten der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel); dunklere Grautöne zeigen eine höhere Rückstreuintensität an

Literatur

- Umweltbundesamt (2019): Wasser-rahmenrichtlinie-Bewertung der Hydromorphologie in den Küstengewässern Deutschlands; www.gewaesser-bewertung.de/index.php?article_id=67&clang=0, zuletzt geprüft am 20.05.2019
- University of Queensland (2019): Pressemitteilung zur Kartierung des Great Barrier Reefs, Australia; www.uq.edu.au/news/article/2019/04/new-mapping-set-improve-great-barrier-reef-management, zuletzt geprüft am 20.05.2019
- Kobryn Halina T.; Kristin Wouters; Lynnath E. Beckley; Thomas Heege (2013): Ningaloo reef: shallow marine habitats mapped using a hyperspectral sensor; *PLoS One*, DOI: 10.1371/journal.pone.0070105
- Heege, Thomas; Viacheslav Kiselev; Magnus Wettle; Nguyen Nghia Hung (2014): Operational multi-sensor monitoring of turbidity for the entire Mekong Delta; *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 35, Issue 8, S. 2910-2926