

Datenbasierte Modellansätze und Analysen für eine konsistente digitale Morphologie und Sedimentologie der Deutschen Bucht

Peter Milbradt und Jennifer Valerius

1 Einleitung

Die deutsche Nordseeküste verfügt über einen ausgeprägten Formenreichtum und ist Teil des größten Wattenmeeres der Welt. Sowohl veränderte Umweltbedingungen in Form des globalen Klimawandels und dem damit einhergehenden Anstieg des mittleren Meeresspiegels als auch die unterschiedlichen anthropogenen Nutzungsanforderungen bedürfen eines vertieften Verständnisses der hydrologischen und morphodynamischen Entwicklung in der Deutschen Bucht.

Bathymetrische und sedimentologische Beobachtungs- und Vermessungsdaten stellten über einen sehr langen Zeitraum die Methode zur Analyse und Beschreibung der morphodynamischen Veränderungen an der deutschen Nordseeküste dar. Alternative Verfahren bilden heute prozessbasierte numerische hydro- und morphodynamische Simulationsmodelle. Auch für die Kalibrierung, Validierung und den Betrieb solcher Simulationsmodelle haben Vermessungs- und Beobachtungsdaten eine zentrale Bedeutung. Die Verknüpfung von daten- und prozessbasierten Modellansätzen bildete einen Schwerpunkt im KFKI-Verbundprojekt „Aufbau von integrierten Modellsystemen zur Analyse der langfristigen Morphodynamik in der Deutschen Bucht – AufMod“ (HEYER & SCHROTTKE 2013). Um die kontinuierlichen Veränderungen des Meeresbodens datenbasiert zu beschreiben, wurden umfangreiche Naturdaten zusammengetragen und ein sogenanntes Funktionales Bodenmodell softwaretechnisch realisiert.

2 Das Funktionale Bodenmodell

Im Funktionalen Bodenmodell werden die Beobachtungsdaten, die die Oberfläche des Meeresbodens beschreiben, in ihrem zeitlichen und örtlichen Kontext archiviert und mit räumlichen und zeitlichen Interpolationsverfahren zu einem kontinuierlichen Modell verknüpft. Es wurde für die gesamte Nordseefläche entworfen. Der Schwerpunkt im Projekt AufMod lag jedoch auf der Deutschen Bucht. Für diesen Bereich konnte eine enorme Dichte an Messdaten erreicht werden, wodurch die umfassenden Möglichkeiten, die das Funktionale Bodenmodell liefert, genutzt werden konnten. Daher beschränken sich die folgenden Ausführungen auf das Gebiet der Deutschen Bucht.

2.1 Komponenten

Das Funktionale Bodenmodell beschreibt die Oberflächeneigenschaften des Meeresbodens modular. Derzeit besteht es aus folgenden Modulen:

- Bathymetrie
 - mittlere Höhenlage des Meeresbodens
 - Bodenformen in parametrisierter Form
- Sedimentologie
 - Kornverteilung der Oberflächensedimente
 - Porosität
 - organischer Anteil im Sediment
- konsolidierter Horizont
 - holozäne Basis / Basis nordseezeitlicher Sande
- Wasserbauwerks- und Ersatzmodelle

Diese Funktionalität kann um weitere Eigenschaften des Gewässerbodens erweitert werden.

2.2 Funktionalität

Alle Komponenten des Funktionalen Bodenmodells sind zeitvariant entworfen, so dass an jedem Ort in der Deutschen Bucht und zu jedem Datum (in der Regel seit 1950) die obigen Parameter durch raum-zeitliche Interpolations- und Approximationsverfahren geliefert werden können. Dabei ist ein Ergebnisdatensatz dieser datenbasierten Simulation abhängig von der räumlichen und zeitlichen Auflösung der im Funktionalen Bodenmodell abgelegten Messdaten. Zusätzlich zu den eigentlichen modellierten physikalischen Parametern werden daher Kenngrößen zur Beurteilung der Vertrauenswürdigkeit geliefert. Neben der zeitlichen Entfernung zur nächsten Messung wird die relative und absolute Unschärfe angegeben. Um an jedem Ort der Deutschen Bucht eine Information zu erhalten, auch wenn keine Wiederholungsmessungen vorhanden sind und die räumliche Auflösung der Naturdaten für den betrachteten Parameter gering ist, werden die Messdaten durch jeweils ein zeitinvariantes Hintergrundmodell ergänzt (welchem in der Regel das Datum 01.01.1900 zugeordnet wird).

Im Rahmen dieses Beitrages wird im Folgenden ausführlicher auf die bathymetrische und sedimentologische Komponente eingegangen.

3. Bathymetrische Komponente des Funktionalen Bodenmodells

Die digitale bathymetrische Modellkomponente basiert auf Vermessungen, zugehörigen Metadaten und Interpolationsverfahren in Raum und Zeit. Zur Beschreibung der Veränderungen des Gewässerbodens wird von der Modellvorstellung einer kontinuierlichen Funktion $z(x,y,t)$ in Raum und Zeit ausgegangen.

3.1 Bathymetrische Datenbasis

Derzeitig besteht die digitale bathymetrische Modellkomponente aus über 20.000 Datensätzen mit über drei Milliarden Datenpunkten. Zeitlich reichen die Datensätze bis zum Jahr 1939 zurück. Die Vermessungsdaten unterschiedlicher Institutionen werden ergänzt durch digitalisierte historische Arbeitskarten der Seevermessung sowie Bauwerks- und Ersatzmodelle. Diese digitalen bathymetrischen Daten werden, verknüpft mit den diese beschreibenden Metadaten, in einer Datenbank gespeichert.

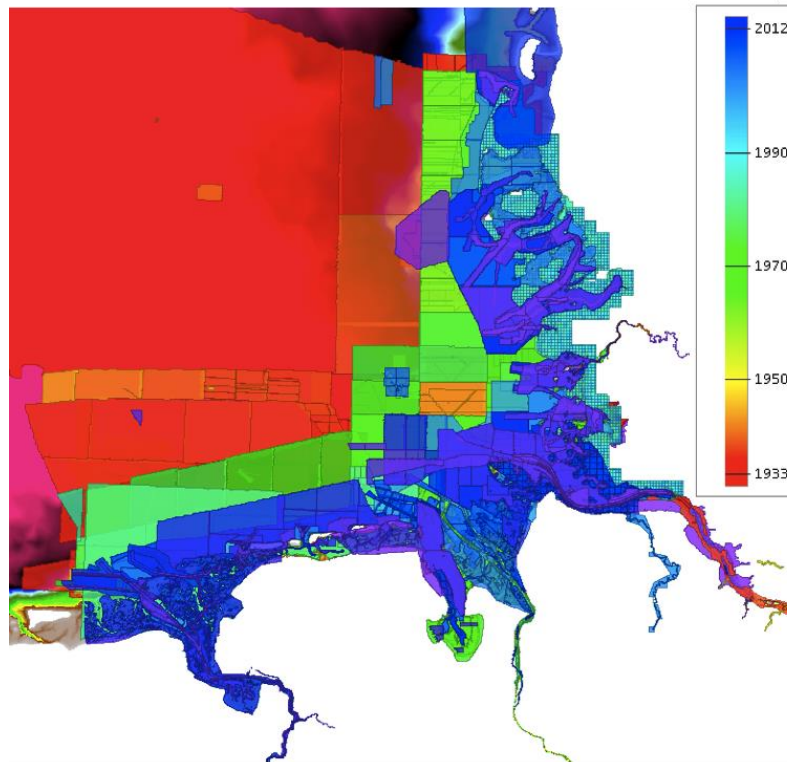


Abbildung 1: Hülpolygone bathymetrischer Vermessungskampagnen im Funktionalen Bodenmodell für den Bereich der Deutschen Bucht, eingefärbt nach ihrem Aufnahmejahr; im Hintergrund das zeit-invariante bathymetrische Basismodell

Die Metadaten enthalten unter anderem Informationen zum Aufnahmezeitpunkt und zur Messgenauigkeit. Entsprechend der Struktur der Vermessungsdaten, die vom jeweiligen Messverfahren abhängt (Profilvermessungen, Single- bzw. Multibeam-Echo-Sounder und LIDAR-Daten), sind in den Metadaten Angaben zum Aussagebereich und zur empfohlenen örtlichen Interpolationsmethode abgelegt.

Abbildung 1 zeigt das derzeitige Inventar an bathymetrischen Daten im Funktionalen Bodenmodell für den Bereich der Deutschen Bucht. Im hochdynamischen Küstennahbereich sind die aktuellsten Daten und meisten Wiederholungsmessungen zu finden.

3.2 Raum-Zeit-Interpolation

In Bereichen, in denen Wiederholungsmessungen vorhanden sind, stellen die Zeitpunkte der frühesten und letzten Tiefenmessung die Grenzen einer kontinuierlichen Raum-Zeit-Bathymetrie dar (s. Abbildung 2). Innerhalb dieser kontinuierlichen Raum-Zeit-Bathymetrie können durch die im Funktionalen Bodenmodell implementierten raum-zeitlichen Interpolationsverfahren quasi-synoptische Tiefenverteilungen berechnet werden. Unter einer quasi-synoptischen Bathymetrie wird also der horizontale Schnitt durch die kontinuierliche Raum-Zeit-Bathymetrie verstanden (MILBRADT 2011).

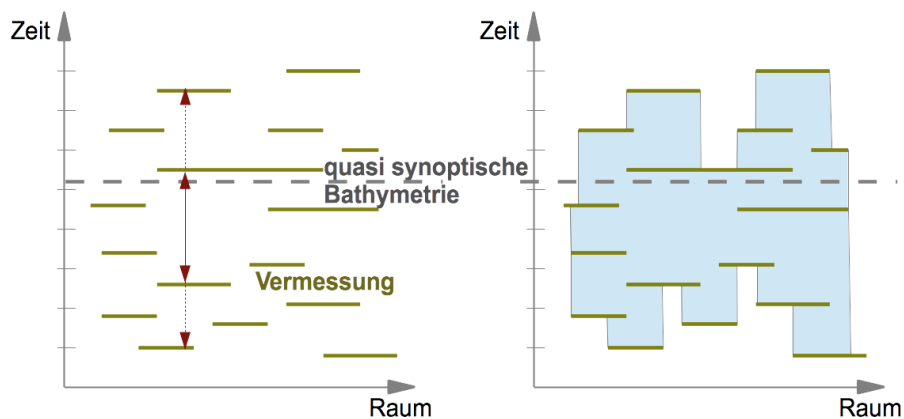


Abbildung 2: Schematische Darstellung einer Raum-Zeit-Interpolation (links) und des zeitlichen Aussagebereiches (rechts)

Um die Lage des Gewässerbodens an einer Stelle und zu einem Zeitpunkt zu bestimmen, wird in allen, den betrachteten Ort enthaltenden Vermessungen der z-Wert bestimmt und mit dem Aufnahmezeitpunkt verknüpft. Anschließend wird in der Zeit interpoliert. Abbildung 3 (links) zeigt eine auf diese Weise generierte Tiefenverteilung in der Deutschen Bucht auf einem 50 m-Raster zum 01.01.2006. Die rechte Abbildung gibt die zugehörige absolute Unschärfe wieder.

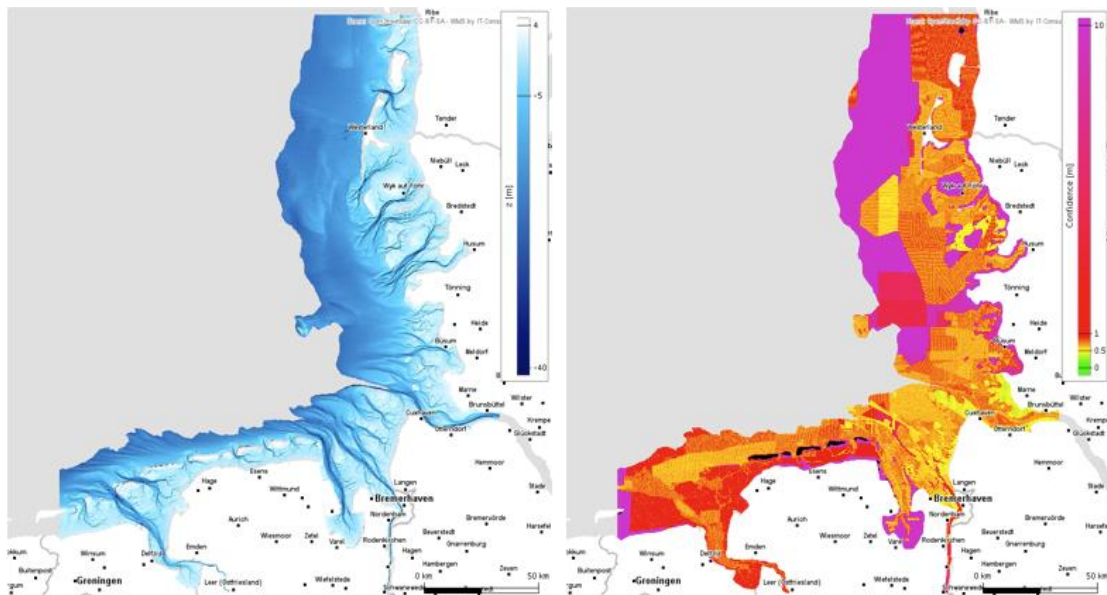


Abbildung 3: Raum-zeitlich interpolierte Tiefenverteilung zum 01.01.2006 (links) und zugehörige absolute Unschärfe (rechts)

Die absolute Unschärfe ergibt sich aus der Messunschärfe (in Lage und Höhe) und der durch die Interpolation in Raum und Zeit induzierten Unschärfe. In einem weiteren Schritt müssen diese induzierten Unschärfen mit den morphologischen Gegebenheiten verknüpft werden.

Für numerische Simulationsmodelle werden besondere Anforderungen an bathymetrische Approximationen gestellt. Die Berechnungspunkte in numerischen Simulationsmodellen sind in der Regel Repräsentanten für einen Bereich und nicht die Tiefe an der Stelle selbst. Diese Tatsache erfordert komplexe Integrationsprozesse auf den zugehörigen Voronoi-Regionen des Berechnungspunktes.

3.3 Bathymetrische Analysen

Einfache Analysen, wie beispielsweise die Identifikation von Erosions- und Sedimentationsbereichen, lassen sich durch Differenzbildung von quasi-synoptischen Bathymetrien bestimmen. Ergänzt werden können diese Analysen durch funktionalanalytische Betrachtungen der Zeitreihen der Tiefenentwicklung an jedem Punkt des Untersuchungsraumes. Auf der Grundlage dieser Zeitreihen können morphologische Parameter, wie Tiefenänderungen (dz/dt) oder der "morphologische Raum" ($z_{\max} - z_{\min}$), abgeleitet werden.

Des Weiteren lassen sich auf der Basis volumetrischer Analysen beispielsweise Aussagen zum Wachstum der Watten in der Deutschen Bucht ableiten. Die Datenbasis der bathymetrischen Komponente lässt darauf schließen, dass das Watt (hier definiert als der Bereich zwischen -2m und 2m [NHN]) in den letzten 15 Jahren im Mittel um 0,74 cm/a wächst.

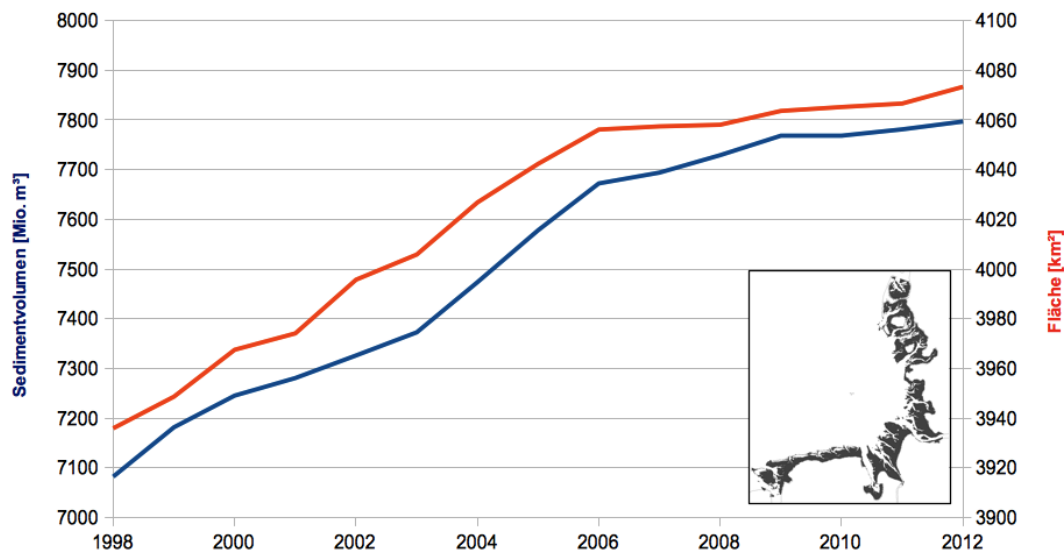


Abbildung 4: Entwicklung der Wattflächen und -volumen in der Deutschen Bucht
(Bezugshorizont: -2m bis 2m [NHN];
die Karte rechts unten zeigt die Fläche, die als Wattfläche interpretiert wird)

4. Sedimentologische Komponente des Funktionalen Bodenmodells

Die sedimentologische Modellkomponente beschreibt die Eigenschaften des Oberflächensediments am Meeresboden in Form der Korngrößenverteilung, Porosität und des organischen Anteils. Die Korngrößenverteilungen werden im Funktionalen Bodenmodell als Summenkurven, in einer logarithmischen Skala entsprechend ihrer Auflösung, gespeichert.

Die Bezugspunkte der kumulativen Korngrößenkurven werden linear oder mit einem monoton kubischen Spline interpoliert (KRUGER), Porosität und organischer Anteil werden als Skalare beschrieben.

4.1 Datenbasis der sedimentologischen Modellkomponente

Derzeit besteht die sedimentologische Modellkomponente aus ca. 63.000 Sedimentproben in verschiedenen Auflösungen und von verschiedenen Datenerhebern bzw. -lieferanten aus dem Zeitraum 1941 - 2012 (siehe Abbildung 5). Etwa 30.000 Proben davon liegen im Bereich der Deutschen Bucht.

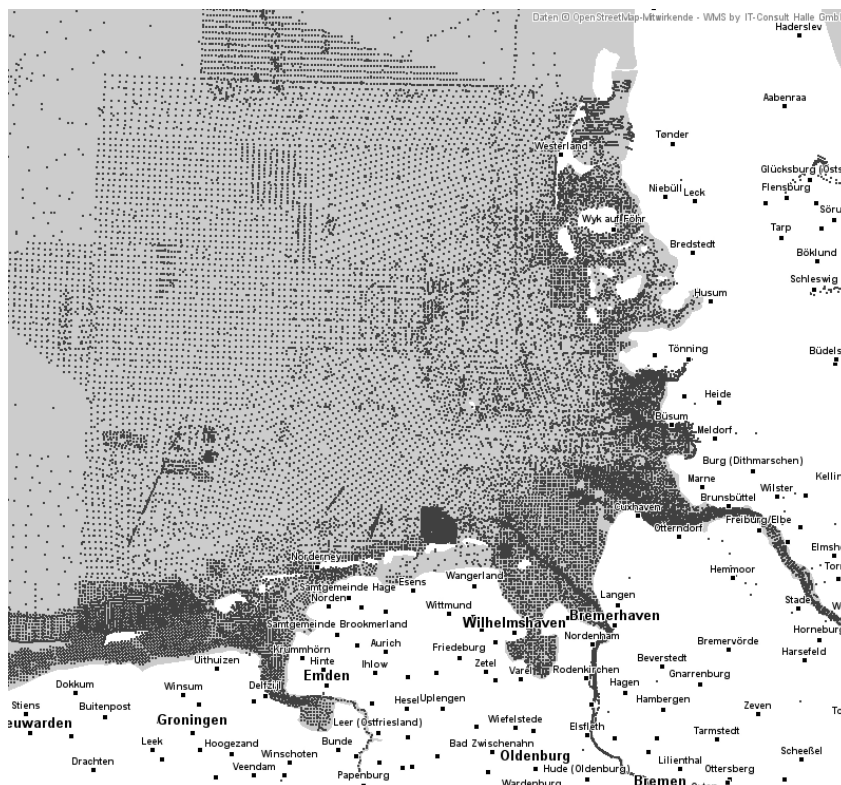


Abbildung 5: Probestationen (Punkte) der im Funktionalen Bodenmodell gespeicherten Sedimentproben in der Deutschen Bucht

Porosität und organischer Bestandteil sind nur in sehr wenigen der vorhandenen Proben analysiert worden. Korngrößenverteilungen sind jedoch für alle in Abbildung 5 gezeigten Stationen verfügbar. Somit können hierfür räumliche Interpolationsverfahren angewendet werden. Zeitvariante Analysen sind mit dieser Datenlage nur sehr eingeschränkt möglich.

4.2 Anisotrope Interpolation der Kornsummenkurve

Die räumliche Interpolation auf spärlich verteilten Daten erfordert speziell angepasste Interpolationsverfahren. Traditionelle Interpolationsmethoden können durch die Berücksichtigung von physikalischen Rahmenbedingungen deutlich verbessert werden. Für die räumliche Interpolation der gesamten Kornsummenkurve wird eine anisotrope Shepard-Interpolation verwendet. Die kreisförmige klassische Metrik wird hier, auf der Grundlage des Vektorfeldes berechneter resultierender Sedimenttransporte, zu einer Ellipse verzerrt. Vor allem in Gebie-

ten, in denen die Morphologie ausgeprägte Strukturen aufweist, liefert die anisotrope Shepard-Interpolation wesentlich bessere Ergebnisse. Auf der Basis der sedimentologischen Komponente des Funktionalen Bodenmodells können nun Anfangswerte und Parameter für morphodynamische Simulationsmodelle abgeleitet werden. Sowohl die räumliche Auflösung des Modellnetzes als auch die für das Simulationsmodell benötigte Auflösung der Korngrößenverteilung sind beliebig wählbar. Aus den interpolierten Kornsummenkurven können zudem auch statistische Parameter, wie Medianwert, Sortierung oder Anteile einzelner Kornklassen, abgeleitet werden (siehe Abbildung 6).

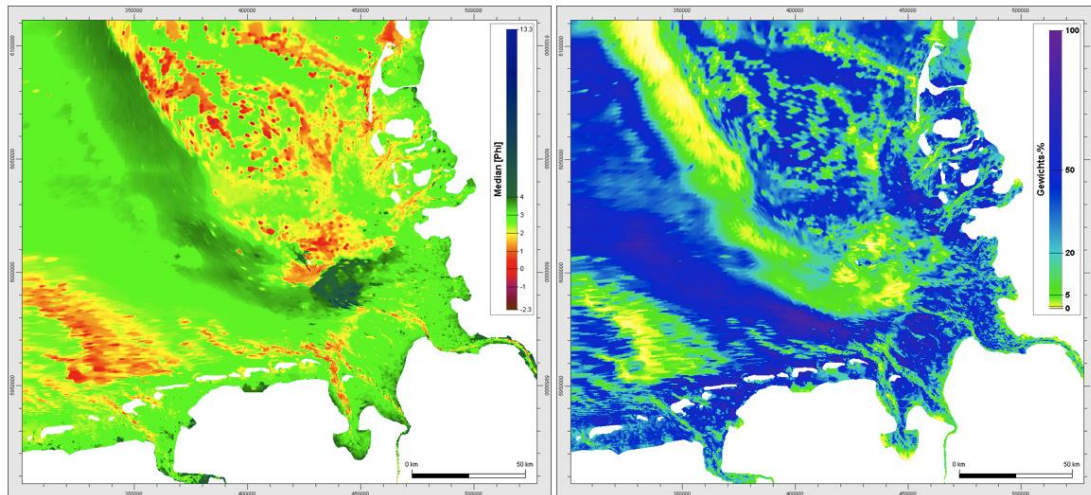


Abbildung 6: Median des Korndurchmessers und Anteil der Feinsandfraktion 125 – 177 µm in der Deutschen Bucht, berechnet auf Grundlage einer anisotropen Shepard-Interpolation der Korngrößenverteilung

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Funktionalen Bodenmodell steht ein Werkzeug zur Verfügung, das sowohl für das Küsteningenieurwesen als auch für die Forschung unterschiedlicher Fachbereiche, wie Marine Geologie und Biologie, eine umfassende Datengrundlage liefert. Durch die implementierten Interpolations- und Approximationen können Datensätze für den jeweiligen Einsatz individuell generiert werden. So sind die räumliche und zeitliche Auflösung frei wählbar. Die sedimentologische Modellkomponente ermöglicht zudem die Bereitstellung von interpolierten Kornverteilungen mit angepassten Fraktionierungen.

Durch datenbasierte Hindcast-Simulationen werden neue Erkenntnisse zur bathymetrischen Entwicklung der Deutschen Bucht gewonnen, die wiederum zur Weiterentwicklung prozessbasierter Modellverfahren genutzt werden können.

Die im Rahmen des Verbundprojektes AufMod erstellten Produkte, wie jährliche Bathymetriemessungen oder sedimentologische Datensätze, können über die Seite der Marinen Dateninfrastruktur Deutschland (<http://www.mdi-de.org>) unter dem Suchwort „AufMod“ recherchiert oder direkt über den Link <ftp://ftp.bsh.de/outgoing/AufMod-Data> heruntergeladen werden.

Das Funktionale Bodenmodell bietet die Grundlage für eine stetige Fortführung datenbasierter Untersuchungen unter interdisziplinärer Zusammenarbeit. Eine kontinuierliche Weiterentwicklung, Erweiterung der Datenbasis und deren Pflege kann ein nachhaltiges Systemver-

ständnis fördern, was für moderne marine Nutzungs- und Küstenschutzkonzepte unerlässlich ist.

Danksagung

Die Autoren möchten dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung des Verbundforschungsprojektes "Aufbau von integrierten Modellsystemen zur Analyse der langfristigen Morphodynamik in der Deutschen Bucht – AufMod" danken sowie allen Kolleginnen und Kollegen, die aktiv das Verbundprojekt AufMod ausgestaltet haben. Nicht zuletzt bedanken wir uns im Namen des Projektes bei allen Datenanbietern in Deutschland und Europa, die durch die Bereitstellung von Daten und Informationen wesentlich zum Erfolg des Projektes beigetragen haben.

Literatur

- HEYER, H., SCHROTTKE, K.: Aufbau von integrierten Modellsystemen zur Analyse der langfristigen Morphodynamik in der Deutschen Bucht – AufMod, Gemeinsamer Abschlussbericht für das Gesamtprojekt mit Beiträgen aus allen 7 Teilprojekten, 2013
- KRUGER, CJC: Constrained Cubic Spline Interpolation for Chemical Engineering Applications. (<http://www.korf.co.uk/spline.pdf>)
- MILBRADT, P.: Analyse morphodynamischer Veränderungen auf der Basis zeitvarianter digitaler Bathymetrien. In Die Küste, Heft 78, Jahr 2011, S. 33-58, ISSN 0452-7739

Kontakt:

apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Milbradt

smile consult GmbH

Vahrenwalder Str. 4

30165 Hannover

Tel.: 0511/543 617 42

Fax: 0511/543 617 66

E-Mail: milbradt@smileconsult.de

Jahrgang: 1963, geb. in Berlin

1985 – 1990

Mathematikstudium an der Humboldt-Universität
zu Berlin

1991 – 2009

Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Leibniz
Universität Hannover

seit 2010

Außerplanmäßiger Professor an der Leibniz Uni-
versität Hannover

seit 2000

Geschäftsführer der smile conult GmbH

Kontakt:

Dipl. Umweltwiss. Jennifer Valerius

Bundesamt für Seeschifffahrt und

Hydrographie

Bernhard-Nocht-Straße 78

20359 Hamburg

Tel.: 040/3190 3295

Fax: 040/3190 5000

E-Mail: jennifer.valerius@bsh.de

Jahrgang: 1982

2002 – 2009

Studium der Angewandten Umweltwissen-
schaften an der Universität Trier

seit 2010

Wissenschaftliche Angestellte am
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie,
Sachgebiet M25 - Geologie