

Physik biologisch besiedelter Meeresböden

Ein Beitrag von THOMAS WEVER und CHRIS JENKINS

Die benthische Biologie hat großen Einfluss auf den Einsatz von Systemen, auf Methoden und Arbeiten. Mehrere Faktoren erschweren oder verhindern gar die umfassende Betrachtung des Meeresbodens aus Sicht der Physik für die operative Nutzung. Die Bio- und Geowissenschaften stehen vor einer großen Herausforderung. Gefragt sind interdisziplinäre Strategien, um Fortschritte zu ermöglichen. Das Ziel muss eine einheitliche Beschreibung des Meeresbodens sein, die es erlaubt, bessere Vorhersagen für Versandungsprozesse, Schallausbreitung, Sedimenttransport oder Ökologie zu treffen, um die Meere besser zu schützen und besser zu nutzen.

Autoren

Dr. Thomas Wever zeichnet bei der WTD 71 für Untersuchungen des Meeresbodens, seiner Eigenschaften und Wechselwirkung mit Objekten verantwortlich.

Dr. Chris Jenkins ist Wissenschaftler bei INSTAAR in Boulder, CO, USA, und entwickelte dbSEABED, ein umfassendes Informationssystem für den weltweiten Meeresboden mit Anwendungen für Wasserschall, Geologie und Ökologie.

ThomasWever@Bundeswehr.org
Jenkinsco@gmail.com

Benthos | Biologie | Geowissenschaften | Wasserschall | Modellierung | dominierende Art | generische Art | One Bio-Geo Seafloor

Erkenntnisse über die Eigenschaften des Meeresbodens und seine Veränderlichkeit sind trotz über hundertjähriger Erforschung vergleichsweise gering. Das liegt vor allem am hohen Aufwand für die erforderliche Infrastruktur für Messungen, im Wesentlichen Schiffe. Es wurden daher viele Modelle zur Beschreibung des Meeresbodens entwickelt. Sie dienen der Vorhersage physikalischer Eigenschaften in gering kartierten Bereichen.

Mit zunehmender Genauigkeit der eingesetzten Systeme und Datenanalysen werden Schwachpunkte dieser modellbasierten Vorhersageansätze deutlich. Untersuchungen weisen als Ursache regelmäßig zu einfache Modellannahmen bei der Beschreibung des Meeresbodens nach. Oft bestehen die Modelle des Meeresbodens aus kaum mehr als einer geschichteten Kombination von Sedimenten verschiedener Korngrößen. Das Ignorieren der lebenden Komponenten, ihrer Aktivität und die Auswirkungen ihrer Präsenz, führt zu einer unvollständigen Beschreibung der Ursachen und Wirkungen, die den Meeresboden kontinuierlich formen und verändern.

Die zunehmende ökonomisch motivierte Nutzung der Schelfmeere für Pipelines und Kabel, für die Energiegewinnung, für Aquakulturen oder Fischerei, aber auch ökologische Fragestellungen und die Beseitigung von Altmunition machen die Unzulänglichkeiten deutlich. Es besteht ein Konsens, dass eine bessere, integrierte und zutreffende Beschreibung des Meeresbodens hilfreich wäre.

Die größten Schwierigkeiten für die notwendige Integration von Biologie und Geologie in ein einheitliches Bild des Meeresbodens resultieren aus der Trennung der Meeresforschung in die Bereiche seiner belebten und seiner unbelebten Bestandteile. Diese strikte Trennung führte in beiden Fachgebieten zu einer fehlenden Berücksichtigung der jeweils anderen Disziplin.

Ein gutes Beispiel für die Trennungsfolgen – in diesem Fall mangelndes Bewusstsein – liefert eine Bodenprobe aus einem Mittelmeerhafen (Abb. 1).

Sie bestand aus einem dichten Geflecht von kalkigen Röhren, das mit Schlack aufgefällt ist. Das Analyseergebnis eines geologischen Labors lautete: 54,5 % Ton und 45,5 % Silt (Schluff). Die groben, harten biologischen Bestandteile waren aussortiert und nicht in den Bericht aufgenommen worden. Das gleiche Schicksal erleiden Muschelschalen: für Geologen sind sie oft nur eine »biologische Komponente«. Sie werden oft als übergroßer Bestandteil vor einer Bestimmung der Korngrößen aussortiert und nicht weiter beachtet. Für Biologen sind sie abgestorben und zählen damit nicht mehr als »Biologie«, sondern nur noch Sediment. Muschelschalen finden somit regelmäßig weder Eingang in Datenbanken der Biologie noch der Geologie.

Die Schwächen dieser Trennung der Fachgebiete im Bereich des Meeresbodens sind bekannt. Es gab bereits diverse Ansätze, um biologische Komponenten des Meeresbodens und ihren Einfluss auf die physikalischen und geologischen Eigenschaften zu berücksichtigen (z. B. Aller 1983; Murray et al. 2002; Le Hir et al. 2007). Es gelang vielen Autoren, Korrelationen nachzuweisen und lokal gültige Beziehungen für Datensätze mathematisch zu beschreiben. Es gelang allerdings bislang nie, allgemeingültige und übertragbare Beziehungen zu entwickeln. Das Grundproblem liegt in einer zu starken Orientierung an Daten und ihrer Erklärung, anstelle einer Untersuchung der wechselseitigen (biologischen und geologischen) Abhängigkeiten.

In diesem Beitrag zeigen wir zunächst an ausgewählten Beispielen den großen Einfluss der benthischen Biologie auf den Einsatz von Systemen, auf Methoden und Arbeiten. Im Anschluss stellen wir zentrale Schwierigkeiten zusammen, die derzeit eine umfassende Betrachtung des Meeresbodens aus Sicht der Physik für die operative Nutzung erschweren bzw. verhindern. Wir greifen dabei weitgehend auf eigene praktische Erfahrungen zurück.

Zu allen aufgeführten Herausforderungen für die Wissenschaft stellen wir im Anschluss mögliche Strategien vor, um Fortschritte zu ermöglichen. Das Ziel muss eine einheitliche Beschrei-

bung des Meeresbodens sein, die es erlaubt, bessere Vorhersagen für Versandungsprozesse, Schallausbreitung, Sedimenttransport oder Ökologie zu treffen.

Rolle der benthischen Biologie

Das Benthos beeinflusst die Prozesse und Eigenschaften des Meeresbodens, sowohl durch Präsenz als auch durch Aktivität. Beide Wirkungsweisen können vollkommen andere, als aufgrund der Sedimente allein erwartete Effekte erzeugen. Wir stellen einige ausgewählte Auswirkungen vor.

- Der Einsatz von unbemannten Fahrzeugen, ob autonom fahrend oder ferngesteuert, wird besonders durch hoch in die Wassersäule wachsende Algen behindert, oft sogar verhindert. Besonders deutlich wird dies an Kelpwäldern (Seetang). Fahrzeuge haben sich bereits mit ihren Propellern in den festen Algen verfangen und sind verlorengegangen.
- Kommerzielle akustische Systeme für den Offshoreinsatz zeichnen die Gesamtantwort des Meeresbodens auf. Diese erlaubt keine Trennung der Komponenten nach Ursache der reflektierten Signale. Eine erhöhte Rauigkeit kann durch Sedimente, Korallen, Muscheln und Vegetation verursacht sein. Gasproduzierende Bakterien können die akustische Dämpfung bedeutend erhöhen. Muscheln, Seeigel und Röhren grabender Würmer erhöhen als Punktstreuer die Inhomogenität des obersten Sediments und beeinflussen die Rückstreuung. Gleichzeitig können grabende Arten durch ihre Aktivität Schichtungen auflösen.
- Die ins Wasser ragenden Röhren der *Lanice conchilega* bestehen aus einer Vielzahl von zusammengeklebten Muschelbruchstücken. Massiv auftretend stellen sie eine große Menge kleiner Sonarreflektoren dar und führen zu unerwartet hohen Rückstreuwerten von sandigen Schlickböden.
- Entsprechendes gilt für die seit den 1980er Jahren in der Nordsee invasive Amerikanische Scheidenmuschel. Vertikal im Boden verankert, ragt sie mehrere Zentimeter in die Wassersäule – bis zu 10 000 Exemplare pro Quadratmeter wurden vor Belgien beobachtet. Ein so besiedelter Sandboden wird keine Sandrippelbildung erlauben und vollkommen andere akustische Eigenschaften zeigen, als die geologische Karte erwarten lässt. Muschelvorkommen dieser Dichte verhindern zudem Erosionsprozesse, fördern sogar Sedimentation. Akustische Systeme werden einen sehr rauen und harten Boden »erkennen«.
- Muscheln, Seeigel und Wurmröhren verändern die geomechanischen Eigenschaften des Meeresbodens, sie führen zu einem deutlichen Anstieg der Festigkeit bei vertikaler Belastung.

- Seegrass spielt eine besondere Rolle mit wichtigen Auswirkungen. In dichten Wiesen auftretend, verbirgt es den Meeresboden vor optischen Untersuchungen. Anhaftende Gasbläschen verhindern zudem seine akustische Untersuchung. Seegrass dämpft außerdem viele der auf den Meeresboden wirkenden Kräfte und bietet einen reichen Boden für grabende Fauna. Anstatt möglicher Erosion tritt Sedimentation auf. In der Folge entstehen mächtige Wurzelgeflechte, da die Seegräser durch weiteres Wachstum reagieren. Solche Meeresböden werden durch geologische Karten nicht adäquat beschrieben.
- Für Geowissenschaftler ungewohnt sind stark saisonale biologische Einflüsse. Borsje (2012) zeigte vor der niederländischen Küste, dass der Wurm *Lanice conchilega* bei starkem Auftreten im Sommer mit seinen eng stehenden Röhrenbauten die Bewegung von Wanderdünen stoppen kann. Erst mit dem Absterben der Würmer im kalten Winter bewegen sich die Wanderdünen wieder.

Diese ausgewählten Beispiele illustrieren die wichtige Rolle der Biologie für den Meeresboden, für seine Eigenschaften und Prozesse. Die jahrzehntealte strikte Trennung der Bio- und Geowissenschaften in der Meeresforschung erschwert das Zusammenführen bestehender Erkenntnisse. Der geringe Austausch zwischen den Disziplinen verursacht einige der bestehenden Schwierigkeiten, für die sich aber Lösungen anbieten.

Herausforderungen

In diesem Abschnitt stellen wir wichtige Aspekte für die Kombination der Biologie und Geologie des Meeresbodens in kurzer Aufzählung zusammen. Diese Herausforderungen haben bislang eine interdisziplinäre integrierte Untersuchung

Abb. 1: Bodenprobe aus einem dichten Geflecht kalkiger Korallenröhren, das mit Schlick aufgefüllt ist



des Meeresbodens verhindert. Der Einfachheit halber betrachten wir das Problem der Integration von biologischen Einflüssen in geowissenschaftliche Analysen. Grundsätzlich bestehen analoge Schwierigkeiten für Biologen, physikalische Ergebnisse zu integrieren.

Herausforderung 1: Inkompatible Datenformate in Biologie und Geowissenschaften

Geowissenschaftler treffen beim Versuch, biologische Informationen in ihren Modellen zu berücksichtigen, auf die Problematik, dass der überwiegende Teil biologischer Informationen (Angabe der Arten) in Worten beschrieben wird. Diese lassen sich nicht in mathematischen Gleichungen verarbeiten. Einfacher können begleitende Angaben verarbeitet werden (z. B. Abundanzen, die als Zahlenwerte angegeben werden).

Herausforderung 2: Große Anzahl von Arten

Der Versuch, den Meeresboden durch Berücksichtigung der Biologie besser zu beschreiben, scheitert für Geowissenschaftler oft an der großen Anzahl der vorhandenen Arten. Sie stehen regelmäßig vor der Frage, diese Informationsmenge zu reduzieren, also relevante Arten zu berücksichtigen und andere auszuschließen.

Herausforderung 3: Große Anzahl ähnlicher Arten

Neben der Vielzahl von Arten stellen ähnliche Arten mit minimalen Unterschieden eine weitere Herausforderung dar. Geowissenschaftler können ohne Detailwissen nicht entscheiden, welche Arten für eine bestimmte Untersuchung oder Methode zusammengefasst werden können und in der Summe Auswirkungen haben.

Herausforderung 4: Fehlende Information der Häufigkeitsrelevanz

Der Meeresboden beherbergt viele Arten mit wechselnden Populationen. Es gibt für die verschiedenen physikalischen Methoden der Geowissenschaften kaum Informationen, welches kritische Vorkommen eine Art erreichen muss, damit ihre Effekte beobachtet werden. Genauso offen ist die Frage hinsichtlich der kumulativen Wirkung ähnlicher Arten.

Herausforderung 5: Sekundäreffekte

Die Sedimente des Meeresbodens unterliegen äußeren, weitgehend vorhersagbaren Kräften wie Strömung oder Wellenwirkung. Das gilt nicht für die lebenden Bestandteile des Meeresbodens. Überlebensstrategien verschiedener Arten führen zu sekundären Effekten, die einfache Modelle bislang nicht berücksichtigen. Ein Beispiel: Biofilme können Sedimente durch »Verkleben« stabilisieren. Ein physikalisches Modell würde aufgrund der stabilisierenden Wirkung einen reduzierten Sedimenttransport vorhersagen. Andererseits ziehen Biofilme Fische an, die das Sediment beim

Aufnehmen der Biofilme als Nahrung aufwirbeln, in Suspension bringen, und damit das Erosionspotenzial erhöhen.

Herausforderung 6: Variable Vorkommen der Arten

Geowissenschaftler berücksichtigen in ihren Modellen reguläre Variationen der Kräfte (z. B. Gezeiten). Diese vorhersagbaren Änderungen stellen keine große Herausforderung dar. Wechsel der Populationen treten weniger regelmäßig auf, besonders, wenn sie durch äußere Faktoren ausgelöst werden. Hier sind explizit nicht die saisonalen durch Licht- oder Temperatureinfluss gesteuerten Veränderungen gemeint, sondern solche, die durch die Wechselwirkung der Arten entstehen oder auch durch kaltes oder sauerstoffarmes Bodenwasser (siehe auch Herausforderungen 7 und 8).

Herausforderung 7: Episodische Änderungen der Vorkommen der Arten

Unerwartete, plötzliche Änderungen des Vorkommens von Arten stellen eine besondere Herausforderung dar. Invasive Arten können beispielsweise ein stabiles bestehendes System komplett verändern (»neu starten«). Derartige Vorgänge stellen eine grundlegende Änderung der Situation dar und sind in geowissenschaftlichen Modellen bislang nicht implementiert. Ein prominentes Beispiel ist das dominante Auftreten der Amerikanischen Scheidenmuschel in der Nordsee seit Mitte der 1980er Jahre (z. B. Houziaux et al. 2011). Ihr Auftreten in Europa wird auf Verschleppung im Ballastwasser der Schifffahrt zurückgeführt.

Herausforderung 8: Biologische Vorgänge unterliegen einer Absicht

Alle Arten, die den Meeresboden besiedeln, verfolgen eine Überlebensstrategie (»Intention«). Beim Verfolgen dieser Strategie verändern sie die sedimentäre Struktur des Meeresbodens. Ein Beispiel ist die Zerstörung von Schichtungen durch grabende Würmer oder Muscheln. Im Gegensatz dazu reagiert der abiotische Meeresboden ausschließlich passiv auf externe Kräfte (Strömungen, Wellen). Die Berücksichtigung von Aktivität und Absicht in Modellen des Meeresbodens und in Datenbanken ist eine besondere Herausforderung.

Herausforderung 9: Informationsgewinnung und -speicherung

Um Fortschritte in der Wissenschaft zu erzielen, werden vollkommen neue Datenstrukturen und Datenformen erforderlich werden, um biologische Information in mathematisch nutzbare und relevante Parameter umzusetzen. Erste Arbeiten laufen bereits mit besonderem Augenmerk auf online verfügbaren semantischen Datenbanken.

Lösungsstrategien

Zu den aufgeführten Herausforderungen können Strategien entwickelt werden, die zumindest ei-

nen partiellen Fortschritt bei der Vereinfachung der Probleme ermöglichen. Einige wurden getestet und liefern bereits Ergebnisse. Die Lösungen beinhalten durchaus auch nichtanalytische Methoden wie die Modellierung von Meeresbodenszenarien. Die Nummern der folgenden Strategien entsprechen denen der zugehörigen Herausforderungen.

Strategie 1: »Words to Numbers«

Die Übersetzung von Wortbeschreibungen in Zahlenwerte ist für einzelne Fragestellungen bereits erfolgreich gelungen. Jenkins (1997 und 2002) setzt das Verfahren (bekannt als »word parsing«, deutsch: grammatikalische Analyse) im Meeresbodeninformationssystem dbSEABED ein, um biologische und geologische Beschreibungen in numerische Parameter zu übersetzen. Dabei werden Deckbeschreibungen erfolgreich und korrekt in Korngrößen übersetzt.

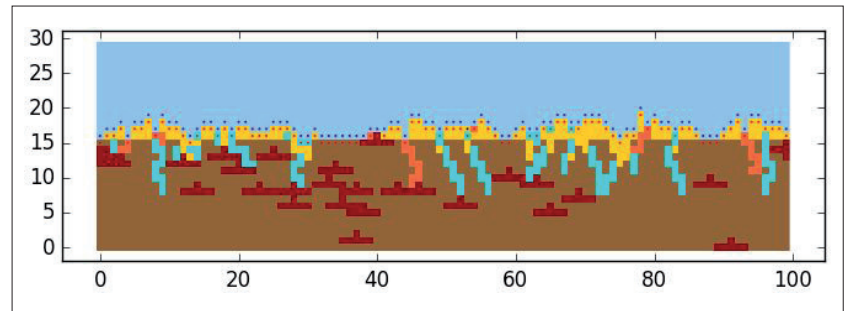
Es werden aber auch weitere Ansätze erforderlich. Nichtanalytische Module für grabende Aktivität inklusive Sedimentumlagerung und Änderung der Schichtung existieren. Das Verhältnis der Länge der neuen Oberfläche entlang der geschaffenen Rauigkeit (»Küstenlinie«) gegenüber dem ehemals geraden Bodenprofil bietet ein Maß für die Rauigkeitsänderung (Wever u. Jenkins 2013). Die Rauigkeit und die geschaffenen Hohlräume werden für akustische Vorhersagen benötigt. Beide Parameter können ausschließlich über Modellierung bestimmt werden; sie direkt in situ zu messen ist nahezu unmöglich. Abb. 2 zeigt das Ergebnis einer solchen Modellierung. Der ursprünglich horizontale Meeresboden (braun) mit einzelnen Inhomogenitäten (Muscheln, Steinchen: rotbraun) unter einer Wasserschicht (blau) erhielt durch Graben von Würmern ein Relief. Lebende, grabende Würmer (dunkelorange) hinterlassen wassergefüllte Grabungsgänge (hellblau). Aufwärts befördertes Sediment ist in Hellorange dargestellt. Die blau-roten Punktspaare stellen die neue Grenze Wasser–Meeresboden dar.

Strategie 2: Dominierende Art

Aus der Vielzahl der Arten resultieren Schwierigkeiten. Ein wichtiger Ansatz zielt auf eine Informationsreduktion. Diese kann in einem ersten Ansatz durch Konzentration auf die »dominierende Art« erfolgen. Sie ist diejenige Spezies, die für ein gewähltes physikalisches Problem den größten Einfluss hat. Beispielsweise sind für hochfrequente und tieffrequente akustische Anwendungen unterschiedliche dominante Arten relevant. Diese Strategie liefert erste Verbesserungen gegenüber einem »biologiefreien« Modell des Meeresbodens. Sie kann durch Berücksichtigung weiterer, erst in zweiter Linie wichtiger Spezies verfeinert werden.

Strategie 3: Generische Art

Der Schwierigkeit mehrerer physikalisch ähnlich wirkender Arten kann durch Definition einer »ge-



nerischen Art« begegnet werden. Diese repräsentiert die wesentlichen Eigenschaften verschiedener ähnlicher relevanter oder dominierender Arten. Die generische Art muss für jede physikalische Methode (bzw. für alle eingesetzten Instrumente) definiert werden. Es ist denkbar, zukünftig in biologischen Datenbanken jeder Art eine methodenabhängige generische Art zuzuweisen.

Strategie 4: Kritisches Vorkommen

Das kritische Vorkommen einer Spezies (oder einer generischen Art) ist die minimale Anzahl ihrer Vertreter, die für eine messbare Auswirkung auf eine physikalische Messung oder Problem erforderlich ist. Im Zusammenhang mit der dominierenden Art ist zu beachten, dass sie das kritische Vorkommen erreichen muss, andernfalls kann sie vernachlässigt werden.

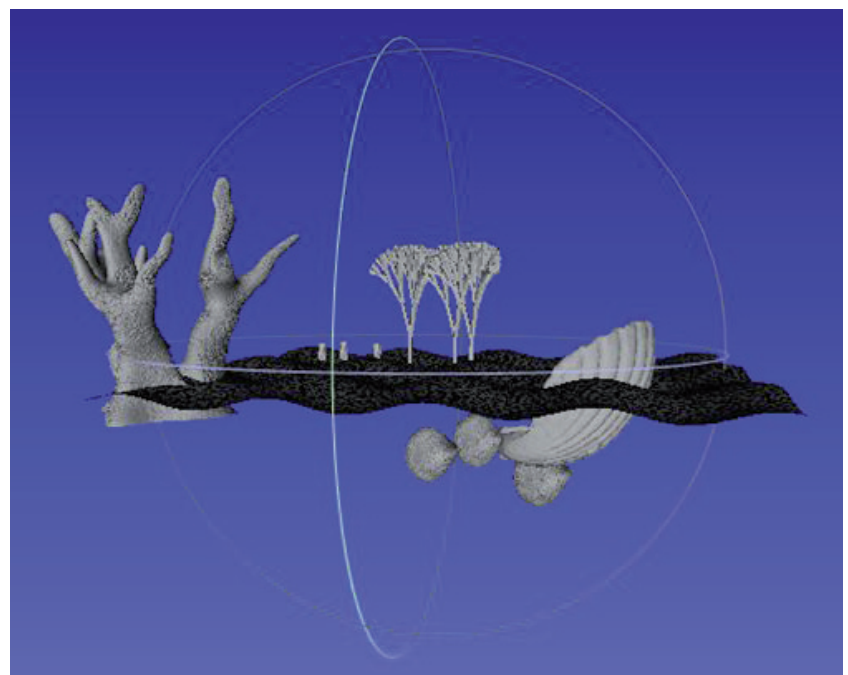
Die Bestimmung des kritischen Vorkommens erfordert eine gemeinsame Neubeschreibung des Meeresbodens durch Biologen und Geowissenschaftler sowie eine experimentelle Validierung.

Strategie 5: Analyse gekoppelter Prozesse

Die Parameter, die die Variabilität der Physik des biologiefreien Meeresbodens beschreiben, sind überschaubar: Wellen, Gezeiten, Konsolidierung und Sedimenttransport. Relativ viele Vorgänge

Abb. 2: Der ursprünglich horizontale Meeresboden (braun) mit einzelnen Inhomogenitäten (Muscheln, Steinchen: rotbraun) unter einer Wasserschicht (blau) erhielt durch Graben von Würmern ein Relief. Lebende, grabende Würmer (dunkelorange) hinterlassen wassergefüllte Grabungsgänge (hellblau). Aufwärts befördertes Sediment ist in Hellorange dargestellt. Die blau-roten Punktspaare stellen die neue Grenze Wasser–Meeresboden dar

Abb. 3: Virtueller Meeresboden mit Objekten



Literatur

Aller, Robert C. (1983): The Effects of Macrobenenthos on Chemical Properties of Marine Sediment and Overlying Water; in: Peter P. L. McCall & Michael J. S. Tevesz (Hrsg.): Animal-Sediment Relations – The Biogenic Alteration of Sediments; Plenum Press, New York, S. 53–100

Borsje, Bas W. (2012): Biogeomorphology of coastal seas; University of Twente, PhD thesis, 168 S.

CSDMS (2017): Community Surface Dynamics Modeling System; University of Colorado, Boulder, USA, <https://csdms.colorado.edu> (zuletzt aufgerufen am 4. Januar 2017)

EoL (2016): Encyclopedia of Life; <http://www.eol.org>. (zuletzt aufgerufen am 15. Januar 2016)

Houziaux, J.-S.; J. Craeymeersch; Béa Merckx; Francis Kerckhof; V. Van Lancker; W. Courtens; Eric Stienen; J. Perdón; P. C. Goudswaard; G. Van Hoey; L. Vigin; K. Hostens; Magda Vincx; Steven Degraer (2011): >EnSIS< – Ecosystem Sensitivity to Invasive Species; Final Report, Belgian Science Policy Office 2012 – Research Programme Science for a Sustainable Development, 105 S.

Jenkins, Chris J. (1997): Building Offshore Soils Databases; Sea Technology 38, S. 25–28

Jenkins, Chris J. (2002): Automated digital mapping of sediment colour descriptions; Geo-Marine Letters 22, S. 181–187

Le Hir, P.; Y. Monbet; F. Orvain (2007): Sediment erodability in sediment transport modeling: Can we account for biota effects?; Continental Shelf Research 27, S. 1116–1142

Murray, J. M. H.; A Meadows; P. S. Meadows (2002): Biogeomorphological implications of microscale interactions between sediment geotechnics and marine benthos: a review; Geomorphology 47, S. 15–30

NOAA (2012): ECOPATH Modeling: Precursor to an Ecosystem Approach to Fisheries Management; National Ocean Service, NOAA, Silver Spring, Maryland, USA, <http://celebrating200years.noaa.gov/breakthroughs/ecopath/welcome.html> (zuletzt aufgerufen am 4. Januar 2017)

Wever, Thomas; Chris J. Jenkins (2013): The Necessity of Entering Biological Effects on the Seafloor into Models and Doctrine for Navy Applications; Wehrtechnischer Bericht WTD 71 – 0072/2013 WB, 27 S.

WoRMS (2017): World Register of Marine Species; WoRMS Editorial Board, VLIZ, Ostende, Belgium, www.marinespecies.org (zuletzt aufgerufen am 4. Januar 2017)

können so im Küsteningenieurwesen modelliert werden. Grundsätzlich bietet sich auch hier an, die Ergebnisse biologischer Modelle als zeitvariable Eingabegröße in Modellen der Meeresbodenphysik zu nutzen.

Ein vielversprechender neuer Ansatz für die komplizierteren, eng gekoppelten Bio-Geo-Systeme liegt in der Simulation, in der biologische Vertreter auf die physikalische Umgebung reagieren, diese aber auch formen. Weitere Faktoren wie Populationen oder Nährstoffe können so ebenfalls berücksichtigt werden.

Neuartige Ansätze für die Simulation können neue Technologien aus unerwarteten Anwendungsbereichen sein, wie etwa aus der Biomedizin oder der Computerspieleindustrie. Abb. 3 zeigt einen virtuellen Meeresboden mit Objekten in und auf ihm. Das Modell wurde mit etablierter Software für 3D-Drucker erstellt. Es dient der Vorbereitung der Modellierung akustischer Rückstreuung, wie sie von Sonaren aufgezeichnet wird.

Strategien 6 und 7: Zeitliche Variabilität

Neben regelmäßig zeitlich variierenden Kräften (z. B. Gezeiten, Licht, Temperatur) muss eine zusätzliche biologisch bedingte Variabilität berücksichtigt werden: die Beiträge der Fortpflanzung und des Dominanzstrebens. Die Genauigkeit dieser Ansätze mag für die Definition realer zeitvariabler Ergebnisse nicht ausreichen, könnte aber die Fehlerbereiche für einzelne oder selten wiederholte Beprobungen und Beobachtungen liefern.

Wie die regelmäßigen zeitlichen Abläufe sind episodische Ereignisse ein wichtiger Faktor, der berücksichtigt werden muss. Dies schließt die Folgen menschlicher Aktivität ein. Invasive Arten können beispielsweise eine vollkommen neue Artenverteilung verursachen und den Charakter der Meeresböden ändern. Als Strategie kann hier ein »Neustart« erforderlich werden, die vollkommen neue Situationsbeschreibung.

Strategie 8: Populationsmodelle

Meeresbiologen haben zahlreiche und verschiedenartige Modelle entwickelt, die Antworten beitragen können auf die Herausforderung gezielter biologischer Aktivität. Sie sollten genutzt werden, um sowohl Unsicherheiten als auch physikalisch relevante (stabile) Endzustände zu beschreiben. Um einige zu nennen: Modelle der Populationsökologie (wie Lotka-Volterra-Berechnungen oder Leslie-Matrix-Modelle), aber auch Modelle der Nahrungsketten (z. B. EcoPath, NOAA 2012). Einige der Modelle beschreiben auch die »Ingenieurtätigkeit« verschiedener Arten im Meeresboden und andere gezielte Aktivitäten.

Strategie 9: Informationssysteme

Zur Abdeckung der weltweiten Umgebungen (aber auch auf nationaler Ebene) und zur Darstellung der biologischen Diversität wird eine umfassende Menge von Eingabeparametern er-

forderlich, um eine hilfreiche Verknüpfung von Bio und Geo zu ermöglichen. Vielfach stehen die Ressourcen bereits bereit, beispielsweise in den semantischen Datenbanken World Register of Marine Species (WoRMS 2017) oder Encyclopedia of Life (EoL), die online verfügbar sind. Trotz ihres Umfangs erfordert die Nutzung dieser Systeme keine aufwendige Infrastruktur wie eine neue Datenbank oder Modellierungssoftware. Verbindungen mit APIs (Application Program Interfaces) oder andere Möglichkeiten des Fernabrufs können Eingabedaten zu Verfügung stellen, Ergebnisse speichern und sogar Modellierungsmodule betreiben. Es gibt bereits Beispiele verteilter Modellierungssysteme für Land- und Seegebiete (CSDMS 2017).

Diskussion und Zusammenfassung

Die Disziplinen Biologie und Geologie tendieren dazu, in teilweise engen Spezialisierungen ein Detailwissen über den Meeresboden bereitzustellen, das heute nicht vollständig nutzbar ist. Innerhalb der Disziplinen, aber erst recht über die Grenzen hinweg gelingt es derzeit nicht, das Wissen in ein einheitliches Bild zusammenzuführen und zu nutzen.

Die Trennung der Bio- und Geowissenschaften wirkt sich zwangsläufig auf viele Bereiche aus: durch unvollständige Modelle des Meeresbodens sind Vorhersagen suboptimal, die Einsetzbarkeit von Geräten wird unter bestimmten Umständen eingeschränkt, und die Interpretation von Messungen kann unvollständig sein.

Die aktuelle Bedeutung insbesondere der Flachmeere für wirtschaftliche, ökologische und wissenschaftliche Fragen erfordert die Zusammenführung des Spezialwissens in einem einheitlichen Weg. Dies wird insbesondere angesichts stattfindender Änderungen (z. B. Klima) notwendig. Es besteht ein dringendes Bedürfnis der besseren Nutzung existierender Daten und der Entwicklung eines besseren Verständnisses des Meeresbodens. Das zeigt sich in aktuellen Initiativen, die wir anführen können:

- 2014 hat die NATO Experten beauftragt, in einem internationalen Specialist Team dieser Frage nachzugehen und Vorschläge für die zukünftige Beschreibung des Meeresbodens bis 2017 zu erarbeiten. Die Ergebnisse werden der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.
- Im Oktober 2016 unterstützte die Volkswagen Stiftung (Hannover) ein dreitägiges Symposium mit international führenden Benthos-Biologen, Unterwasser-Akustikern und Geowissenschaftlern. Der Titel des Symposiums »The Ocean's Seafloor – One Bio-Geo System« verdeutlicht das Ziel einer interdisziplinären Zusammenarbeit. Viele der Teilnehmer begannen noch während des Symposiums mit der Erarbeitung gemeinsamer Bio-Geo-Projektvorschläge und der

Planung gemeinsamer Forschungsfahrten. Einige Teilnehmer sahen im Symposium sogar den Ursprung einer neuen Fachrichtung.

- Für die Jahrestagung 2017 der Acoustical Society of America (Dezember 2017 in New Orleans) wurde von ihrer Präsidentin als Ergebnis des Symposiums in Hannover eine eigene Bio-Geo-Benthos-Veranstaltung angekündigt.
- Als ein neuer Förderschwerpunkt wird die integrierte Bio-Geo-Forschung für 2017 von zumindest einer US-Institution vorgesehen.

Weiter in die Zukunft schauend, wird der Fortschritt zu einer einheitlichen und vollständigen Beschreibung des Meeresbodens neben anderen Faktoren vor allem von einer besseren Zusammenarbeit von Bio- und Geowissenschaftlern bestimmt. Technologische Entwicklungen werden helfen, beide Disziplinen zusammenzuführen. Zum Beispiel kann akustisches Monitoring – grundsätzlich ein geophysikalisches Werkzeug – genutzt werden, um regelmäßige und gelegentliche Änderungen der biologischen Besiedlung zu erfassen. Diese wiederum kontrollieren geoakustische Eigenschaften über Grabungsbauten und akustische Rauigkeit.

Gemeinsame Bio- und Geo-Projekte beim Schallausbreitungsmonitoring sind vorstellbar.

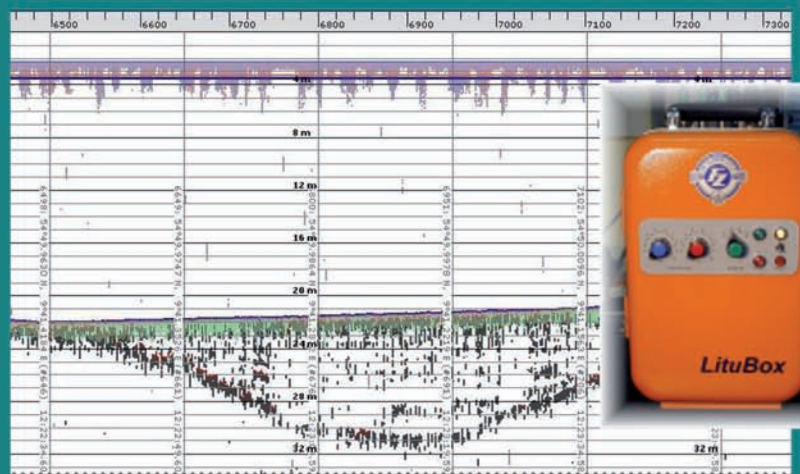
Gleichzeitig ist es höchst bedeutsam, dass Bio- und Geowissenschaftler gemeinsame Expeditionen durchführen, vor allem, dass sie gemeinsam Sedimentkerne und Bilder beschreiben. Das wird genauere und vollständigere Beschreibungen liefern und die Erfahrung über trennende Grenzen hinweg ausweiten. Um zukünftig wechselseitige Vorteile zu erzielen, wird eine grundlegende Finanzierung erforderlich, aber auch eine neue Sichtweise in Projektanträgen.

In diesem Beitrag wurde die grundlegende Frage überwiegend aus der Sicht von Geowissenschaftlern dargestellt. Das darf nicht über das Ziel der Schaffung einer holistischen Beschreibung des Meeresbodens hinwegtäuschen. International etabliert sich der Begriff »One Bio-Geo Seafloor«.

Eine holistische Beschreibung muss es Biologen und Geowissenschaftlern gleichermaßen ermöglichen, aus einem einheitlichen System »belebter Meeresboden« die jeweils erforderlichen Parameter über angepasste Methoden aus bestehenden Datenbanken zu extrahieren, um die Meere besser zu schützen und besser zu nutzen. [⚓](#)



Hydrographic Echo Sounders



Dr. Fahrentholz GmbH & Co. KG, Grasweg 4-6, 24118 Kiel, Germany
Phone ++49 431 542049 fz@fahrentholz.de www.fahrentholz.de

Finanzamt Kiel-Nord, Steuer-Nr. 19 288 01703, VAT-USt-Id: DE 812 388 842
 Amtsgericht Kiel: HA # 3776, Geschäftsführer: Dr. Siegfried Fahrentholz
 Komplementär: Dr. Fahrentholz Verwaltungs GmbH, Amtsgericht Kiel: HB # 4608
 EAR: Fahrentholz-Sounder: WEEE-Reg # DE43104036