

AufMod G

Schlussbericht zu Nr. 3.2

03KIS088

SENCKENBERG
am Meer



Zuwendungsempfänger: Senckenberg am Meer, Wilhelmshaven

Bearbeiter: Dr. Alexander Bartholomä
Dr. Adam Kubicki

Förderkennzeichen: 03KIS088

Vorhabensbezeichnung: AufMod G
Analyse langfristiger, großräumiger
Prozesse durch prozessorientierte
Simulation der Deutschen Bucht:
„Sediment-Fazies der deutschen Nordsee“

Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2009 – 31.10.2012

I. Kurze Darstellung zu

1. Aufgabenstellung

Für die Modellierung langfristiger und großräumiger Sedimentdynamik mit Prognosen zur Veränderung weiträumiger Transport- und Verteilungsprozesse soll in Rückkopplung mit numerischen Modellen für ausgewählte Szenarien zusammen in einem kombinierten Methodenansatz Sedimenttransportwege und Transportraten großräumig beschrieben werden. Das Teilprojekt AufMod-G fokussiert dabei auf Küstenvorfeld Ostfrieslands und die Ästuarränder. Die Untersuchungen finden dabei innerhalb als auch übergreifend in den Faziesräumen statt, die Prozesse werden auf unterschiedlichen Raum- und Zeitachsen studiert.

2. Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Im Rahmen des KFKI-Verbundprojekt zur großräumigen und langfristigen Morphodynamik in der Deutschen Bucht, das vom **Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen** im Jahre 2008 veröffentlicht wurde (s. hierzu Rahmenantrag der BAW und der BSH) ist AufMod-G ein Teilprojekt, das in einem Konsortium von Einrichtungen unter der Federführung der BSH Beiträge zum sogenannten „Bodenmodell“ liefert, das im weiteren Eingang in die Modellierung der Küstenzone findet.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Grundsätzlich ist die enge Verzahnung von Modellen und Felddaten ein paralleles Arbeiten auf aktuell erhobenen Daten nur bedingt möglich. Deshalb wurden zu Beginn zunächst auf vorliegende Daten zur Bathymetrie und Sedimenten für die Erstellung der Basisdaten für die Modellierung zurückgegriffen. Aus den Vorarbeiten von Senckenberg am Meer (SaM) flossen zunächst Sedimentdaten aus über 900 Proben sowie zwei bathymetrische Datensätze aus dem Küstenvorfeld in kleinskaligere Modellierung ein. Zeitgleich wurden die Feldarbeiten auf den zu Beginn definierten „Referenzflächen“ aufgenommen. Aufgrund der Wetterverhältnisse wurden die Gebiete im Laufe des Projektes angepasst. SaM konzentrierte sich auf das Küstenvorfeld von Spiekeroog und den Übergang von der Aussen- zur Innenjade. Hierbei wurden hochauflösende Bathymetrie aufgenommen und Sedimentkartierungen aus der Basis von Bodenproben und Seitensichtsonaraufnahmen durchgeführt. Der detaillierte Zeitplan ergibt sich aus Tabelle 1.

Tab. 1: Zeitplan AufMod-G

Definition repräsentative Teilgebiete	OKT 2009 – NOV 2009
Prototyp Jahrestopographie	OKT 2009 – NOV 2009
Datenabgleich TP2	NOV 2009 – DEZ 2009
Datenaufbereitung (mit KoDiBa, ImTG)	JAN 2010 – JUN 2010
Ergänzende Messungen	APR 2010 – SEP 2010
Erstellung konsistente Tiefenverteilung	OKT 2010 – DEZ 2010
Fortsetzung Wattkartierung	JAN 2010 – SEP 2011
Datenerhebung auf Teilflächen	APR 2010 – JUN 2012
Prototyp Sedimentverteilung	OKT 2009 – NOV 2009
Datenaufbereitung	JAN 2010 – SEP 2010
Ergänzende Messungen	APR 2010 – SEP 2010
Erstellung konsistente Sedimentverteilung	OKT 2010 – DEZ 2010
Fortsetzung der Messzeitreihen Schwebstoffe und Sohlbeschaffenheit	JAN 2010 – SEP 2011
Fortsetzung Wattkartierung	JAN 2010 – SEP 2011
Aufbereitung Sonogramme	APR 2010 – DEZ 2010
Aufbereitung Zeitreihen	APR 2010 – JUN 2012
Datenerhebung Teilflächen	APR 2010 – JUN 2012
Auswertung Zeitreihen Schwebstoffe und Sohlbeschaffenheit	JAN 2010 – DEZ 2010
Auswertung der Teilflächen	APR 2010 – JUN 2012
Auswertung der sedimentologischen Zeitreihen	APR 2010 – JUN 2012
Erstellung Bodenklassifikationssystem	APR 2010 – DEZ 2010
Auswertung Schichtaufbau (Seismik)	JAN 2011 – DEZ 2011
Konzept für Sedimenttransport	APR 2012 – JUN 2012
Schnittstelle num. Modelle/Messungen	OKT 2009 – DEZ 2009
Nutzung KoDiBa, ImTG	OKT 2009 – DEZ 2009
Schnittstelle GIS	OKT 2009 – DEZ 2009
Export in DB	JAN 2011 – SEP 2011
Validierungsdaten num. Modelle	JAN 2011 – JUN 2012
Projektaufbau	OKT 2009 – DEZ 2009
Zwischen- und Endberichte	OKT 2010 – DEZ 2010, OKT 2011 – DEZ 2011, JUL 2012 – SEP 2012
Dokumentation & QM	OKT 2009 – SEP 2012
Abstimmung andere TP	OKT 2009 – SEP 2012

4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde, insbesondere

- **Angabe bekannter Konstruktionen. Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden,**
- **Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste**

Für die Bathymetrie der gesamten deutschen Bucht fehlt bisher ein konsistenter Datensatz, der für das Küsten- und Meeresingenieurwesen in ausreichender räumlicher und zeitlicher Auflösung darstellt. Für die Watten und Ästuarie liegen Datensätze zur Bathymetrie auf unterschiedlichen Zeitskalen und Genauigkeiten vor. Bathymetrische Daten der Wattfahrwasser (Baljen) und Seegatten sind in Form von topographischen Karten des BSH verfügbar und werden in regelmäßigen Abständen aktualisiert. Großräumige morphologische Änderungen über mehrere Jahrhunderte lassen sich aus historischen topographischen Karten ableiten, wobei Unterschiede in der vertikalen (bis 1 m) und lateralen (bis zu mehreren 100 m) Genauigkeit zu berücksichtigen sind.

Seit den dreißiger Jahren des letzten Jahrhunderts wurden in unregelmäßigen Abständen Luftbildbefliegungen und geographische Vermessungen durchgeführt. Seit Mitte der sechziger Jahre wird etwa alle 20 Jahre eine topographische Wattkarte im Maßstab 1:10.000 veröffentlicht. Insbesondere für die Fahrwasser der Ästuare gibt es umfangreiche Datensätze zur Bathymetrie vor dem Hintergrund der Sicherstellung der nautischen Solltiefe durch die WSA.

Auch für die Sedimente liegt z. Zt. kein konsistenter Datensatz für die gesamte Deutschen Bucht vor, der die Sedimentverhältnisse für das Küsten- und Meeresingenieurwesen in ausreichender räumlicher und zeitlicher Auflösung darstellt. Die Karte zur Sedimentverteilung in der Deutschen Bucht (Figge, 1981), die trotz ihres Alters immer noch das Seegebiet am umfassendsten abdeckt, ist vor allem zur dänischen Festlandsockel- bzw. AWZ-Grenze unvollständig. Insbesondere fehlen für die numerische Modellierung die erforderlichen Parameter in der flächenhaften Abdeckung.

Für einige Bereiche der Deutschen Bucht gibt z. B. Zeitreihen aus Bodenbeprobungen und hydroakustisch basierten Meeresbodenklassifizierungen (Bartholomä, 2006; Diesing et al., 2006), Daten zur Mächtigkeit der mobilen Decksande (Zeiler et al., 2000; Ricklefs & Asp, 2005) oder Abschätzungen zu Transportraten (z. B. Zeiler et al., 2004), die für die Festlegung von repräsentativen Teilflächen zur Erfassung der Meeresbodendynamik herangezogen werden können.

Informationen zur Oberflächensedimentverteilung in den Ästuaren sind bislang von unterschiedlichen Institutionen erhoben worden. Jüngste Untersuchungen in Weser und Ems mit akustischen Messgeräten und Probennahmen erfassten die Sedimentdynamik vor allem im Übergangsbereich Wassersäule und fester Sohle und haben aussagekräftige Zeitreihen hervorgebracht (Schrottke et al., 2005, 2006).

Die flächendeckende Erfassung des Meeresbodens erfolgt zunehmend mit hochauflösenden hydroakustischen Verfahren, bei denen synoptisch Bathymetrie, Sedimentbeschaffenheit und Sedimentaufbau des oberen Meeresbodens erfasst werden (Bartholomä, 2006; Schrottke, 2005, 2006; Zeiler et al., 2000). Es besteht die Möglichkeit, über die Techniken die Stabilität von Sedimentverteilungsmustern auf einer Zeitskala von mehreren Dekaden zu vergleichen und Veränderungen herauszuarbeiten (Diesing et al., 2006).

Referenzen:

- Bartholomä, A. (2006): Acoustic bottom detection and seabed classification in the German Bight. *Geo-Mar. Lett.*, 26, 177-184.
- Diesing, M., Kubicki, A., Winter, C., Schwarzer, K., 2006: Decadal scale stability of sorted bedforms, German Bight, southeastern North Sea. *Cont. Shelf Res.*, 26, 902-916.
- Ricklefs, K., Asp, N. (2005): Geology and morphodynamics of a low macrotidal environment along the German North Sea coast. *Die Küste*, 69, 93-127.
- Schrottke, K., Bartholomä, A., Becker, M. (2005): Bed mobility in the Weser estuary turbidity zone. *Hydro Int.*, 9, 27-29.
- Schrottke, K., Becker, M., Bartholomä, A. & Flemming, B. W., Hebbeln, D. (2006): Fluid Mud dynamics in the Weser estuary turbidity zone tracked by high-resolution side-scan sonar and parametric sub-bottom profiler. *Geo-Mar. Lett.*, 26, 185-198.
- Wille, P.C. (2005): Sound images of the ocean in research and monitoring. Springer, 471 S.
- Zeiler, M., Schulz-Ohlberg, J., Figge, K. (2000): Mobile sand deposits and shoreface sediment dynamics in the inner German Bight (North Sea). *Mar. Geol.*, 170, 363-380.
- Zeiler, M., Figge, K., Griewatsch, K., Diesing, M., Schwarzer, K. (2004): Regenerierung von Materialentnahmestellen in Nord- und Ostsee. *Die Küste*, 78, 67-98.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

In Zusammenhang mit dem KFKI Projekt zu langfristigen morphologischen Änderung der Küstenzone werden auf zwei zentralen Säulen die Arbeitsbereiche koordiniert. Während die BAW stärker die modellierende Gruppe organisiert, übernimmt das BSH die Zentralisierung von Daten und Ergebnissen aus der „Feldgruppe“. Über beide Einrichtungen erfolgt die Verschneidung und Verzahnung der Arbeiten im Gesamtverbund. Fallstudien und erste Modellläufe finden aber mit von Daten statt, die bereits im Vorstadium der Zentralisierung den einzelnen Arbeitsgruppen und im Rücklauf bewertet werden. Zusammen mit BSH, CAU und smile consult GmbH hat SaM dies zunächst für die einzelnen Gebiete, später mit den anderen Arbeitsgruppen über das Bodenmodell insgesamt umgesetzt.

II. Eingehende Darstellung

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen. mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Zusammen mit den beteiligten Institutionen BSH, CAU und smile consult GmbH konnte das Senckenberg Institut mit Hilfe eines mit einem kombinierten Methodenansatz zu den gemeinsamen Zielen beitragen:

Die Erstellung eines Bodenmodells „Deutsche Bucht“ mit abgestimmter Parametrisierung für die großräumige und Langzeit-Simulation der Morphodynamik: Auf der Basis von Seitensichtsonar- und Sedimentproben wurde die bei der BSH vorliegende „Figge-Karte“ in Teilen ergänzt, mit dichteren Bodendaten aktualisiert bzw. erneuert. Hierzu wurden „Standards“ für die zu erfassenden Daten bzw. ihrer Übertragung in den Datennetzwerk der BSH definiert.

Die Bereitstellung plausibilisierter „Gitter“-Datensätze zur Bathymetrie und Sedimentologie mit dokumentierter Qualität als Eingangsdatensatz für die numerische Modellierung: Mehrere hoch aufgelöste bathymetrische Datensätze aus dem Spiekerooger Küstenvorfeld sowie überarbeitete und selbst erfasste Bathymetrie-Datensätze in der Aussenjade sind in die Modellierung (AufMod C und AufMod D) eingeflossen bzw. wurden Interpretation der morphologischen Daten genutzt.

Mittels numerischer Modellergebnisse und geologisch/sedimentologischem Fachwissen Sedimentumlagerungen, Sedimenttransportwege und Transportraten großräumig zu beschreiben: Im Bereich Spiekeroog wurden die beobachteten Sedimentumlagerungen und Transportwege für verschiedene Energie-situationen durchgespielt (AufMod-D and E). Im Bereich der Aussenjade konnte die Konvergenz von tidengesteuerten Sohlformen in AufMod-C hydrodynamisch modelliert.

Die im wesentlichen Personalkosten bezogene Zuwendung gewährleistete die durchgängige Erfassung, Bearbeitung und der Interpretation der Daten. Die Sachmittel wurden entsprechend dem Antrag für Labor- und Feldarbeiten eingesetzt. Für den Austausch innerhalb der gesamten Arbeitsgruppe fanden zahlreiche Treffen überwiegend in Hamburg statt für die Dienstkosten erhoben wurden.

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

2.1 Personalmittel

1a) Die Höhe der abgerufenen Mittel für den Wissenschaftler (BAT IIa) wurde aufgrund der neuen Tarifbestimmungen angepasst, so dass am Ende ein Überschuss von 3.056,71 Euro besteht.

1b) Mittel für studentische Hilfskräfte konnten nicht in vollem Umfang eingesetzt werden, da ein Teil der geplanten Expeditionstage (vor allem für die Kehrbohrungen) aufgrund der Wetterbedingungen nicht genutzt werden konnten (15 Standby zu 69 Tagen insgesamt). Es verbleibt demnach ein Überschuss von 4.025,72 Euro

2) Die Sachmittel wurden entsprechend den Ausfahrten und Einsatzbedingungen sowie für die Laboranalysen eingesetzt. Da jedoch ein Teil der kostenintensiven Expeditionstage nicht genutzt werden konnte bleibt ein Überschuss von 5.542,57 Euro.

3) Dienstreisen ins Ausland zur Teilnahme an internationalen Konferenzen wurde weitestgehend ausgeschöpft. Aufgrund der unerwarteten Unterstützung kommerzieller Partner konnte ein Teil der Mittel eingespart werden. Für Inlandsdienstreisen reduzierte sich erwarteter Aufwand aufgrund der internen Organisation mit einem Fokus auf Hamburg. Dadurch viele mehrere Reisen zu den weiter adressierten Lokalitäten aus. Es verbleibt ein Überschuss von 4.551,19 Euro.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten ist allein durch den Mehraufwand der geleisteten Schiffsexpeditionstage abgedeckt. Neben den umfangreichen Datenerhebungen stehen am Ende drei wissenschaftliche Publikationen und öffentliche Nutzung aller gewonnenen und aufgearbeiteten im Netzwerk der BSH. Hierzu erfolgt eine detaillierte Beschreibung im Abschlussbericht des KFKI-Gesamtvorhabens.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Deutsche Bucht bzw. die AWZ Deutschland weist eine Reihe verschiedener Nutzungen aus. Das führt zu einer Reihe von Überscheidungen, die wiederum komplexe Auswirkungen auf die natürliche Abläufe der Sediment- und Morphodynamik haben. Welche Auswirkungen sich aus künstlichen Eingriffen in den Meeresboden (z.B. Offshore- Windparkanlagen) kombiniert mit natürlichen Veränderungen (Meeresspiegelanstieg) für den deutschen Küstenraum ergeben, helfen hochwertige Modelle und deren Szenarien zu beantworten. Die im Rahmen des Bodenmodells erfassten Daten und Interpretationen der Sedimenttransportwege können durch Integration langfristige Instrumente zur Entscheidungsfindung bei Nutzungsplanung in der BSH genutzt werden. Sie vervollständigen die Bewertungsmöglichkeiten zu standardisierten Bodenklassifizierungen, die bereits jetzt in Form einer „neuen Figge-Karte“ konsolidiert wird. Hierzu erfolgt eine detaillierte Beschreibung im Abschlussbericht des KFKI-Gesamtvorhabens.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die Ergebnisse dieses Projektes werden über die Schnittstelle BSH mit Datensätzen anderer Programme zusammengeführt und gegenseitig ausgetauscht. Hier sind laufende Programme wie WIMO, Kooperation seitens der BSH mit anderen Bundeseinrichtungen und in jüngster Zeit Programme im Rahmen von FONA zu nennen.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

Erfolgte:

Kubicki Adam, Bartholomä Alexander (2011): Sediment dynamics in the Jade tidal channel prior to port construction, southeastern North Sea, Journal of Coastal Research, SI 64, 771-775

Geplante:

Markert Edith, Kröncke Ingrid, Kubicki Adam: Does morphodynamics of shoreface-connected ridges off Spiekeroog influence macrofauna communities?

Kubicki Adam, Koesters Frank, Bartholomä Alexander

Can numerical model resolve complex migration pattern of subaqueous dunes? Jade tidal channel, southeastern North Sea

III. Dem Schlussbericht ist als Anlage ein kurzgefasster Erfolgskontrollbericht beizufügen, der nicht veröffentlicht wird. Dieser muss darstellen:

1. den Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, 2.6 des Förderprogramms - (ggf. unter Angabe des Schwerpunkts) - soweit dies möglich ist

Dieses Projekt leistet als ein Bestandteil der BSH-Kooperation und als Mitglied des KFKI-Verbundprojektes AufMod Beiträge zur Prognose der langfristigen morphologischen Veränderungen im Küstenraums.

2. das wissenschaftlich-technische Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen

2.1 Angaben und Ziel des Vorhabens

Die Art der verfügbaren Felddaten bestimmt die Güte der Eingangsparameter und der numerischen Modelle selbst, die sich mit der Hydrodynamik und Morphologie beschäftigen. Modelle mit großen Raumskalen benötigen große Datensätze und Zeitreihensimulationen benötigen kontinuierliche Zeitseriendaten für die Modell-Kalibrierung und -validierung sowie deren Weiterentwicklung. Während großskalige Modelle für den offenen Ozean ausreichend sind, können im Küstenbereich aufgrund der hohen Dynamik nur sehr hochauflösende Modelle genutzt werden.

Diese Verdichtung kann nur durch hoch aufgelöste Felddaten geschehen, die Erhebung dieser Daten ist jedoch zeit- und arbeitsintensiv. In Auf-Mod wird daher versucht, den Aufwand dadurch zu minimieren, indem die Untersuchungen auf ausgewählten Flächen durchgeführt werden, die für die einzelnen Energiezustandsbereiche repräsentativ sind und deren lokale Bedingungen wie Hydrographie und Seebodenbeschaffenheit bereits verstanden sind. Die entsprechenden Modelle können häufig lokal die jeweiligen Bedingungen gut reproduzieren, lassen sich aber nur unzureichend auf andere Faziesräume übertragen.

Ein zentraler Aspekt von TP1 ist daher die Bewertung lokal gültiger Modellparameter auf ihre Übertragbarkeit auf die gesamte Deutsche Bucht zu prüfen. Andererseits erlauben die Modelle dann Aussagen auf die großräumige und langzeitliche Veränderung der Morphodynamik in den lokalen Gebieten, welche dann auch für die Ausrichtung weitergehende Untersuchungen heran gezogen werden

Senckenberg am Meer in Wilhelmshaven bearbeitet im Rahmen des Teilprojektes AufMod G die Gebiete im Bereich der ostfriesischen Inseln, insbesondere um die Insel Spiekeroog mit ihren küstengebundenen Zungenriffen und das Gebiet bei Minsener Oog im Bereich der Außen-Jade, das sich mit subaquatischen Dünen beschäftigt (Abb.1). Die für diese Gebiete generierten digitalen Geländemodelle basieren auf dem Vergleich neuerer, selbst durchgeführter, hoch auflösender Fächerlot-Tiefenmessungen kombiniert mit

älteren Einstrahl-Echolotvermessungen vorher gehender Projekte. Anhand der Veränderungen werden Sedimentbilanzen, Transportrichtungen und deren Dynamik ermittelt. Dazu flossen zusätzlich flächendeckende Seiten-Sichtsonar-Messungen und Sedimentprobendaten ein, die die räumliche Sedimentverteilung in den Gebieten wiedergeben. Die Karte zur Verteilung der Oberflächensedimente veranschaulicht die Menge an mobilisierbaren Sedimentflächen. Für die Ermittlung des potentiell verfügbaren Gesamtsedimentvolumens im Küstenvorfeld bis hin zur Pleistozän-/Holozän-Grenze fehlen noch die Daten aus flachseismischen Vermessungen und deren Kalibrierung durch entsprechende Kernbohrungen.

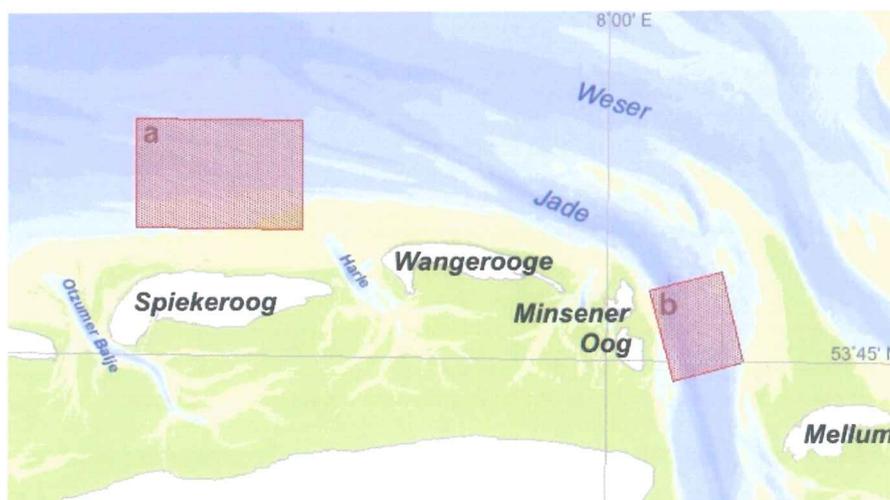


Abb.1. Lage der Untersuchungsgebiete von AufMod G a) Küstenvorfeld Spiekeroog und b) Minsener Oog.

2.2 Methodik und Geräte

Für die flächenhafte Aufnahme der Tiefe wurde das Reson SeaBat 8125 Fächerecholot (MBES) mit einer Arbeitsfrequenz von 455 kHz eingesetzt. Die Georeferenzierung erfolgte mit Hilfe des Aquarius 5002 Long Range Kinematic GPS, was eine Genauigkeit in allen Raumachsen von besser als 0.05m erlaubt. Die Abtastbreite des Sonarfächers beträgt das 3.5-fache der Wassertiefe.

In Ergänzung dazu wurde das Benthos SIS-1624 Seitensichtsonar (SSS) mit zwei Abtastfrequenzen von 123 kHz und 382 kHz mit einer Auflösung quer und längs der Fahrtrichtung von besser als 0.1 m eingesetzt. Die Abtastbreite des SSS betrug insgesamt 200 Meter, womit im Gegensatz zum MBES eine komplette Erfassung der Untersuchungsflächen möglich wurde.

Für das "Ground truth" wurden Bodenproben mit dem Shipek- und dem Van Veen Greifer genommen. Die Proben wurden granulometrisch aufbereitet, die Kiesfraktion mechanisch gesiebt, die Sandfraktion mit der MacroGranometer Sinkgeschwindigkeitsröhre und die Schlickfraktion mit dem Sedigraphen analysiert. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Viertel_phi-Schritten.

Als Subbottom-Profiler arbeitete das SES-2000 mit einer Frequenz von 94-110 kHz mit einer maximalen Eindringung von 5 m – 10 m. Die verwendeten Systeme wurden in sehr ähnlicher Konfiguration von allen anderen AufMod-Partnern eingesetzt, so dass eine gleichbleibende Qualität und Auflösung sichergestellt ist.

Insgesamt wurden 11 Expeditionen zu den beiden Untersuchungsgebieten Spiekeroog und Minsener Oog zwischen dem 8. Februar und dem 27. April 2012 durchgeführt (siehe Tabelle 2). Neben zahlreichen hydroakustischen Messungen (s. Tabelle 2) wurden 145 Sedimentproben genommen, die durch ältere Daten auf insgesamt 941 Stück ergänzt wurden. Zu den eigenen akustischen Daten wurden zwei ältere Fächerecholot-Befahrungen vor Spiekeroog und 37 Befahrungen durch das WSA WHV querab Minsener Oog zur Beurteilung der morphologischen Veränderungen hinzugezogen.

Tab.2. Übersicht über die Messkampagnen im AufMod-G Projekt.

Jahr	Datum	Gebiet	Messtage	Stand-by Tage	Tage gesamt	Seiten-Sicht Sonar transekt-längen	Fächerlot-transekt-längen	Anzahl Sediment-proben	Seismik-transekt-längen
2010	08 - 18 FEB	Minsener Oog	4	7	11	~ 30 km	~ 70 km	36	-
2010	01 - 05 MAR	Spiekeroog Minsener Oog	4	1	5	~ 85 km ~ 10 km	~ 85 km ~ 10 km	-	-
2010	27 SEP - 01 OCT	Spiekeroog	4	1	5	~ 45 km	~ 110 km	27	-
2010	18 - 27 OCT	Minsener Oog	8	2	10	~ 85 km	~ 220 km	51	-
2011	18 - 21 APR	Minsener Oog	4	0	4	~ 75 km	~ 180 km	31	-
2011	14 - 16 JUN	Spiekeroog Minsener Oog	3	0	3	~ 105 km -	~ 130 km ~ 25 km	-	-
2011	16 - 24 AUG	Ostfriesische Inseln	6	1	7	-	-	-	~ 285 km
2011	26 SEP - 07 OCT	Minsener Oog	7	3	10	~ 80 km	~ 140 km	-	-
2012	26 - 30 MAR	Spiekeroog	5	0	5	~ 185 km	~ 185 km	-	-
2012	02 - 05 APR	Spiekeroog Minsener Oog	4	0	4	- ~ 70 km	~ 50 km ~ 125 km	-	-
2012	23 - 27 APR	Spiekeroog	5	0	5	~ 180 km	~ 120 km	-	-
			54	15	69	~ 950 km	~ 1450 km	145	~ 285 km

2.3 Wissenschaftliche und technische Ergebnisse

2.3.1 Zungenriffe vor der Insel Spiekeroog

Zwei hoch aufgelöste bathymetrische Vermessungen wurden 2003 bzw. 2007 auf den Zungenriffen vor den Insel Spiekeroog in einer Wassertiefe von 9 m bis 20 m unter N.N. durchgeführt. Die Riffe streichen in NNW-SSE (280° bis 297°).

Die beiden nördlichen Riffe haben eine Gesamtlänge von 30 km und sind etwa 1 km breit und enden im Seegatt der Harle. Die Profilquerschnitte durch die Riffe weisen ein asymmetrisches Profil auf, wobei das seewärts etwas steiler (0,7°) und landwärts etwas flacher (0,4°) einfällt.

Die südlichen Riffe sind einige Kilometer (max. bis zu 10 km) lang und einige hundert Meter breit und enden mit ihrem südlichen Ende direkt im Küstenvorfeld von Spiekeroog. Während die bathymetrischen Daten beider älteren Vermessungen für die kleineren Riffe eine deutliche Verlagerung nach Osten ausweisen, bleiben die große Riffe davon unberührt, was auf ein sehr stabiles hydrodynamisches Gleichgewicht schliessen lässt (Abb. 1). Die Daten aus AufMod (G) bestätigen die Umlagerung der

kleinen Riffe mit 20 m pro Jahr, während sich die grossen Riffe leicht nach Norden verlagert haben (Abb. 2). Die hoch aufgelöste Zeitserie ergab eine Verlagerungsrate von 5m pro Jahr, mit dem sich das Sediment über die großen Riffe bewegt (Abb. 2).

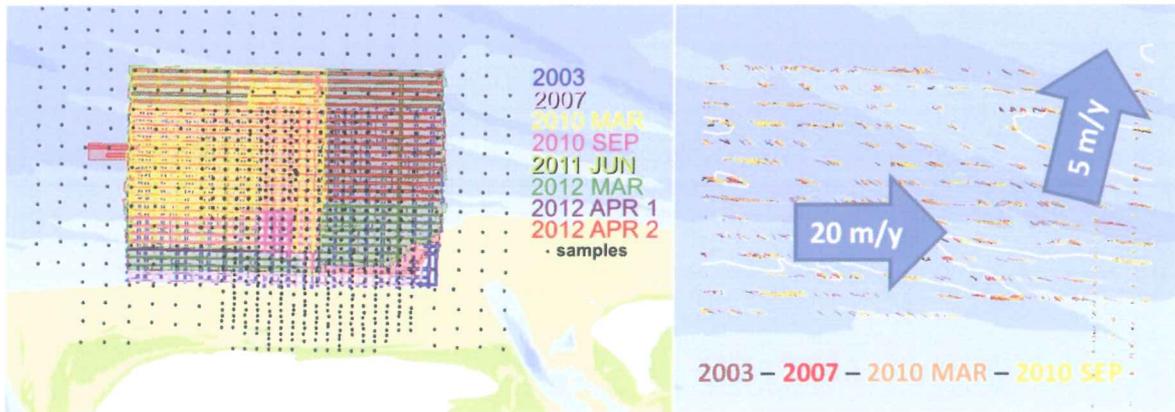


Abb. 2. Verfügbare Datensätze aus der Zeit vor und während AufMod-G.

Abb. 3. Vergleich der Bathymetrie von 2003 und 2010 inkl. Änderungsvektoren

Der Prozess der Riffumlagerung ist sehr komplex im Hinblick des anstehenden Geschiebmergels an der Basis als Reliktsediment. Er enthält weniger erodierbares aber gröberes Sediment im Vergleich zum auflagernden, feineren Holozän, Die Karte zur Verteilung der Oberflächensedimente als Interpretation aus den Sichtsichtsonar (SSS)-Daten zeigt einen küstennormalen Trend in der Korngrößenzusammensetzung (Abb. 4). Die kleinen Zungenriffe bestehen überwiegend aus Feinsand mit wenig Grobsand. Der obere „Shoreface“ von Spiekeroog besteht bis in die Rinnen hinein aus feinem Sand, die Rinnensohle dagegen besteht aus Schlack. Die tiefer liegenden land-wärtigen Bereiche der inneren Zungenriffe bestehen aus Mittel- bis Grobsand mit wenigen, einige Zentimeter große Geröllen, die sich gut im Rückstreusignal des Seitensichtsonars darstellen. Die höher liegenden, landwärtigen Bereiche bis hin zur Riffkrone sind durch Mittelsand charakterisiert. Die seewärtige Flanke der inneren Riffe ist mit Mittel- bis Feinsand bis hinunter an die Riffsohle bedeckt. Auch hier finden sich teilweise dünne Schlackauflagen.

Die landwärtigen Bereiche der äußeren (seewärtigen) Riffe ähneln in den Sedimenten den inneren Riffe. Auch hier bestehen die unteren Teile der Flanken überwiegend aus Grobsand mit eingeschalteten Geröllen und Mittel- bis Feinsanden während die Riffkrone von Mittelsand dominiert ist. An den äußeren Flanken nimmt die Korngröße von Mittelsand an der Krone bis zu Feinsand an der Rinnenbasis ab. Innerhalb von zwei Jahren (März 2010 bis April 2012) zeigen sich nur geringfügige Veränderungen in der generellen Verteilung der Sedimente, was auf stabile hydraulische Bedingungen hinweist. Die seismischen Daten belegen die enge Abhängigkeit von Oberflächensedimenten und Untergrund. Die groben Fraktionen in den tiefer liegenden Bereichen der land-wärtigen Flanken der äußeren Riffe lassen anstehenden Geschiebmergel als harten Reflektor in der Seismik erkennen, auf dem eine bis zu 3 m mächtige, bewegliche Sandlage liegt (Abb. 5).

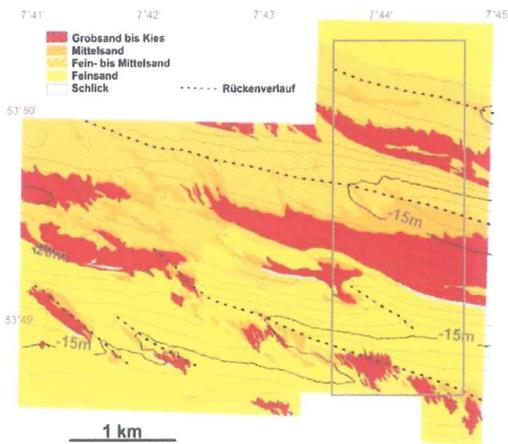


Abb. 4. Sedimentkarte 2010 der Zungenriffe seewärts der Insel Spiekeroog aus der Basis von Seitensichtsonardaten.

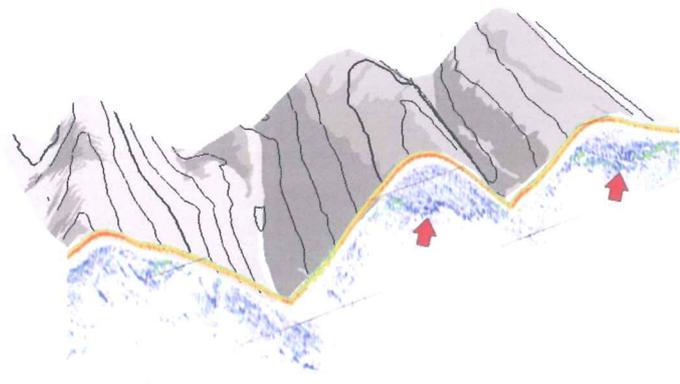


Abb. 5. Flachseismische Profil kombiniert mit Sedimentauflage bis zu einer Mächtigkeit von 3m (Lokalität siehe Rechteck Abb. 4).

Der Vergleich der Bathymetrie von 2003 zu 2010 ergibt eine Erosionsrate von 0,3 m an den landwärtigen Flanken in einem Zeitraum über acht Jahre, ein Betrag, um den auf den seewärtigen Flanken akkumuliert wurde. Dies dokumentiert sich auch in einer zunehmenden seewärts gerichteten Asymmetrie der Riffe. Die Erosion ist das Produkt eines längerfristigen Sortierungs- und Abreicherungsprozesses von feinkörnigem Material (= Verlust). Volumetrisch betrachtet sind Grobsedimentflächen mehr durch Erosion (Volumenverlust) gekennzeichnet, während Flächen mit akkumulierten feineren Sedimenten von der Erosion profitieren (Abb. 6).

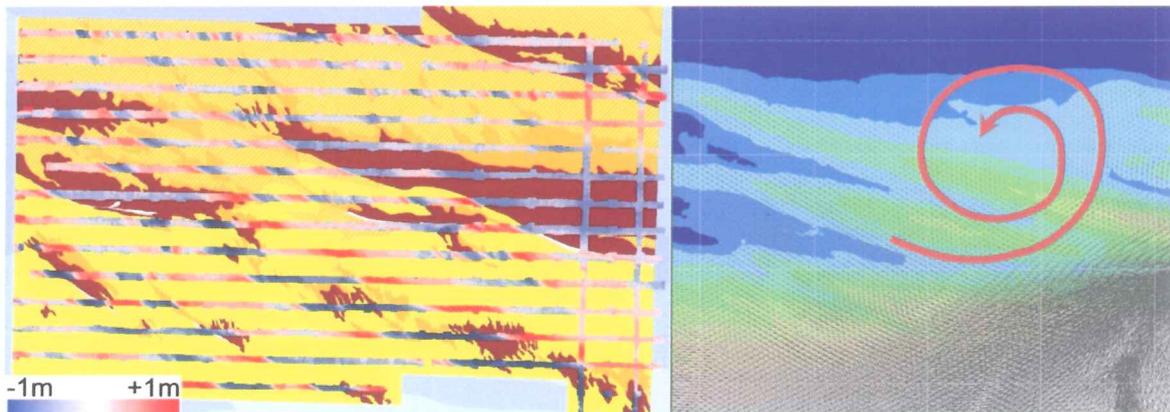


Abb. 6. Sedimentverteilung vor Spiekeroog (Sedimenttypen Abb. 4) mit überlagerten Transekten von Erosion (blau) und Akkumulation (rot) auf der Basis der Volumenbilanz zwischen 2003 und 2010.

Abb. 7. Vektoren des bodennahen Sedimenttransports, basierend auf einer Gezeiten-getriebenen Simulation über ein Jahr (von AufMod-D zu Verfügung gestellt) - Die rote Spirale weist auf einen in Zellen organisierten Transport hin, der bisher im wieder zitierte Küstenlängstransport lässt sich aufgrund der gewonnenen Ergebnisse ausschließen und wird vom Modell "bestätigt"

Der Langzeitvergleich von 2003 zu den Arbeiten in AufMod-G liefert aussagekräftige Ergebnisse, die Langzeitmorphodynamik und Hydrographie mindestens auf halbdekadischer Zeitachse besser verstehen lassen. Kurzfristige Veränderungen hingegen konnten für die großen Zungenriffe bezogen auf systembedingte Auflösung von 5 Höhenzentimeter nicht nachgewiesen werden. Daher wurde in den Modellläufen aus AufMod-D nur Augenmerk auf die Langzeitveränderungen belegt. Ein rein Gezeiten getriebenes Modell mit einem Jahr Laufzeit wurde auf die bestehenden Bathymetriedaten aufgesetzt. Die Ergebnisse des mehr in Zellen angelegten Transportweges (Abb. 7) deckt sich mit anderen Untersuchungen aus dem seewärtigen Seegatt der Otzumer Balje.

Da sich keine eindeutigen Tagestrends im Transport ausweisen lassen, gehen wir davon aus, dass die großen Verlagerungen rein Wind angetrieben sind. Dazu wurden Einzelereignisse in Form von Stürmen in ihrer Auswirkung untersucht. Vergleiche bathymetrischer Daten vom 25.03. bis 30.05.2012, 2. bis 4. April 2012 (vor Sturm) und 23. bis 27. April 2012 (nach Sturm) zeigen räumliche Tiefenänderungen ± 15 cm (Abb. 8). Unter Berücksichtigung von Messungenauigkeiten zeigte sich Erosion von Sediment im tieferen nördlichen Küstenvorfeld, das vermutlich im flacheren Teil akkumuliert wurde. Generell zeigen die Zungenriffe Erosion an den landwärtigen Flanken, abgelagert wird nur auf den Riffkronen und an den seewärtigen Flanken. Generell fand der Export in Flutstromrichtung nach Osten hin statt (Abb. 9).



Abb. 8. Einfluss von Einzelereignissen (am Beispiel 31.03.2012) auf die Morphologie der Zungenriffe im Seitensichtsonarbild – überlagert sind Volumendifferenzen (Erosion in blau, Akkumulation in Rot).

Abb. 9. Sedimentbilanz über einen 6-Monats-Zeitraum (03-09/2010) am Beispiel eines Querprofils – Auf Länge von 3 km mit einer Breite von 1 m wurden in einem halben Jahr 195 m³ Volumen in östliche Richtung exportiert.

2.3.2 Dünenfeld bei Minsener Oog

Der nördliche Teil der Innenjade querab Minsener Oog wurde das erste Mal im Februar 2010 untersucht. In diesem Gebiet kommen subaquatischen Dünen mit einer Länge von bis 450 m und einer Höhe von bis 7,2 m vor. Auf diese großen Dünen sitzen Felder von kleinen Dünen bis hin zu großen Rippeln (Abb. 10a). Die Sedimente der großen Dünen bestehen aus Mittelsand an der Dünenbasis und aus Grobsand im

Bereich der Dünenkrone (Abb. 10b). Das Dünenfeld füllt fast die gesamte Jaderinne aus, nur im Westteil gibt es fein-körnige strukturarme Bereiche sowie Hartgründe am südöstlichen Ende der Fahrtrinne. Kleine bis mittelgroße Sohlformen kennzeichnen den südwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes, sie bestehen aus Feinsand und zeigen eine deutliche Ausgrenzung der einzelnen Sohlformgenerationen. Generell ist das Dünenfeld ebb-orientiert, nur im Westteil gibt es flut-orientierte Formen (Abb. 10c).

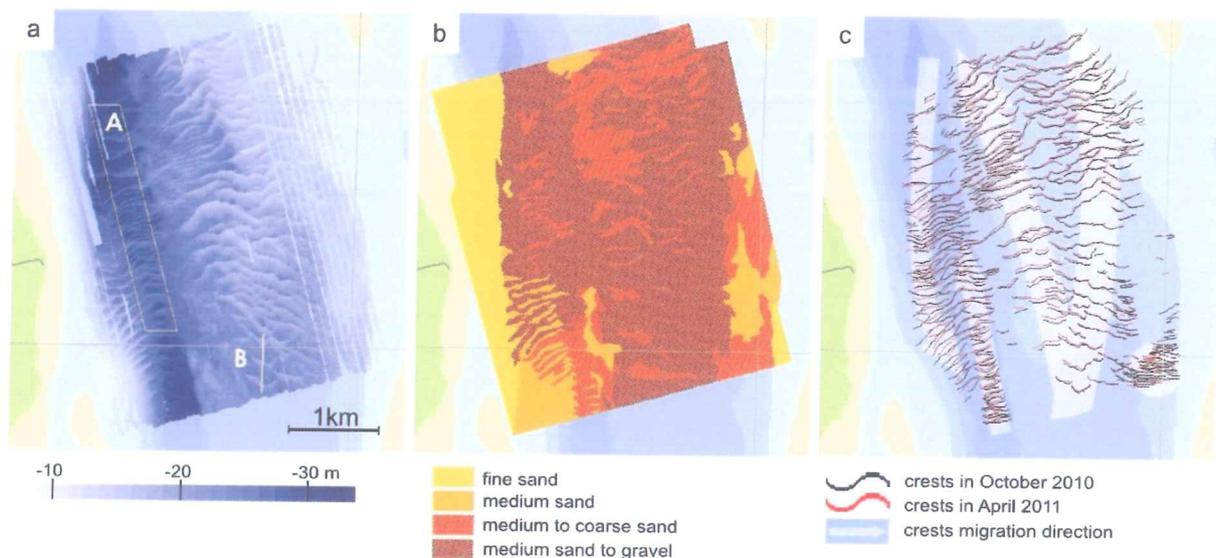


Abb.10. Untersuchungsgebiet Minsener Oog a) Bathymetrie ; b) Sedimentverteilung ; c) Verlagerung der Sohlformen auf der Basis der in der Bathymetrie ausgewiesenen Dünenkronen über einen Zeitraum von sechs Monaten.

Eine zweite bathymetrische Aufnahme drei Wochen später (Anfang März 2010) erlaubt einen Zeitscheibenvergleich der Morphologie. Danach bewegen sich die ebbdominierten Dünen etwa 5 m pro Monat seewärts, die flutdominierten hingegen 15 m pro Monat jadeeinwärts, im weltweiten Vergleich also ein sehr dynamisches System. Um das Gebiet besser interpretieren zu können, wurde es für die nächsten drei Vermessungen nach Nordosten hin ausgedehnt (Abb. 11).

Damit wurden die Sedimenttransportwege besser sichtbar, vermutete Zirkulationspfade konnten jedoch nicht nachgewiesen werden (Abb. 10c). Jedoch erlaubte die Erweiterung des Untersuchungsgebietes die Ausweisung einer klar erkennbaren Konvergenzzone zwischen beiden Strömungsregimen, die zufälligerweise im tiefsten Teil der Jaderinne im Bereich des Fahrwassers liegt (Abb. 12). Das Fahrwasser wird monatlich vom WSA-WHV im Hinblick auf die Navigationstiefen überprüft. Dieser Sachverhalt ergab bei einer Recherche im Archiv des WSA eine Zeitserie verfügbarer Bathymetrien von 01/2006 bis 10/2010.

Mit einem Atlas Fan-Sweep 200 Fächerecholot wurden insgesamt 37 hoch aufgelöste Vermessungen durchgeführt. Über diesen Zeitraum zeigen die Sohlformen sehr konstante Wanderungsraten und erscheinen unabhängig von Extremereignissen, was insgesamt auf einen rein Gezeiten getriebenen Transportprozess hinweist. Die oben angeführte Konvergenz zwischen beiden Regimen ist ebenfalls gut abgebildet (Abb. 12). Es erweckt den Eindruck, dass Sand von beiden Richtungen auf den

Konvergenzmittelpunkt hin bewegt wird, jedoch zeigen die dort symmetrisch angelegten Sohlformen keinerlei räumliche Verlagerung oder Erhöhung (Abb. 12). Die wirkende Hydrodynamik in diesem Bereich wird offenkundig nicht der Sohlformgestaltung abgebildet, nur umfangreiche Messungen zeitgleich an mehreren Stellen im Gebiet könnten Aufschluss darüber geben. Da dies nicht realisierbar ist, wurde versucht, mit Hilfe von Modellen aus AufMod-C diese Frage zu beantworten. Über zwei „Schönwetter“-Wochen – gemittelte Wellen und Stromwerte wurden in Form von Vektoren dargestellt (Abb. 13).

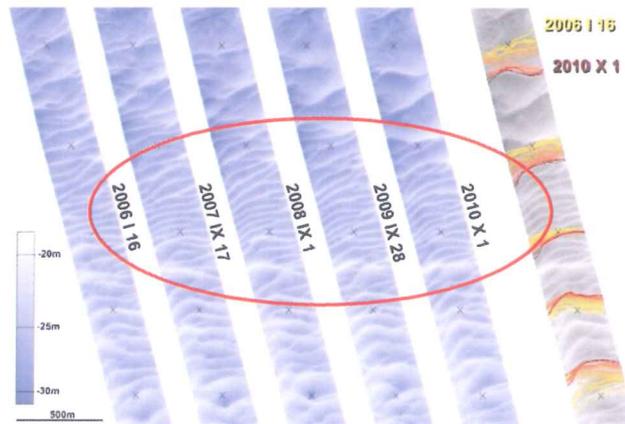
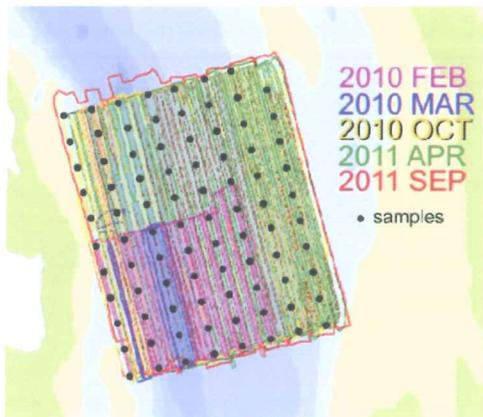


Abb.11. Erweitertes Untersuchungsgebiet bei Minser Oog in AufMod-G .

Abb.12. Konvergenz-Zone (Zentralbereich Mitte rot gerahmt) von ebb- und flutdominierten Sohlformen auf der Basis von 37 bathymetrischer Zeitserien von Januar 2006 bis Oktober 2010 – am Beispiel von fünf ausgewählten Transekten (s. Abb. 10 a – Gebiet A) mit ausgewählten Dünen (ganz rechts).

Die Vektoren zeigen insgesamt einen deutlich seewärts gerichteten ebb-orientierten Transportweg. Die im westlichen Teil auftretenden, gegenläufigen Verwirbelungen wirken dem entgegen und bewegen sich in einer der Zahl Acht ähnlichen Zirkulationsstruktur. Im Zentrum der Acht flankiert ein Teil des transportierten Materials den Zentralbereich der Konvergenzzone, was dort die stabile Dünenhöhe und die ausgeglichene Sedimentbilanz erklärt. Die dieser Grundlage durchgeführten Sedimentbilanzen werden am Beispiel von Rinnenquerschnitten dargestellt (Abb. 14). Ähnlich den Spiekeroog-Daten wurde eine Zeitscheibe von sechs Monaten gewählt, zu der ebb- und flut-relevante Anteile der Sedimentumlagerung kalkuliert wurden. In der Jaderinne liegt der Betrag 20 mal höher im Vergleich zu den Zungenriffen vor Spiekeroog. Da die Basis der Jaderinne in diesem Bereich durch harte, schwer erodierbare, pleistozäne Geschiebemergel charakterisiert ist, kann die Existenz dieser Sohlformen nur durch andere Sedimentquellen erklärt werden. Ein wesentlicher Punkt hierfür ist Erhaltungsaggerei mit ihrer Verklappstellen in der unmittelbaren Umgebung des Untersuchungsgebietes. Nur wenige hundert Meter östlich liegt die Verklappstelle „Mellumplate“.

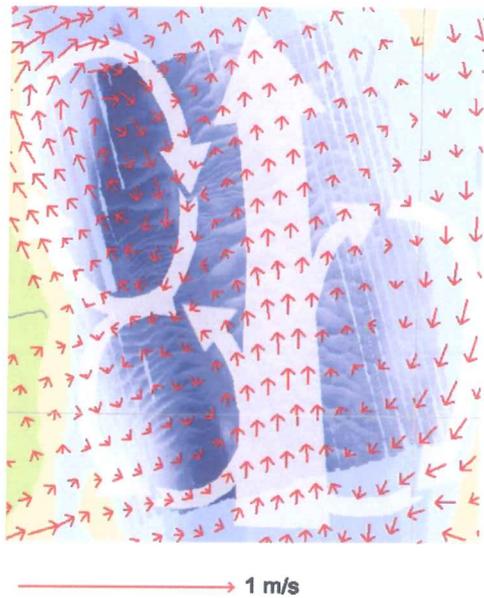


Abb.13. Vektoren des Reststromes einer Zwei-Wochen Simulation mit Wind-/ Wellenantrieb im Untersuchungsgebiet (zur Verfügung gestellt von AufMod-C) – Die weissen Pfeile zeigen die rotierende Bewegung am Westrand, die für die stabilen Verhältnisse in der Konvergenzzone verantwortlich ist.

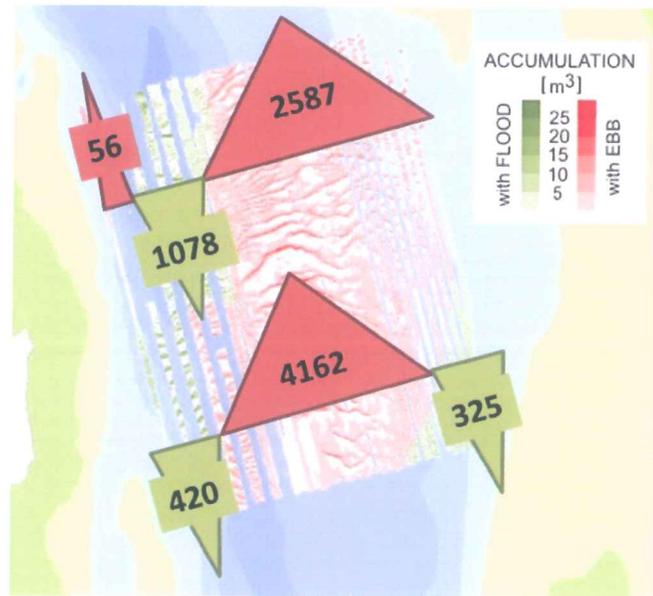


Abb.14. Sedimentbilanz über einen 6-Monats-Zeitraum (10/2010 bis 04/2011) am Beispiel von zwei Rinnenquerschnitten. Auf Länge von 3 km mit einer Breite von 1 m wurden in einem halben Jahr ca. 7000 m³ ebbstrom-exportiert, in Flutstromrichtung dagegen nur ca. 2000 m³ (bezogen auf die zwei Rinnenquerschnitte).

Hier wurden laut WSA-WHV mehr als 11 Millionen Kubikmeter Material zwischen 1994 und 2001 verklappt, die eine Entwicklung von Dünen erst möglich machten. Diese Hypothese wird durch die vorliegenden Bodenproben gestützt. Mehrfach wurden in den Greifern an der Basis der Dünen konsolidierte, sehr harte Tone gefunden, die auch durch starke Reflektoren in der Flachseismik belegt werden (Abb. 15).

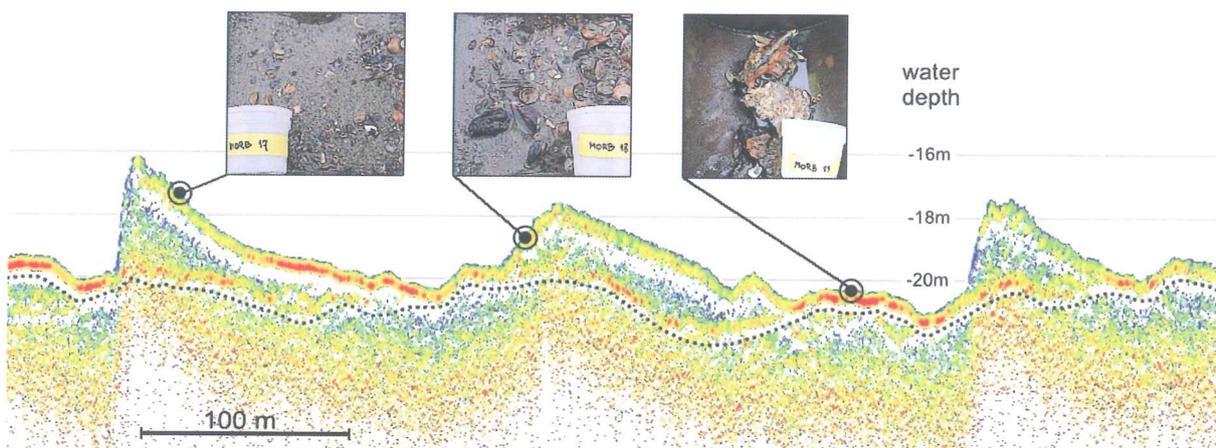


Abb.15. Flachseismik-Aufzeichnung von drei Dünen mit Greiferproben von drei Stationen (s. Abb. 10a Transekt B). Der rechte Greifer zeigt eine typische Hartgrundprobe innerhalb der Dünen, der sich als roter Reflektor in der Seismik wiederfindet.

3. die Fortschreibung des Verwertungsplans. Diese soll, soweit im Einzelfall zutreffend, Angaben zu folgenden Punkten enthalten (Geschäftsgeheimnisse des Zuwendungsempfängers brauchen nicht offenbart zu werden)

- **Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung. (Lizenzen u.a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten**

- **Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - 2.6. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt)**

-

- **Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - u.a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (2.6. für öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u.a. einzubeziehen**

Im Rahmen mit der Verbundstruktur von BSH und BAW können die gewonnen Ergebnisse auch über das Ende der Vorhaben hinaus Verwendung finden. Speziell der Teil des Bodenmodells wird durch Speisung auch aus anderen Programmen immens an Bedeutung für Verfahrensdurchführung zur Offshore-Nutzungen haben und Eingang in zukünftige Standards bzw. Leitfäden zur Genehmigung sind eine potentielles Feld.

- **Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse**

Hierzu erfolgt eine detaillierte Beschreibung im Abschlussbericht des KFKI-Gesamtvorhabens

4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer - 2.6. Anwenderkonferenzen (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt)

6. die Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung