Zur zeitlichen Variabilität der Sedimentverteilung in den Gezeitenrinnen Piep und Hever

Klaus Ricklefs, Daniela Arp und Maria Stage

Zusammenfassung

Als Teil des interdisziplinären Forschungsprojekts AufMod wurden die subtidalen Abschnitte der Gezeitenrinnen Piep (Dithmarscher Wattenmeer) und Hever (Nordfriesisches Wattenmeer) im Hinblick auf die Verbreitung und Zusammensetzung der oberflächennahen Sedimente untersucht. Hierzu kamen in erster Linie hochauflösende Sonartechniken zum Einsatz. Diese Messergebnisse wurden durch granulometrische Daten von an ausgesuchten Lokationen entnommener Sedimentproben ergänzt. Die erarbeiteten Sedimentverteilungsmuster wurden im Hinblick auf raum-zeitliche Veränderungen mit den älteren Kartenwerken oder den Ergebnissen älterer, weniger umfangreicher Sedimentuntersuchungen verglichen. Dabei zeigte sich, dass ein derartiger Vergleich möglich ist, aber wegen der sehr unterschiedlichen Datendichten der verschiedenen Untersuchungen auf einem relativ groben, generalisierenden Maßstab erfolgen muss. Unter dieser Voraussetzung wird die Sedimentverteilung in den betrachteten Gezeitenrinnen als relativ stabil über die letzten acht Dekaden hinweg angesehen. Zwar sind Veränderungen sichtbar, diese beziehen sich aber in erster Linie auf die Sedimenttypen, die bei allen Untersuchungen in einem bestimmten Teilbetrachtungsraum vorgekommen sind. Merkliche Verlagerungen typischer, größerräumiger Sedimentprovinzen treten dagegen nicht auf.

Schlagwörter

Nordsee, Wattenmeer, Gezeitenrinne, Piep, Hever, Sedimentverteilung, Sedimentzusammensetzung

Summary

As part of the interdisciplinary research project AufMod the subtidal areas of the tidal channels Piep (Wadden Sea of Dithmarchen) and Hever (Wadden Sea of North Frisia) were investigated in terms of composition and distribution of near surface sediments. This was mainly done be using high resolution sonar techniques. The outcomes of these measurements were complemented by granulometric data from samples taken at selected sites. To detect spatio-temporal variations the developed sediment distribution patterns were compared with older cartographies and the results of older, less comprehensive sedimentological investigations. It turned out that such a comparison is possible but due to the very different data densities of the considered investigations has to be carried out on a coarse and generalising scale. On this understanding the sediment distributions in the investigated tidal channels are considered to be relatively stable over the last eight decades. Although variations of the sediment distribution patterns are visible these predominantly refer to those sediment types that have been present at all considered periods in the specific observation area. In contrast distinct displacements of typical, spacious sediment provinces cannot be detected.

Keywords

North Sea, Wadden Sea, tidal channel, Piep, Hever, sediment distribution, sediment composition

Inhalt

1		Einleitung	. 78
2		Material und Methoden	. 81
3		Ergebnisse	. 84
	3.1	Piep-Rinnen	. 84
	3.2	Hever-Rinnen	. 90
4		Diskussion	. 96
5		Schlussbetrachtung	100
6		Schriftenverzeichnis	100

1 Einleitung

Innerhalb des Sedimentationsraumes der Deutschen Bucht stellt das Wattenmeer als Übergangsbereich zwischen der offenen Nordsee und dem Festland den Bereich mit den ausgeprägtesten morphologischen Umgestaltungsvorgängen dar. Weitgehend aus geologisch jungen Lockersedimenten aufgebaut, reagiert der durch Platen und Rinnen topografisch strukturierte Sedimentkörper der Watten zum einen auf natürliche Prozesse wie dem langfristigen Anstieg des Meeresspiegels, dekadischen Variationen der hydrodynamischen Verhältnisse (OOST et al. 1993) oder auch auf singuläre Ereignisse wie Stürme oder Sturmfluten (RUNTE 1994; HERRLING and WINTER 2013). Zum anderen tragen auch anthropogene Einflussnahmen wie Modifikationen der Abflussverhältnisse oder Eindeichungsmaßnahmen zur Veränderung der Wattmorphologie bei. Bei den drei für morphologische Umgestaltungsvorgänge im Wattenmeer essentiellen Abläufen Mobilisierung, Transport und Ablagerung von klastischem Material kann es zu einer Fraktionierung der bewegten Korngemische kommen. Die sich daraus ergebenden räumlichen Verteilungsmuster der Ablagerungen zeichnen in vielen Fällen anschaulich ein Bild der Energieniveaus innerhalb des Sedimentationsraumes nach. Der Vergleich zu unterschiedlichen Zeiten im gleichen Gebiet erfasster Sedimentverteilungsmuster erlaubt somit Rückschlüsse auf sedimentologische, hydrologische und in Grenzen auch morphologische Entwicklungstendenzen innerhalb des betrachteten Raumes.

Unter anderem vor diesem Hintergrund, aber auch zur Entwicklung einer detaillierten Zustandsbeschreibung als Datenbasis für hoch aufgelöste numerische Simulationsmodelle, sind im Rahmen des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen 03KIS087) geförderten Verbundforschungsprojektes AufMod die sublitoralen Sedimentverteilungsmuster in den Gezeitenrinnen Norderhever (Nordfriesisches Wattenmeer) und Piep (Dithmarscher Wattenmeer) untersucht worden. Ergänzt werden die in AufMod gesammelten Daten durch die Ergebnisse einer sedimentologischen Kartierung der Gebiete Süderhever/Heverstrom, die im Rahmen eines vom Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (LKN) finanzierten Vorhabens erarbeitet wurden. Die drei Wattströme werden, wie nachfolgend näher erläutert, als in verschiedenen Aspekten vergleichbar und als charakteristisch für die jeweiligen Wattgebiete angesehen.

Grob umrissen (Abb. 1) nimmt das Subtidal des Rinnensystems der Piep (Norderund Süderpiep, zentrale Piep sowie die Priele der inneren Meldorfer Bucht wie Kronenloch und Sommerkoogsteertloch) unterhalb der Bezugsebene LAT (lowest astronomical tide) eine Fläche von rund 60 km² ein. Die maximalen Wassertiefen unter LAT liegen bei 18 m. So wie es in Abb. 1 abgegrenzt ist, hat das Subtidal in der Norderhever eine Fläche von 80,3 km². Die größten Wassertiefen betragen etwa 25 m. Wie in Abb. 1 umrissen, weist der Heverstrom eine Subtidalfläche von 44,8 km² auf. Die größten vorgefundenen Wassertiefen betragen rund 28 m. In allen drei Wattströmen liegt der mittlere Tidenhub bei etwa 3,2 m.

Sowohl das Dithmarscher als auch das Nordfriesische Wattenmeer unterliegen verschiedenen morphologischen Umgestaltungsvorgängen (ZEILER et al. 2008). Zu nennen sind in diesem Zusammenhang z. B. die beobachtete landwärts gerichtete Migration der seewärtigsten morphologischen Elemente wie Außensände (WIELAND 1972; TAUBERT 1986; HOFSTEDE 1999) oder exponierter Sandbänke (RICKLEFS et al. 2005), die als Reaktion auf einen steigenden Meeresspiegel gewertet werden. Darüber hinaus kommt es in den Tidebecken der Wattströme zu signifikanten Verlagerungen von Rinnen und Platen (WIELAND 1984; HIGELKE 1988, RICKLEFS and ASP NETO 2005; VAN RIESEN und WINSKOWSKY 2007). Diese laufen auf unterschiedlichsten Zeitskalen ab und können daher verschiedenste Ursachen haben.

Neben natürlichen Prozessen spielen in diesem Zusammenhang auch menschliche Eingriffe in den Naturraum eine bedeutende Rolle. So verringerte sich beispielsweise durch die Eindeichung der inneren Meldorfer Bucht (Dithmarschen) in den 1970er Jahren die Größe der vom Meer beeinflussten Flächen um etwa 30 km². Durch die 1987 erfolgte Vordeichung der Hattstedter Marsch (Nordstrander Bucht) verlor das Tidebecken der Norderhever 33,5 km² an Fläche (Sub-, Inter- und Supratidal). Die zuletzt genannte Maßnahme bewirkte eine Verkleinerung des mit jeder Flut bzw. Ebbe auf Höhe Pellworms durch die Norderhever bewegten Wasservolumens um etwa 30 Mio. m³ (VAN RIESEN und WINSKOWSKY 2007). Durch die Eindeichung der inneren Meldorfer Bucht verkleinerte sich das Tideprisma des Watteinzugsgebietes der Piep um rund 20 Mio. m³ (WITEZ 2002).



Abbildung 1: Lage der Untersuchungsgebiete. Rot umrandet die 2010-2012 in AufMod bearbeiteten Areale, grün 2013 das für das LKN S.-H. bearbeitete Gebiet.

Die obigen Ausführungen zeigen, dass die betrachteten Wattströme in einer Reihe von Aspekten vergleichbar sind. Deutliche Unterschiede ergeben sich allerdings in Bezug auf die geologische Entwicklungsgeschichte der Gebiete. So liegt im Dithmarscher Wattenmeer die Basis holozäner Sedimente so tief, dass das gesamte morphodynamische Geschehen ausschließlich in diesem durchweg weniger als 6000 Jahre alten Sedimentkörper stattfindet. Dabei gliedert sich die Schichtenfolge im Watt Dithmarschens in zwei übergeordnete, charakteristische Einheiten (DITTMER 1938; HOFFMAN 2004). Die tieferen, älteren Schichten sind aus kohäsiven schluffig-tonigen Sedimenten aufgebaut. Je nach Region findet man sie in Tiefen von etwa 15 bis 20 m unter mittlerem Meeresspiegelniveau. Darüber baut sich ein Komplex aus "modernen" feinsandigen Wattablagerungen mit unterschiedlichen Anteilen an Feinmaterial kleiner 0,063 mm (Schlick/Klei) auf. Im Vergleich zu Dithmarschen ist der geologische Aufbau des südlichen Nordfriesischen Wattenmeers deutlich komplexer. Hier liegt z. B. die Oberfläche der eiszeitlichen Ablagerungen so hoch, dass Teile der Wattstromrinnen darin eingeschnitten sind (AHRENDT 2006 bzw. nach HOFFMANN 2004) und die Norderhever eine bereits in den pleistozänen Ablagerungen vorgezeichnete Rinne zumindest partiell einnimmt. Der holozäne Schichtaufbau mit im Wechsel aufeinander folgenden feinkörnig marinen bis brackischen Sedimenten, Torfen und meist feinsandigen Wattablagerungen ist zudem deutlich differenzierter ausgebildet als der der Watten südlich Eiderstedts.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, anhand von Vergleichen zwischen älteren Datenbeständen und den Ergebnissen eigener in den Jahren 2010 bis 2013 durchgeführter Sedimentkartierungen zu klären, ob sich in den vergangenen Jahrzehnten Veränderungen der sublitoralen Sedimentverteilung in den Gezeitenrinnen Piep, Norderhever und Heverstrom eingestellt haben.

2 Material und Methoden

Zur Erfassung der rezenten Sedimentverteilungsmuster wurden in der Piep und in den Gebieten von Norderhever und Heverstrom detaillierte und flächendeckende Kartierungen der Meeresbodenoberfläche mit Hilfe von Seitensichtsonaren (side scan sonar) durchgeführt (SCHROTTKE und BARTHOLOMÄ 2015). Diese ursprünglich zur Detektion von Objekten auf dem Meeresboden entwickelten Geräte liefern in erster Linie ein Abbild der Textur und in Teilen Struktur der Meeresbodenoberfläche. Aus der Intensität des zurück gestreuten akustischen Signals, die wiederum hauptsächlich von der Rauigkeit des Seegrundes abhängt, kann jedoch auch auf die Zusammensetzung der vorkommenden Sedimente geschlossen werden. Die diesbezüglich zugrundeliegenden physikalischen Zusammenhänge ebenso wie ausführliche Informationen zur Funktionsweise von Seitensichtsonaren und zum weiteren Umgang mit Sonardaten werden ausführlich in LURTON (2002), WILLE (2005) oder BLONDEL (2009) dargelegt und sollen daher an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden. Vereinfachend kann aber zusammengefasst werden, dass raue Meeresböden wie z. B. Steinfelder ein ausgesandtes akustische Signal intensiv zurückstreuen, während z. B. von einem glatten, weichen Schlicksediment wenig Schallenergie wieder an den Empfänger des Sonars zurückkommt.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Ausbildung des Gewässergrundes entlang von 100 m breiten Profilstreifen mit dem Seitensichtsonar erfasst. Aus der Aneinanderreihung solcher sich zu etwa 10 % überlappender Profile entsteht nach entsprechender Prozessierung ein flächendeckendes Abbild des Meeresbodens, das als sogenanntes Seitensichtsonar-Mosaik (Rückstreu-Mosaik) die Basis für die weiteren Arbeitsschritte darstellt. Die Analyse und Bewertung der Sonaraufzeichnungen im Hinblick auf eine sedimentologische Differenzierung der oberflächennahen Ablagerungen ist auf der Grundlage von Expertenwissen durchgeführt worden. Hierbei gehen neben der eigentlichen Intensitätsverteilung der Rückstreusignale eine Vielzahl weiterer Informationen wie geologische Gegebenheiten, Verbreitung von Sohlformen, Vorkommen von Schichtausbissen, Wassertiefe, Ergebnisse zusätzlicher hydroakustischer Messungen, Videoaufnahmen, Fotos der Sedimente etc. in die Interpretation der Mosaike ein. Ebenfalls durchgeführte rechnerische Auswertungen der reflektierten oder rückgestreuten Signale von Einstrahlecholoten (Quester Tangent Impact Software) oder Seitensichtsonaren (Chesapeake Technology SonarWiz Software) erbrachten nur partiell nachvollziehbare und damit verwertbare Ergebnisse. Die eher geringe Aussagekraft rechnerisch generierter Klassifikationsergebnisse dürfte in erster Linie auf die in Gezeitenrinnen hohe Variabilität der Oberflächenrauigkeit (BARTHOLOMÄ et al. 2011) bei gleichzeitig wenig unterschiedlicher Korngrößenzusammensetzung der Sedimente zurückzuführen sein.

Die Verifizierung der mit dem beschriebenen Multimethodenansatz erarbeiteten Sedimentklassifikation sowie eine Zuordnung von Informationen hinsichtlich der Korngrößen der unterschiedenen Klassen basiert auf granulometrischen Kenngrößen gezielt entnommener Sedimentproben. Die Auswahl der Probenlokationen geschieht mit Hilfe der Sonaraufzeichnungen, wobei sowohl große zusammenhängende Einheiten als auch kleinräumige, Besonderheiten aufweisende Bereiche beprobt werden. Insgesamt wurden auf diese Weise in der Piep 278, in der Norderhever 188 und im Heverstrom 75 Proben entnommen. Diese wurden noch an Bord geologisch angesprochen und fotografisch dokumentiert sowie nachfolgend im Labor granulometrisch analysiert (Abtrennung des Anteils < 63 µm, Trockensiebung der Sandfraktion in 1/4 Phi° Stufen).

Auf diese Weise werden Daten generiert, die detaillierte, bis in den Maßstab von z. B. einzelnen größeren Steinen hineinreichende Einblicke in die Textur des Meeresbodens und in die Sedimentbeschaffenheit erlauben. Um mit älteren Daten vergleichbar zu sein, mussten diese hochauflösenden Kartierergebnisse allerdings in einen deutlich kleineren Maßstab überführt werden, was ohne, teilweise etwas grobe Generalisierungen nicht möglich war. Nachfolgend wird die so erstellte flächenhafte Darstellung der Sedimentverteilung als AufMod-Karte bezeichnet.

Als erster und vielleicht wichtigster Vergleichsdatensatz ist das im Maßstab 1:250.000 erstellte Kartenblatt 2900 – Sedimentverteilung in der Deutschen Bucht (Deutsches Hydrographisches Institut, FIGGE 1981) zu nennen. Betrachtet wird allerdings nicht die Erstausgabe aus dem Jahre 1981, sondern die im Rahmen des Verbundprojekts "Geopotenzial Deutsche Nordsee" (2007-2011) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), des niedersächsischen Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) und des Bundesamts für Seeschiftfahrt und Hydrographie (BSH) aktualisierte und für den Bereich der deutschen Nordsee erweiterte Ausgabe. Die Datengrundlage dieses Kartenwerks bilden neben den Daten der Karte von 1981 auch neuere Korngrö-Beninformationen von Bodengreiferproben sowie abgeleitete Korngrößenverteilungen aus Schichtbeschreibungen von Bohrungen nach dem Ansatz von VOSS (1982), der im Zuge des Verbundprojekts von NAUMANN et al. (2014) weiterentwickelt wurde. Für die betrachteten subtidalen Abschnitte der Piep-Rinnen, der Norderhever und des Heverstroms basiert das Modell der Sedimentverteilung auf etwa 135, 125 bzw. 100 Probeninformationen. Eine ausführliche Beschreibung zur Erstellung der Karte der "Sedimentverteilung in der deutschen Nordsee" findet sich in der Dokumentation von LAURER et al. (2013) auf dem Portal "Geopotenzial Deutsche Nordsee". Nachfolgend wird das Kartenwerk dem Sprachgebrauch folgend als "neue FIGGE-KARTE" bezeichnet.

Für einen Vergleich der Sedimentverteilung in den Piep-Rinnen werden weiterhin die Ergebnisse von RHODE (1963) und LÜNEBURG (1969) herangezogen. Beide Autoren haben entlang von Transsekten durch Süderpiep und Piep (RHODE, Probenentnahme 1960) bzw. Norderpiep und Piep (LÜNEBURG, Probenentnahme 1966/67) eine Reihe von Backengreiferproben entnommen und diese hinsichtlich der vorkommenden Korngrößen analysiert. Bei RHODE (1963) wird dabei ein Gewässerabschnitt durch die Korngrößeninformationen von entweder einer oder aber durch den Mittelwert von bis zu drei über den entsprechenden Rinnenquerschnitt entnommener Proben beschrieben (insgesamt 31 Proben im betrachteten Raum). Die Angaben von LÜNEBURG (1969) basieren auf den Daten von insgesamt 11 jeweils etwa in der Mitte der Rinne entnommener Proben.

Für die betrachteten sublitoralen Abschnitte der Norderhever und des Heverstroms kann schließlich vergleichend auf das Kartenwerk von DECHEND (1950) zurückgegriffen werden. Seine flächenhafte Darstellung der Sedimentverteilung beruht in der Norderhever auf etwa 30 und im Heverstrom auf etwa 35 Probeninformationen. Die Entnahme der Proben sowie die labortechnische Analyse erfolgten um das Jahr 1938.

Um einen Vergleich von Sedimentverteilungsmustern der verschiedenen Kartierungen zu ermöglichen, wurden die eigenen Kartierergebnisse sowie die von DECHEND (1950) entsprechend des Klassifikationsschemas von FIGGE (1981), wie es in der "neuen FIGGE-Karte" benutzt wird, dargestellt. Bei diesem Klassifikationsansatz wird die Sandfraktion entsprechend der prozentualen Anteile an Feinsand (63-250 µm), Mittelsand (250-500 µm) und Grobsand (500-2000 µm) in einer Dreiecksdarstellung vier Sandklassen zugeordnet (Abb. 2). Zusätzlich wird die Fraktion < 63 µm (Silt und Ton) in fünf "Schlickklassen" unterteilt. Kiese und Steine werden wegen der geringen Verbreitung des zur Verfügung stehenden Abbildungsmaßstabes nicht gesondert ausgewiesen.

Da sich bei DECHEND (1950) die damals genutzten Fraktionsgrenzen und -bezeichnungen von den heute in den sedimentologischen Wissenschaften üblichen unterscheiden, ist die Einteilung von DECHEND (1950) der von FIGGE (1981) angenähert worden (Tab. 1). Dadurch ergeben sich zwangsläufig einige Unschärfen. Diese sind aber nach unserer Auffassung in Anbetracht des Maßstabs der Kartendarstellung und unter Berücksichtigung des relativ groben Rasters der bei DECHEND (1950) zugrunde liegenden Korngrößeninformationen vertretbar. Generell bedingt die Tatsache, dass allen betrachteten Sedimentkartierungen eine sehr unterschiedliche Datendichte zu Grunde liegt, dass ein Vergleich der Kartierergebnisse generell nur auf der Basis des "kleinsten gemeinsamen Nenners", also in einem eher groben Maßstab, erfolgen kann.

Obwohl mit dem in AufMod entwickelten Funktionalen Bodenmodell (MILBRADT et al. 2015) ein sehr leistungsfähiges Werkzeug für raumzeitliche Vergleiche zur Verfügung steht, wurde für den hier beschriebenen Vergleich von Sedimentverteilungsmustern ein rein kognitiver Ansatz gewählt. Wegen der bereits durch unterschiedliche Maßstäbe bedingten Unschärfen und ausgehend von der Annahme, dass ältere Sedimentverteilungskarten ebenfalls rein manuell entwickelt wurden, halten wir diesen Ansatz auch in heutiger Zeit noch für angemessen und zielführend.



Abbildung 2: Einteilung der Sedimente nach FIGGE (1981). Die Farbeinteilung weicht ebenso vom Original wie von in den Geowissenschaften gebräuchlichen Farbgebungen ab. Sie wurde gewählt, um im Maßstab der gezeigten Verteilungskarten einen möglichst hohen Kontrast zu erreichen.

0			0	5)	0			
Sedimentklasse	< 0,02	0,02 -	0,05 -	0,1 -	0,2 -	0,25 –	0,5 –	1,0 -	Sedimentklasse nach
nach DECHEND		0,05	0,1	0,2	0,25	0,5	1,0	2,0	FIGGE (1981)
Schlick	> 40	10 -							U/T > 80%
		30							
Mehlsand,	< 40	> 30	< 40						fS, > 50 % U/T
schlickig									
Mehlsand	< 20	< 20	> 40	< 20					fS, 21 – 50 % U/T
fS, mehlsandig			> 10	50-80	< 10				fS, 11 – 20 % U/T
fS, mehlsandig			< 10	> 80	10-20				fS, 5 – 10 % U/T
fS, gröber				< 50	> 20	< 10			fS, < 5 % U/T
mS, feinsandig				< 30	> 45	> 10			fS, < 5 % U/T
mS					< 30	> 40	~ 10		mS, < 5 % U/T
mS, gröber						< 30	> 40	< 10	mgS, < 5 % U/T
U/T -Schluff & Ton, fS – Feinsand, mS – Mittelsand, mgS – Mittel- bis Grobsand									

Tabelle 1: Zuordnung der Sedimentklassen nach DECHEND (1950) zu den Klassen gemäß FIGGE (1981). Bei den mittelgrau unterlegten Feldern handelt es sich um Korngrößenintervalle in mm. Die hellgrauen Felder sind Prozentangaben der jeweiligen Kornfraktion.

3 Ergebnisse

3.1 Piep-Rinnen

Die im Rahmen des AufMod Projektes erstellten Aufnahmen mit dem Seitensichtsonar zeigen im Bereich der Piep-Rinnen recht gleichförmige Signaturen ohne auffällige Meeresbodeneigenschaften. Die Rückstreustärken sind meistens gering, was auf eine Verbreitung von Feinsanden oder schlickigen Feinsanden hinweist. Unterbrochen werden diese gleichförmigen Flächen nur durch Bereiche, in denen sich in älteren, konsolidierten Ablagerungen (Klei) Kanten und andere Erosionsformen herausgebildet haben, an Orten, an denen Schill, also leere Molluskenschalen, in größeren Mengen akkumuliert worden sind oder durch Abschnitte, an denen der Meeresboden durch ausgeprägtere Sohltransportkörper strukturiert ist. Die Analyse der Sonaraufnahmen sowie Probendaten zeigt, dass sich rezent die sublitoralen Oberflächensedimente überwiegend aus Feinsanden mit unterschiedlichen Schlickgehalten (Anteil $< 63 \mu m$) zusammensetzen (Abb. 3). Die Gesamtheit der entnommenen Sedimentproben deckt dabei ein Spektrum mittlerer Korngrößen (D_{50}) ab, das von 330 bis etwa 16 µm reicht. Dabei ist die reine Sandfraktion bei 88 % der analysierten Proben den Mittelwertklassen sehr feiner Sand (D₅₀ 63-125 μm, 4-3 Phi) bzw. Feinsand (D₅₀ 125-250 μm, 3-2 Phi) zuzuordnen. Da das benutzte Klassifikationsschema nach FIGGE (1981) diese weitergehende Differenzierung der Feinsandfraktion nicht enthält (siehe auch VALERIUS et al. 2015), soll an dieser Stelle erwähnt werden, dass sehr feine Sande mit mittleren Korngrößen zwischen 63-125 um bevorzugt in der eigentlichen Piep-Rinne sowie in den landwärtigeren Rinnen in der Meldorfer Bucht zu finden sind. Die sandigen Areale in Norder- und Süderpiep werden dagegen aus Feinsanden mit mittleren Korngrößen zwischen 125 und 250 µm aufgebaut. Noch grobkörnigere Sande kommen im Arbeitsgebiet so gut wie nicht vor. Insgesamt enthielten nur drei Proben (zwei im seewärtigen Bereich der Süderpiep, eine am Hang des Tertiussandes) Sande, die bezogen auf ihre mittlere Korngröße als feine Mittelsande anzusprechen sind. Allerdings sind die Fundareale so klein, dass sie im zur Verfügung stehenden Abbildungsmaßstab nicht sinnvoll dargestellt werden können.

Stellt sich die Sandfraktion als durch Feinsande dominiert und als relativ gleichförmig in den Piep-Rinnen verteilt dar, so zeigt die Feinfraktion < 63 μ m ein differenzierteres räumliches Verteilungsmuster. Zwar werden wiederum weite Abschnitte des Gewässergrundes aus Feinsanden mit Feinkornanteilen von bis zu 20 % aufgebaut, die Verbreitungsgebiete dieser typischen Ablagerungen werden aber immer wieder durch Areale unterbrochen, in denen der Anteil an Feinmaterial in den Oberflächensedimenten merklich über 20 % bis hin zu 80 % beträgt. Obwohl wiederum eine gewisse Tendenz zur Abnahme der mittleren Korngröße, in diesem Fall gleichbedeutend mit einer Zunahme der schluffig-tonigen Komponenten, in Richtung der buchtinneren Teile des Rinnensystems festzustellen ist, sind jedoch auch in den seewärtigsten Abschnitten Sedimente verbreitet, die einen sehr hohen Feinanteil aufweisen. Hierbei handelt es sich meist um ältere kohäsiv verfestigte Ablagerungen, die entweder direkt anstehen oder aus denen, wenn sie erosiven Prozessen ausgesetzt sind, Feinmaterial in benachbarte Ablagerungsräume eingetragen wird.

Auch in der Sedimentverteilungskarte des BSH ("neue FIGGE-Karte", Abb. 4) zeichnen sich derartige Flächen ab. Die sie umrandenden Polygone sind aber deutlich weniger differenziert ausgebildet, was darauf zurückzuführen sein dürfte, dass die Grenzlinien basierend auf einer limitierten Anzahl von Punktinformationen konstruiert worden sind. Legt man jedoch einen eher groben Vergleichsmaßstab an, so stellt sich die Lage der Flächen mit hohen Feingehalten in beiden Karten oft als recht ähnlich dar. Insgesamt weist allerdings die "neue FIGGE-Karte" in fast allen anderen Gebieten Ablagerungen mit im Vergleich zur AufMod-Karte geringeren Schlickanteilen aus. So sind reine Feinsande in der "neuen FIGGE-Karte" weit verbreitet, während in der AufMod-Karte die Feinsande meist 5 bis 20 % Feinanteil aufweisen. Auffälligstes Unterscheidungsmerkmal beider Karten dürfte aber die in der "neuen FIGGE-Karte" ausgewiesenen Vorkommen von Mittelsand sein. Diese Areale traten in den Jahren 2010/11 nicht mehr in Erscheinung. Zwar liegen zwei der insgesamt nur drei im Zuge der AufMod Untersuchungen als Mittelsand eingestuften Sedimentproben im Bereich des in der "neuen FIGGE-Karte" in der Süderpiep ausgewiesenen Mittelsandvorkommens, die Einbindung der Probeninformation in die flächendeckende Sonarabbildung der Meeresbodenoberfläche schloss aber bei der Analyse der AufMod Daten die Ausweisung einer größeren, zusammenhängenden Mittelsandfläche aus.



Abbildung 3: Karte der Sedimentverteilung in den Piep-Rinnen nach AufMod Daten (2010-2012).



Abbildung 4: Karte der Sedimentverteilung in den Piep-Rinnen nach FIGGE (1981) bzw. der Kartenversion 2 nach LAURER et al. (2013).

Dass in diesem Abschnitt der Süderpiep Mittelsande vorkamen oder bei u. U. etwas anderen Umgebungsbedingungen vorkommen können, wird durch die Ergebnisse von RHODE (1963) allerdings bestätigt, kommt doch auf dem von ihm untersuchten Transsekt durch Süderpiep und Piep (Abb. 5) in der Süderpiep an ähnlicher Lokation Mittelsand vor. Alle übrigen Probenstationen sind dagegen wiederum durch Feinsande geprägt. Der durch Norderpiep und Piep führende Transsekt von LÜNEBURG (1969) zeigt ebenfalls eine Dominanz von Feinsanden. Nur am westlichsten Punkt des untersuchten Gewässerlängsschnittes ist das Rinnensediment deutlich feinkörniger. LÜNEBURG (1969) beschreibt das Probenmaterial als stark bindig-konsolidiert und stuft es als ältere Kleiablagerung ein. Der Ort der Probenentnahme liegt nahe an den auch in der AufMod bzw. in der "neuen FIGGE-Karte" ausgewiesenen Vorkommen von sehr feinkörnigen, konsolidierten Sedimenten. Eine weitere Besonderheit auf dem Transsekt von LÜNEBURG (1969) stellt der vergleichsweise hohe Mittelsandanteil in der 1,5 km westlich von der Büsumer Hafeneinfahrt (km 0) entnommenen Probe dar. Es wird dazu von LÜNEBURG (1969) ausgeführt, dass zur Zeit der Beprobung an dieser Stelle die Rinne eine Tiefe von mehr als 30 m aufwies. In diesem als Kolk bezeichneten Bereich wurden nach LÜNE-BURGS (1969) mineralogischen Befunden pleistozäne Schmelzwassersande erodiert. Einzelne Körner dieser Sande ließen sich damals zudem einige Kilometer landwärts und seewärts des Erosionsgebietes in den jüngeren Rinnenablagerungen nachweisen.

Wie schon beim Vergleich zwischen AufMod und "neuer FIGGE-Karte" zeigen auch die Ergebnisse von RHODE (1963) und LÜNEBURG (1969) merkliche Unterschiede bei den Feingehalten < 63 µm. Liegen bei RHODE die Schlickanteile durchweg bei nur wenigen Prozent, so wird von LÜNEBURG (1969) in vergleichbaren Gewässerabschnitten der Feinanteil mit 5 bis 10 % angegeben. Diese Differenz liegt damit in etwa im Bereich der Abweichungen zwischen der AufMod und der "neuen FIGGE-Karte".



Abbildung 5: Sedimentzusammensetzung entlang von Gewässerlängsschnitten durch Süderpiep – Piep nach RHODE (1963) bzw. Norderpiep – Piep nach LÜNEBURG (1969). Kilometer 0 Hafeneinfahrt Büsum, weiße Linie km 9,5 Region der Aufspaltung von Norder- und Süderpiep.

3.2 Hever-Rinnen

Im Vergleich zur Sedimentverteilung in den Piep-Rinnen stellen sich die Verteilungsmuster in den Hever-Rinnen (Abb. 6-8) als räumlich deutlich differenzierter und als weitere Korngrößenbereiche umfassend dar. Das Spektrum der mittleren Korngrößen reicht im Hever Gebiet von Grobsanden (Abb. 2) bis hin zu besonders feinkörnigen Ablagerungen mit mehr als 50 % Anteil an Schluff und Ton. Betrachtet man die räumliche Verteilung dieser verschiedenen Sedimente, so ergibt sich, bedingt durch die Kartiermethodik, in der AufMod-Karte das differenzierteste Bild. Der südwestliche Abschnitt (I in Abb. 6-8) der Norderhever wird dabei durch sich in Längsrichtung der Rinne verzahnende Felder von reinen Mittelsanden oder Gemischen aus Grob- und Mittelsanden charakterisiert. Mit zunehmender Annäherung an die inneren Abschnitte des Watteinzugsgebietes treten in den in Abb. 6 als Abschnitt II und III bezeichneten Bereichen der Norderhever keine Grobsande mehr auf. Stattdessen verzahnen sich hier wiederum langgestreckte Mittelsand- und Feinsandflächen. Außerdem kommen Sedimente vor, die einen hohen Feinanteil > 63 µm aufweisen. Hierbei handelt es sich fast ausschließlich um ältere, verfestigte Ablagerungen (Klei und u. U. Eemton), die im Gewässer Härtlingsstrukturen ausbilden, deren flächenhafte Ausdehnung gut mit dem Seitensichtsonar zu erfassen ist. Derartige Areale, wie sie auch in Abschnitt I vorkommen, stellen eine Quelle für feinkörnige Sedimente dar. Diese gelangen zwar meist nicht als einzelne, feine Partikel zur neuerlichen Ablagerung, sondern werden als Kleibrocken bzw. "Schlickgerölle" in benachbarte, zum Teil deutlich gröbere Ablagerungen eingetragen. Da die Feinmaterialklasten bei der Korngrößenanalyse vollständig dispergiert werden, entstehen im Zuge der Laboraufbereitung artifizielle Korngemische (z. B. grobkörnige Sande mit 50 % "Schlickanteil"), die so in der Natur nicht vorliegen (SCHROTTKE und BARTHOLOMÄ 2015).

Dies gilt jedoch nicht für die deutlich mit Feinmaterial durchsetzten Feinsande, die den inneren Teil (Abschnitt VI in Abb. 6) des Heverstroms charakterisieren. Hierbei handelt es sich um primäre Korngemische, also solche, bei denen die Ablagerung von feinen Partikeln und gröberen Sandkörnern annähernd zeitgleich bzw. in feinsten aufeinander folgenden Lagen erfolgt ist. Es handelt sich somit um typische "Schlicksande" eines tidalen Ablagerungsraumes im Sinne von FIGGE et al. (1980). Diese Sande nehmen weite Teile des buchtinneren Teils der Rinne ein. In besonders tiefen und/oder strömungsexponierten Abschnitten (z. B. ausgeprägter Prallhang) stehen jedoch wiederum Mittelsande bzw. mit Feinmaterialklasten durchsetzte Mittelsande an. Vergleichbare Mittelsande bzw. nahezu feinmaterialfreie, gröbere Feinsande prägen als Anzeiger eines insgesamt höheren Energieniveaus auch das Sedimentverteilungsmuster des westlichen Heverstroms und seiner Teilrinnen am Übergang zur Norder- bzw. Süderhever.

Wie schon die AufMod-Karte zeigt auch die "neue FIGGE-Karte" (Abb. 7), dass Abschnitt I der Norderhever-Rinne ebenfalls weitflächig von Mittelsanden und Mittel- bis Grobsanden eingenommen wird. Zudem ist eine Zonierung mit bevorzugt gröberen Sanden im südlichen Bereich und in Richtung auf das Nordufer abnehmender mittlerer Korngrößen der Sande zu erkennen. Die AufMod-Karte zeigt diese Zonierung dagegen nicht. Vielmehr ist eine in Längsrichtung erfolgende Verzahnung von Mittelsand und Mittel- bis Grobsandflächen zu erkennen und das Feinsandvorkommen, das die "neue FIGGE-Karte" am Nordufer des Abschnitts I der Norderhever ausweist, fehlt gänzlich. Dieses setzt erst in Abschnitt II ein. In der "neuen FIGGE-Karte" werden hier sowohl das nördliche als auch das südliche Rinnenufer durch Feinsande beschrieben. Feinsande und Feinsande mit erhöhten Feinanteilen kommen zudem umrahmt von Mittelsanden im zentralen Bereich von Abschnitt II vor. Die Übergangsbereiche zum seewärtigen Abschnitt I und zum landwärtigen Abschnitt III werden darüber hinaus durch Mittel- bis Grobsandvorkommen geprägt.

War das Sedimentinventar in den Gewässerabschnitten I und II in beiden Kartenwerken trotz gewisser Unterschiede der Verteilungsmuster noch recht vergleichbar, so trifft dies für den innersten Bereich der Norderhever nicht zu. Die "neue FIGGE-Karte" weist hier durchweg Mittel- bis Grobsande aus, während die AufMod-Karte in weiter Verbreitung Feinsande zeigt, die ein aus reinen Mittelsanden aufgebautes Gebiet umschließen.

Ein ähnlicher Unterschied in den in beiden Kartenwerken ausgewiesenen Sedimentzusammensetzungen zeigt sich auch bei der Betrachtung des innersten Bereichs des östlichen Heverstroms (Abschnitt VI). Auch hier weist die "neue FIGGE-Karte" durchweg Mittel- bis Grobsande aus, während in der AufMod-Karte solche Ablagerungen nur in der Mitte und am südlichen Prallhang der Rinne zu finden sind. Im Bereich des Prallhangs zeigt die ältere Kartierung großflächig besonders feinkörnige Sedimente. Hierbei handelte es sich vermutlich um ältere konsolidierte Ablagerungen, konnten solche doch auch im Zuge der neuen Sonarkartierung, allerdings in deutlich kleinerer Verbreitung, detektiert werden. Weiter nach Westen bis hin zur Aufspaltung des Heverstroms in die drei großen Teilrinnen am Übergang zu Norder- bzw. Süderhever sieht das Verteilungsmuster in beiden Kartenwerken ähnlich aus, wobei die Sedimentzusammensetzung in der neueren Karte allerdings als durchweg feinkörniger angegeben wird.

Eine Beschreibung vorhandener bzw. möglicher zeitlicher Unterschiede der Zusammensetzung der Oberflächensedimente in den drei Mündungsrinnen des Heverstroms fällt ausgesprochen schwer, kommen doch gerade in diesem Bereich die deutlich unterschiedlichen Maßstäbe der räumlichen Auflösung beider Kartenwerke zum Tragen. Legt man einen groben Betrachtungsmaßstab an, so lässt sich sagen, dass in beiden Karten an vielen Stellen vergleichbare Sedimente ausgewiesen werden. Ausdehnung und exakte Lage der Felder können allerdings doch merklich voneinander abweichen. Einzig für den Bereich der südlichsten Rinne scheint sich abzuzeichnen, dass rezent hier verbreitet gröbere Sedimente zu finden sind, als es zur Zeit der Entnahme der Proben, die die Basis für die "neue FIGGE-Karte" bilden, der Fall war.

In der Karte von DECHEND (1950) stellt sich diese südliche Teilrinne im Mündungsgebiet des Heverstroms als insgesamt noch feinkörniger dar. Es kommen nur Feinsande, nicht aber Mittelsande bzw. Mittel- bis Grobsande vor. Auch die weiter buchtinneren Bereiche des Heverstroms (Abschnitt V und VI) stellt die Karte nach DECHEND (1950), ebenso wie die AufMod-Karte, als eher durch Feinsande denn durch Mittelsande charakterisiert dar. Allerdings sind beim AufMod Verteilungsmodell in exponierten Bereichen schmale, langgestreckte Mittelsandfelder in die Feinsande eingeschaltet, die in der Karte nach DECHEND (1950) fehlen. Ob diese zur damaligen Zeit wirklich nicht existiert haben, lässt sich schwer abschätzen, war doch die Anzahl der Ende der 1930er Jahre von DECHEND (1950) entnommenen Proben eher gering, wodurch zwangsläufig der räumliche Differenzierungsgrad seiner Karte vergleichsweise grob bleiben muss. Eine weitere Unschärfe ergibt sich zudem aus der für einen Vergleich notwendigen Überführung der von DECHEND (1950) gewählten Sedimentklassen in die von FIGGE (1981) vorgeschlagenen. Gleichwohl erklären diese Faktoren nicht den Unterschied im innersten Abschnitt der Rinne, der sowohl in der AufMod-Karte als auch in der von DECHEND (1950) als durch Feinsande dominiert dargestellt wird, während er in der "neuen FIGGE-Karte" als durch Mittelsande bestimmt angegeben wird. Eine ähnliche Abweichung zwischen den Kartenwerken ergibt sich ebenfalls für den inneren Bereich der Norderhever (Abschnitt III). Sowohl in der AufMod als auch in der Karte von DECHEND (1950) wird der Seegrund beginnend etwa bei der Einmündung der Holmer Fähre Rinne in Richtung Nordosten in einen von Feinsand dominierten Bereich, ein sich anschließendes Feld von Mittelsanden und im innersten Abschnitt erneut durch weit verbreitete Feinsande gegliedert. Die "neue FIGGE-Karte" ordnet dem gleichen Abschnitt (III) dagegen überwiegend Mittel- bis Grobsande zu.

Zu erwähnen ist schließlich, dass die seewärtigen Abschnitte I und II der Norderhever in der Darstellung von DECHEND (1950) nur durch sehr wenige Probenlokationen abgedeckt sind (Abb. 8). Trotz der dadurch eher groben räumlichen Auflösung weist das erstellte Sedimentverteilungsmuster viele Ähnlichkeiten mit den später entwickelten auf. So kommen die gröbsten Sedimente wiederum eher am Südufer des Abschnitts I vor, während das Nordufer feinkörniger aufgebaut ist. Der Mittelabschnitt II zeigt wiederum ein Nebeneinander von Fein- und Mittelsanden und wenig gröberen Ablagerungen.



Abbildung 6: Karte der Sedimentverteilung in den Hever-Rinnen nach AufMod Daten (2010-2013). Die römischen Zahlen I bis VI markieren diskutierte Abschnitte der Gewässer.



Abbildung 7: Karte der Sedimentverteilung in den Hever-Rinnen nach FIGGE (1981) bzw. der Kartenversion 2 nach LAURER et al. (2013). Die grünen Punkte markieren die Lokationen der Proben, auf denen das Verteilungsmuster basiert.



Abbildung 8: Karte der Sedimentverteilung in den Hever-Rinnen nach DECHEND (1950). Die grünen Punkte markieren die Lokationen der um 1938 entnommenen Proben, auf denen das Verteilungsmuster basiert.

4 Diskussion

Die Darstellung der Ergebnisse hat gezeigt, dass ein Vergleich der sublitoralen Sedimentverteilungsmuster in den Gezeitenrinnen Piep und Hever sowie in der im Rahmen des AufMod Projekts (2010-2012) erstellten Karte, dem Kartenwerk von FIGGE (1981) in der Neubearbeitung von LAURER et al. (2013), der Karte von DECHEND (1950) bzw. in den sedimentologischen Transsekten von RHODE (1963) sowie LÜNEBURG (1969) dargestellt sind, möglich ist. Ein Vergleich, mit dem Ziel raumzeitliche Unterschiede herauszuarbeiten und zu bewerten, wird jedoch entscheidend dadurch erschwert, dass allen betrachteten Verteilungsmodellen unterschiedlichste Datendichten bzw. Kartiermaßstäbe zu Grunde liegen. So basiert die AufMod-Karte auf der sehr detailreichen Ausweisung von Grenzlinien zwischen verschiedenen Ablagerungsräumen mit Hilfe von Sonaraufzeichnungen sowie auf 541 Probeninformationen. In den betrachteten Bereichen wurde die "neue FIGGE-Karte" dagegen allein aus dem Informationsgehalt von etwa 360 Proben heraus entwickelt. Die Basis für das Verteilungsmodell von DECHEND (1950) bilden nur etwa 65 Proben, die im Sublitoral der Hever-Rinnen entnommen wurden. Auf noch weniger Probeninformationen, nämlich lediglich 31 bzw. 11, beruhen schließlich die sedimentologischen Transsekte, wie sie von RHODE (1963) für Süderpiep und Piep und von LÜNEBURG (1969) für Norderpiep und Piep entwickelt wurden. Diese Auflistung verdeutlicht, dass Vergleiche der zu verschiedenen Zeiten entwickelten Sedimentverteilungsmuster nur in einem relativ groben, generalisierenden Maßstab erfolgen können. Gleichwohl ergibt sich aber das sehr eindeutige Bild, dass das Sedimentinventar in den Piep-Rinnen im Dithmarscher Wattenmeer zumindest in den letzten fünf Jahrzehnten bis heute ganz überwiegend durch Feinsande mit variierenden Anteilen an Schluff und Ton geprägt gewesen ist.

Unterschiedliche Schlickgehalte (Gehalte an Schluff und Ton) unterscheiden auch die Sedimentverteilungsmuster der "neuen FIGGE-Karte" und der AufMod-Karte. Werden in der "neuen FIGGE-Karte" weitflächig fast reine Feinsande ausgewiesen, so kommen in der AufMod-Karte in vergleichbaren Gebieten Feinsande vor, deren Schlickanteil um etwa 10 % höher liegt. So offensichtlich sich dieser Unterschied auch in den Kartenabbildungen darstellt, so schwer fällt jedoch eine zweifelsfreie Erklärung. Tatsache ist, dass die meisten Proben, die der "neuen FIGGE-Karte" zu Grunde liegen, zu Zeiten entnommen wurden, als die innere Meldorfer Bucht noch nicht oder gerade erst eingedeicht war. Entsprechend größer waren damals das Tideprisma des Beckens und das Volumen der durch die Piep-Rinnen strömenden Wassermassen. Bekannt ist ebenfalls, dass es durch die Verkleinerung des Tidevolumens in der Meldorfer Bucht zu morphologischen Anpassungsreaktionen in Form einer Volumenabnahme subtidaler Bereiche gekommen ist (WITEZ 2002; RICKLEFS and ASP NETO 2005). Eine derartige Volumenabnahme von Prielen geht gerade in inneren Wattbereichen meist mit der Ablagerung von eher feinkörnigen Sedimenten einher.

Zur Frage ob und ggf. in welchem Ausmaß eine in den inneren Buchtbereichen feststellbare "Verschlickung" von Prielen auch in weiter seewärts gelegenen Bereichen der großen Wattrinnen zu einer Veränderung der Sedimentzusammensetzung führt oder führen kann, liegen allerdings keine Erkenntnisse vor. Für einen Trend zur Kornverfeinerung in den Oberflächensedimenten könnte sprechen, dass im Zuge der 2010-2012 durchgeführten AufMod Untersuchungen so gut wie keine Mittelsande in den Piep-Rinnen

detektiert wurden, während in der älteren Karte nach FIGGE (1981) größere Mittelsandflächen ausgewiesen werden. Vergleicht man in diesem Zusammenhang weiterhin die Befunde von RHODE (1963) und LÜNEBURG (1969) miteinander, so zeigt sich, dass für vergleichbare Abschnitte der Piep-Rinne ebenfalls ein genereller Unterschied in den Feingehalten ermittelt wurde. Während RHODE (1963) nur sehr niedrige Prozentwerte angibt, liegen die Feingehalte bei LÜNEBURG (1969) durchweg um 6-8 % höher. Diese in der zentralen Piep durchgängig feststellbare Differenz aus den 1960er Jahren, die von der Größenordnung her vergleichbar mit den typischen Unterschieden zwischen AufMod und "neuer FIGGE-Karte" ist, steht somit im Widerspruch zu der weiter oben angedeuteten Hypothese, dass die in den 1970er Jahren erfolgte Eindeichung der Meldorfer Bucht nachfolgend zu einer verstärkten Ablagerung von Schluff und Ton in den Piep-Rinnen geführt hat. Da wegen der einfachen Vorgehensweise bei der Bestimmung des Anteils < 63 µm methodisch bedingte Unterschiede eigentlich ausgeschlossen werden können und diesbezügliche Recherchen auch keine entsprechenden Hinweise erkennen ließen, wurden eigene ergänzende Wiederholungsbeprobungen mit dem Ziel durchgeführt, die zeitliche Variabilität des Schlickanteils an ausgesuchten Lokationen zu bewerten. Dazu wurden an insgesamt 27 Postionen, die erstmalig in den Sommermonaten der Jahre 2010 bzw. 2011 beprobt wurden, im Juni 2012 erneut Proben entnommen. Zwar konnten wegen der starken Gezeitenströmungen nur in Ausnahmefällen die exakt gleichen Lokationen beprobt werden, alle für die Analyse entnommenen Proben liegen aber weniger als 30 m vom Ort der Vergleichsprobe entfernt und stets im Bereich einer vergleichbaren Sonarsignatur. Die nachfolgende Tabelle 2 fasst die Ergebnisse der Gegenüberstellung in einfacher Weise zusammen. Es ist zu erkennen, dass beim Vergleich der Proben aus den Jahren 2010 und 2012 keine Unterschiede hinsichtlich der Schlickgehalte zu erkennen sind. Das Verhältnis von 10:2 beim Vergleich von 2011 zu 2012 mag etwas aussagekräftiger erscheinen, die Stichprobenanzahl ist aber deutlich zu gering, um daraus den Schluss abzuleiten, dass Sedimente 2011 schlickiger ausgebildet waren als 2012. Es bleibt also nur festzustellen, dass im Verlauf der verschiedenen Untersuchungen großräumig unterschiedliche Feingehalte festgestellt wurden, diese Unterschiede aber bislang nicht erklärbar sind.

Jahre der Beprobung	2010	2012
Anzahl der Proben mit mehr Schlick	9	6
Jahre der Beprobung	2011	2012
Anzahl der Proben mit mehr Schlick	10	2

Tabelle 2: Übersicht über die Anzahl an Proben, deren Feinanteil < 63 μm (Schlick) bei einer Wiederholungsbeprobung am annähernd gleichen Ort höher oder niedriger lag.

Deutlich abgesicherter sind hingegen die Ergebnisse hinsichtlich der Verbreitung älterer, besonders feinkörniger und bereits konsolidierter Sedimente (Klei) in den Piep-Rinnen. Die bodenmechanischen Eigenschaften dieser Sedimente werden zwar in den Kartenwerken nicht extra ausgewiesen, die typischen Kornverteilungen der Ablagerungen mit Feingehalten von oft mehr als 50 % erlauben aber den Schluss, dass sich ihr Verbreitungsgebiet in den zentralen Rinnen von Norder- und Süderpiep sowie an den nördlichen Rinnenränder der Piep in den letzten Jahrzehnten nicht signifikant verändert hat. Erkennbare Unterschiede dürften sich einerseits durch unterschiedliche Kartiermaßstäbe ergeben. Andererseits ist aber auch die Tatsache von Bedeutung, dass Ausbisse von Klei nicht selten von geringmächtigen Sandschichten überwandert werden, die den Klei für mehr oder minder lange Zeit vollständig überdecken können. Sind die Sandschleier nachfolgend durchgewandert, stehen die konsolidierten bindigen Ablagerungen erneut direkt an der Gewässersohle an. Dieses Durchwandern von Sandschleiern führt dazu, dass am selben Ort mal Sand und bei anderer Gelegenheit Klei gefunden werden kann. Die morphologische Ausprägung des Fundareals wird dabei aber im Wesentlichen durch den anstehenden Klei bestimmt. Diese Lagestabilität der Kleivorkommen ergibt sich aus der vergleichsweise hohen Erosionsstabilität der kohäsiven Ablagerungen. Die Widerstandskraft gegen den Angriff des fließenden Wassers manifestiert sich in den Sonaraufnahmen an gut erkennbaren Plateaus, Kanten und ähnlich aufragenden "Härtlingsstrukturen". Dort, wo Klei jedoch erodiert wird, stellt er wiederum eine Quelle für feine Materialien dar. Dabei wird das Sediment jedoch nur untergeordnet in Form von singulären feinen Partikeln verfrachtet. Das Material wird vielmehr durch die erosiven Prozesse in größeren Einheiten aus dem Schichtverband herausgearbeitet und durch Strömungen und dem Gefälle der Rinnenränder folgend auch gravitativ als Klei- oder Schlickgerölle in die tieferen Bereiche der Rinnen eingetragen. Dort können die Gerölle zusammen mit Schillen anderen detritischen Materialien oder auch Torfgeröllen Sohlenpflaster und (REINECK 1984) ausbilden, die sedimentologisch als "Restsedimente" (lag deposits), also als grobe Reste von Ablagerungen angesprochen werden, aus denen erosiv leichter transportierbare Komponenten ausgewaschen wurden. Nicht untypisch für diese Restsedimente ist, dass die oft plattigen Kleigerölle sowie leeren Muschelklappen dachziegelartig übereinander gelagert sein können und auf diese Weise eine spezielle und unter Umständen vor weiterer Tiefenerosion schützende Grenzschicht zwischen dem fließenden Wasser und dem anstehenden Sediment ausbilden können. Sedimentologisch werden solche Ablagerungen auch aus diesem Grunde als Anzeiger einer Erosionsbasis angesehen (REINECK 1984; FLEMMING 2012). TERWINDT (1975) ordnet derartige Restsedimente einem "Lithofaziestyp I – strong currents" zu. Die Strömungsgeschwindigkeiten betragen hier typischerweise mehr als 90 cm/s und neben Schill und den verschiedenen Geröllen sind Mittel- bis Grobsande charakteristisch.

Auch in den Hever-Rinnen stellen sich Gebiete mit anstehenden kohäsivkonsolidierten Ablagerungen, die in den Verteilungskarten durch besonders feinkörnige Sedimente gekennzeichnet sind, als ebenfalls recht lagestabil dar (z. B. die Bereiche des großen Rinnenbogens im Heverstrom oder der Prallhang der Norderhever am Übergang zur Nebenrinne Holmer Fähre). Darüber hinaus sind wir der Auffassung, dass sich ebenfalls das übergeordnete Sedimentverteilungsmuster von den 1930er Jahren bis heute nicht signifikant verändert hat. Zwar sehen die Sedimentverteilungsmuster der verschiedenen Untersuchungsperioden in erster Näherung sehr unterschiedlich aus, viele der Differenzen werden aber, wie bereits verschiedentlich dargelegt, als Folge der deutlich unterschiedlichen Kartiermaßstäbe interpretiert. Für eine Stabilität des Systems der Hever-Rinnen sprechen zudem die morphologischen Befunde von VAN RIESEN und WINSKOWSKY (2007), die zeigen, dass sich seit 1936 in vielen Bereichen der Hever-Rinnen das Rinnenvolumen bzw. die mittlere Tiefe unterhalb des mittleren Tideniedrigwassers kaum verändert haben. Eine Ausnahme bildet ein Bereich östlich von Pellworm. der sich räumlich ungefähr mit Abschnitt II in den Abb. 6-8 deckt. Hier sind besonders im Zeitraum von 1936 bis 1960 bzw. 1960 bis 1990 deutliche Materialverluste aufgetre-

ten. Diese sich hierin abzeichnende Tendenz zur Ausräumung der Rinne hat sich zwischen 1990 und 2000, also nach der Eindeichung des Beltringharder Kooges, abgeschwächt bzw. leicht ins Gegenteil verkehrt. VAN RIESEN und WINSKOWSKY (2007) zeigen weiterhin, dass in anderen Abschnitten der Norderhever durch laterale Verlagerungen der Rinne deutlich nachweisbare Veränderungen der Querschnittsgeometrie auftreten können, ohne dass sich das Volumen der entsprechenden Rinnenbereiche dadurch dauerhaft verändert. Ohne Zweifel können solche Änderungen nur durch die Verlagerung von Sedimenten erfolgen. Es scheint sich dabei aber meist nur um eine interne Umlagerung innerhalb eines räumlich begrenzten Bereiches zu handeln. So sind Areale, die in den 1930er Jahren durch Grob-, Mittel- oder Feinsande geprägt waren, es im Wesentlichen auch heute noch. Somit ließe sich die Hypothese formulieren, dass in den Hever-Rinnen, bei gröbermaßstäblicher Betrachtung, das Verteilungsmuster der Ablagerungen eine ähnliche zeitliche Stabilität aufweist wie die der morphologischen Kenngrößen "mittleres Rinnenvolumen" und/oder "mittlere Rinnentiefe". In einem gewissen Widerspruch dazu steht allerdings, dass die inneren Abschnitte sowohl der Norderhever als auch des Heverstroms in der "neuen FIGGE-Karte" deutlich grobkörniger dargestellt werden als in den beiden anderen Kartenwerken. Dies könnte als Hinweis darauf angesehen werden, dass es zwischen der ältesten und der jüngsten Untersuchung eine Phase gegeben haben könnte, in der die Sedimente in den inneren Abschnitten der Rinnen grobkörniger ausgebildet waren. Dagegen spricht aber wiederum, dass in der Erstausführung der Karte von 1981 (FIGGE 1981) die angesprochenen Bereiche durch ähnlich feinkörnige Ablagerungen wie in der Karte von DECHEND (1950) oder in der AufMod-Karte beschrieben werden. In der Dokumentation (LAURER et al. 2013) zur überarbeiteten Karte nach FIGGE (1981) ("neue FIGGE-Karte") findet sich zudem folgender Erläuterungstext: "In den Gezeitenrinnen zwischen Sylt und dem Jadebusen wurden, aus Gründen der hohen Sedimentdynamik, die Probenpositionen der vorherrschenden gröberen Sedimente großflächig auskartiert. Feinkörnigere Sedimente wurden an ihren jeweiligen Probenpositionen ebenfalls berücksichtigt, allerdings nur als relativ kleine Polygone. Eine Ausnahme bildet hier die Piep westlich von Büsum ... ". Da jedoch die "neue FIGGE-Karte" zu nicht unwesentlichen Teilen auf den Daten der Erstausgabe (FIGGE 1981) basiert, sind die beschriebenen Unterschiede in den Sedimentverteilungsmustern nach unserer Einschätzung somit eher auf die vorstehend zitierte methodische Vorgehensweise (LAURER et al. 2013), denn auf tatsächlich unterschiedliche Sedimentzusammensetzungen zurückzuführen. Folgt man dieser Einschätzung bzw. zieht für einen Vergleich die Erstausgabe der Karte nach FIGGE (1981) heran, so werden die im Abstand von Dekaden erstellten Sedimentverteilungsmuster deutlich ähnlicher, was für die Hypothese der Stabilität der generellen Sedimentverteilung sprechen würde.

Insgesamt gelangen wir somit zu der Auffassung, dass sich die generelle Sedimentverteilung in den Piep-Rinnen des Dithmarscher Wattenmeers und den Hever-Rinnen im Nordfriesischen Wattenmeer in den vergangenen Dekaden nicht maßgeblich verändert hat. Zwar sind in den vergleichend betrachteten Kartenwerken Unterschiede auszumachen, diese sind aber entweder auf methodische Unterschiede (z. B. Kartiermaßstab, Datendichte) oder auf eher kleinräumige Sedimentverschiebungen innerhalb von im Wesentlichen stabilen Sedimentprovinzen zurückzuführen.

5 Schlussbetrachtung

Im Rahmen des AufMod Projektes sind die in der "neuen FIGGE-Karte" zusammengefassten Daten in vielfältiger Weise als Eingangsgrößen in numerische Modelle eingegangen. Die Betrachtungsgebiete umfassten zum Teil auch die Einzugsgebiete der untersuchten Gezeitenrinnen. Da hier einerseits, wie oben ausgeführt, die Sedimentverteilung als recht stabil angesehen werden kann und andererseits die Modelle mit relativ großen Gitterweiten betrieben wurden, gehen wir davon aus, dass die Sedimentinformationen in hinreichender Güte in die Modelle eingegangen sind. Bei höher aufgelösten Modellen sollte aber besser auf die neueren, räumlich deutlich detaillierteren AufMod-Karten zurückgegriffen werden, da bei diesen Karten Grenzen zwischen einzelnen Sedimenttypen sehr viel präziser auskartiert worden sind als in den älteren Kartenwerken. Die AufMod-Karten sind in der MDI-DE oder auch auf dem Geo Sea Portal zu finden.

6 Schriftenverzeichnis

- AHRENDT, K.: Ein Beitrag zur holozänen Entwicklung Nordfrieslands. Die Küste, 71, 1-32, 2006.
- BARTHOLOMÄ, A.; HOLLER, P.; SCHROTTKE, K. and KUBICKI, A.: Acoustic habitat mapping in the German Wadden Sea – Comparison of hydro-acoustic devices. Journal of Coastal Research, 64, 2011.
- BLONDEL, P.: Handbook of Sidescan Sonar. Berlin: Springer, 2009.
- DECHEND, W.: Sedimentpetrologische Untersuchungen zur Frage der Sedimentumlagerungen im Watt Nordfrieslands. Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Bd. 3, H. 5/6. 1950.
- DITTMER, E.: Schichtenaufbau und Entwicklungsgeschichte des Dithmarscher Alluviums, Westküste, 1, 1938.
- FIGGE, K.: Begleitheft zur Karte der Sedimentkartierung in der Deutschen Bucht 1:250 000 Nr. 2900. Hamburg, BSH, 1981.
- FIGGE, K.; KÖSTER, R.; THIEL, H. und WIELAND, P.: Schlickuntersuchungen im Wattenmeer der Deutschen Bucht, Die Küste, 35, 187-204, 1980.
- FLEMMING, B. W.: Siliciclastic Back-Barrier Tidal Flats. In: DAVIS, R. A. und DALRYMPLE, R. W. (eds.): Principles of Tidal Sedimentology. Springer Science+Business Media B. V., 2012.
- HERRLING, G. and WINTER, C.: Morphological and sedimentological response of a mixed-energy barrier island tidal inlet to storm and fair-weather conditions, Earth Surf. Dynam. Discuss., 1, 2013.
- HIGELKE, B.: Topographie, Morphodynamik und Hydrographie der südlichen nordfriesischen Watten. In: MÜLLER-WILLE et al. (Hrsg.): Offa-Bücher, Bd. 66: Landschaftsentwicklung und Siedlungsgeschichte im Einzugsgebiet der Norderhever (Nordfriesland), (Wachholtz) Neumünster, 1988.
- HOFFMANN, D.: Holocene landscape development in the marshes of the west coast of Schleswig-Holstein, Germany. Quarternary International, 112, 2004.
- HOFSTEDE, J.: Regional differences in the morphological behavior of four German wadden sea barriers. Journal of Quarterny International, 56, 1999.

- LAURER, W.-U.; NAUMAN, M. und ZEILER, M.: Sedimentverteilung in der deutschen Nordsee nach der Klassifikation von Figge (1981), http://www.gpdn.de, 2013.
- LÜNEBURG, H.: Sedimenthabitus und Sedimentdynamik in den Pieprinnen vor Büsum und im Hörnum-Tief vor Sylt (Deutsche Bucht). Inst. Meeresforsch. Bremerhaven, 11, 1969.
- LURTON, X.: An introduction to underwater acoustics. Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 2002.
- MILBRADT, P.; VALERIUS, J. und ZEILER, M.: Das Funktionale Bodenmodell: Aufbereitung einer konsistenten Datenbasis für die Morphologie und Sedimentologie, Die Küste, 83, 2015.
- NAUMANN, M.; WALDECK, A.; POBIN, W.; SCHWARZ, C. und FRITZ, J.: Ableitung von Korngrößenverteilungen aus textbasierten petrographischen Bohrgutbeschreibungen. Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften (German J. Geosci.) 165, 2, 275-286, 2014.
- OOST, A. P.; DE HAAS; H., IJNSEN, F.; VAN DEN BOOGERT, J. M. and DE BOER, P. L.: The 18.6 yr nodal cycle and its impact on tidal sedimentation. Sedimentary Geology, 87, 1993.
- REINECK, H. E.: Aktuo-Geologie klastischer Sedimente. Seckenberg-Buch, 61, 1984.
- RHODE, H.: Die Kornzusammensetzung der Wattsande zwischen Elbe und Eider. Die Wassertwirtschaft, 1, 1963.
- RICKLEFS, K. and ASP NETO, N. E.: Geology and Morphodynamics of a Tidal Flat Area along the German North Sea Coast, Die Küste, 69, 2005.
- RICKLEFS, K.; LEHNER, S. and RAUSCH, J.: Morphological Changes in a Tidal Flat Area: A Comparison of Radar, Optical and In-Situ Data, Die Küste, 69, 2005.
- RUNTE, K.-H. : Sedimenttransport unter Sturmflutbedingungen in einem Wattrückensystem des Blauortsands. Meyniana, 46, 1994.
- SCHROTTKE, K. und BARTHOLOMÄ, A: Schließen von Datenlücken und Verbesserung der Messmethoden, Die Küste, 83, 2015.
- TAUBERT, A.: Morphodynamik und Morphogenese des Nordfriesischen Wattenmeeres (Deutsche Bucht, Nordsee). Durch Untersuchungsstrategie zu neuen Sachaussagen. Hamburger Geogr. Studien, 42, 1986.
- TERWINDT, J. H. J.: Sequences of inshore subtidal deposits. In: GINSBURG, R. N. (ed.): Tidal deposits. Springer, 1975.
- VALERIUS, J.; KÖSTERS, F. und ZEILER M.: Erfassung von Sedimentverteilungsmustern zur großräumigen Analyse der Sedimentdynamik auf dem Schelf der Deutschen Bucht, Die Küste, 83, 2015.
- VAN RIESEN, D. und WINSKOWSKY, L.: Untersuchungen zu den morphologischen Veränderungen im südlichen NF-Wattenmeer im Zeitraum 1035-2003, Bericht aus dem Amt für ländliche Räume Husum (unveröffentlicht), 2007.
- VOSS, H.-H.: Unterlagen über Material und Methoden zur Vereinheitlichung der Korngrößenansprache bei der geologischen und bodenkundlichen Landesaufnahme. Archivbericht Nr. 010930 des ehem. NLfB (heute LBEG), Hannover, (unveröffentlicht), 1982.
- WIELAND, P.: Untersuchungen zur geomorphologischen Entwicklungstendenz des Außensandes Blauort, Die Küste, 23, 122-149, 1972.

- WIELAND, P.: Untersuchungen über geomorphologische Veränderungen in der Dithmarscher Bucht, Die Küste, 40, 1984.
- WILLE, P. C.: Sound images of the ocean in research and monitoring. Springer, 2005.
- WITEZ, P: Programme zur langfristigen Erhaltung des Wattenmeeres. PROWATT. Abschlussbericht zum KFKI Forschungsvorhaben MTK 0608 (03KIS3160), 2002.
- ZEILER, M.; SCHWARZER, K. and RICKLEFS, K.: Seabed morphology and sediment dynamics, Die Küste, 74, 31-44, 2008.