



## Morphologische Veränderungen von Wattflächen am Beispiel des Neufelder Sandes in der Elbmündung

Thorsten Albers & Nicole von Lieberman

TU Hamburg-Harburg, Institut für Wasserbau, Hamburg

### Abstract

The areas of the wadden sea at the German North Sea coast are affected by intense morphodynamics. Especially in the estuaries a change of sedimentation and erosion occurs on different time scales.

The Institute of River and Coastal Engineering at the Hamburg University of Technology (TUHH) runs extensive measurements to collect data in the area "Neufelder Watt" at the mouth of the Elbe estuary. Since July 2006 water levels, flow velocities and flow directions have been recorded continuously. Also the concentration of suspended sediments has been measured and recorded in high resolution within a cross section of the tidal creek "Neufelder Rinne". Furthermore, waves have been recorded and measured at various locations. In frequent intervals the bathymetry is determined by a multi-beam echo sounder attached to the research vessel, provided by the institute. On shorter time scales relocations of the Neufelder Rinne can be observed. To assess these changes in the context of the development of the whole area under investigation, the sediment balances over the last decades were analysed.

A goal of the research project is to improve the understanding of morphodynamic processes on tidal flats and to point out relations between tidal currents, wind and wave induced currents and the sediment transport. The results flow into the creation of a module to model the sediment transport in shallow water areas of the wadden sea and therefore contribute to an improved sediment management of estuaries.

### 1 Einleitung

Die Nordsee ist als Nebenmeer des Atlantischen Ozeans dem Einfluss der Tide ausgesetzt. Daher unterliegt die Deutsche Nordseeküste ständigen Veränderungen und ist durch große Wattflächen, langgestreckte Priel- und Rinnensysteme, Riffeln und Dünen, groß- und kleinräumige Sedimentumlagerungen sowie einen Tidehub von rund 2 bis 4 Metern gekennzeichnet. Die bedeutendsten Wasserstraßen sind die Ästuarsysteme von Elbe, Weser, Jade und Ems. Trotz einzelner, das Fahrwasser stabilisierender Maßnahmen unterliegen diese Ästuarie noch starken morphodynamischen Veränderungen, die besonders im tidebeeinflussten Elbdelta die für die Unterhaltung der Wasserstraßen und der Häfen Verantwortlichen vor immer wiederkehrende Probleme stellen. Insbesondere die Migration der mäanderförmigen Fahrwinne mit dem Medemgrund als bedeutendste Untiefe erfordert ständig beachtliche Unterhaltungs- und Stabilisierungsmaßnahmen. Neben diesen aktuellen Problemstellungen sind in der Zukunft weitere Belastungen zu erwarten, die bislang in ihrer Wirkung auf die Morphodynamik nur schwer abschätzbar sind, wie z.B. der Meeresspiegelanstieg sowie die Intensivierung von Sturmfluten als Folge der prognostizierten Klimaänderung und eine erneute Vertiefung des Fahrwassers (von Lieberman & Albers 2005).

Zur Wahrung der Zukunftschancen für den Standort Deutschland ist die freie Zufahrt der Seeschifffahrt zu den internationalen Seehäfen an der Deutschen Küste zu garantieren. Aufgrund der Entwicklung in der Containerschifffahrt hat diese gesellschaftliche Vorgabe mindestens den Erhalt der

bestehenden Fahrwasser in den Ästuaren zur Folge. Die wirtschaftliche Bedeutung dieser Schifffahrtswege wird für die Tideelbe als Lebensader der Region verstanden. Dieses schließt an der Tideelbe neben der allgemeinen großen Bedeutung für ihren maritimen und touristischen Wert insbesondere den Standort eines der größten Seehäfen der Welt mit ein (HPA & WSDN 2006).

Um die sich daraus ableitenden Risiken sicher abschätzen und einen ausgewogenen Kompromiss zwischen Nutzungsansprüchen und der naturräumlichen Bedeutung der betroffenen Küstenzonen finden zu können, ist ein umfassendes Prozessverständnis erforderlich. Aufgrund ihrer hohen Sensitivität gegenüber hydro- und morphodynamischen Veränderungen rücken dabei Wattgebiete – insbesondere im Mündungsgebiet von Tideflüssen – in das Zentrum wissenschaftlicher Aktivitäten.

Das „Naturmessprogramm zur Analyse morphodynamischer Veränderungen im Neufelder Watt“, das seitens der Hamburg Port Authority (HPA) mit dem Institut für Wasserbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) initiiert und durch die HPA finanziert wird, setzt hier an und soll auf der Basis umfassender Felduntersuchungen im Neufelder Watt in der Elbmündung das Prozessverständnis auf Wattflächen verbessern und eine sichere theoretische Grundlage für die mathematische mehrdimensionale Modellierung morphodynamischer Prozesse bereitstellen.

## 2 Untersuchungsgebiet

Die Felduntersuchungen finden im Neufelder Watt mit dem Neufelder Sand statt (Abb. 1). Das Untersuchungsgebiet liegt im Mündungsgebiet der Elbe und steht in hydro- und morphodynamisch enger Wechselwirkung mit dem Elbestrom. Eine Prozessanalyse dieses Gebietes wird neben den allgemeinen Fragestellungen der Morphodynamik von Wattflächen auch wichtige, auf diesen Naturraum bezogene Erkenntnisse über die kurz- und mittelfristigen Umlagerungsprozesse liefern. Sie sollen einen ergänzenden Beitrag zu den zurzeit in der Untersuchung befindlichen Auswirkungen von Strombaumaßnahmen und neuer Methoden zum Sedimentmanagement im Tideflusssystem der Elbe liefern.



Abb. 1: Luftaufnahme des Untersuchungsgebietes in der Elbmündung (Quelle: ALR Husum 2005)

Der Neufelder Sand entstand in der Zeit nach 1926, als sich südlich des Neufelder Watts zunächst eine Barre bildete, die die Anfänge des Neufelder Sandes bedeutete. Der Ebbstrom verlief entlang des Nordufers der Elbe bis Neufelderkoog und orientierte sich dann am südlichen Rand des Neufelder

Watts und des Medemsandes. Während die Erosion der Neufelder Rinne voranschritt und diese sich immer tiefer in das Neufelder Watt grub, schritt auch die Entstehung des Neufelder Sandes weiter fort (Thumm 2003).

Bis etwa um das Jahr 1960 herum ist der Neufelder Sand zu einer Wattfläche angewachsen. In den Folgejahren wurde an seiner Südflanke durch den Bau des Leitdamms „Hermannshof“ in die Entwicklung dieses Wattgebietes eingegriffen. Der Leitdamm lenkte den Ebbstrom von der Neufelder Rinne hin zur Fahrrinne, was eine zunehmende Sedimentation der Rinne nach sich zog. In der Folge des Baus stabilisierte sich zudem die Wattkante im unmittelbaren Umfeld des Leitdamms, während die großräumigen Strukturen des Neufelder Sandes starken Veränderungen unterworfen waren. Der Neufelder Sand wurde durch den Leitdamm vor den Angriffen des Ebbstromes und damit vor einem Durchstechen geschützt. Heute ist die Neufelder Rinne nur noch ein Priel mit einer tiefsten Stelle bei etwa – 2 m NN. Dennoch ist die Neufelder Rinne für den Gesamtkomplex des Neufelder Watts von großer Bedeutung, da sie eindeutig der dominierende Priel in diesem Gebiet ist und somit wesentlich für die Be- und Entwässerung des Wattkomplexes verantwortlich ist.

### 3 Langfristige Entwicklung

Zur Untersuchung der morphologischen Veränderungen in der Elbmündung in großen Raum- und Zeitskalen liegen einige aktuelle sowie historische Wattgrundkarten und topographische Karten vor. Aus ihnen wurde zunächst ein rein visueller Vergleich der vorliegenden Karten erstellt, um etwa Verlagerungen von Rinnen und die Entstehung von Sänden zu erkennen. Durch Subtraktion der Höhendaten von Punkten gleicher räumlicher Lage wurden exemplarisch Höhendifferenzbilder erstellt, aus denen Erosions- oder Sedimentationstendenzen über den jeweiligen Vergleichszeitraum ersichtlich werden. Gerade bei Vorliegen vieler Karten geht der Überblick schnell verloren. Um alle vorliegenden Karten zu berücksichtigen und die Veränderungen zu quantifizieren, wurden die Höhenänderungen weiter analysiert. Es empfiehlt sich dabei, jeweils nur begrenzte Flächen zu betrachten, die morphologisch zu einer Einheit gehören (z.B. hohes Watt, Randwatt, Brandungswatt, Rinnensysteme). Des Weiteren ist zu beachten, dass nicht alle Aufnahmen das gesamte Gebiet der Elbmündung abdecken.

Die erstellten Höhendifferenzendarstellungen visualisieren das Ergebnis aller natürlichen Höhenänderungen, die während des Vergleichsraumes im betrachteten Gebiet aufgetreten sind. Zusätzliche können statistische Auswertungen der Höhendifferenzmodelle erstellt werden. Anhand einer Auswertung der Höhendifferenzen lassen sich zwei Kennwerte für die morphologische Aktivität des Gebietes ermitteln: Die mittlere Höhenänderung als Differenzwert (Bilanzhöhe) und die mittlere Höhenänderung als Absolutwert (Umsatzhöhe) von Sedimentation und Erosion aller Zellen. Da allerdings die zwischenzeitlich abgelaufenen Umlagerungen nicht erfasst werden, liegt der tatsächliche Materialumsatz vermutlich deutlich über dem der Kartenauswertung. Das Ausmaß dieser Abweichungen nimmt mit der Länge des Vergleichszeitraumes zu.

Die Arbeiten im Rahmen des MORAN-Projektes (Siefert 1987) haben gezeigt, dass die Umsatzhöhe  $h_u$  über den Vergleichszeitraum  $a$  als Sättigungsfunktion

$$h_u = h_{ua} \left( 1 - e^{-a/a_0} \right) \quad \text{Gl.1}$$

bestimmt werden kann. Hierbei gibt  $a$  als einzige Variable einen Betrachtungszeitraum (den Zeitraum zwischen zwei topographischen Aufnahmen) an, nicht aber die fortlaufende Zeit. Die asymptotische Umsatzhöhe  $h_{ua}$  ist ein (theoretisch erst für sehr große  $a$  erreichbarer) mittlerer Höchstwert für  $h_u$ ;  $a_0$  steht für den Zeitraum, in dem  $h_{ua}$  bei gleichmäßiger, linearer Veränderung der Topographie erreicht werden würde. Die Steigung im Ursprung beträgt  $h_{ua}/a_0$  und entspricht somit der Umsatzrate.

Für die Quadrate im Wattkomplex Neufelder Sand wurde versucht, eine Sättigungskurve zu berechnen. Für ein Quadrat liegen beispielsweise 18 topographische Aufnahmen aus den Jahren 1954

bis 2004 vor. Es sind somit insgesamt 152 Kartenvergleiche mit einem Vergleichszeitraum von  $a = 1$  Jahr (z.B. 1983/1984),  $a = 2$  Jahre (z.B. 1977/1979) bis zu  $a = 50$  Jahre (1954/2004) möglich. Es können also 152 Umsatzwerte, die jedes Mal den Mittelwert aus den Daten der Gesamtfläche des Quadrates darstellen, zur Auswertung herangezogen werden. Die 152 Umsatzwerte werden in einem Diagramm gegen den Vergleichszeitraum  $a$  aufgetragen. Durch die so entstandene Punktwolke wird versucht, die Funktion  $h_u = f(a)$  zu berechnen. Es ist festzustellen, dass kein asymptotischer Grenzwert erreicht wird und es somit auch nicht möglich ist, eine Funktion der oben beschriebenen Art zu bestimmen.

Es lässt sich nur dann eine Sättigungsfunktion errechnen, wenn die Bilanzhöhe  $h_b$  bei Zunahme des Vergleichszeitraumes  $a$  gegen Null geht oder sich auf ein bestimmtes Niveau einpendelt. Wenn  $h_b$  auch bei zunehmendem  $a$  im Verhältnis zu  $h_u$  wächst, deutet dies auf eine säkulare Hebung während des Vergleichszeitraumes hin (Hofstede 1991). Bei der Darstellung der Bilanzhöhen über die Vergleichszeiträume (Abb. 2) zeigt sich, dass lediglich bei fünf der 152 Kartenvergleiche für das gewählte Quadrat im Untersuchungsgebiet Neufelder Sand über alle Zellen gemittelt Erosion auftrat. In allen übrigen Fällen fand Sedimentation statt: Der Neufelder Sand wuchs im untersuchten Bereich über den Betrachtungszeitraum stetig in die Höhe und die Neufelder Rinne verlandete kontinuierlich. Dabei ergeben sich die größten Bilanzhöhen natürlich bei den größten Vergleichszeiträumen. Um nähere Informationen über die morphologische Änderungsrate des Gebietes zu erhalten, wurden die Bilanzhöhen gleichverteilt über die Dauer des zugehörigen Vergleichszeitraumes berechnet (Abb. 3) und dann wiederum gegenüber dem Vergleichszeitraum aufgetragen. Je größer dabei der Vergleichszeitraum, desto mehr pendelt sich die Änderung der Bilanzhöhe bei 0,14 m pro Jahr ein. Das bedeutet, dass langfristig ein Anwachs der untersuchten Fläche im Neufelder Sand um 0,14 m pro Jahr stattfindet. Diese Änderungsrate hat zurzeit nur eine schwach abnehmende Tendenz. Über kurze Vergleichszeiträume können auf der Untersuchungsfläche jedoch auch wesentlich größere oder kleinere (bzw. negative) Änderungsraten auftreten. Aus dieser Art der Darstellung können ebenfalls Vergleichszeiträume erkannt werden, in denen extreme Umlagerungen stattfanden (z.B. 1984/1983, 1979/1977).

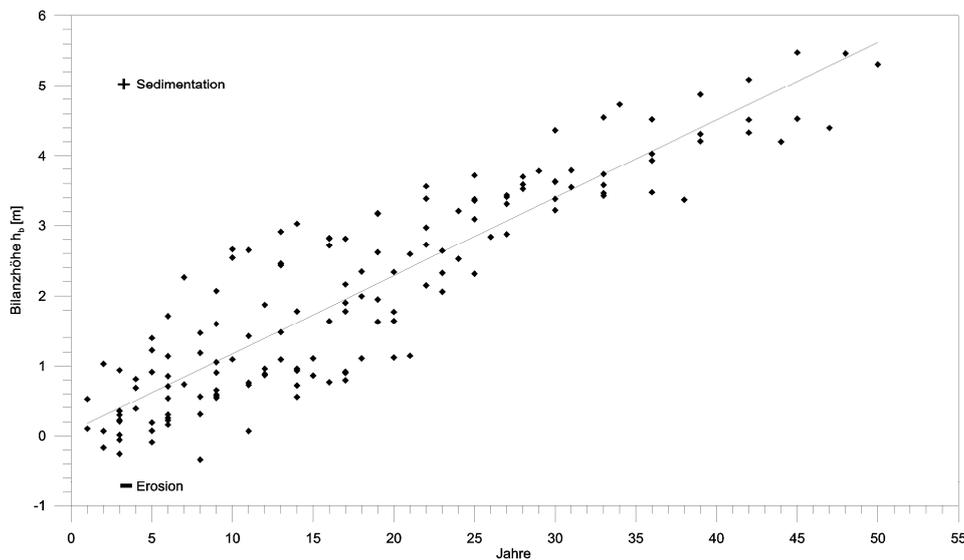


Abb. 2: Bilanzhöhen über die Vergleichszeiträume

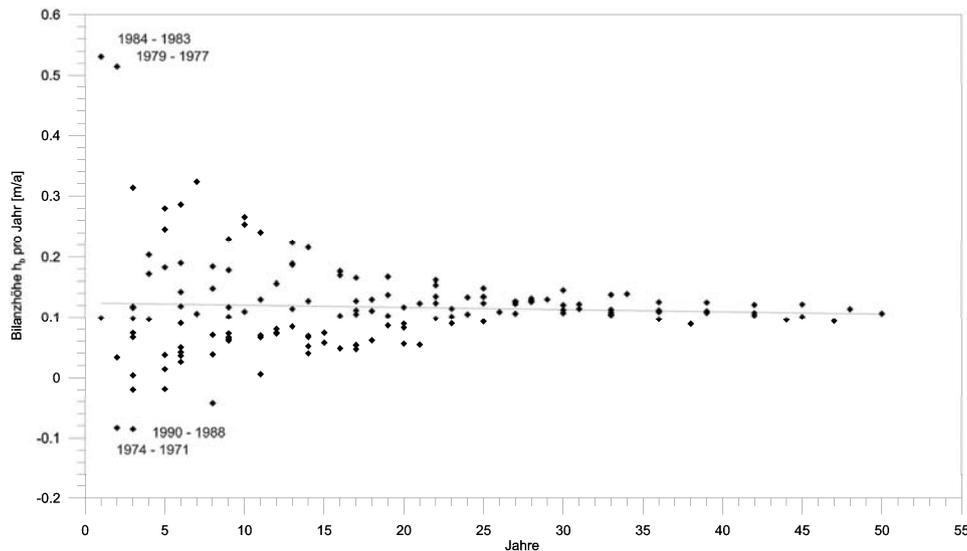


Abb. 3: Bilanzraten über die Vergleichszeiträume

#### 4 Messprogramm

In der Neufelder Rinne wurde ein Querschnitt ausgewählt, in dem Messgeräte installiert wurden. Die Position des Querschnittes im Neufelder Watt ist der Abb. 4 zu entnehmen. Der mittlere Tidenhub im Untersuchungsgebiet liegt bei etwa 3 m. Auf Höhe des Messquerschnittes beträgt die Breite der Neufelder Rinne ca. 100 m und die tiefste Stelle liegt bei  $-2$  m NN. Dies führt zu Wasserständen von 0,50 m bei mittlerem Tideniedrigwasser bis zu 3,50 m bei mittlerem Tidehochwasser an der tiefsten Stelle. Die umliegenden Wattflächen und die Messgeräte an den Prielrändern fallen während längerer Phasen trocken. In der Prielmittle sowie an beiden Rändern wurden kontinuierlich und hochauflösend jeweils Strömungsparameter, Konzentrationen suspendierter Sedimente und Seegangparameter aufgezeichnet. Dabei kamen drei Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), fünf Drucksonden sowie drei Optical Backscatter Sensor (OBS) zum Einsatz. Über den Einsatz dieser stationären Messgeräte hinaus erfolgten in regelmäßigen Abständen von drei bis vier Wochen sowie nach Extremereignissen Vermessungen der Bathymetrie mit Hilfe eines Fächerecholotes (MBES). Des Weiteren wurden Bodenproben entnommen, die die Basis für eine Sedimentdatenbank des Untersuchungsgebietes bilden.

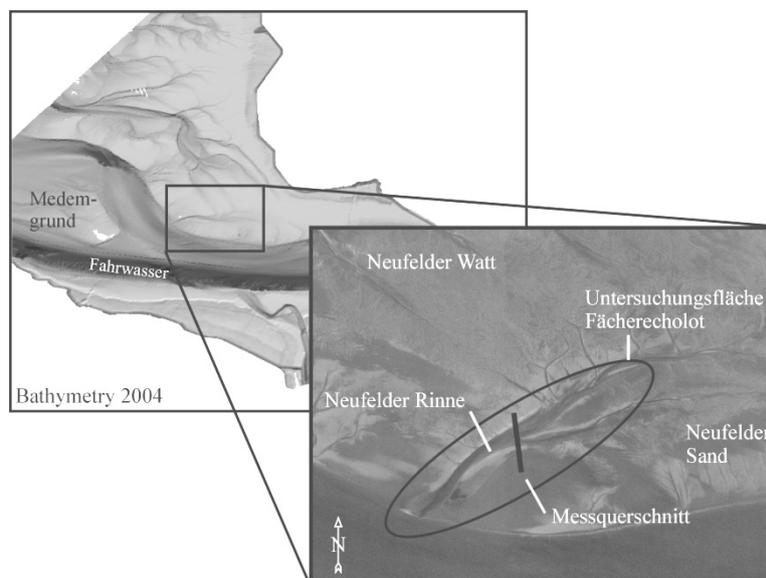


Abb. 4: Lage des Messquerschnittes und der Untersuchungsfläche des Fächerecholotes

Die Anordnung der Messgeräte in einer Messposition ist in Abb. 5 dargestellt. Von Juni 2006 bis Dezember 2006 wurden sämtliche oben genannten Parameter parallel an den drei Messpositionen aufgezeichnet. Zur Messung der Strömungsrichtung und -geschwindigkeit wurden ADCP-Geräte des Typs Workhorse Sentinel der Firma RDI verwendet. Die Konzentrationen suspendierter Sedimente wurden durch ein indirektes Messverfahren mit Hilfe Trübungsmessgeräten der Firma ARGUS Environmental Instruments bestimmt. Bei dem innovativen Messgerät Argus Surface Meter sind 100 optische Backscatter Sensoren in einem Stahlrohr montiert und messen so den Sedimentgehalt in der Wassersäule einen Meter über der Sohle. Zuvor wurde das Gerät anhand von in dem Untersuchungsgebiet entnommenen Sedimentproben kalibriert. Der Seegang wurde mit Hilfe von fünf Drucksonden aufgezeichnet. Die Fächerecholotvermessungen erfolgten mit dem Forschungsboot des Instituts für Wasserbau der TUHH.

Im Mai 2007 wurden die Messungen wieder aufgenommen. In der gegenwärtigen Phase des Projektes wird der Schwerpunkt der Felduntersuchung auf den südlichen Rand des Neufelder Watts gelegt. Es wurde wiederum darauf geachtet, die Messgeräte so nah wie möglich zueinander zu platzieren, ohne dass diese sich gegenseitig beeinflussen. Nach jeder Wartung der Geräte werden deren Positionen in Lage und Höhe exakt mit Hilfe eines Differential GPS eingemessen.

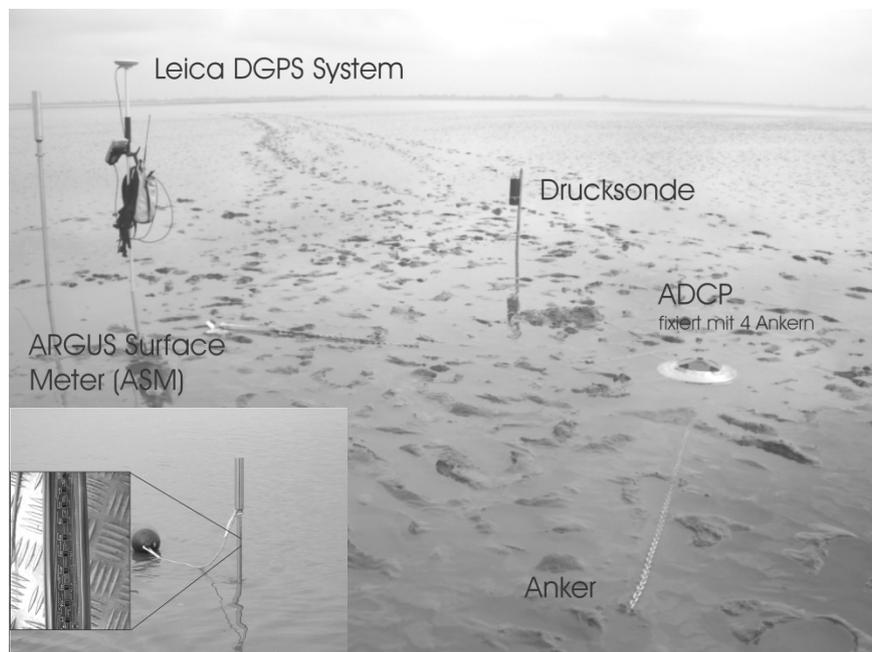


Abb. 5: Messposition mit Drucksonde, ADCP, ASM. DGPS zur Einmessung der Geräte. Bild im Bild: ARGUS Surface Meter (ASM) mit optischen Backscatter Sensoren.

## 5 Kurzfristige Entwicklung

Wegen der geringen Wassertiefen und der hohen Sedimentkonzentrationen im Untersuchungsgebiet besitzt eine umfassende Bereinigung der aufgezeichneten Fächerecholotdaten große Bedeutung. Nach dem Postprocessing konnte aus dem jeweiligen Datensatz ein digitales Geländemodell des untersuchten Bereiches erstellt werden. Auffällig ist ein Ebbdelta an der Mündung der Neufelder Rinne. Anhand der gekennzeichneten Quer- und Längsprofile (Abb. 7) zu verschiedenen Betrachtungszeitpunkten kann die vertikale und horizontale Verschiebung der Prielachse verdeutlicht werden.

Abb. 8 zeigt einen Querschnitt an der Mündung der Neufelder Rinne. Es ist eine ostwärts gerichtete horizontale Verschiebung festzustellen. Gleichzeitig nehmen die Sohlhöhen in diesem Bereich zu. In Abb. 9 ist ein Längsschnitt des untersuchten Bereichs der Neufelder Rinne dargestellt. Die großen

Änderungen an der Prielmündung resultieren aus der Horizontalverschiebung der Prielachse in diesem Gebiet. Im Verlauf der Neufelder Rinne nehmen die Änderungen der Bathymetrie ab. Etwa in der Mitte des Prielverlaufs kann eine Vertiefung der Sohle nach dem 28. Juni 2006 festgestellt werden. Im hinteren Part der Rinne sind die Veränderungen marginal. Ein unmittelbarer Einfluss der schweren Sturmflut, die am 1. November 2006 stattfand, auf die Bathymetrie ist nicht auszumachen.

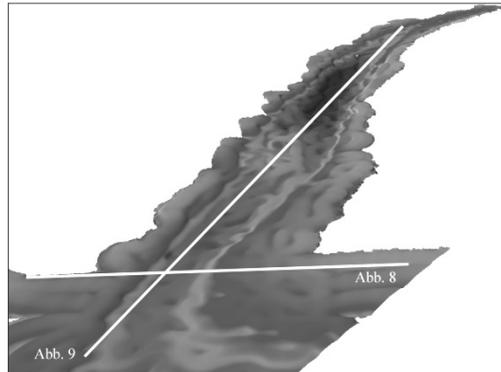


Abb. 7: Ergebnis der Fächerecholotvermessung vom 28. Juni 2006 und Position des Längs- und Querschnittes in der Neufelder Rinne

Die horizontale Verschiebung der Mündung der Neufelder Rinne ist von untergeordneter Bedeutung für die Morphodynamik des Untersuchungsgebietes. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass die Position von Prielen sich im Verlaufe weniger Tidezyklen um einige Dezimeter verändern kann, diese Verschiebungen allerdings reversibel sind (Ehlers 1988).

Ein Vergleich der digitalen Geländemodelle verschiedener Untersuchungszeitpunkte erfolgt durch die Bildung von Höhendifferenzenmodellen. Aus allen Fächerecholotvermessungen wird ersichtlich, dass bis auf kleinere räumlich begrenzte Verlagerungen und der Verschiebung der Mündung die Neufelder Rinne im untersuchten Zeitraum lagestabil war. Nach der Auswertung der zweiten Projektphase, die im Februar 2007 begann, wird eine Aussage möglich sein, ob die zwischen Juni und November 2006 erhaltenen Resultate das Ergebnis saisonaler Effekte oder die Teile einer kontinuierlichen langfristigen Entwicklung sind.

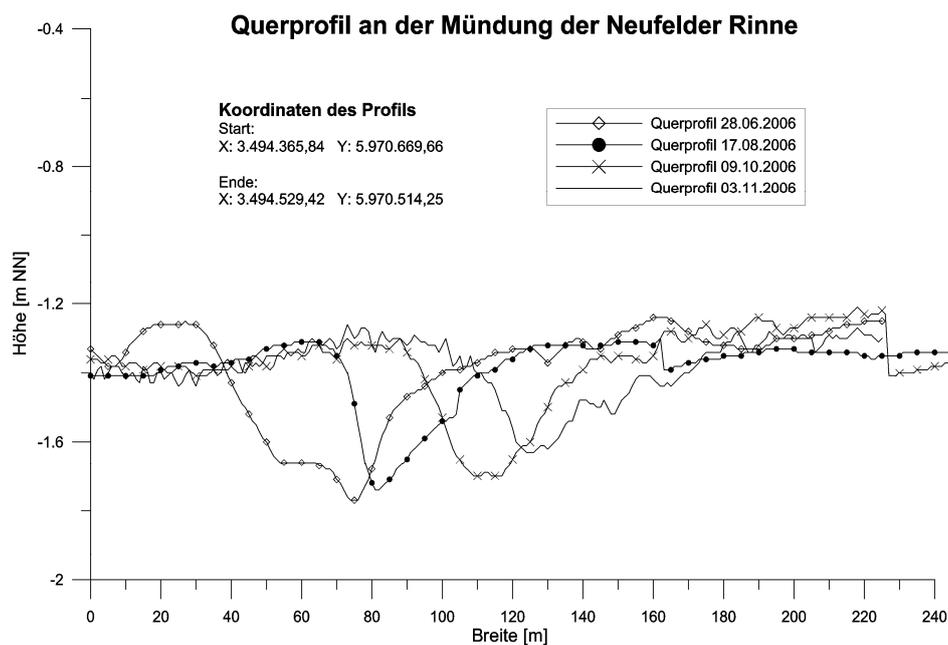


Abb. 8: Querprofil der Mündung der Neufelder Rinne zu verschiedenen Zeitpunkten

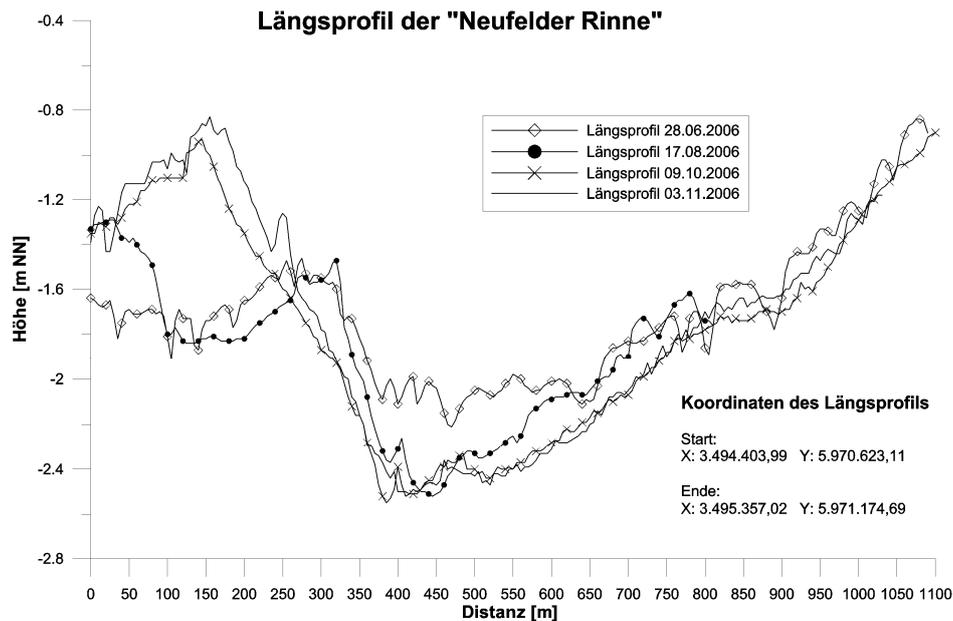


Abb. 9: Längsprofil der Mündung der Neufelder Rinne zu verschiedenen Zeitpunkten

## 6 Auswertung der Messdaten

In Abb. 10(a) sind die gemessenen Größen in der Prielmitte vom 4. Juli 2006 aufgetragen und stehen exemplarisch für den überwiegenden Teil der Messungen in den Sommermonaten ohne nennenswerte Trift- oder seegangsinduzierte Strömung. Dargestellt sind die Windgeschwindigkeit und Windrichtung, der Wasserstand, Strömungsgeschwindigkeit und -richtung sowie die Konzentration suspendierter Sedimente. Die letzten drei Parameter sind tiefengemittelt dargestellt.

Die Maxima in den Strömungsgeschwindigkeiten während der Flut- und der Ebbephase sind deutlich zu erkennen. Der Verlauf der Tide ist deutlich den aufgetragenen Strömungsrichtungen zu entnehmen. Die Tideströmung folgt dabei exakt dem Verlauf der Neufelder Rinne. Erkennbar ist die kürzere Dauer der Flutphase. Das Signal der Sedimentkonzentrationen ist im Allgemeinen stärkeren Schwankungen unterworfen als die Strömungsmessungen. Es sind Maxima auszumachen, die zeitversetzt den Maxima der Strömungsgeschwindigkeit folgen. Während des Verlaufes des dargestellten Zeitraumes sind die Konzentrationen der suspendierten Sedimente höher als zu anderen Messzeitpunkten. Dies trat wiederholt während Phasen niedrigerer Wasserstände auf.

Abb. 10(b) zeigt die gemessenen Werte während der Sturmflut von 1. November 2006. Der maximale Wasserstand liegt bei 3 m über dem Mittlerem Tidehochwasser. Die Peaks der Strömungsgeschwindigkeit sind deutlich verbreitert. Die Strömungsrichtung folgt nicht mehr dem Verlauf der Neufelder Rinne. Die Sedimentkonzentration liegt auf einem normalen Niveau und deutlich unter dem in Abb. 10(a) dargestellten.

Aus den aufgezeichneten und ausgewerteten Sedimentkonzentrationen und den Strömungsparametern wurde der residuelle Transport berechnet, indem die transportierten Sedimentmengen während der Flut- und Ebbephase bilanziert wurden. Der Transport während der Ebbephase überwog, wobei die Menge des transportierten Materials von Tide zu Tide stark variieren konnte. Insgesamt waren Phasen mit höherem bzw. niedrigerem Transport ausgeglichen. Das aus der Neufelder Rinne ausgetragene Material lagert sich zum Teil an der Mündung ab und bildet dort das bereits oben erwähnte Ebbdelta.

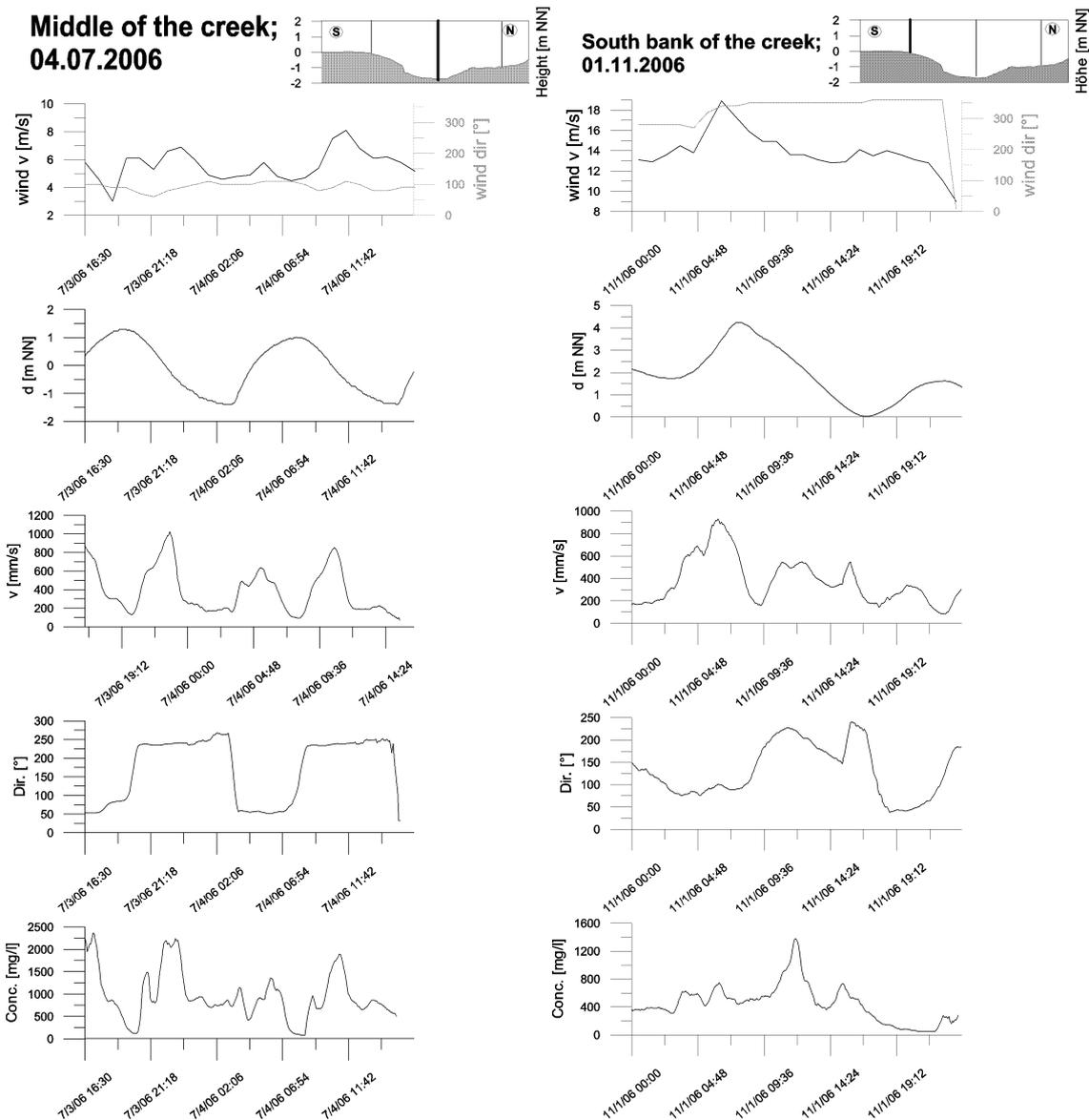


Abb. 10: Messdaten vom 4. Juli 2006 (a) und vom 1. November 2006 (b)

Im Rahmen des Forschungsprojektes PROMORPH, das in den Jahren 2000 bis 2002 von verschiedenen Instituten durchgeführt wurde, wurden Felduntersuchungen in den Tiderinnen der zentralen Dithmarscher Bucht an der Westküste Schleswig-Holsteins durchgeführt. Die Messungen decken einen großen Bereich von Tidebedingungen ab, wobei die Breiten der untersuchten Tiderinnen bis zu zehn Mal größer waren als die der Neufelder Rinne. Die Wassertiefen betragen bis 18 m (Poerbandono & Mayerle 2005). Obwohl die Untersuchungsgebiete unterschiedliche hydrologische und morphodynamische Charakteristika aufweisen, kann ein Vergleich der Resultate der beiden Projekte genutzt werden, um die Ergebnisse aus dem Neufelder Watt zu bewerten.

## 7 Schlussfolgerungen

Auf Grundlage der bis dato ausgeführten Felduntersuchungen im Neufelder Watt können bestimmte Schlussfolgerungen über die morphodynamischen Prozesse in Flachwassergebieten des Wattenmeeres gezogen werden. Dabei wurden sowohl die Daten der stationären Messgeräte als auch die Ergebnisse der Fächerecholotvermessungen analysiert und bewertet. Die Resultate werden bei der Erstellung

eines numerischen Modells des Untersuchungsgebietes berücksichtigt und können helfen, das Prozessverständnis der Hydro- und Morphodynamik auf Wattflächen zu verbessern.

Morphologische Tendenzen und Verlagerungen der Neufelder Rinne wurden mit Hilfe von Fächerecholotvermessungen aufgezeichnet. Dabei konnten im Untersuchungszeitraum keine signifikanten Zeichen von Instabilität festgestellt werden. An der Mündung der Neufelder Rinne fand eine horizontale Verschiebung der Prielachse statt, welche allerdings von untergeordneter Bedeutung für die Morphodynamik des Untersuchungsgebietes ist. Innerhalb der Neufelder Rinne wurden Sedimentverlagerungen beobachtet, insgesamt war die Situation allerdings ausgeglichen. Unmittelbar nach der Sturmflut vom 1. November 2006 wurde keine nennenswerte Veränderung der Bathymetrie festgestellt.

Die Auswertung der Strömungsdaten zeigte die immense Bedeutung der Neufelder Rinne für die Be- und Entwässerung des Untersuchungsgebietes. Die Tidenströmung folgte dem Verlauf der Rinne auf der gesamten untersuchten Breite des Messquerschnittes. Selbst bei Wasserständen, die deutlich über der bathymetrischen Höhe der Prielufer lagen, folgte die Strömung dem Verlauf der Rinnenachse. Während einer normalen Tide folgte dem Maximum der Strömungsgeschwindigkeit zeitversetzt ein Maximum der Konzentration suspendierter Sedimente.

Eine Abschätzung des residuellen Transports zeigte, dass die Menge der transportierten Sedimente während der Ebephase überwog. Das bewegte Material akkumuliert an der Mündung der Neufelder Rinne und bildet dort ein Ebbdelta.

Der Sedimenttransport im Untersuchungsgebiet war während des Messzeitraumes hauptsächlich durch die Tidenströmung geprägt. Wind- oder welleninduzierte Strömungen beeinflussten den Sedimenttransport nur während extremer Wetterbedingungen. Im Falle einer Sturmflut jedoch sind die Wassertiefen so groß, dass die seegangsinduzierten Strömungen keine erodierende Wirkung auf den Wattboden im untersuchten Gebiet haben.

## **8 Zusammenfassung und Ausblick**

Angesichts der großen Bedeutung, die der freie Zugang des Hamburger Hafens zum Meer für die wirtschaftliche Entwicklung des Nordens Deutschlands besitzt, dieser aber auch durch Fehleinschätzungen in der morphodynamischen Entwicklung des Elbeästuars zu unwirtschaftlichen Unterhaltungsmaßnahmen führen kann, muss die Wissensgrundlage über morphodynamische Prozessabläufe und Wirkungszusammenhänge dringend verbessert werden. Insbesondere gilt dies für die Flachwasserbereiche des Wattenmeeres.

Das Projekt „Naturmessprogramm und Modellbildung zur Analyse morphodynamischer Veränderungen im Neufelder Watt“ soll auf diesem Gebiet einen Beitrag leisten, indem auf der Grundlage umfangreicher Felduntersuchungen auf einem Teilraum des norddeutschen Wattenmeeres die hydrodynamischen und morphodynamischen Prozesse analysiert und Wirkungsketten aufgezeigt werden. Hierauf aufbauend soll eine verbesserte Theorie zur Morphodynamik von Wattbereichen entwickelt werden, die es erlaubt, das Verhalten von Seegang in Flachwasserstrukturen sowohl in der Fläche als auch Prielen und Rinnen des Wattenmeeres zu beschreiben.

Aus den bisher im Rahmen dieses Projektes erfolgten Untersuchungen und Naturmessungen können bestimmte Schlüsse über die Morphodynamik des Neufelder Watts bzw. des Neufelder Sandes gezogen werden. Dabei finden sowohl die stationären Messungen als auch die Fächerecholotvermessungen Berücksichtigung.

Aus der Analyse vorliegender historischer Vermessungsdaten ging hervor, dass der Neufelder Sand über lange Betrachtungszeiträume einer konstanten Entwicklung folgt, auf kleinen Zeitskalen jedoch Veränderungen unterliegt. Es ist das Ziel, diese Veränderungen zu verstehen. Entsprechende morphologische Entwicklungen wurden durch die Fächerecholotmessungen dokumentiert.

Die Neufelder Rinne ist über den Untersuchungszeitraum insgesamt relativ lagestabil. Lediglich im Mündungsbereich finden horizontale Verschiebungen der Achse statt, die aber für die morphologische Entwicklung von untergeordneter Bedeutung sind. Innerhalb der Neufelder Rinne fanden zwar Materialumlagerungen statt, insgesamt ist die Sedimentbilanz auf den untersuchten Flächen allerdings ausgeglichen. Unmittelbare Auswirkungen von Extremereignissen auf die Morphologie konnten im Betrachtungszeitraum nicht ausgemacht werden.

Durch die Abschätzung des residuellen Transports wird deutlich, dass der Sedimenttransport während der Ebbe überwiegt. Ausgetragenes Material sedimentiert an der Ausfahrt der Neufelder Rinne wieder und bildet dort ein Ebbdelta. Aus der Rinne ausgetragenes Material stammt von den Wattflächen, was sich in den erhöhten Sedimentkonzentrationen an den Prielrändern zeigt.

Durch die Auswertung der Strömungsmessungen wird deutlich, dass die Neufelder Rinne das entscheidende Steuerungsinstrument für die Be- und Entwässerung des gesamten Wattkomplexes ist. Die tidebedingten Strömungen folgen auf der gesamten durch die Messgeräte erfassten Breite der Achse der Rinne. Auch bei Wasserständen, die deutlich über der Oberkante des umliegenden Watts liegen, entspricht die Strömungsrichtung der Ausrichtung der Rinne. Während Ebbe und Flut sind die üblichen Strömungsmaxima festzustellen. Während normaler Tiden folgt den tidebedingten Strömungsmaxima zeitversetzt ein Maximum in der Konzentration suspendierter Sedimente. Der Sedimenttransport ist somit primär durch die Tideströmung geprägt. Triftströmungen oder seegangsinduzierte Strömungen sind erst bei extremen Wetterlagen zu erkennen. Im untersuchten Messquerschnitt ist die Wirkung von seegangsinduzierten Strömungen begrenzt, da nur bei erhöhten Wasserständen nennenswerter Seegang bis dorthin vordringt, dann allerdings der vorhandene Wasserstand eine hohe dämpfende Wirkung besitzt.

Während der ersten Phase des Projektes konnten wichtige Erkenntnisse über die Morphodynamik des Untersuchungsgebietes gewonnen werden. In der Folgephase werden diese Erkenntnisse in die hydronumerische Modellierung einfließen, die später helfen sollen, zukünftige Strombaumaßnahmen zu bewerten.

Auch weiterhin sind in regelmäßigen Abständen Fächerecholotaufnahmen der Neufelder Rinne geplant, um Sedimentbilanzen aufstellen zu können. Des Weiteren müssen Messungen durchgeführt werden, um die Modellierung zu unterstützen. Insbesondere zur Erfassung von Randbedingungen müssen weitere Messkampagnen betrieben und Messfahrten unternommen werden. Entlang des südlichen, des westlichen und des östlichen Modellrandes müssen Strömungsparameter und Sedimentkonzentrationen aufgezeichnet werden. An diesen Positionen werden jeweils zwei Geräte entlang des Randes installiert werden, um somit von punktuellen Werten auf linienhafte Informationen schließen zu können, die im Modell verwendet werden können. Seegangsmessungen werden über die Wattkante am südlichen Modellrand verteilt sowie auf der Fläche des Neufelder Sandes vorgenommen.

Weiterhin sind für die Modellierung detaillierte Kenntnisse über die anstehenden Sedimente erforderlich. Daher sind umfangreiche großflächige Entnahmen von Sedimentproben vorgesehen. Ergänzt werden kann diese herkömmliche Methode zur Seegrundklassifizierung durch hydroakustische Verfahren mit Hilfe eines Fächerecholotes.

## Literatur

- Ehlers, J. (1988): The Morphodynamics of the Wadden Sea. Balkema. Rotterdam, The Netherlands.
- Hofstede, J. (1991): Hydro- und Morphodynamik im Tidebereich der deutschen Bucht. In: Berliner geographische Studien, Band 31.
- HPA & WSDN (2006): Konzepte für eine nachhaltige Entwicklung der Tideelbe als Lebensader der Metropolregion Hamburg. Broschüre.
- Poerbandono & R. Mayerle (2005): Composition and Dynamics of Sediments in Tidal Channels of the German North Sea Coast. In: Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.): Die Küste, Heft 69. Boyens, Heide/Holstein.
- von Lieberman, N. & T. Albers (2005): Analyse und Detailmodellierung morphodynamischer Wattstrukturen im Mündungsgebiet der Elbe. In: Hafenbautechnische Gesellschaft (Hrsg.): Tagungsband zum HTG-Kongress 2005. Seehafen-Verlag, Hamburg.
- Thumm, S. (2003): Temporale Analyse der morphodynamischen Veränderungen im Tidebereich der Elbe. Studienarbeit, Technische Universität Hamburg-Harburg. Unveröffentlicht.
- Siefert, W. (1987): Umsatz- und Bilanz-Analysen für das Küstenvorfeld der Deutschen Bucht, Grundlagen und erste Auswertungen (Teil 1 der Ergebnisse eines KFKI-Projektes) In: Die Küste, Heft 45. Boyens, Heide/Holstein.

## Adresse

Prof. Dr.-Ing. Nicole von Lieberman  
Dipl.-Ing. Thorsten Albers  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
Institut für Wasserbau  
Denickestraße 22  
D-21073 Hamburg

[vonlieberman@tuhh.de](mailto:vonlieberman@tuhh.de)  
[t.albers@tuhh.de](mailto:t.albers@tuhh.de)