

Zur Sedimentdynamik in den ostfriesischen Rückseitenwatten und den Veränderungen durch natürliche und anthropogene Einflüsse

*Alexander Bartholomä und Burghard W. Flemming
Forschungsinstitut Senckenberg,
Abt. für Meeresforschung, Wilhelmshaven*

1. Einleitung

Die Sedimentdynamik in den ostfriesischen Rückseitenwatten steht in Wechselbeziehung mit der Wattenmorphologie sowie hydrodynamischen und physikalischen Kräften. Unter dem Begriff Sedimentdynamik werden Transport-, Ablagerungs- und Remobilisierungsprozesse von Sedimenten zusammengefasst. Nach einem Einblick in die Sedimentverteilung soll hier versucht werden, den Einfluß natürlicher und anthropogener Einflüsse aufzuzeigen und daraus resultierende Veränderungen in der Sedimentverteilung darzustellen. Sicherlich ist eine eindeutige Trennung dieser Einflüsse nur schwer möglich, jedoch zeigen einige der im Laufe der letzten 1000 Jahre durch den Mensch vorgenommenen physischen Eingriffe deutliche Veränderungen im Sedimentationsgeschehen auf.

2. Eigenschaften und Verteilung der Wattersedimente

Um die Sedimentationsprozesse in den Rückseitenwatten zu verstehen, ist es notwendig, sich mit der Qualität der Sedimente, den morphologischen Einheiten und den Ablagerungsprozessen vertraut zu machen.

2.1 Die Qualität der Sedimente

Aus einer Anzahl von mehreren 1000 Proben, die flächendeckend den Bereich der Rückseitenwatten von Spiekeroog und Langeoog über die letzten Jahre abdecken, läßt sich sehr gut die Verteilung und Verlagerung der Oberflächensedimente dokumentieren (FLEMMING & DAVIS 1994, FLEMMING & NYANDWI 1994, FLEMMING & ZIEGLER 1995).

Die Sedimente des Wattenmeeres bestehen in ihren größeren Fraktionen (0.063 mm - 0.250 mm) fast ausschließlich aus Quarzsanden, in den feineren Fraktionen werden diese zunehmend durch Tonminerale und karbonatische Anteile

ergänzt, während schließlich die kleinsten Partikel überwiegend aus Tonmineralien bestehen können. Das Korngrößenspektrum der Partikel reicht von 250 μm (= 0.25 mm) bis $< 1 \mu\text{m}$ (0.001 mm).

In der Sedimentologie werden die Korngrößen in bestimmte Klassen, auch als Fraktionen bezeichnet, eingeteilt. International gebräuchlich ist dabei die PHI-Einteilung, eine lineare Intervallskala, die zu den Millimeterwerten in einem logarithmischen Verhältnis steht. Daraus resultieren die scheinbar unregelmäßigen Intervallklassen auf der Millimeterskala. In dieser Arbeit werden die Wattsedimente in 0.5 Phi-Klassenintervallen dargestellt (Tab. 1).

PHI	μm	mm	Bezeichnung
1.0-1.5	500-350	0.500-0.350	größerer Mittelsand
1.5-2.0	350-250	0.350-0.250	feinerer Mittelsand
2.0-2.5	250-177	0.250-0.177	größerer Feinsand
2.5-3.0	177-125	0.177-0.125	feinerer Feinsand
3.0-3.5	125-88	0.125-0.088	größerer sehr feiner Sand
3.5-4.0	88-63	0.088-0.063	feinerer sehr feiner Sand
> 4.0	< 63	< 0.063	Schlick (Silt & Ton)

Tab. 1 *Korngrößen-Klassen in PHI-, mm- und μm -Werten sowie die Sedimentbezeichnung*

Die Korngrößen wurden nicht, wie noch weit verbreitet über ein mechanisches Siebverfahren, sondern über Sinkgeschwindigkeitsmessungen ermittelt (z.B. FLEMMING & THUM 1978, BREZINA 1979). Die Vorteile dieser Methode liegen in der höheren Auflösung der Messintervalle und im Messprinzip. Im Gegensatz zu mechanischen Verfahren besteht zwischen den Sinkgeschwindigkeiten und den Sedimentationsprozessen eine direkte hydrodynamische Beziehung.

2.1.1 Sinkgeschwindigkeiten

Bei dieser Methode werden die Sedimentproben in eine Sedimentationsröhre eingebracht, die aus einer mit Wasser gefüllten Glasröhre mit definierter Länge besteht (Abb. 1). Am unteren Ende der Röhre befindet sich ein Messsystem, meist eine Induktionswaage, die mit zunehmender Auflast auf der Waage ein höheres Spannungssignal abgibt. Gemessen wird die zeitgekoppelte Spannungszunahme, aus der die logarithmischen Sinkgeschwindigkeiten (PSI-Werte = $-\log_2 [\text{cm/s}]$) berechnet werden. Dabei fallen größere Partikel schneller

und haben daher höhere Sinkgeschwindigkeiten. Auf einen weltweit gebräuchlichen Standard normiert (24 °C Wassertemperatur, die Quardichte von 2.65 g cm/s und der Formfaktor für glatte Glaskugeln = 1.18), werden anschließend die Korngrößen berechnet (Abb. 2).

2.2 Sedimentverteilung

Aus den so abgeleiteten Korngrößen ergibt sich für die Mittelwerte der einzelnen Sedimentverteilungen im ostfriesischen Rückseitenwatt eine deutliche Zonierung einzelner 0.5 phi Korngrößenklassen (Abb. 3). Die Korngröße nimmt dabei von Norden nach Süden, also von den Inseln zum Deich hin ab. Dieses Verteilungsmuster reflektiert den nach Süden hin abnehmenden Energiegradienten des Ablagerungsraumes (s. 4).

Der Vorinselbereich, die Inseln selbst sowie ein Teil des Inselrückseitenwattes bestehen in ihren Oberflächensedimenten überwiegend aus Mittelsand (Abb. 4). Im Zentralteil der Rückseitenwatten dominieren die Fraktionen des Feinsandes. Das südliche Rückseitenwatt sowie der Vordeichbereich setzt sich aus sehr feinen Sanden zusammen. Zwischen den einzelnen Fraktionen können schmale Bänder gemischter Fraktionen auftreten (Abb. 4). Betrachtet man die Verteilung der einzelnen Korngrößenfraktionen im Rückseitenwatt in Form ihrer Gewichtsprozentanteile, so tritt die Zonierung noch deutlicher in Erscheinung (Abb. 5). Bei genauerer Betrachtung fällt ein ausgeprägtes Defizit der Fraktion des feineren sehr feinen Sandes (3.5-4.0 phi/88µm - 63 µm) im Vordeichbereich auf (Abb. 5d). Mit nur etwa 10 Gew-% (Gewichtsprozent) ist diese Fraktion gegenüber dem normalen Verteilungsmuster mit bis zu 70 Gew-% deutlich unterrepräsentiert. Dagegen sind die in der Korngröße kleineren Schlickfraktionen (< 4.0 phi/< 63µm) mit bis zu 50 Gew-% überraschenderweise wieder deutlich stärker vertreten (Abb. 5-e).

Wenn die Korngrößenzonierung der Wattensedimente einen zur Küstenlinie abnehmenden Energiegradienten widerspiegelt, dann deutet die Diskontinuität in der Korngrößenabfolge auf eine Störung in der kontinuierlichen Energieabnahme und den damit verbundenen Sedimentationsbedingungen hin. Das Sedimentdefizit im sehr feinen Sand kann nur über ein für die Sedimentation dieser Fraktionen zu hohes Energieniveau im deichnahen Watt erklärt werden. In zunächst scheinbarem Widerspruch zu dieser Interpretation steht der höhere Schlickanteil, der aufgrund seiner noch kleineren Bestandteile erst recht nicht sedimentiert werden dürfte. Da der Schlick aber aus Kollektiv-Partikel-Aggregaten zusammensetzt ist (z.B. Flocken und Kotpillen), die sedimentdy-

namisch größeren Partikeln entsprechen, sedimentieren sie in den Ablagerungsräumen größerer Fraktionen. Deutlich wird dies u.a. auch an den bis 10 Gew-% hohen Schlückgehalten an der Südseite der Inseln, an denen laut Energiegradient diese feinsten Partikel nicht auftreten dürften. Bei Schlickern sind hydrodynamisch somit die Aggregatzustände und nicht die Ausgangskomposition ausschlaggebend.

3. Physikalische Randbedingungen

Maßgeblich für die Morphologie und die damit in Wechselwirkung stehenden Sedimentverteilungen ist einerseits die Ausdehnung und Beschaffenheit des Einzugsgebietes und andererseits die Gruppe der physikalischen Kenngrößen.

Die Größe des Wateinzugsgebiets richtet sich grundsätzlich nach dem Tidenwasserdurchsatz.

Die physikalischen Kenngrößen setzen sich aus Parametern wie Wind, Wellen, Tidestrom und saisonalen Ereignissen wie Eisgang im Winter und Wassertemperaturschwankungen zusammen.

Die Komplexität der Wechselwirkungen zwischen den physikalischen Randbedingungen, der Morphologie und den Sedimentpartikeln bestimmt letztendlich die Sedimentationsbedingungen an jedem beliebigen Punkt im Watt.

4. Natürliche Veränderungen

Bei natürlichen Veränderungen sind kurzfristige und langfristige Ereignisse zu unterscheiden. Saisonale Effekte wie Eisgang oder Stürme führen zu kurzfristigen Umlagerungen der Sedimente und damit auch zu Veränderungen in der Morphologie. Das System Wattenmeer reagiert auf diese Prozesse elastisch. Nach Abklingen der erhöhten Energieeinträge wird überwiegend die Ausgangssituation in der Sedimentverteilung und Morphologie wiederhergestellt. Lokal jedoch können nach solchen Ereignissen deutliche Veränderungen auftreten, die das System im Laufe der Zeit wieder "begradigt".

Langfristig wirkende Prozesse dagegen, z.B. eine Erhöhung des Energieeintrages, führen zu dauerhaften Veränderungen in der Sedimentzusammensetzung und -verteilung und daraus resultierend auch in der Morphologie. Durch Erhöhung des Meeresspiegels, in der Erdgeschichte als Transgression an vielen Beispielen dokumentiert (z.B. WILGUS et al. 1988), und/oder durch Zunahme

der mittleren Windgeschwindigkeit und daraus resultierendem Seegang verschoben sich Morphologie und Sedimentationszonen dem Energiegradienten folgend langsam nach Süden (Abb. 6). Das im Inselwatt fehlende Sediment wird dann mit Material aus der Insel und dem oberen Inselsockel ergänzt, was eine landwärtige Verlagerung der Insel zur Folge hat. Die Sedimentationszone mit den feinkörnigsten Sedimenten am südlichen Rand der Sedimentabfolge würde sich normalerweise landeinwärts verlagern, wäre da nicht der Deich im Wege.

5. Anthropogene Veränderungen

Neben den durch den Menschen indirekt bewirkten natürlichen Veränderungen in den Rückseitenwatten sind auch direkte Einflüsse zu beobachten. Dem mit steigendem Meeresspiegel sich nach Süden verlagernden Sedimentgürtel wirkten die durch den Menschen in den letzten 1000 Jahren durchgeführte Landgewinnung entgegen (Abb. 7). Die im Zuge aktiver Landgewinnung angelegten Deiche führten im Laufe der Jahrhunderte zur Verkleinerungen der Wateinzugsgebiete. Folge war eine massive Reduzierung der Tidenvolumina, und die daraus resultierende Verringerung des Ebbstromes führte zum Längenwachstum der meisten Inseln, wie das Beispiel der Insel Spiekeroog in der Folge der Eindeichung der Harlebucht zeigt (Abb. 8). Die starke, ostwärtsgerichtete Verlagerung der Wattwasserscheide führte, entgegen dem generellen Trend, zu einer Vergrößerung des Otzumer Einzugsgebietes. Der damit verbundene Anstieg des Ebbstromvolumens führte zu einer Vertiefung des Otzumer Seegatts und der Hauptprielrinne.

6. Folgeprozesse - Ein Modell

Betrachtet man die heutige Deichlinie als unverrückbare Küstenlinie, sind durch sie die natürlichen Reaktionsmechanismen der Sedimentverteilung, z.B. die postulierte Südverschiebung des Wattensystems durch erhöhte Energieeinträge, stark eingeschränkt. Erste Anzeichen der "Bewegungsunfähigkeit" dokumentieren sich in dem bereits erwähnten Defizit der sehr feinen Sande im Vordeichbereich. Durch die festliegende Deichlinie einerseits und die Zunahme der Transportenergie im Rückseitenwatt andererseits entsteht in der Vordeichzone ein höheres Energieniveau, das eine Ablagerung der dort ursprünglich sedimentierten Korngrößen nur noch bedingt zulässt und im weiteren völlig unterbindet (Abb. 9). Das Modell am Beispiel Spiekeroog zeigt deutlich, daß schon heute mit einer Entfernung von gut 8 km zwischen Insel und Deich bereits die Hälfte der ursprünglichen räumlichen Ausdehnung der vollständigen

Sedimentabfolge fehlt. Erhöht sich nun der Meeresspiegel, so wird sich das Sedimentdefizit nicht mehr nur auf die feinen Fraktionen beschränken. Dieser Prozess kann durch eine gleichzeitige Zunahme in den Sturmhäufigkeiten noch beschleunigt werden. Soweit es möglich ist, wird das System seine Sedimentationszonen verlagern, was die Vergrößerung der mittleren Korngröße im Rückseitenwatt zur Folge haben wird (Abb. 10). Zukünftig wird damit auch die klassische Dreiteilung von Sand- Misch- und Schlickwatt (SINDOWSKI 1973, REINECK & SIEFERT 1980) entfallen, weil der Ende der Entwicklung fast ausschließlich Sandwatten existieren werden. Die Veränderung der Sedimentzusammensetzung wird nicht nur einen erheblichen Einfluß auf die Zusammensetzung der Faunengemeinschaften haben, sondern einige Komponenten ganz eliminieren - eine Perspektive, die inzwischen von vielen Wissenschaftlern mit Sorge verfolgt wird (z.B. EXO, 1994). Ein Vergleich der Sedimentzonen im Rückseitenwatt von Spiekeroog mit denen von Baltrum, wo die Breite des Watts auf 5 km reduziert ist, macht die verstärkte Dezimierung der feinkörnigen Sedimente besonders deutlich (Abb. 11).

Bei weiterhin steigendem Meeresspiegel werden sich die Sedimentdefizite nicht nur auf die südlichen Randzonen beschränken, sondern sich auf das gesamte Rückseitenwatt einschließlich der Inseln ausdehnen. Die Ursache liegt dabei in den Küstenschutzmaßnahmen auf bzw. an den Inseln, die ein Mitwandern verhindern oder zumindest verzögern und damit die Sediment-Spenderfunktion der Inseln unterbinden bzw. einschränken.

7. Ausblicke und Konsequenzen

In welchem Zeitrahmen sich die Wattenregion in ihrer Sedimentzusammensetzung verändert und wie hoch das Sedimentdefizit pro Zeiteinheit letztendlich sein wird, ist schwer abzuschätzen. Eine Reihe von Puffermechanismen, beispielsweise die temperaturabhängige Sinkgeschwindigkeit, könnte bei einer Erhöhung der durchschnittlichen Wassertemperatur der Nordsee durch den "Treibhaus-Effekt" vor allem in den Wintermonaten der Remobilisation von Sedimenten und deren Verweildauer in der Wassersäule entgegenwirken.

Dennoch wird es erforderlich sein, eine Reihe der derzeitigen Küstenschutzmaßnahmen auf ihre zukünftige Funktion hin zu überdenken und sich mit dem Gedanken vertraut zu machen, den Menschen in größerer Einstimmigkeit mit dem Ökosystem Wattenmeer leben zu lassen. Hier ist die vorgeschlagene Renaturierung von Salzwiesen in den Nordfriesischen Watten nur eine Möglich-

keit (REISE 1995). Im Falle der Ostfriesischen Inseln wäre es sinnvoll, die natürliche Verlagerung so wenig wie möglich einzuschränken und, statt eines massiven Inselnschutzes durch Festlegung, die Ortschaften auf den Inseln gleichermaßen mit den Inseln "wandern" zu lassen.

Literatur:

BREZINA, J., 1979. Particle size and settling rate distributions of sand-sized materials. - PARTEC, 2. Europ. Symp. on Particle Characterisation, Paper Session 1, 1-21.

EXO, K.-M., 1994. Das Wattenmeer- Unverzichtbarer Lebensraum für Millionen Küstenvögel. - Schriftenreihe SDN 8, 8-46.

FLEMMING, B.W., 1991. Holozäne Entwicklung, Morphologie und fazielle Gliederung der Ostfriesischen Insel Spiekeroog (südliche Nordsee). - Senckenberg am Meer, Ber. 91/3, 51 S..

FLEMMING, B.W. & DAVIS, R.A.Jr., 1994. Holocene evolution, morphodynamics and sedimentology of the Spiekeroog barrier island system (southern North Sea). - Senckenberg. marit. 24, 117-156.

FLEMMING, B.W. & NYANDWI, N., 1994. Land reclamation as a cause of fine-grained sediment depletion in backbarrier tidal flats. - Neth. J. Aquat. Res. 28, 299-307.

FLEMMING, B.W. & THUM, A., 1978. The settling tube - a hydraulic method of grain size analysis of sands. - Kieler Meeresforsch. Sonderheft 4, 82-95.

FLEMMING, B.W. & ZIEGLER, K., 1995. High - resolution grain size distribution patterns and textural trends in the backbarrier environment of Spiekeroog island. - Senckenberg. marit. 26, 1-24.

HOHMEIER, H. & LUCK, G., 1969. Das Historische Kartenwerk 1:50000 der Niedersächsischen Wasserwirtschaftsverwaltung als Ergebnis historisch-topographischer Untersuchungen und Grundlage zur kausalen Deutung der Hydrovorgänge im Küstengebiet. - Göttingen.

REINECK, H.-E. & SIEFERT, W., 1980. Faktoren der Schlickbildung im Sahlenburger und Neuwerker Watt. - Die Küste 35, 26-51.

REISE, K., 1995. Predictive ecosystem research in the Wadden Sea. - Helgoländer Meeresunters. 49, 495-505.

SINDOWSKI, K.-H., 1973. Das ostfriesische Küstengebiet: Inseln, Wattenmeer und Marschen. - Samml. geol. Führer 57, Borntraeger, Berlin, 162 S..

WILGUS, CH.K., HASTINGS, B.S., KENDALL, Ch.G.St., POSAMENTIER, H.W., ROSS, Ch.A. & Van WAGONER, J.C., 1988. Sea-level changes: an integrated approach. - Soc. Econ. Pal. Min., Spec. Pub. 42, 1- 407.

